



**Universidade Nova de Lisboa**

OMNIS CIVITAS CONTRA SE DIVISA NON STABIT

**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

Departamento de Ambiente

**Contribuição para o Estudo de  
Odores em Estações de Tratamento  
de Águas Residuais Urbanas**

Por

---

**Rosa Maria Vieira Antunes**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária

Orientador Científico

---

**Professor Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano**

LISBOA, 2006



## Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento vai para António Pedro Mano, orientador científico desta dissertação, pela sua dedicação, empenho, paciência e amizade que manteve ao longo do período em que decorreram os trabalhos inerentes à elaboração do presente documento.

Agradeço à HIDROPROJECTO – Engenharia e Gestão, S.A. por todo o apoio facultado, que incluiu o co-financiamento das propinas, permissão de ausência para frequência das aulas e cedência de licença sem vencimento por um período de três meses, para a caracterização e visita das ETAR com tratamento de odores em Portugal. Como parte integrante da HIDROPROJECTO, os agradecimentos são extensíveis ao director da unidade onde trabalho, António Pedro Mano, e aos colegas Fernando Godinho, Lia de Barros dos Reis, Maria José Franco, Margarida Monte, Sónia Pombo e Stephen Houghton pelo seu companheirismo, compreensão e espírito de entreajuda.

Deixo aqui também um profundo agradecimento a cada uma das entidades e técnicos responsáveis pelas ETAR com tratamento de odores visitadas, pela disponibilidade demonstrada e empenho na obtenção dos elementos necessários ao preenchimento dos campos dos inquéritos, sem os quais não teria sido possível concluir a presente dissertação.

Ao meu marido, Jorge Pedrosa, agradeço a sua existência na minha vida, o companheirismo e o apoio demonstrado mesmo nos períodos mais difíceis.

Estou profundamente agradecida à minha mãe, Maria de Fátima Antunes, pelo apoio diário, traduzido em pequenas tarefas de grande ajuda, em muita paciência e compreensão.

Agradeço à minha irmã, Vilma Carmona, a sua amizade e capacidade de renovação do interesse pela vida, e o apoio na definição gráfica aplicada neste documento.

Um especial agradecimento ao colega e amigo Mário Cardoso pela sua alegre companhia nos curtos intervalos de trabalho profissional e académico, por ter comentado e colocado questões que ajudaram a uma apresentação mais clara e cuidada.

## **Agradecimentos**

---

Aos meus queridos amigos agradeço a compreensão demonstrada sobre a minha ausência nos encontros promovidos e o apoio demonstrado sempre que solicitado.

A todos pertence este trabalho porque sem vós não se teria concretizado.

## Sumário

Os odores emitidos por estações de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR) representam um problema potencial para a sua integração urbanística e ambiental. Por outro lado, os odores representam igualmente um perigo potencial para a saúde dos trabalhadores das ETAR, para a conservação das infraestruturas e para a eficiência de tratamento. Deste modo, o conhecimento sobre a sua ocorrência, contenção e tratamento é fundamental para a concepção, projecto e exploração das infraestruturas de saneamento.

Com o objectivo de resumir e sistematizar a informação sobre o estado da arte relativo aos odores em ETAR, foi realizada uma revisão detalhada sobre os vários aspectos associados a este problema, nomeadamente formação e controlo de odores. De modo idêntico com o objectivo de procurar contribuir para a caracterização da situação em Portugal foram identificadas as principais ETAR existentes com desodorização, tendo sido organizados inquéritos e visitas a todas elas por forma a apurar a informação considerada mais relevante, nomeadamente no que diz respeito à tecnologia utilizada, bem como aspectos particulares de exploração e custos envolvidos.

As principais conclusões do estudo efectuado incluem por um lado a importância da concepção dos sistemas de contenção e ventilação como partes essenciais no controlo dos odores e, por outro, a baixa representatividade dos custos de investimento e de exploração do controlo de odores no total de uma ETAR.

A tecnologia de tratamento mais aplicada é a absorção e oxidação química, seguida pela biofiltração e por adsorção em carvão activado e, aparentemente, a selecção das tecnologias não está relacionada nem com a dimensão da ETAR nem com o caudal de ar a tratar. Por outro lado, a monitorização dos odores e dos compostos odoríferos é poucas vezes efectuada, o que limita, de um modo muito significativo, a correcta avaliação dos processos de tratamento.

## Abstract

The odours produced by wastewater treatment plants (WwTP) hinder their urban and environmental integration, and also pose a threat to worker safety, the structural integrity and treatment efficiency. Knowledge of their occurrence, containment and treatment is essential to planning, design and operation of treatment infrastructure.

With the objective of resuming and systematizing information on the state of the art of odour control, a review of various aspects of the problem, especially formation and control of odours, was undertaken. In order to characterize the situation in Portugal, the principal WwTP with odour control were identified, surveyed and visited in order to obtain the relevant information: the technology used, operational aspects and costs.

The principal conclusions of the study were the importance of the design of systems for containment and ventilation, essential to odour control, and that the costs of construction and operation of WwTP odour control systems are a small part of the total costs. The treatment technology most used in Portugal is chemical absorption and oxidation followed by biofiltration and adsorption on activated carbon. The choice of technologies does not seem to be related to the size of the WwTP, or to the air flow to be treated. There is little monitoring of odours and malodorous compounds, which significantly restricts the useful evaluation of odour treatment processes.

## Simbologia e notações

Para além da simbologia e abreviaturas normalizadas, houve necessidade de recorrer a outras, de aplicação específica ao presente documento, que se apresentam de seguida, por tema.

### PARÂMETROS

---

$\rho$	densidade, expressa em unidade de massa por unidade de volume ( $\text{kg/m}^3$ )
$\Delta H$	perda de carga
$\xi$	coeficiente de perda de carga localizada
$\Delta p$	diferencial de pressão
$A$	área, expressa em metros quadrados ou em hectares
$C$	concentração, expressa em $\text{mg/L}$ , $\text{g/m}^3$ ou ppm
$C_A$	concentração molar do composto A em solução, expressa em mole/L
$C_m$	concentração média
$C_a$	concentração aceitável
$k_s$	constante de saturação
$\varnothing$	diâmetro, expresso em mm ou m
$D_{50}$	factor de diluição correspondente a 50% de respostas
$D_v$	distância vertical, expressa em metros
$E$	relação média entre eficiência e tempo de vida útil
$f$	factor de atrito
$F_e$	factor específico de emissão, expresso em $\text{mg/m}^2/\text{h}$
$g$	aceleração da gravidade, no valor de 9,8, expresso em $\text{m/s}^2$
$H$	constante da Lei de Henry, expressa em mole/(L.atm) ou mole/( $\text{m}^3$ .Pa)
$I$	valor de investimento, expresso em euros
$k$	coeficiente (adimensional)
$\lambda$	comprimento, expresso em metros
$M$	peso molecular, expresso em grama por mole (g/mole)
$n$	número de renovações horárias, expresso em $\text{h}^{-1}$
$p$	pressão, expressa em atmosferas, mm Hg, Pa
$r^2$	coeficiente de determinação
$Q$	caudal de água ou de ar, expresso em unidade de volume por unidade de tempo
$Q_c$	caudal de captação, expresso em $\text{Nm}^3/\text{s}$
$Q_n$	caudal de extracção, expresso em $\text{Nm}^3/\text{s}$

### PARÂMETROS

---

$Q_p$	caudal de pressurização, expresso em $m^3/s$
$S$	secção transversal da tubagem, expressa em $m^2$
$T$	temperatura, expressa em graus Centígrados ou Celsius ( $^{\circ}C$ )
$t$	tempo, expresso em horas (h), minutos (min) ou dias (d)
$V$	volume, expresso em Litro (L) ou metro cúbico ( $m^3$ )
$v_e$	velocidade de extracção, expressa em m/s
$W$	peso do material, expressa em kilograma (kg)

### UNIDADES

---

$\mu g/L$	micrograma ( $10^{-6}$ grama) por Litro
atm	atmosfera, unidade de medida de pressão
$g/m^3$	grama por metro cúbico = 1 miligrama por Litro
g/mole	grama por mole
h	hora = 3600 segundos, unidade de medida de tempo
HE	habitante equivalente
$kg/m^2/h$	kilograma por metro quadrado e por hora, unidade de medida da carga mássica superficial
L	Litro, unidade de medida de volume
L/s	Litro por segundo, unidade de medida de caudal
m ca	metro de coluna de água, unidade de medida de pressão
m/s	metro por segundo, unidade de medida da velocidade
$m^2$	metro quadrado, unidade de medida de área
$m^3$	metro cúbico ( $10^3$ Litro), unidade de medida de volume
$m^3/dia$	metro cúbico por dia, unidade de medida de caudal
$m^3/h$	metro cúbico por hora, unidade de medida de caudal
$m^3/m^2/h$	metro cúbico por metro quadrado e por hora, unidade de medida de carga superficial
$m^3/m^3/h$	metro cúbico por metro cúbico e por hora, unidade de medida de carga volúmica
mg/L	miligrama ( $10^{-3}$ grama) por Litro, unidade de medida de concentração
$mg/Nm^3$	miligrama por metro cúbico de ar, em condições de pressão e temperatura normais, unidade de medida de concentração gasosa
min	minuto = 60 segundos, unidade de medida de tempo
mm ca	milímetro ( $10^{-3}$ metro) de coluna de água, unidade de medida de pressão
mm Hg	milímetro de mercúrio, unidade de medida de pressão
$^{\circ}C$	grau Celsius, $^{\circ}C = ^{\circ}K - 273,15$
$ou_E/h$	unidade de odor europeia por hora, unidade de medida do fluxo de odor em massa

UNIDADES

---

ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup>	unidade de odor europeia por metro cúbico de ar, unidade de medida da concentração limite de detecção de odor
Pa	Pascal, unidade de medida de pressão
ppb	parte por bilião, em peso para concentrações em solução e em volume para concentrações gasosas
ppmv	parte por milhão, em peso para concentrações em solução e em volume para concentrações gasosas
s	segundo, unidade de medida de tempo

COMPOSTOS, FÓRMULAS E ABREVIATURAS QUÍMICAS

---

AGV	ácidos orgânicos voláteis
C	carbono
CaCO <sub>3</sub>	carbonato de cálcio
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Metilamina ou amina de metilo
CH <sub>3</sub> SH	mercaptano de metilo ou metilmercaptano ou metiltiol
COV	compostos orgânicos voláteis
CBO <sub>5</sub>	carência bioquímica em oxigénio, expressa em mg O <sub>2</sub> /L
CQO	carência química em oxigénio, expressa em mg O <sub>2</sub> /L
H	hidrogénio
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	peróxido de hidrogénio
H <sub>2</sub> S	sulfureto de hidrogénio
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ácido sulfúrico
HCl	ácido clorídrico
KMnO <sub>4</sub>	permanganato de potássio
N	azoto
NaOCl	hipoclorito de sódio
NaOH	hidróxido de sódio
NH <sub>3</sub>	amoníaco
O	oxigénio
pH	potencial hidrogeniónico
R-H	compostos orgânicos do grupo dos alcanos
R-OH	compostos orgânicos do grupo dos alcoóis
R-COOH	compostos orgânicos do grupo dos ácidos
R-COH	compostos orgânicos do grupo dos aldeídos
R-CO-R'	compostos orgânicos do grupo das cetonas
Ar-OH	compostos orgânicos aromáticos - fenóis
S	enxofre

### ABREVIATURAS

---

B	tratamento do ar odorífico por biofiltração
BF	tratamento secundário ou de afinação por biomassa fixa em biofiltros
CA	tratamento do ar odorífico por adsorção em carvão activado
CAS	Chemical Abstract Service Registry Number
CD	concentração máxima para exposições de curta duração
CL	contentores de lama para armazenamento temporário
CM	concentração máxima que nunca deve ser excedida
Ct	sistemas de contenção do ar odorífico
Desar	remoção de areias (desarenação)
DesC	desidratação em centrífuga
DesFB	desidratação em filtro de banda
DesLS	desidratação em leitos de secagem
DesSF	desidratação em sacos filtro
Dig	digestão anaeróbia das lamas
DUV	tratamento terciário por desinfecção por radiação ultravioleta
ee	por elevação
EE	estação elevatória
Eq	equalização e, ou homogeneização da água residual afluyente
EspC	espessamento mecânico em centrífuga
EspG	espessamento gravítico
EspM	espessamento mecânico em mesa espessadora
EstQ	estabilização química
ETAR	estação de tratamento de águas residuais
EXP	exploração
F	tratamento terciário por filtração em areia
FL	fase líquida
Flo	espessamento por flotação
FQ	tratamento físico químico (coagulação e floculação)
FS	fase sólida
GC	cromatografia gasosa (método de análise)
Gr	remoção de sólidos (gradagem ou tamisação)
gv	gravítico
HE	habitante equivalente, em carga
INV	investimento
LAB	tratamento secundário por lamas activadas em baixa carga
LAm	tratamento secundário por lamas activadas em média carga

ABREVIATURAS

---

LM	tratamento secundário ou de afinação e, leitos de macrófitas
ML	mistura de lamas
MP	concentração média ponderada
MS	espectrometria de massa (método de análise)
O&M	operação e manutenção
OE	obra de entrada
OQ	tratamento do ar odorífico por absorção e oxidação química
P	tratamento primário (decantação primária)
PqL	parque de lamas
Pr	tratamento preliminar (inclui desarenação e desengorduramento)
RFS	recepção do conteúdo de fossas sépticas
SL	silos de lama para armazenamento temporário
SNC	sistema nervoso central
Tr	tratamento
TROG	remoção de óleos e gorduras (desengorduramento)
Tsubp	tratamento dos subprodutos (que inclui a compactação dos resíduos sólidos, a lavagem das areias e a concentração das gorduras)
Ve	sistemas de ventilação
VCP	valor de concentração perigosa
VLE	valor limite de exposição
VME	valor médio de exposição



# Índice de Matérias

1	INTRODUÇÃO .....	21
1.1	OBJECTIVO E MOTIVAÇÃO .....	21
1.2	RECOLHA DE INFORMAÇÃO .....	21
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	22
2	CARACTERIZAÇÃO DOS ODORES.....	25
2.1	DEFINIÇÕES E ENQUADRAMENTO .....	25
2.2	ORIGEM E NATUREZA DOS ODORES.....	26
2.3	FACTORES LIMITANTES DA OCORRÊNCIA DE ODORES .....	31
2.3.1	Transferência de compostos entre as fases líquida e gasosa.....	31
2.3.2	Composição da água residual.....	32
2.3.3	Oxigénio Dissolvido .....	33
2.3.4	pH .....	34
2.3.5	Temperatura .....	34
2.3.6	Características do escoamento das águas residuais.....	35
2.3.7	Resumo dos factores limitantes da ocorrência de odores .....	35
2.4	AVALIAÇÃO DO ODOR .....	36
2.4.1	Considerações gerais.....	36
2.4.2	Tipologia das fontes emissoras de odores.....	38
2.4.3	Amostragem .....	39
2.4.4	Medição analítica.....	40
2.4.5	Medição sensorial.....	41
2.4.6	Métodos sensoriais artificiais .....	46
2.4.7	Medição da fase líquida.....	47
2.5	IMPLICAÇÕES DA OCORRÊNCIA DE ODORES EM ETAR.....	48
2.5.1	Considerações gerais.....	48
2.5.2	Implicações na saúde.....	49
2.5.2.1	<i>Amoníaco</i> .....	49
2.5.2.2	<i>Sulfureto de hidrogénio</i> .....	50
2.5.2.3	<i>Mercaptano de metilo</i> .....	51
2.5.2.4	<i>Valores limite de exposição para salvaguarda da saúde humana</i> .....	51
2.5.3	Implicações na comunidade.....	54
2.5.4	Implicações na conservação das infraestruturas (corrosão).....	56
2.5.5	Implicações na eficiência do tratamento .....	57
2.6	SÍNTESE .....	58

3	OCORRÊNCIA DE ODORES EM ETAR.....	59
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DE UMA ETAR .....	59
3.2	ORIGENS DE ODORES EM ETAR .....	62
3.3	PRINCIPAIS MECANISMOS DA EMISSÃO DE ODORES .....	64
3.3.1	Considerações gerais .....	64
3.3.2	Obra de entrada.....	65
3.3.3	Tratamento preliminar.....	67
3.3.4	Tratamento primário – decantadores .....	67
3.3.5	Tratamento secundário – reactores biológicos e decantação secundária .....	67
3.3.6	Espessamento e desidratação de lamas.....	68
3.3.7	Estabilização das lamas .....	69
3.3.8	Caudais resultantes do processamento das lamas.....	70
3.3.9	Recepção e processamento de líquidos sépticos .....	70
3.3.10	Lagoas de estabilização .....	70
3.4	QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ODORES.....	71
4	CONTROLO DE ODORES.....	75
4.1	INTRODUÇÃO .....	75
4.2	MINIMIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ODORES.....	77
4.2.1	Considerações gerais .....	77
4.2.2	Controlo dos odores na origem .....	79
4.2.3	Aspectos de concepção e de exploração da ETAR .....	80
4.2.4	Adição de agentes químicos à fase líquida .....	83
4.3	CONTENÇÃO E VENTILAÇÃO DO AR ODORÍFICO .....	87
4.3.1	Aspectos gerais .....	87
4.3.2	Contenção e condução do ar odorífero.....	87
4.3.3	Sistema de ventilação.....	89
4.4	TRATAMENTO DO AR ODORÍFICO .....	94
4.4.1	Aspectos gerais .....	94
4.4.2	Processos biológicos .....	97
4.4.2.1	<i>Biofiltração</i> .....	97
4.4.2.2	<i>Biofiltração humidificada</i> .....	100
4.4.2.3	<i>Biomassa em suspensão</i> .....	102
4.4.3	Processos físico-químicos .....	105
4.4.3.1	<i>Absorção e oxidação química</i> .....	105
4.4.3.2	<i>Adsorção dos compostos odoríferos</i> .....	110
4.4.4	Resumo da aplicabilidade técnica de cada solução alternativa .....	115
4.5	DILUIÇÃO E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA.....	116

---

5	DESODORIZAÇÃO NAS ETAR EM PORTUGAL .....	119
5.1	METODOLOGIA.....	119
5.2	RESULTADOS OBTIDOS.....	121
6	EXPLORAÇÃO DOS RESULTADOS .....	137
6.1	CARACTERÍSTICAS DAS ETAR COM DESODORIZAÇÃO .....	137
6.2	PRINCIPAIS ORIGENS DE AR A TRATAR E TECNOLOGIA APLICADA .....	138
6.3	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO .....	141
6.4	CARACTERIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS APLICADAS AO TRATAMENTO DE AR ODORÍFICO .....	142
6.4.1	Biofiltração.....	142
6.4.2	Absorção e oxidação química .....	144
6.4.3	Adsorção em carvão activado .....	146
6.5	FUNCIONAMENTO E MONITORIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESODORIZAÇÃO .....	148
6.5.1	Avaliação geral e monitorização .....	148
6.5.2	Situações de ocorrência de odores.....	150
6.5.3	Problemas de exploração.....	150
6.5.3.1	<i>Comentários gerais .....</i>	<i>150</i>
6.5.3.2	<i>Sistema de ventilação .....</i>	<i>151</i>
6.5.3.3	<i>Processo por biofiltração.....</i>	<i>151</i>
6.5.3.4	<i>Processo por absorção e oxidação química .....</i>	<i>152</i>
6.5.3.5	<i>Processo por adsorção em carvão activado .....</i>	<i>152</i>
6.6	CUSTOS DE INVESTIMENTO E DE EXPLORAÇÃO DOS SISTEMAS DE DESODORIZAÇÃO .....	153
7	DISCUSSÃO .....	157
8	CONCLUSÕES .....	167
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169
	 ANEXOS	
	 ANEXO I - INQUÉRITO TIPO .....	 179
	 ANEXO II - INQUÉRITOS EFECTUADOS .....	 187

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Parâmetros para a avaliação do odor (adaptado de [Frechen, 2000]).	43
Figura 3.1 – Diagrama das principais operações e processos de tratamento normalmente incluídos numa ETAR convencional.	59
Figura 3.2 – Diagrama geral de uma ETAR por lagunagem.	61
Figura 4.1 – Diagrama simplificado de uma linha de tratamento de ar odorífico por biofiltração (adaptado de [Rafson, 1998; Van Langenhove and De heyder, 2001]).	98
Figura 4.2 – Diagrama simplificado de uma linha de tratamento de ar odorífico por biofiltração humidificada (adaptado de [Van Langenhove and De heyder, 2001]).	100
Figura 4.3 – Diagrama simplificado do processo de tratamento de odores por biomassa em suspensão (adaptado de [Van Langenhove and De heyder, 2001]).	102
Figura 4.4 – Diagrama simplificado do processo de tratamento de ar odorífico por difusão em reactor com lamas activadas (adaptado de [Bowker and Burgess, 2001]).	104
Figura 4.5 – Diagrama simplificado de uma torre de lavagem, com fluxo vertical em contracorrente (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).	106
Figura 4.6 – Esquema simplificado do movimento da zona de adsorção ao longo do tempo de funcionamento de um leito de adsorção (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).	111
Figura 4.7 – Esquema simplificado de um sistema de tratamento de ar por adsorção em duplo leito de carvão activado (adaptado de [USEPA, 1985]).	114
Figura 6.1 – Variação do caudal de ar odorífico a tratar em função da dimensão da ETAR com indicação da tecnologia aplicada ao tratamento do ar odorífico (B - biofiltração; OQ - absorção e oxidação química; CA - adsorção em carvão activado).	140
Figura 6.2 – Evolução da área do biofiltro com o caudal de ar a tratar.	144
Figura 6.3 – Evolução da dimensão das torres de absorção e da recirculação do líquido de lavagem com o caudal de ar odorífico afluente ao processo.	146
Figura 6.4 – Evolução das dimensões da torre de filtração com o caudal de ar a tratar.	147
Figura 6.5 – Variação do investimento em processos de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química em função do caudal de ar afluente.	154
Figura 6.6 – Variação do investimento em processos de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química em função do caudal de ar afluente e após tratamento dos dados.	155

# Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Características dos principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [Sawyer <i>et al.</i> , 1994; WEF/ASCE, 1995; Rafson, 1998; Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001; NP1796:2004]).....	29
Quadro 2.2 – Concentrações para alguns compostos odoríficos presentes numa água residual urbana (adaptado de [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001]).....	33
Quadro 2.3 – Resumo dos principais factores que afectam a ocorrência de odores.....	36
Quadro 2.4 – Caracterização sumária das técnicas de amostragem (adaptado de [Rafson, 1998]).....	40
Quadro 2.5 – Parâmetros de interesse para a medição da fase líquida (adaptado de [USEPA, 1985; WEF/ASCE, 1995; Morton and Tudman, 2002].....	47
Quadro 2.6 – Efeito na saúde humana associado à presença de amoníaco no ar ambiente (adaptado de [Issey and Lang, 2001; ATSDR, 2004c]).....	49
Quadro 2.7 – Efeito na saúde humana associado à presença de sulfureto de hidrogénio no ar ambiente (adaptado de [Correia, 2002]).....	50
Quadro 2.8 – Valores limite de exposição recomendados para salvaguarda da saúde humana para os principais compostos odoríficos (adaptado da NP1796:2004 e de [ATSDR, 1999, 2004a, 2004b; Mitchell, 2002; OSHA, 2003a, 2003b]).....	53
Quadro 2.9 – Critérios da qualidade do ar para evitar o incómodo (adaptado de [Vossen, 2003]).....	56
Quadro 2.10 – Características odoríficas dos principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995]).....	58
Quadro 3.1 – Principais locais de ocorrência de odores e origens mais prováveis (adaptado de [WPCF, 1990]).....	63
Quadro 3.2 – Principais origens de odores e respectivos mecanismos, associados à formação e libertação de odores (adaptado de [Metcalf & Eddy, 2003]).....	66
Quadro 3.3 – Factores específicos de emissão de odores, segundo medições efectuadas em vários pontos e em várias ETAR (adaptado de [Frechen, 2001]).....	72
Quadro 3.4 – Quantificação do potencial odorífico (ou/m <sup>3</sup> ) em alguns dos fluxos odoríficos mais comuns em ETAR (adaptado de [Vincent, 2001; DEFRA, 2003]).....	73
Quadro 3.5 – Emissões de odores numa ETAR municipal típica (adaptado de [DEFRA, 2003].....	74
Quadro 3.6 – Concentrações atmosféricas de compostos odoríficos junto das operações e processos de tratamento potencialmente emissoras de odores (adaptado de [Degremont, 1989]).....	74
Quadro 4.1 – Principais medidas para o controlo de odores em ETAR (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995]).....	76
Quadro 4.2 – Principais tecnologias aplicáveis ao controlo de odores em ETAR, por processo de tratamento enquanto origem de odor (adaptado de [USEPA, 1985; WPCF, 1990]).....	78
Quadro 4.3 – Aspectos gerais de concepção e de exploração das ETAR na óptica da minimização da ocorrência de odores.....	82

Quadro 4.4 – Agentes químicos utilizados na prevenção da ocorrência de odores e respectivos mecanismos, vantagens e desvantagens (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995; Rafson, 1998; Metcalf & Eddy, 2003] .....	84
Quadro 4.5 – Medidas de minimização da ocorrência de odores em alguns dos principais processos de tratamento das fases líquida e sólida numa ETAR (adaptado de Rafson, 1998).....	85
Quadro 4.6 – Critérios gerais para o dimensionamento de condutas de ar odorífico (adaptado de [Rafson, 1998]).....	88
Quadro 4.7 – Valores de renovação horária aplicáveis a diversos locais da ETAR.....	90
Quadro 4.8 – Factores de segurança para dimensionamento da capacidade de ventilação.....	92
Quadro 4.9 – Principais critérios de dimensionamento dos biofiltros (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Boyle, 2001; Metcalf & Eddy, 2003; Iranpour <i>et al.</i> , 2005].....	99
Quadro 4.10 – Eficiências de remoção da biofiltração para alguns dos compostos odoríficos removidos (adaptado de [USEPA, 2000 e 2003; Quigley <i>et al.</i> , 2004; Iranpour <i>et al.</i> , 2005]).....	99
Quadro 4.11 – Principais critérios de dimensionamento da biofiltração humidificada (adaptado de [Koe, 2000; Wu <i>et al.</i> , 2001; USEPA, 2003]).....	101
Quadro 4.12 – Eficiências de remoção da biofiltração humidificada para alguns dos compostos odoríficos removidos (adaptado de [Kanagawa <i>et al.</i> , 2004; Iranpour <i>et al.</i> , 2005]).....	101
Quadro 4.13 – Principais critérios de dimensionamento para os processos de tratamento de ar odorífico por biomassa em suspensão (adaptado de [Hansen and Rindel, 2000; Le Cloirec <i>et al.</i> , 2001]).....	103
Quadro 4.14 – Eficiências de remoção dos processos de biomassa em suspensão para alguns dos compostos odoríficos removidos.....	103
Quadro 4.15 – Principais critérios de dimensionamento dos processos por difusão em reactores com lamas activadas (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Barbosa <i>et al.</i> , 2004]).....	104
Quadro 4.16 – Eficiências do tratamento do ar odorífico por difusão em reactores com biomassa em suspensão (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Bowker, 2000]).....	105
Quadro 4.17 – Principais critérios de dimensionamento das torres de lavagem (adaptado de [Card, 2001]).....	106
Quadro 4.18 – Reagentes químicos comumente utilizados na lavagem do ar e compostos odoríficos que removem (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).....	107
Quadro 4.19 – Reações químicas utilizadas na estimativa dos consumos de reagentes químicos na remoção de compostos odoríficos (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Metcalf & Eddy, 2003]).....	108
Quadro 4.20 – Principais critérios de dimensionamento de torres de lavagem com hidróxido de sódio para a remoção de sulfureto de hidrogénio (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Metcalf & Eddy, 2003]).....	109
Quadro 4.21 – Eficiências da lavagem química com hipoclorito de sódio, num estágio único (adaptado de Metcalf & Eddy, 2003]).....	109
Quadro 4.22 – Principais critérios de dimensionamento dos sistemas de adsorção em carvão activado para tratamento de ar odorífico (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; WSDE, 1998; Turk and Bandosz, 2001]).....	112
Quadro 4.23 – Capacidade de adsorção relativa do carvão activado para vários compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [MECV, 1980]).....	113

Quadro 4.24 – Principais tecnologias aplicadas ao tratamento de ar odorífico em ETAR e resumo das suas principais características, vantagens e desvantagens (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).	117
Quadro 5.1 – Listagem de ETAR com tratamento de ar odorífico em Portugal e no ano de 2004.	120
Quadro 5.2 – Indicação da informação recolhida por ETAR.	122
Quadro 5.3 – Caracterização das ETAR visitadas.	124
Quadro 5.4 – Identificação, por ETAR, das origens do ar a tratar, do caudal envolvido e da tecnologia aplicada na desodorização.	126
Quadro 5.5 – Caracterização do sistema de ventilação, por ETAR.	127
Quadro 5.6 – Caracterização dos processos de desodorização por biofiltração, por ETAR.	130
Quadro 5.7 – Caracterização dos processos de desodorização por absorção e oxidação química, por ETAR.	130
Quadro 5.8 – Caracterização dos processos de desodorização por adsorção em carvão activado, por ETAR.	132
Quadro 5.9 – Informação recolhida sobre o funcionamento do processo de desodorização e ocorrência de odores, por ETAR.	133
Quadro 5.10 – Custos de investimento e de exploração, por ETAR.	135
Quadro 6.1 – Número de órgãos e processos de tratamento existentes nas ETAR visitadas e o respectivo número que é sujeito a desodorização.	138
Quadro 6.2 – Informação recolhida por tecnologia aplicada.	140
Quadro 6.3 – Resumo dos resultados da monitorização efectuada nos 5 casos de estudo, por tecnologia de tratamento de ar odorífico aplicada.	148
Quadro 6.4 – Informação recolhida por tecnologia aplicada.	153



# 1 Introdução

## 1.1 Objectivo e motivação

No decorrer da actividade profissional da autora, onde se inclui o desenvolvimento de projectos de ETAR, surgiu a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a ocorrência, contenção e tratamento de odores em ETAR. O aprofundamento deste conhecimento é fundamental no desempenho das actividades profissionais relacionadas com a concepção e projecto das infraestruturas de saneamento, na medida em que se pretende otimizar soluções e equipamentos em termos de custo-benefício. De facto, a optimização de soluções para um controlo eficiente dos odores nas ETAR constitui uma mais valia para as instalações, contrariando a ideia generalizada de que uma ETAR emite, necessariamente, odores incómodos e deve ser excluída das proximidades da malha urbana.

Com a inscrição neste curso de mestrado e com a selecção do tema da dissertação, a autora pretendeu obter formação e actualizar os seus conhecimentos, permitindo-lhe evoluir na resolução de problemas e implementação de soluções associadas ao desempenho da sua vida profissional.

O gosto pessoal em estudar e aprofundar temas relacionados com processos de tratamento para a protecção do ambiente constitui a motivação principal que fundamentou a elaboração do presente estudo.

A possibilidade de obter dados directamente a partir de ETAR existentes com processos de tratamento de odores constituiu uma motivação adicional, na medida em que proporcionaria o confronto entre o conhecimento teórico e os aspectos práticos das instalações nem sempre abordados na concepção.

## 1.2 Recolha de informação

A elaboração do presente estudo teve como base duas origens de informação, uma primeira de revisão bibliográfica e uma segunda de trabalho de campo.

A revisão bibliográfica pretendeu enquadrar os odores, focando aspectos como caracterização e importância da ocorrência de odores em ETAR, condicionantes relacionadas com a ocorrência de odores, medidas de avaliação e controlo de odores, e incidiu em livros da especialidade, em artigos de revistas científicas ou apresentados em eventos científicos e em documentos regulamentares europeus e norte americanos, entre outros. A consulta da referida bibliografia resultou de elementos disponibilizados em bibliotecas, nomeadamente na biblioteca da HIDROPROJECTO – Engenharia e Gestão, S.A. e na da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, e ainda da pesquisa temática na Internet. O período da revisão bibliográfica incidiu durante todo o período em que decorreu a elaboração do estudo, num esforço contínuo de actualização da informação.

A segunda componente de recolha de informação constituiu no apuramento e caracterização de casos de estudo que reportam a ETAR com processos de tratamento de odores (desodorização) existentes e em funcionamento em Portugal Continental. Para o efeito foi fundamental a colaboração das empresas responsáveis pela exploração das ETAR identificando quais as ETAR passíveis de se enquadrarem no estudo, facultando a visita e na disponibilização de elementos para o preenchimento do inquérito tipo. As visitas ocorreram durante o ano de 2004, nomeadamente em Maio e em Setembro/Outubro, tendo sido possível visitar e recolher informação em cerca de 90% das ETAR apuradas. No entanto, nem sempre foi possível preencher todos os campos do inquérito, nomeadamente os relativos aos custos de investimento e de exploração.

### **1.3 Estrutura do documento**

O presente documento é composto por um único volume que integra o texto principal e dois anexos.

O texto principal apresenta uma estrutura, dividida em duas componentes, a primeira que integra o enquadramento temático, fruto da revisão bibliográfica efectuada, e o segundo que integra o trabalho de campo desenvolvido, a análise dos dados recolhidos, a discussão e conclusões decorrentes do estudo.

No enquadramento temático, elaborado com base na revisão bibliográfica, entendeu-se respeitar uma sequência que respondesse a, na generalidade, o que são os odores, como, quando e porque ocorrem, como se avaliam, que implicações têm a sua ocorrência e como se podem controlar. Deste modo, a informação recolhida com a revisão bibliográfica, é apresentada nos capítulos 2, 3 e 4.

O capítulo 2 corresponde à caracterização e definição dos odores, focando aspectos como a sua importância na interface sociedade e ETAR, a sua origem e natureza, os factores afectam a sua ocorrência, os métodos aplicáveis na sua avaliação e quais as implicações estão associadas à sua ocorrência.

No capítulo 3 são apresentados os mecanismos específicos de emissão de odores associados aos principais órgãos e processos de tratamento da fase líquida e da fase sólida que normalmente integram ETAR com processos intensivos e extensivos.

O capítulo 4 integra a análise das várias componentes associadas ao controlo de odores, nomeadamente, minimização na origem, controlo das emissões por contenção e ventilação das origens, tratamento do ar odorífero e diluição e dispersão atmosférica enquanto infraestruturas de descarga na atmosfera do ar tratado.

O trabalho de campo desenvolvido é apresentado no capítulo 5, onde se especifica a metodologia adoptada e se sistematizam os resultados obtidos.

No capítulo 6 apresenta-se a análise dos resultados obtidos, nas suas múltiplas vertentes, nomeadamente, principais características das ETAR com desodorização, principais origens do ar odorífero enviado a tratamento e que tecnologia é aplicada ao seu tratamento, principais características dos sistemas de ventilação e das linhas de tratamento do ar odorífero, aspectos relacionados com a avaliação do funcionamento e monitorização e, por último, custos de investimento e de exploração afectos à componente de desodorização.

No capítulo 7 efectua-se um cruzamento entre a informação recolhida com o trabalho de campo e o conteúdo da bibliografia da especialidade consultada.

As principais conclusões do estudo são apresentadas no capítulo 8, onde se inclui uma perspectiva de desenvolvimentos futuros, salientando os aspectos que carecem de uma análise mais profunda.

Finalmente são apresentadas as referências bibliográficas consultadas e utilizadas na elaboração do presente documento.

Os anexos são dois, um primeiro (Anexo I) onde é apresentado o inquérito tipo utilizado na recolha de informação e um segundo (Anexo II) onde são compilados os inquéritos efectuados às ETAR visitadas.

## 2 Caracterização dos odores

### 2.1 Definições e enquadramento

De acordo com [WPCF, 1976], o odor é a propriedade de um composto, definida em termos de estrutura química e concentração, que afecta o olfacto, ou seja, é o atributo organoléptico perceptível pelo órgão olfactivo por inalação de compostos voláteis. Estes compostos são referidos como odoríficos, pelo facto de estimularem o olfacto humano por forma a que o odor seja perceptível [EN13725:2003], sendo o odor perceptível quando o composto odorífico possui um peso molecular entre 15 e 300 g/mole e é solúvel em água e em lípidos [EA, 2002].

Por outro lado, a percepção de odores é a tomada de conhecimento dos efeitos de um estímulo sensorial simples ou múltiplo [EN13725:2003], que varia de indivíduo para indivíduo, de acordo com a natureza química dos compostos, a condição física e o historial ambiental e psicológico do indivíduo, não estando linearmente relacionada com a concentração dos compostos odoríficos [Bliss *et al.*, 1996].

De um modo geral, a causa dos odores está associada à presença de compostos odoríficos no ar, em consequência de emissões químicas gasosas [Walsh, 1996], podendo a sensibilidade a um odor ser influenciada por exposições anteriores, através de dois efeitos: fadiga (diminuição da intensidade de percepção do odor em consequência de exposições prolongadas) ou adaptação olfactiva (aumento da capacidade para identificação do odor resultante de exposições repetidas) [Stuetz *et al.*, 2001]. Adicionalmente, a percepção de odores pode ser também reduzida devido à introdução de um segundo composto odorífico (adaptação cruzada) ou porque um composto atinge a intensidade de percepção de outro odor (sinergia), fenómeno que é normalmente restrito a baixas concentrações de odores [MFE, 2003].

A interpretação psicológica do odor, isto é, se um odor é agradável ou desagradável, conduz à avaliação da intensidade do odor e, também, se esse odor está ou não associado a experiências anteriores [Gostelow *et al.*, 2001].

Os odores que causam incómodo estão normalmente associados a ambientes perigosos ou desagradáveis, sendo frequentes em Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (ETAR) e de Lamas de ETAR (ETL) [Stuetz *et al.*, 2001]. Apesar destes odores não constituírem directamente um problema para as populações circundantes das referidas instalações, a sua relação com matéria orgânica em decomposição indica algo que deve ser evitado, pois esta poderá representar um risco para a saúde pública [Cain and Cometto-Muñiz, 2004].

As emissões gasosas das ETAR têm tradicionalmente recebido uma menor atenção comparativamente às emissões da fase líquida (águas residuais) e da fase sólida (lamas), nomeadamente pelo facto das emissões gasosas colocarem, aparentemente, menores riscos para a saúde pública e para o ambiente [Stuetz *et al.*, 2001]. No entanto, a preocupação do público em geral com a libertação de odores de ETAR tem-se revelado um fenómeno crescente dado que, estas emissões gasosas e, em particular, os odores, podem ter um grande impacte na população vizinha de uma ETAR, afectando a sua qualidade de vida, e conduzindo a problemas indirectos como stress psicológico e à degradação da imagem das ETAR junto do público [DEFRA, 2006].

## 2.2 Origem e natureza dos odores

Em ETAR, a origem dos odores é a água residual e as lamas produzidas. Usualmente, os compostos odoríficos são formados durante o transporte e tratamento das águas residuais em consequência da actividade biológica anaeróbia [EN12255-9:2002]. Por outro lado, a ocorrência de compostos odoríficos nas águas residuais pode também ter origem em descargas de efluentes industriais, que contenham compostos odoríficos ou outras características que promovam o estabelecimento de condições anaeróbias [WPCF, 1990]. Deste modo, descargas com elevada temperatura, elevada carga orgânica ou com compostos químicos reduzidos conduzem à diminuição do oxigénio dissolvido e contribuem para o estabelecimento de condições anaeróbias [Metcalf & Eddy, 2003].

Os compostos odoríficos são constituídos moléculas relativamente pequenas e voláteis, de origem inorgânica ou orgânica, sendo neste último caso integrados no grupo dos compostos orgânicos voláteis (COV) [USEPA, 1985]. O odor é definido pelas características químicas e físicas dos compostos odoríficos. Geralmente, a qualidade do odor é associada

ao tipo de ligações químicas e o potencial odorífico é relacionado com o peso molecular, na medida em que quanto menor for o peso molecular do composto maior será a sua volatilidade e conseqüentemente maior será a probabilidade de ser sentido (potencial de percepção de odores) [WEF/ASCE, 1995].

Uma água residual urbana medianamente carregada apresenta uma composição propícia à formação de odores dado que inclui proteínas, hidratos de carbono, óleos e gorduras e ureia [Metcalf & Eddy, 2003] cuja hidrólise, oxidação ou decomposição microbológica podem originar compostos odoríficos [WEF/ASCE, 1995]. Por exemplo, a decomposição anaeróbia de hidratos de carbono conduz a ácidos gordos voláteis (AGV), como sejam o ácido acético e o ácido butírico, e a degradação das proteínas inclui a formação de mercaptanos<sup>1</sup> [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001]. O amoníaco tem a sua principal origem na decomposição da ureia, principal constituinte da urina [Metcalf & Eddy, 2003]. Por outro lado, a água residual contém entre 3 a 6 mg/L de enxofre incorporado na matéria orgânica e cerca de 4 mg/L de sulfatos (derivados de detergentes domésticos) [Vincent, 2001] pelo que os teores em enxofre apresentam-se em quantidade suficiente para promover a formação de odores [WPCF, 1990], nomeadamente através da redução anaeróbia dos sulfatos a sulfuretos [Einarsen *et al.*, 2000].

Numa ETAR, os principais compostos odoríficos incluem o sulfureto de hidrogénio e o amoníaco (compostos inorgânicos) [WPCF, 1990], os COV azotados e sulfurados, como aminas, sulfuretos e mercaptanos [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001], os AGV e aldeídos e cetonas [USEPA, 1985; WEF/ASCE, 1995].

Resumindo e de acordo com [Joher *et al.*, 1996], os compostos odoríficos de ocorrência em ETAR podem ser agrupados em quatro famílias:

- compostos azotados, que incluem o amoníaco, cujo odor é acre e irritante, as aminas cujo odor é característico a peixe ou a peixe em putrefacção, as diaminas são caracterizadas por um odor a decomposição orgânica e os compostos cíclicos azotados caracterizados por um odor fecal;

---

<sup>1</sup> os mercaptanos são compostos análogos aos álcoois (R-OH) com a substituição do oxigénio no radical OH por enxofre (R-SH) e constituem uma forma reduzida dos compostos orgânicos sulfurados [USEPA, 1985], sendo também designados por tióis.

- compostos sulfurados, caracterizados por um odor a ovos podres ou a vegetais em decomposição (couve ou alho);
- AGV, cujo odor avinagrado evolui progressivamente a ranço consoante a cadeia de carbono aumenta;
- aldeídos e cetonas, dos ácidos anteriores e que potenciam odores irritantes, mais intensos à medida que o peso molecular e que a cadeia de carbono aumenta.

De acordo com [Joher *et al.*, 1996; Walsh, 1996; Vincent, 2001], a ocorrência de odores numa ETAR está associada à presença, predominante, dos seguintes compostos:

- amoníaco ( $\text{NH}_3$ );
- sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- mercaptanos, nomeadamente, mercaptano de metilo ( $\text{CH}_3 \text{SH}$ );
- aminas, nomeadamente, metilaminas, etilaminas, escatol e indol;
- ácidos gordos voláteis, como o ácido fórmico, acético e butírico.

Segundo [Parsons *et al.*, 2000] os odores mais intensos produzidos em ETAR estão principalmente associados a compostos sulfurados, como o sulfureto de hidrogénio (que normalmente se apresenta em concentrações mais significativas), mercaptano de metilo, sulfureto de dimetilo e disulfureto de dimetilo, e a compostos azotados, como o amoníaco, as aminas, o indol e escatol.

No quadro seguinte (quadro 2.1) apresentam-se algumas das propriedades químicas e físicas dos principais compostos odoríficos associados a águas residuais urbanas. De salientar que a maioria destes compostos odoríficos apresenta-se na forma de gás em condições normais de pressão [WEF/ASCE, 1995].

Quadro 2.1 – Características dos principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [Sawyer *et al.*, 1994; WEF/ASCE, 1995; Rafson, 1998; Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001; NP1796:2004]).

COMPOSTO	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR (g/mole)	CAS nº <sup>(2)</sup>	DENSIDADE <sup>(3)</sup> (g/m <sup>3</sup> )	PRESSÃO DE VAPOR <sup>(4)</sup> (mm Hg, 25°C)	VOLATILIDADE <sup>(4)</sup> (ppm <sub>v</sub> , 25°C)	PONTO DE EBULIÇÃO <sup>(3) (5)</sup> (°C, 1 atm)	DESCRIÇÃO DO ODORE CARACTERÍSTICO	
Compostos azotados	Amoníaco <sup>(1)</sup>	NH <sub>3</sub>	7664-41-7	-	-	gás	-33,34	Acre, irritante	
	Metilamina	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	74-89-5	1,15	1520,00	gás	-6,4	Peixe em putrefacção	
	Etilamina	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	75-04-7	1,15	1057,35	gás	17,0	Peixe em putrefacção	
	Dimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	124-40-3	1,15	1520,00	gás	7,0	Peixe em putrefacção	
	Trimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	75-50-3	-	-	gás	2,9	Peixe em putrefacção	
	Butilamina	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NH	109-73-9	0,7327	72,00	93 000	77,9	-	
	Dietilamina	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NH	109-89-7	-	192 (20°C)	-	55,5	-	
	Piridina	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	110-86-1	0,978	20,00	27 000	115,0	Pungente (irritante)	
	Indol	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> (CH) <sub>2</sub> NH	117,15	95-13-6	1,220	-	360	254,0	Fecal, repulsivo
	Escatol	C <sub>8</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> NH	131,18	83-34-1	-	-	200	265,0	Fecal, repulsivo
Compostos sulfurados	Sulfureto de hidrogénio <sup>(1)</sup>	H <sub>2</sub> S	7783-06-4	1,41	15200,00	gás	-59,6	Ovos podres	
	Dióxido de enxofre <sup>(1)</sup>	SO <sub>2</sub>	7446-09-5	-	-	gás	-	Pungente (irritante)	
	Sulfureto de dimetilo	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	-	1,26	420,0	830 000	37,0	Vegetais em decomposição	
	Disulfureto de dimetilo	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	-	1,046	29,49	-	110,0	Putrefacção	
	Mercaptano de metilo	CH <sub>3</sub> SH	74-93-1	0,999	1728,82	gás	6,0	Couve ou alho em decomposição	
	Mercaptano de etilo	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	75-08-1	-	-	710 000	35,0	Couve em decomposição	
	Mercaptano de n-propilo	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> SH	-	-	-	220 000	-	Pútrido	
	Mercaptano de n-butilo	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> SH	109-79-5	-	-	-	-	-	
	Mercaptano de fenilo	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SH	110,18	108-98-5	-	-	-	Alhos em decomposição	

## Caracterização dos odores

COMPOSTO		FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR (g/mole)	CAS nº <sup>(2)</sup>	DENSIDADE <sup>(3)</sup> (g/m <sup>3</sup> )	PRESSÃO DE VAPOR <sup>(4)</sup> (mm Hg, 25°C)	VOLATILIDADE <sup>(4)</sup> (ppm <sub>v</sub> , 25°C)	PONTO DE EBULIÇÃO <sup>(3) (5)</sup> (°C, 1 atm)	DESCRIÇÃO DO ODORE CARACTERÍSTICO
Ácidos gordos voláteis (AGV)	Fórmico	H COOH	46,03	64-18-6	1,22	42,00	-	100,7	-
	Acético	CH <sub>3</sub> COOH	60,05	64-19-7	1,05	15,40	-	118,0	Vinagre
	Propiónico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	74,08	79-09-4	0,97	10,00	-	-	-
	Butírico	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	88,11	107-92-6	0,97	0,84	-	162,0	Ranço
	Valérico	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> COOH	102,13	109-52-4	-	-	-	185,0	Suor
Aldeídos e Cetonas	Folmaldeído	HCHO	30,03	50-00-0	0,97	3500,0	gás	-14,0	-
	Acetaldeído	CH <sub>3</sub> CHO	44,05	75-07-0	0,788	870,0	gás	21,0	Pungente (irritante); afrutado
	Butiraldeído	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CHO	72,11	123-72-8	0,97	0,14	-	76,0	Suor, ranço
	Acetona	CH <sub>3</sub> CO CH <sub>3</sub>	58,08	67-64-1	0,79	266,0	-	56,0	Frutado
	Butanona	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CO CH <sub>3</sub>	72,11	78-93-3	-	-	-	80,0	Maça verde

Notas: (1) os compostos assinalados são compostos inorgânicos, sendo os restantes orgânicos.

(2) *Chemical Abstract Service Registry Number*.

(3) adaptado de [Rafson, 1998].

(4) adaptado de [WEF/ASCE, 1995].

(5) adaptado de [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001].

## 2.3 Factores limitantes da ocorrência de odores

### 2.3.1 Transferência de compostos entre as fases líquida e gasosa

A ocorrência de odores está directamente relacionada com a presença de compostos odoríficos na fase líquida e com a transferência desses compostos da fase líquida para a fase gasosa [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001]. Quando os compostos se mantêm na fase líquida (água residual) são posteriormente oxidados, por via química ou biológica, a compostos potencialmente menos odoríficos [Vincent, 2001]. Em ETAR, os principais mecanismos associados à transferência dos compostos entre as fases líquida-gasosa incluem a volatilização e a lavagem (“gas stripping”, na terminologia anglo saxónica) [Metcalf & Eddy, 2003]. A volatilização designa o processo de libertação de compostos dissolvidos a partir de uma superfície líquida para a atmosfera [WEF/ASCE, 1995] enquanto que a lavagem designa o processo de transferência devido à introdução de um gás num líquido [Sawyer *et al.*, 1994].

Em qualquer dos casos, a transferência de compostos entre a fase líquida e a fase gasosa é função da concentração desse composto em cada fase relativamente à concentração de equilíbrio entre as fases e, no caso da dissolução de gases, é definida pela Lei de Henry [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001], segundo a qual, em condições PTN<sup>2</sup> e a temperatura contante, a concentração de um gás dissolvido num dado volume de líquido é directamente proporcional à pressão parcial desse gás na atmosfera acima da superfície do líquido, e, de acordo com a seguinte expressão [Sander, 1999]:

$$C_A = H_A p_A \quad \text{(Equação 2.1)}$$

Onde,

$C_A$  – concentração molar do composto A na fase líquida, em equilíbrio (mole/m<sup>3</sup>)

$H_A$  – constante da Lei de Henry para o composto A (mole/(m<sup>3</sup>.Pa))

$p_A$  – pressão parcial do composto A na fase gasosa sobre a superfície do líquido (Pa)

<sup>2</sup> Condição de Pressão e Temperatura Normal (1 atmosfera e 0°C).

Em [Sander, 1999] são apresentados valores da constante da Lei de Henry para vários compostos. A pressão parcial de um composto gasoso (definida pela Lei de Dalton das pressões parciais) é proporcional à quantidade (em percentagem volumétrica) desse gás na mistura gasosa e é igual à pressão que esse gás exerceria se fosse o único ocupante do volume disponível para a mistura [Sawyer *et al.*, 1994].

Deste modo, a transferência entre as fases é tanto maior quanto mais afastada do equilíbrio estiver a concentração numa das fases [Sawyer *et al.*, 1994], sendo afectada pela composição e concentração dos compostos na fase líquida e pela pressão parcial dos compostos na fase gasosa. Por outro lado, parâmetros como oxigénio dissolvido, pH e temperatura da água residual, bem como, as características do escoamento da água residual (regime e gradiente de velocidade) apresentam implicações na composição da água residual e na transferência de compostos entre as referidas fases [WEF/ASCE, 1995]. No sistema de drenagem, a ventilação e o estabelecimento de processos químicos e microbiológicos na água residual e nas paredes dos colectores são aspectos acrescidos que influenciam a maior ou menor quantidade de compostos odoríferos presentes na atmosfera dos colectores, conseqüentemente, na obra de entrada de uma ETAR [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001].

### 2.3.2 Composição da água residual

A composição da água residual é um dos factores impulsionadores ou limitantes da ocorrência de odores dado que a presença de compostos odoríferos em solução resulta da composição original da água residual, das alterações químicas e bioquímicas que tenham ocorrido durante o seu transporte e o processo de tratamento [Vincent, 2001].

Deste modo, uma água residual urbana pode apresentar vários compostos odoríferos em solução, resumindo-se no quadro seguinte alguns intervalos de concentrações para alguns compostos odoríferos.

Quadro 2.2 – Concentrações para alguns compostos odoríficos presentes numa água residual urbana (adaptado de [Hvitved-Jacobsen and Volertsen, 2001]).

COMPOSTO	INTERVALO DAS CONCENTRAÇÕES ( $\mu\text{g/L}$ )	CONCENTRAÇÃO MÉDIA ( $\mu\text{g/L}$ )
Dimetilamina	-	210
Trimetilamina	-	78
Indol	-	570
Escatol	-	700
Sulfureto de hidrogénio	15 – 40	24
Sulfureto de dimetilo	3 – 30	11
Disulfureto de dimetilo	30 – 80	53
Mercaptano de metilo	11 – 322	148

Quando existentes em solução, os compostos odoríficos têm tendência para serem libertados para a atmosfera no sentido de ser estabelecido o equilíbrio entre as concentrações na fase líquida e na fase gasosa, respeitando a Lei de Henry, conforme descrito anteriormente. Dado que se conhece a constante de Henry para a generalidade dos compostos solúveis, a relação dada pela Lei de Henry revela-se útil na estimativa da concentração dos compostos nas emissões gasosas a partir de um líquido [WEF/ASCE, 1995].

### 2.3.3 Oxigénio Dissolvido

O teor em oxigénio dissolvido na água residual é um parâmetro limitante para o estabelecimento de condições anaeróbias com implicações no tipo de compostos gasosos que surge nas redes de drenagem, na medida em que, se existe oxigénio disponível, a biodegradação ocorre através de processos aeróbios e os compostos libertados são, predominantemente, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Por outro lado, se não existe oxigénio disponível, predominam os processos anaeróbios de biodegradação e os compostos libertados são, fundamentalmente, o sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ) [WEF/ASCE, 1995].

A disponibilidade em oxigénio é influenciada pelas características do sistema de drenagem. A concepção de sistemas de pequena dimensão conduz a que o escoamento se

faça num regime mais turbulento e com maior velocidade, condições que contrariam o estabelecimento de condições anaeróbias e favorecem as trocas entre a água residual e a atmosfera no interior do colector [USEPA, 1985]. Deste modo, os sistemas de drenagem mais pequenos apresentam um menor potencial para a formação e libertação de compostos odoríficos do que os grandes sistemas interceptores [WPCF, 1990].

### 2.3.4 pH

O pH da água residual é outro dos parâmetros que afecta a libertação de compostos odoríficos e o potencial odorífico de uma dada água residual [WEF/ASCE, 1995]. De um modo geral, quando o pH da água residual é superior a 7,0 são libertados para a atmosfera os compostos odoríficos mais voláteis a partir de meios alcalinos, como o amoníaco e as aminas, enquanto que quando o pH é inferior a 7,0 os compostos libertados são aqueles mais voláteis a partir de meios ácidos, como o sulfureto de hidrogénio e os mercaptanos.

Deste modo, numa água residual com valores de pH acima de 7,5 os sulfuretos mantêm-se em solução enquanto que abaixo daquele valor os sulfuretos libertam-se na sua forma gasosa. Por outro lado, quando a água residual apresenta um pH abaixo de 9,0 o amoníaco mantêm-se em solução, enquanto que se o valor de pH for superior a 9,0 o amoníaco dissolvido converte-se na sua forma gasosa [WPCF, 1990].

### 2.3.5 Temperatura

A água residual urbana é, frequentemente, uma mistura de água residual de origem doméstica e industrial, inúmeras vezes diluída com água subterrânea proveniente de infiltrações ou, também, com água superficial no caso de redes unitárias ou pseudo-separativas [Vincent, 2001]. Em consequência destes fenómenos ocorre uma diminuição da temperatura que, por sua vez, promove uma diminuição da actividade microbiológica, minimizando o estabelecimento de condições anaeróbias e a produção de compostos odoríficos. Deste modo, em águas residuais com temperaturas entre 10°C e 16°C a produção e libertação de odores é menos provável do que em águas residuais com

temperaturas superiores, pelo que é importante o controlo de descargas de efluentes com temperaturas elevadas [WPCF, 1990].

A medição da temperatura da água residual fornece uma indicação da volatilidade relativa dos compostos em solução, dado que a pressão de vapor dos compostos voláteis aumenta com o aumento da temperatura [Morton and Tudman, 2002].

### **2.3.6 Características do escoamento das águas residuais**

A drenagem das águas residuais na ETAR é caracterizada por infraestruturas que aumentam o gradiente de velocidade, como sejam mudanças de direcção, quedas acentuadas e descarregadores, tendo repercussões no regime de turbulência do escoamento. Quanto mais turbulento for o regime de escoamento, maior é a interface entre o líquido e a atmosfera, potenciando a transferência de compostos entre estas duas fases (líquida e gasosa). Por outro lado, a transferência será tanto maior quanto maior for a diferença entre a concentração dos compostos na fase líquida e na fase gasosa [Morton, 2002].

Deste modo, um regime de escoamento turbulento constitui, por um lado, um aspecto positivo dado que favorece o fornecimento de oxigénio à água residual e contraria o estabelecimento de condições anaeróbias e, por outro lado, um aspecto negativo dado que favorece a libertação de compostos odoríficos para a atmosfera. A libertação de quantidades significativas de compostos odoríficos para a atmosfera decorre da sua existência em solução, pelo que, nestas circunstâncias é frequente adoptar medidas de dissipação da energia do escoamento, incluindo tubagens de entrada a cota geométrica inferior à superfície livre do líquido e transições hidráulicas suaves [WEF/ASCE, 1995].

### **2.3.7 Resumo dos factores limitantes da ocorrência de odores**

No quadro seguinte resumem-se os principais factores limitantes da produção de compostos odoríficos na água residual e da sua libertação da água residual para a atmosfera.

Quadro 2.3 – Resumo dos principais factores que afectam a ocorrência de odores.

FACTORES	PRODUÇÃO E LIBERTAÇÃO DE COMPOSTOS ODORÍFICOS	
	AUMENTA	DIMINUI
Dimensão do sistema de drenagem	grande	pequeno
Regime de escoamento e interface líquido-gás	turbulento e na presença de concentrações elevadas de compostos odoríficos	tubulento e na presença de concentrações reduzidas de compostos odoríficos
Composição da água residual	concentrações elevadas e com compostos reduzidos	concentrações reduzidas e compostos oxidados
Oxigénio dissolvido	indisponível	disponível
pH		
• amoníaco, aminas e outros compostos orgânicos voláteis a partir de meios alcalinos	pH > 9,0	-
• sulfureto de hidrogénio, mercaptanos e ácidos orgânicos voláteis – compostos voláteis a partir de meios ácidos	pH < 7,0	-
Temperatura	> 16 °C	< 16 °C

## 2.4 Avaliação do odor

### 2.4.1 Considerações gerais

O crescente nível de urbanização e a consequente ocupação do espaço implica que a ETAR se localize nas proximidades ou mesmo integrada em zonas urbanas habitacionais [Koe, 2002]. Este fenómeno torna imperativo o estabelecimento de meios de redução do incómodo dos odores na comunidade [Morton and Tudman, 2002], através da aplicação de tecnologias de controlo de odores seleccionadas em função da dimensão do problema que, por sua vez, é definida por avaliação do odor [Frechen, 2002].

A avaliação do odor integra a quantificação de compostos odoríficos presentes no ar, recorrendo a métodos analíticos, e a quantificação do odor, recorrendo a métodos sensoriais [WPCF, 1990; Metcalf & Eddy, 2003].

Deste modo, a resolução da generalidade dos problemas associados à presença de odores envolve a amostragem da fonte emissora e a avaliação das amostras gasosas para identificação e caracterização dos odores [WPCF, 1990] e, ou para análise das espécies

químicas presentes na amostra [Rafson, 1998]. Por outro lado, dependendo do tipo de fonte emissora e da sua acessibilidade, as medições podem ser directas (amostragem junto ao plano de água, ao descarregador, saídas de ventiladores e de chaminés) ou indirectas (amostragem do ar atmosférico a jusante – no sentido do vento dominante – da fonte emissora e a utilização de modelos matemáticos para estimar a taxa de emissão na fonte) [Frechen, 2002; Morton and Tudman, 2002].

Os métodos analíticos incluem a avaliação no local e a avaliação em laboratório. A avaliação no local pode ser concretizada através de equipamento de medição em contínuo ou pontual recorrendo a instrumentos fixos ou portáteis, para um ou mais compostos químicos. Por outro lado, a avaliação em laboratório inclui a aplicação de cromatografia gasosa e de espectrometria de massa, implicando a recolha de amostras na fonte e o seu transporte até ao laboratório. O tipo de metodologia de amostragem empregue depende do tipo de análise a efectuar sobre a amostra e da concentração necessária à obtenção de resultados representativos. No caso de a análise incluir a espectrometria de massa é usualmente necessário providenciar amostras concentradas, dado que os compostos odoríficos encontram-se normalmente em concentrações abaixo do limite de detecção deste tipo de aparelhos (da ordem de partes por bilião) [WPCF, 1990; Rafson, 1998].

Os métodos sensoriais baseiam-se no efeito da percepção do composto odorífico pelo sistema olfactivo humano [Gostelow and Parsons, 2000] e recorrem a pessoas (assessores humanos) para avaliar e caracterizar a resposta humana à presença de compostos químicos odoríficos no ar inalado. De acordo com estes métodos é possível avaliar o odor através dos seguintes parâmetros: detectabilidade (concentração limite de detecção); intensidade (percepção do odor ou concentração limite de reconhecimento); tom hedónico (grau de agradabilidade ou desagradabilidade); qualidade; e potencial para o incómodo [Sneath, 2001; Jones, 2002]. A determinação de cada um destes parâmetros resulta da aplicação de diferentes metodologias, correspondendo a mais comum à medição da concentração do odor (detecção) através de olfactometria. A olfactometria mede a concentração de compostos odoríficos expressa em unidades de odor por metro cúbico de ar (ou/m<sup>3</sup>) [Jones, 2002] tendo por base a recolha de amostras e a posterior preparação de várias diluições para inalação por um conjunto de assessores humanos [WPCF, 1990].

Cada composto odorífico possui um odor característico e uma concentração limite de detecção, o que significa que dois compostos odoríficos presentes à mesma concentração podem ter impactos de odor diferentes [Brewer and Cadwallader, 2002], sendo frequente

que os odores emitidos em ETAR sejam compostos por uma mistura de diferentes compostos odoríficos, em diferentes concentrações [WEF/ASCE, 1995]. Estes factos conduzem a que os métodos sensoriais e analíticos sejam considerados complementares na avaliação do odor. Os métodos sensoriais aplicam-se quando se pretende avaliar o odor e potencial incómodo enquanto que os métodos analíticos aplicam-se quando se pretende avaliar a formação dos compostos odoríficos, o modo como são emitidos ou como podem ser controlados [Gostelow and Parsons, 2001].

### 2.4.2 Tipologia das fontes emissoras de odores

Uma fonte pontual é uma origem estacionária discreta de emissão de compostos gasosos para a atmosfera, da qual se conhece o caudal de ar e as dimensões da secção de saída, [EN13725:2003] sendo materializada em chaminés e saídas de ventiladores [Frechen, 2000].

Complementarmente, uma fonte superficial é uma origem estacionária de emissão de compostos gasosos para a atmosfera através de superfícies líquidas ou sólidas, expostas ao ar livre. Numa ETAR, as fontes superficiais relativamente às quais não se conhece exactamente o caudal de ar emitido incluem decantadores primários, reactores de lamas activadas com arejadores de superfície e lamas desidratadas armazenadas em contentores ou pilhas. Por outro lado, os reactores com insuflação de ar constituem uma fonte superficial com um caudal de ar definido [Jiang and Kaye, 2001].

De acordo com [EN13725:2003], são ainda definidos mais dois conceitos relativos a fontes emissoras:

- fonte difusa, uma origem com dimensões definidas (maioritariamente fontes superficiais) que não possuem um caudal de ar contaminado definido, como é o caso de depósitos de resíduos, lagoas e pilhas de composto não arejado;
- fonte fugitiva, uma origem difícil de identificar que liberta quantidades de compostos odoríficos não definidas como, por exemplo, fugas de válvulas, de flanges e de aberturas de ventilação passiva.

A amostragem de fontes pontuais, envolve a medição da secção transversal ao escoamento, da velocidade do escoamento do gás e a recolha de amostras para avaliação. Dada a natureza simples deste tipo de amostragem, sempre que possível, é desejável converter uma fonte emissora superficial numa fonte emissora pontual através por exemplo da colocação de coberturas com uma única saída, em tubagem [Morton and Tudman, 2002].

### **2.4.3 Amostragem**

A amostragem define o processo de selecção de amostras estatisticamente representativas de uma população ou grupo a avaliar que, no presente contexto, diz respeito à recolha de amostras gasosas contendo compostos odoríficos, representativas da massa de ar contaminado que se pretende avaliar. A definição das metodologias de amostragem, dos equipamentos e dos materiais a utilizar são objecto da Norma Europeia EN 13725:2003.

A metodologia de amostragem tem como principais requisitos a não alteração das características e a representatividade da fonte emissora e a preservação da amostra até análise posterior [Sneath and Clarkson, 2000]. Deste modo, a selecção da metodologia de amostragem deverá ter em consideração os seguintes aspectos [EPA, 2001]:

- natureza dos compostos odoríficos;
- tipo de fonte emissora;
- caudal de ar emitido pela fonte;
- propósito da medição;
- tipo de avaliação a que será sujeita a amostra.

O método a utilizar na avaliação da amostra e a composição expectável condiciona o tipo de amostra a recolher, uma vez que alguns métodos requerem amostras concentradas de forma a abranger os limites de detecção para determinado composto [EPA, 2001]. De um modo geral, as amostras para avaliações analíticas são concentradas, enquanto que para as avaliações sensoriais não necessitam de ser concentradas [WPCF, 1990].

## Caracterização dos odores

---

De acordo com [Rafson, 1998], as técnicas de amostragem podem ser classificadas em duas categorias, designadas por técnica de captura e técnica de concentração, cujas principais características se apresentam no quadro seguinte.

Quadro 2.4 – Caracterização sumária das técnicas de amostragem (adaptado de [Rafson, 1998]).

CARACTERÍSTICAS	TÉCNICA DE CAPTURA	TÉCNICA DE CONCENTRAÇÃO
Caracterização sumária	captam a amostra conforme existe no ponto onde é recolhida a amostra	recolhem os compostos odoríficos, através da passagem em meios adsorventes
Adequação	fontes estáveis, com elevadas pressões de vapor à temperatura ambiente	conhecimento da composição, por forma a seleccionar o meio adsorvente adequado
Recipientes	plástico inerte flexível; aço; vidro	polímeros porosos; líquido de lavagem
Possibilidade de recolher amostras de grande dimensão	sim	não
Possibilidade de concentrar a amostra, sem afectar a concentração relativa	não	sim
Interacção entre compostos químicos		
• na amostra	sim	não
• entre a amostra e o recipiente	sim	sim, propositadamente

### 2.4.4 Medição analítica

A medição analítica refere-se às propriedades físicas e químicas dos compostos odoríficos, sendo a medição mais comum a determinação da concentração do composto odorífico. A medição analítica tem como vantagens a objectividade, reprodutibilidade, precisão e fiabilidade, estabelecendo uma relação directa com os modelos teóricos de formação e emissão de odores [Gostelow and Parsons, 2000]. Deste modo, as medições analíticas constituem um instrumento no apoio à selecção e ao dimensionamento das unidades de tratamento de ar odorífico [EN12255-9:2002].

Os odores emitidos a partir de águas residuais são constituídos por uma mistura de muitos compostos odoríficos e os métodos analíticos capazes de identificar e quantificar a maioria daqueles compostos incluem o recurso à cromatografia gasosa, através da qual os compostos químicos são separados com base na sua volatilidade [WEF/ASCE, 1995],

possibilitando a identificação qualitativa e a respectiva quantificação relativa dos compostos presentes na amostra. Quando se pretende identificar com maior precisão os compostos individuais presentes presentes na amostra, complementa-se a análise com espectrometria de massa [Rafson, 1998].

Em [Rafson, 1998] encontram-se identificados e descritos vários métodos analíticos de determinação de compostos gasosos, quer recorrendo a instrumentos portáteis quer recorrendo a análises laboratoriais.

#### **2.4.5 Medição sensorial**

A medição sensorial do odor utiliza assessores humanos para avaliar a resposta ao estímulo olfativo, sendo também designada por olfactometria [EN13725:2003]. A olfactometria pode ser efectuada através de instrumentos designados por olfactómetros [Jones, 2002], caracterizados por diluírem uma amostra de ar odorífico em gás neutro, em diferentes relações amostra/neutro, e por canalizarem essa amostra até ao avaliador [EN13725:2003].

Os olfactómetros podem ser instrumentos portáteis ou de laboratório [Newby and McGinley, 2004] de diluição dinâmica ou estática [WEF/ASCE, 1995; Stuetz and Fenner, 2001]. Os olfactómetros portáteis diluem dinamicamente o ar ambiente (eventualmente odorífico) com ar filtrado em carvão, em razões definidas e variáveis, designadas por diluições para detecção, canalizando-as para a saída para inalação [McGinley and McGinley, 2004].

Os olfactómetros de laboratório podem possuir 1, 4 ou 8 locais para inalação, em que cada local para inalação pode ser caracterizado por possuir uma única saída por lugar ou por duas saídas por lugar [Frechen, 2002]. No caso de haver uma saída da amostra por lugar aplica-se o método correspondente à “escolha forçada”, no qual o avaliador é questionado se detecta a presença ou a ausência de odor naquela saída. Por outro lado, se houver duas saídas por lugar, o método a aplicar corresponde também à “escolha forçada”, na variante em que o avaliador é questionado sobre qual a saída com a amostra odorífica, sendo que uma das duas é o branco ou neutro [Lin *et al.*, 2000]. Os referidos métodos de avaliação encontram-se normalizados na Norma Europeia EN13725:2003.

A selecção do tipo de olfactómetro a utilizar depende de vários factores, salientando-se que existe uma baixa correlação entre as amostras sujeitas a olfactometria em laboratório e a olfactometria portátil com analistas qualificados, dado que apenas esta última metodologia possibilita a identificação dos teores máximos de odor, de ocorrência instantânea no próprio local que são anulados com a recolha de amostras para as análises em laboratório [Zhang *et al.*, 2002].

Como já foi anteriormente referido, a resposta humana à presença de odores pode ser avaliada através de cinco parâmetros: detectabilidade; intensidade; tom hedónico; qualidade; e potencial para o incómodo.

A detectabilidade do odor refere-se à concentração limite de detecção do odor, e corresponde à concentração mínima de compostos odoríferos à qual o olfacto humano é capaz de detectar a sensação de odor [WPCF, 1990]. Trata-se do único parâmetro de qualificação do odor que pode ser traduzido numa percepção objectiva [Sneath, 2001].

A intensidade do odor traduz a concentração limite de reconhecimento do odor e refere-se ao grau de intensidade ou magnitude da percepção do odor [EPA, 2001], uma vez que para todos os sentidos humanos, incluindo o olfacto, existe uma relação entre a magnitude do sentir e a intensidade do estímulo [Sneath, 2001].

O tom hedónico é uma medida relativa da agradabilidade ou desagradabilidade de uma amostra com compostos odoríferos [EPA, 2001; Sneath, 2001].

A qualidade do odor é um atributo qualitativo do odor e é expressa por descritores (palavras que descrevem ao que é que a amostra cheira) [EPA, 2001], sendo recomendável que a determinação deste parâmetro se faça com concentrações de odor próximas das concentrações limite de detecção [Sneath, 2001].

Por último, o potencial para o incómodo é um atributo recentemente proposto para quantificar a propensão de um odor para causar incómodo numa população bem definida, quando exposta a esse odor intermitentemente e durante um longo período de tempo [EPA, 2001]. Os factores que influenciam este parâmetro incluem o tom hedónico do odor, a concentração do odor, a intensidade do odor, a qualidade do odor e as características da exposição dependentes do tempo de exposição, como o período, a frequência e a duração da exposição [McIntyre, 2000; Both *et al.*, 2004].

Na figura 2.1 apresenta-se um diagrama dos parâmetros determinados na avaliação do odor, consoante se pretende uma medição da emissão ou dos efeitos da emissão (medição do impacto), com identificação do tipo de resultado que se obtém em cada determinação.

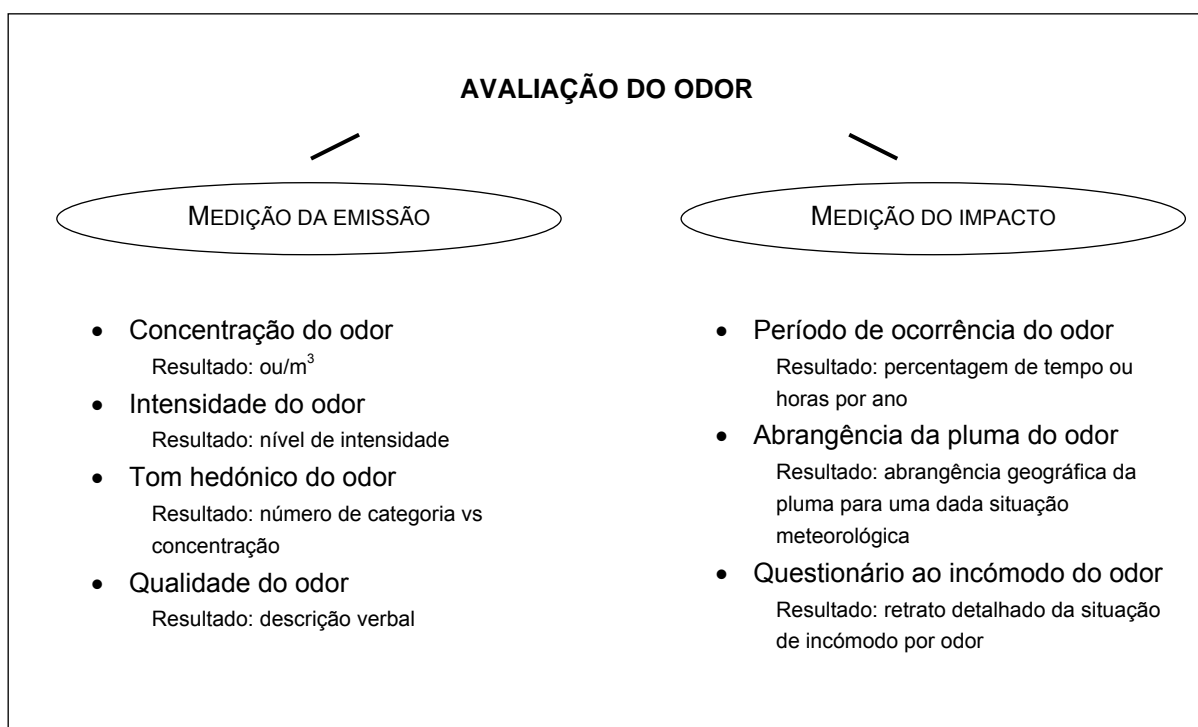


Figura 2.1 – Parâmetros para a avaliação do odor (adaptado de [Frechen, 2000]).

A determinação de cada parâmetro implica a utilização de metodologias próprias, que têm sido desenvolvidas por forma a que as medições resultantes sejam objectivas, reprodutíveis e quantificáveis e possam ser utilizadas para efectuar comparações entre odores de diferentes fontes [Sneath, 2001].

Deste modo, para a avaliação do parâmetro “concentração do odor” ou “detectabilidade do odor” pode-se recorrer à metodologia apresentada na Norma Europeia EN 13725:2003 “Air Quality – determination of odour concentration by dynamic olfactometry” [EN13725:2003] ou a outras metodologias descritas em:

- ASTM E679-91, “Standard Practice for the Determination of Odor and Taste Threshold by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Methods of Limits”, American Society for Testing and Materials (ASTM) [Rafson, 1998].

- AFNOR:1986, “Determination of the dilution factor at the perception threshold”, Norme Française NF X 43-101.
- NVN2820:1990, “Provisional Standard: Air quality. Sensory Odour Measurement using an Olfactometer, NEN Netherlands Normalization Institute [Van Harreveld, 2004].
- VDI 3881:1986, part 1, “Olfactometry – odour threshold determination”, Germany [Frechen, 2004].

No que respeita à determinação do parâmetro “concentração do odor” as referidas metodologias desenvolvidas e normalizadas em alguns países da Europa, consideram-se substituídas pela metodologia descrita na Norma Europeia EN13725:2003 [Frechen, 2004].

Segundo a Norma Europeia EN13725:2003, a determinação da concentração do odor numa amostra gasosa com compostos odoríficos é efectuada através da apresentação dessa amostra a um júri (conjunto de assessores humanos devidamente treinados e seleccionados pela sua sensibilidade específica ao odor de referência: o n-butanol segundo o CAS N. 71-36-3), variando a concentração por diluição com gás neutro, por forma a determinar o factor de diluição que promove uma resposta psicológica em 50% do júri ( $D_{50}$ ), ou seja, é o factor de diluição a que corresponde uma probabilidade de 50% de ser detectado. A esse factor de diluição, a concentração de odor corresponde a uma unidade de odor Europeia por metro cúbico de ar ( $ou_E/m^3$ )<sup>3</sup> e equivale à concentração de limite de detecção do odor na amostra.

A concentração do odor na amostra original é então expressa em múltiplos (iguais ao factor de diluição para  $D_{50}$ ) de uma unidade de odor Europeia por metro cúbico, em condições normais para olfactometria [Jones, 2002; EN13725:2003]. A mesma norma, define a unidade “European Reference Odour Mass” (EROM) estabelecendo a relação entre  $ou_E/m^3$  e  $ppm_v$ , que para o material de referência significa  $1 ou_E/m^3 \equiv 40 ppm_v$  n-butanol [Van Harreveld, 2004].

Por outro lado, a avaliação do parâmetro “intensidade do odor” baseia-se em métodos de estimativa por categoria, ou seja, após determinada a concentração do odor na amostra,

---

<sup>3</sup> Se o “E” em subíndice da unidade for omitido então o resultado é de origem anterior à Norma Europeia EN13725:2003 [Frechen, 2004].

o grupo de diluições com concentrações acima da concentração de limite de detecção é apresentada numa ordem aleatória ao júri que terá de indicar a sua percepção da intensidade segundo uma escala [Sneath, 2001]. Esta escala, de acordo com [Frechen, 2000; Sneath, 2001] pode ser a seguinte: 0 sem odor perceptível; 1 odor muito ténue; 2 odor ténue; 3 odor nítido, 4 odor intenso; 5 odor muito intenso; 6 odor extremamente intenso. Os resultados são posteriormente tratados de forma a obter as constantes da regressão linear com base na Lei de Fechner<sup>4</sup>. A determinação do parâmetro “intensidade do odor” pode seguir as metodologias definidas nos seguintes documentos normativos:

- ASTM E544-99, “Standard Practice for Referencing Suprathreshold Odor Intensity” American Society for Testing and Materials (ASTM) [Newby and McGinley, 2004]
- VDI 3882:1992, part 1, “Olfactometry – determination of odour intensity”, Germany [Frechen, 2004].

A avaliação do parâmetro “tom hedónico do odor” respeita metodologias de determinação semelhantes às descritas para a determinação da intensidade do odor, uma vez que é solicitado ao júri que pontue a sua percepção do odor numa escala [Sneath, 2001], que vai de “extremamente desagradável” (a que corresponde um número) a “extremamente agradável” (a que corresponde o número oposto na escala) [Frechen, 2001]. [Sneath, 2001] recomenda que a escala seja de 1 a 5, numa gama de concentrações de odor acima da concentração limite de detecção enquanto que [Frechen, 2001] refere a escala de -4 a +4. A determinação do parâmetro “tom hedónico do odor” pode respeitar o seguinte documento normativo, de origem Alemã:

- VDI 3882:1994, part 2, “Olfactometry – Determination of hedonic odour tone”, Germany [Frechen, 2004].

O método de determinação do parâmetro “qualidade do odor” passa por solicitar ao júri que, após inalarem a amostra diluída, indiquem a partir de uma lista de descritores de odor pré-definida qual o descritor que mais se aproxima da sua percepção do odor, ou seja aqueles que melhor descrevem o cheiro da amostra. A lista de descritores pode ser constituída por termos como: águas residuais, peixe, ovos podres, vegetais em

---

<sup>4</sup> A sensação cresce com o logaritmo do estímulo e é dada pela expressão  $\Delta E/E = K$  ou  $S = K \log E$ , onde  $\Delta E$  - incremento de estímulo,  $K$  - constante,  $E$  - magnitude do estímulo padrão,  $S$  - sensação [Azevedo, 1992].

decomposição; lixívia, terra, composto, ou outros e os resultados obtidos são apresentados como um histograma das respostas do júri [Sneath, 2001].

A determinação deste parâmetro pode ser bastante útil no controlo dos odores junto da comunidade, uma vez que a cada descritor está associada uma ou um grupo de actividades industriais características, e os resultados desta determinação podem apontar para as fontes mais prováveis do problema de odor [Rafson, 1998]. Este mesmo autor, refere uma publicação de Dravnieks, intitulada “Atlas of Odor Character Profiles” para a ASTM, em 1985, onde são qualificados 180 compostos odoríficos utilizando uma escala de 146 descritores.

Por último, o parâmetro “incómodo do odor” na população vizinha pode ser avaliado recorrendo a questionários, segundo metodologia indicada em:

- VDI 3883:1993, part 2, “Effects and assessment of odours – Determination of annoyance parameters by questioning”, Germany [Frechen, 2000].

### 2.4.6 Métodos sensoriais artificiais

A avaliação do odor recorrendo a métodos e instrumentos sensoriais artificiais recai, principalmente, no designado “Nariz Electrónico”, tratando-se de sistemas de avaliação do odor capazes de caracterizar o odor sem referência à sua composição química [Stuetz and Fenner, 2001]. O nariz electrónico é constituído por um conjunto de receptores químicos electrónicos capazes de detectar compostos químicos voláteis ou categorias de compostos químicos e que através de uma base de dados utiliza essa informação para prever as correspondentes propriedades sensoriais [Brewer and Cadwallader, 2002]. Este tipo de sistema sensorial artificial, segundo [Pelosi and Persaud, 2000], requer duas contribuições principais:

- sensores não selectivos, capazes de interagir com os compostos químicos gasificados, gerando impulsos eléctricos; e
- métodos de recolha e interpretação dos impulsos eléctricos emitidos pelos sensores.

Os sensores utilizados podem ser de origem: inorgânica, como óxidos metálicos semicondutores, orgânica, como polímeros condutores, [Pelosi and Persaud, 2000] ou biológica, como proteínas e enzimas [Lin *et al.*, 2000], e caracterizam-se por reagirem rapidamente com os compostos químicos, de uma forma reversível e não específica, resultando em impulsos eléctricos que são convertidos num sinal recorrendo ao processador de um computador [Brewer and Cadwallader, 2002]. Esses sinais permitem obter uma impressão digital do odor através da sua comparação com uma base de dados [Stuetz and Fenner, 2001].

#### 2.4.7 Medição da fase líquida

A medição da fase líquida inclui a caracterização de uma água residual de forma a apurar o respectivo potencial para a emissão de odores [WEF/ASCE, 1995], indicar o tipo de compostos odoríficos em solução, identificar os potenciais mecanismos de produção e de libertação de odores [USEPA, 1985] e possibilitar a validação dos resultados das medições na fase gasosa [Morton and Tudman, 2002].

Os principais parâmetros de interesse para a caracterização da água residual, enquanto potencial fonte emissora de odor, são apresentados no quadro seguinte.

Quadro 2.5 – Parâmetros de interesse para a medição da fase líquida (adaptado de [USEPA, 1985; WEF/ASCE, 1995; Morton and Tudman, 2002].

PARÂMETRO	TIPO DE COMPOSTOS ODORÍFICOS	PRODUÇÃO DE ODORES		LIBERTAÇÃO DE ODORES <sup>(1)</sup>
		VIA BIOLÓGICA	VIA QUÍMICA	
Temperatura	-	✓	-	✓
pH	-	-	✓	✓
Potencial Redox	-	-	✓	-
Oxigénio Dissolvido	-	✓	-	-
CBO <sub>5</sub>	-	✓	-	-
Relação CBO/CQO	✓	-	-	✓
Sulfuretos dissolvidos	✓	-	-	✓
Nitratos dissolvidos	✓	✓	-	✓
Metais dissolvidos	✓	-	✓	✓
Agentes oxidativos	✓	✓	✓	✓

Notas: (1) Libertação de odores relacionada com a volatilidade e, ou solubilidade dos compostos odoríficos.

## 2.5 Implicações da ocorrência de odores em ETAR

### 2.5.1 Considerações gerais

Segundo [Einarsen *et al.*, 2000], alguns compostos odoríferos podem causar:

- riscos para a saúde;
- corrosão das infraestruturas;
- redução da eficiência do tratamento numa ETAR.

Por outro lado, [WPCF, 1990] acrescenta que a ocorrência de odores em ETAR implica, frequentemente, problemas de relacionamento com a comunidade vizinha. Neste último caso, os efeitos da ocorrência de odores estão directamente relacionados com o carácter ofensivo do odor que, por sua vez, dependerá da sua frequência, intensidade, duração, tipo e localização [MFE, 2003].

Por norma, os odores emitidos por uma ETAR e que atingem a comunidade vizinha são caracterizados por serem ofensivos mas em baixas concentrações, pelo que as implicações da sua ocorrência estão mais relacionadas com o stress que a detecção do odor promove na população do que com quaisquer efeitos físicos directos. Este stress pode, após períodos prolongados de exposição, gerar efeitos físicos em indivíduos mais sensíveis e conduzir à deterioração das relações humanas e dos investimentos locais [Metcalf & Eddy, 2003].

Deste modo, as implicações dos odores provenientes de ETAR incluem principalmente o incómodo nas populações vizinhas e um potencial problema de saúde e de segurança dos trabalhadores locais, indicando que a ocorrência de odores em ETAR, em termos de risco para a saúde dos indivíduos, se refere principalmente à exposição dos trabalhadores em espaços confinados [Parsons *et al.*, 2000].

Por outro lado, segundo [Einarsen *et al.*, 2000], a eficiência do tratamento numa ETAR pode ser prejudicada em termos de processos mecânicos, químicos e biológicos, uma vez que todos são influenciados pela ocorrência de condições sépticas associadas à corrosão do betão e das partes metálicas [USEPA, 1985] e que implicam aumento dos custos de manutenção dos equipamentos, aumento dos consumos de químicos e de energia,

diminuição da eficiência do tratamento e, conseqüentemente, aumento dos custos com a deposição final das lamas.

Como foi anteriormente referido, os principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR são o amoníaco, o sulfureto de hidrogénio e o mercaptano de metilo, cujos efeitos adversos na saúde humana se resumem de seguida.

## 2.5.2 Implicações na saúde

### 2.5.2.1 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), podendo 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 ou a tempos de exposição prolongados, tendo-se verificado que o corpo humano desenvolve alguma tolerância quando sujeito a exposições sucessivas [ATSDR, 2004c].

No quadro seguinte é apresentado um resumo do efeito na saúde humana em função das concentrações de amoníaco no ar ambiente.

Quadro 2.6 – Efeito na saúde humana associado à presença de amoníaco no ar ambiente (adaptado de [Issey and Lang, 2001; ATSDR, 2004c]).

CONCENTRAÇÃO DE NH <sub>3</sub> (ppm)	EFEITO NA SAÚDE HUMANA
≤ 25	Concentração média de exposição sem efeitos adversos para quase todos os indivíduos, num período de 8 h/dia e 40 h/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

## Caracterização dos odores

---

CONCENTRAÇÃO DE NH <sub>3</sub> (ppm)	EFEITO NA SAÚDE HUMANA
1700	Espasmo da laringe
2500 – 4500	Morte após meia hora de exposição
2500 – 6500	Edema pulmonar
5000	Morte rápida

Em termos de segurança e saúde é importante atender que o amoníaco gasoso possui um peso específico normalmente inferior ao do ar atmosférico pelo que a sua localização mais provável, num espaço confinado, será junto ao tecto.

### 2.5.2.2 Sulfureto de hidrogénio

A inalação de sulfureto de hidrogénio é a via de exposição mais comum [WHO, 2003], com implicações em todos os órgãos, particularmente o sistema nervoso, dependendo a gravidade 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 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, 2001]. No quadro seguinte resume-se o efeito na saúde humana da presença de sulfureto de hidrogénio no ar ambiente.

Quadro 2.7 – Efeito na saúde humana associado à presença de sulfureto de hidrogénio no ar ambiente (adaptado de [Correia, 2002]).

CONCENTRAÇÃO DE H <sub>2</sub> S (ppmv)	EFEITO NA SAÚDE HUMANA
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

O sulfureto de hidrogénio é um gás e possui um peso específico normalmente superior ao do ar atmosférico, a não ser que este seja aquecido e com elevada humidade, pelo que a localização mais provável será junto ao chão de uma zona confinada.

### **2.5.2.3 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), ocorrendo igualmente 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 da 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].

De acordo com [ATSDR, 1992; 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.

### **2.5.2.4 Valores limite de exposição para salvaguarda da saúde humana**

Em Portugal, as concentrações de poluentes atmosféricos em espaços confinados devem respeitar a Norma Portuguesa NP1796:2004, onde se encontra, para vários compostos químicos, o Valor Limite de Exposição (VLE), definido como o valor da concentração abaixo da qual se admite que a maioria dos indivíduos podem ser expostos sucessivamente, dia após dia, sem efeitos adversos na sua saúde. Este parâmetro é equivalente ao definido nos Estados Unidos da América como “Threshold Limit Value” (TLV) pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [Mitchell, 2002].

As concentrações de exposição deverão estar associadas aos respectivos tempos de exposição, categorizados na Norma Portuguesa NP1796:2004 da seguinte forma:

- concentrações médias ponderadas (MP), para período de exposição de 8 h/dia e 40 h/semana;
- concentrações máximas para exposições de curta duração (CD), 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;
- concentração máxima que nunca deve ser excedida (CM), mesmo que instantaneamente.

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 indivíduo pode estar exposto, enquanto que na Alemanha este valor é denominado por MAK e representa a concentração para uma exposição média de 8 horas.

Em [Mitchell, 2002] e em [ATSDR, 1992, 2004c, 2004d] é ainda identificado o Valor de Concentração Perigosa (VCP), equivalente ao “Immediately Dangerous to Life or Health” (IDLH), correspondente à 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.

Por outro lado, segundo [ATSDR, 2005], os períodos de exposição podem ser agrupados nos seguintes níveis, segundo os respectivos efeitos na saúde:

- 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.

No quadro seguinte apresentam-se os valores limite de exposição para os principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR.

Quadro 2.8 – Valores limite de exposição recomendados para salvaguarda da saúde humana para os principais compostos odoríficos (adaptado da NP1796:2004 e de [ATSDR, 1999, 2004a, 2004b; Mitchell, 2002; OSHA, 2003a, 2003b]).

CONCENTRAÇÃO (ppm <sub>v</sub> )		VLE			VCP	VME	MAK	EFEITO CRÍTICO
		MP	CD	CM				
Compostos azotados	Amoníaco	25	35	*	300	*	*	irritante
	Metilamina	5	15	*	*	*	*	irritante
	Etilamina	5	15	*	*	*	*	irritante
	Dimetilamina	5	15	*	*	*	*	irritante
	Trimetilamina	5	15	*	*	*	*	irritante
	Butilamina	*	*	5	*	*	*	irritante
	Dietilamina	5	15	*	*	*	*	irritante
	Diamina de metilo	*	*	*	*	*	*	*
	Piridina	5	*	*	*	*	*	irritante, SNC, fígado, rim, sangue
	Indol	10	*	*	*	*	*	irritante, fígado, rim
	Escatol	*	*	*	*	*	*	*
Compostos sulfurados	Sulfureto de hidrogénio	10	15	*	50	7	10	irritante; SNC
	Dióxido de enxofre	*	*	*	*	*	*	*
	Sulfureto de dimetilo	*	*	*	*	*	*	*
	Disulfureto de dimetilo	*	*	*	*	*	*	*
	Mercaptano de metilo	0,5	10	*	20	*	*	irritante; SNC
	Mercaptano de etilo	0,5	*	*	*	*	*	irritante
	Mercaptano de n-propilo	*	*	*	*	*	*	*
	Mercaptano de n-butilo	0,5	*	*	*	*	*	irritante; SNC; reprodutor
	Mercaptano de fenilo	0,5	*	*	*	*	*	irritante, dermatose
AGV	Fórmico	5	10	*	*	*	*	irritante
	Acético	10	15	*	*	*	*	irritante
	Propiónico	10	*	*	*	*	*	irritante
	Butírico	*	*	*	*	*	*	*
	Valérico	*	*	*	*	*	*	*
Aldeídos e Cetonas	Formaldeído	*	*	0,3	*	*	*	irritante, cancro
	Acetaldeído	*	*	25	*	*	*	irritante
	Butiraldeído	*	*	*	*	*	*	*
	Acetona	500	750	*	*	*	*	irritante
	Butanona	200	300	*	*	*	*	irritante

VLE – Valor Limite de Emissão; MP – concentração média ponderada; CD – concentração máxima para exposições de curta duração; CM – concentração máxima; VCP – Valor de Concentração Perigosa; VME – Valor Médio de Exposição (França); MAK – Valor Médio de Exposição (Alemanha); SNC – sistema nervoso central; \* - ausência de informação.

### 2.5.3 Implicações na comunidade

O principal impacto da ocorrência de odores numa área urbana diz respeito à deterioração da qualidade de vida da comunidade, o que por sua vez pode conduzir a stress psicológico e a sintomas como insónia, perda de apetite e comportamento irracional, resultando em queixas que recaem sobre a ETAR [Gostelow and Parsons, 2000].

De facto, a referência a que os odores provenientes de ETAR constituem a causa mais comum de queixas na comunidade vizinha desse tipo de instalações [Babbitt and Baumann, 1967], não é recente e tem vindo a aumentar; segundo [Kaye and Jiang, 2000], mais de metade das queixas registadas por agências reguladoras do ambiente no mundo inteiro dizem respeito a odores, pelo que, frequentemente, os odores aparecem como a maior causa de problemas de relacionamento com a comunidade.

Deste modo, conforme aumenta o índice de ocupação urbana e há uma maior proximidade entre as habitações e a ETAR, há uma maior tendência para o aumento das queixas de odores [Witherspoon *et al.*, 2000] porque, embora o odor possa ter efeitos directos no bem estar e por isso na saúde é um factor estético da qualidade do ambiente [Jones, 2002]. E perante estes factos, as empresas responsáveis pelas ETAR tem vindo a ter uma crescente preocupação com a prevenção e controlo da libertação de odores [Stuetz *et al.*, 2000].

A existência de queixas de odores na comunidade pode ser influenciada por vários factores como sejam [WEF/ASCE, 1995]:

- intensidade e qualidade do odor – características directamente relacionadas com incómodo causado pela ocorrência de odores;
- duração e frequência do odor – odores desagradáveis que ocorrem uma vez por semana e por pouco tempo, podem não perturbar uma pessoa média, enquanto a ocorrência mais frequente de odores persistentes é mais provável que cause uma reacção adversa na população;
- altura do dia em que o odor está presente – factor que afecta significativamente a aceitação do odor, uma vez que há uma menor probabilidade para aceitar os odores que ocorrem à noite e perturbam o sono dos residentes e aqueles que ocorrem durante o fim-de-semana e interferem com as actividades de lazer.

Por outro lado [Jones, 2002] refere que os mecanismos que influenciam a emissão de odores e o conseqüente incómodo nas populações são complexos, dado que envolvem:

- características do odor que é libertado (detectabilidade, tom hedónico, potencial para o incómodo);
- diluição variável em função das condições atmosféricas;
- exposição da população (localização das residências, movimentação das pessoas, tempo gasto em actividades ao ar livre), quantificada em termos da frequência de ocorrência de concentrações médias horárias acima de um dado limite de concentração de odor;
- contexto da percepção (existência de outros odores, historial de odores, conhecimento intelectual da percepção de odores);
- características do receptor (historial de exposição, associação a riscos, tipo de actividade durante os episódios de exposição, factores psicológicos como comportamento induzido, compreensão da saúde e dos riscos para a saúde).

O facto dos odores poderem ser avaliados por todos os cidadãos, ao contrário do que acontece com poluentes atmosféricos não odoríficos, implica que há uma constante avaliação da qualidade do ar e, em resultado de uma má qualidade, é provável a ocorrência de queixas [Jones, 2002]. Deste modo, com o objectivo de reduzir ou eliminar o incómodo que as emissões de odores promovem na comunidade vizinha da ETAR pode-se adoptar uma concentração limite de odor junto da vedação da ETAR, cuja definição tem variado, entre  $0,5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  para o percentil entre 98 e 99,5 das médias horárias (Holanda), e  $23 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  para o percentil de 99,5 da média de uma hora (Austrália) [DEFRA, 2003].

De uma forma geral, [Jones, 2002] refere que queixas relativas a incómodo com odores são relativamente raras para exposições limitadas a uma concentração inferior  $5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  para o percentil 98 das médias horárias num ano médio no que respeita às condições meteorológicas. No quadro seguinte apresentam-se os critérios de qualidade do ar por forma a evitar o incómodo propostos por [Vossen, 2003].

Quadro 2.9 – Critérios da qualidade do ar para evitar o incómodo (adaptado de [Vossen, 2003]).

NÍVEL DO INCÓMODO	ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup>	PERCENTIL
Incómodo sério	> 5	98
Incómodo normalmente aceitável	< 2 - 3	98
Incómodo aceitável	1	98
Objectivo para novas fontes emissoras	< 1	98
Outras fontes emissoras	< 5 - 10	99,9

### 2.5.4 Implicações na conservação das infraestruturas (corrosão)

A corrosão pode ser definida como a destruição ou deterioração dos materiais pelo efeito químico directo ou através de reacções electroquímicas com o seu ambiente [USEPA, 1985]. O meio ambiente referido por este autor inclui, no caso das ETAR, a água residual e o ar.

Deste modo, a composição da água residual influencia a ocorrência de corrosão e, conseqüentemente, a conservação das infraestruturas. De facto [USEPA, 1985] refere que em águas residuais urbanas as substâncias corrosivas são principalmente o sulfureto de hidrogénio, o cloro, o amoníaco e o sal e que, em águas residuais com contribuições industriais, as substâncias corrosivas podem incluir compostos ácidos, alcalinos ou outros químicos orgânicos. De acordo com o que já foi anteriormente referido, algumas destas substâncias ou grupo de compostos coincidem com odores identificados em ETAR.

Segundo [Einarsen *et al.*, 2000], a corrosão das infraestruturas de betão e metálicas, onde se incluem equipamentos mecânicos e eléctricos, resulta do ataque químico do ácido sulfúrico – resultante da presença de sulfureto de hidrogénio – e de ácidos gordos voláteis.

Relativamente ao sulfureto de hidrogénio, [USEPA, 1985] refere que é um agente corrosivo de metais como ferro, zinco, cobre, chumbo e cádmio, sendo também percussor da formação de ácido sulfúrico que, por sua vez, corrói as pinturas à base de chumbo, o betão e os metais em geral.

A corrosão do betão é resultado da reacção química entre o ácido sulfúrico e o cimento integrado no betão [Jahani *et al.*, 2001] que normalmente ocorre na presença de elevadas concentrações de ácido sulfúrico e valores baixos de pH [USEPA, 1985].

A corrosão das partes metálicas é também referida por [USEPA, 1985], exemplificando a danificação da integridade estrutural das infraestruturas em aço e ferro (como pontes, guarda corpos, degraus e passagens, barras da gradagem, mecanismos das correias de transporte, grades e tanques metálicos), em atmosferas húmidas oxidativas, e dos sistemas eléctricos, nomeadamente dos seus componentes de cobre que, em presença de pequenas quantidades de  $H_2S$  (entre 4 a 8 ppm) é oxidado a sulfato de cobre – material mais fraco e pouco condutor.

O mesmo autor refere que tais condições de corrosão podem ser bastante graves em poços húmidos, no tratamento preliminar e no processamento e manuseamento de lamas, principalmente quando estas operações decorrem em áreas fechadas sem ventilação e desumidificação adequadas.

### **2.5.5 Implicações na eficiência do tratamento**

As implicações da ocorrência de odores na eficiência dos processos de tratamento numa ETAR, para além das directamente relacionadas com a corrosão das infraestruturas, estão, também, relacionadas com a septicidade das águas residuais afluentes, cuja ocorrência poderá implicar:

- diminuição da eficiência dos tratamentos biológicos devido à presença de  $H_2S$ , elemento tóxico para as bactérias aeróbias e anaeróbias;
- diminuição da decantabilidade das lamas, uma vez que a presença de  $H_2S$  pode encorajar o desenvolvimento de alguns tipos de bactérias filamentosas;
- aumento das necessidades em oxigénio em processos de tratamento por oxidação biológica, para oxidação do  $H_2S$  em sulfatos através das bactérias aeróbias;
- aumento do consumo de reagentes em processos de tratamento por oxidação química.

## 2.6 Síntese

No quadro seguinte resumem-se as características odoríficas dos principais compostos odoríficos em águas residuais urbanas.

Quadro 2.10 – Características odoríficas dos principais compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995]).

COMPOSTO		LIMITE DE DETECÇÃO (ppm)	LIMITE DE DETECÇÃO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	DESCRIÇÃO DO ODOR CARACTERÍSTICO
Compostos azotados	Amoníaco <sup>(1)</sup>	0,037	100 – 11600	Acre, irritante
	Metilamina	0,021	1,2 – 65	Peixe em putrefacção
	Etilamina	0,83	6500	Peixe em putrefacção
	Dimetilamina	0,047	47 – 160	Peixe em putrefacção
	Trimetilamina	-	-	Peixe em putrefacção
	Butilamina	-	-	-
	Dietilamina	-	-	-
	Piridina	0,003 7	-	Pungente (irritante)
	Indol	-	7,1	Fecal, repulsivo
	Escatol	0,001 2	0,012 – 0,35	Fecal, repulsivo
Compostos sulfurados	Sulfureto de hidrogénio <sup>(1)</sup>	0,000 47	0,76	Ovos podres
	Dióxido de enxofre <sup>(1)</sup>	0,009	-	Pungente (irritante)
	Sulfureto de dimetilo	0,00 1	0,34 – 1,1	Vegetais em decomposição
	Disulfureto de dimetilo	-	1,1 – 46	Putrefacção
	Mercaptano de metilo	0,001 1	0,003 – 38	Couve ou alho em decomposição
	Mercaptano de etilo	0,000 19	0,043	Couve em decomposição
	Mercaptano de n-propilo	0,000 075	-	Pútrido
	Mercaptano de n-butilo	-	-	-
	Mercaptano de fenilo	-	-	Alhos em decomposição
AGV	Fórmico	-	-	-
	Acético	-	43	Vinagre
	Propiónico	-	-	-
	Butírico	-	0,35 – 86	Ranço
	Valérico	-	8 – 12000	Suor
Aldeídos e Cetonas	Formaldeído	-	490	-
	Acetaldeído	0,004	0,01 – 4	Pungente (irritante); afrutado
	Butiraldeído	-	15	Suor, ranço
	Acetona	-	-	Frutado
	Butanona	-	870	Maça verde

## 3 Ocorrência de odores em ETAR

### 3.1 Descrição geral de uma ETAR

A linha processual de uma ETAR depende, entre outros factores, do tipo de afluente (quantidade e qualidade), da localização e do meio receptor do efluente tratado [DEFRA, 2003]. De uma forma genérica, uma ETAR convencional pode incluir as operações e processos de tratamento que se apresentam na figura 3.1 seguinte.

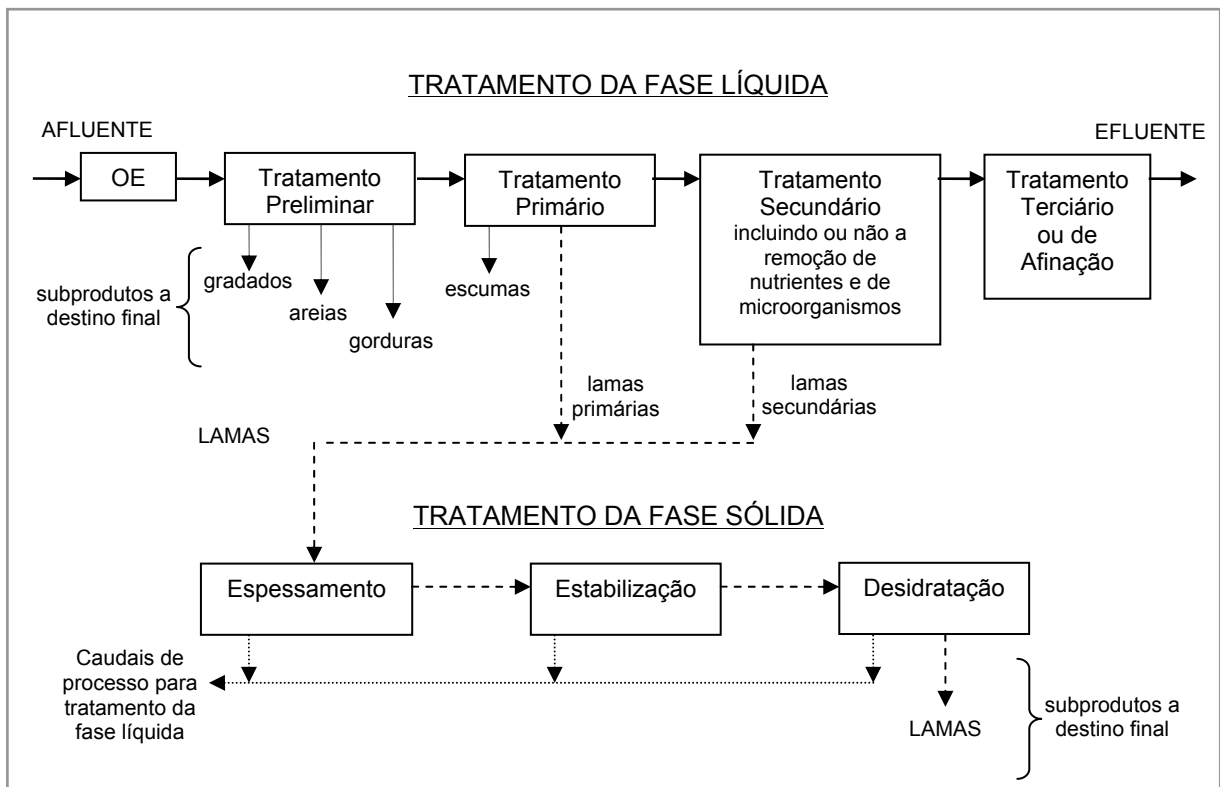


Figura 3.1 – Diagrama das principais operações e processos de tratamento normalmente incluídos numa ETAR convencional.

O principal objectivo associado ao tratamento de água residual urbana é o de garantir que a qualidade do efluente tratado esteja em conformidade com as exigências que decorrem da aplicação do normativo de qualidade e, também, concentrar, condicionar e estabilizar os subprodutos resultantes (gradados, areias, gorduras e lamas) [DEFRA, 2003].

As várias etapas de tratamento aplicáveis ao tratamento de uma água residual podem-se socorrer de princípios físicos (operações unitárias), químicos e, ou biológicos (processos unitários) que, agrupados de diferentes modos, garantem o tratamento da água residual (tratamento da fase líquida), incluindo a remoção de origem carbonada, azoto, fósforo e, ou de microrganismos [Metcalf & Eddy, 2003].

O tratamento preliminar tem como objectivo principal a remoção de constituintes da água residual que podem causar problemas funcionais nos processos de tratamento subsequentes e pode incluir operações como gradagem, trituração, desarenação e remoção de flutuantes, nomeadamente gorduras, equalização, homogeneização [Metcalf & Eddy, 2003], pré-arejamento e, também, a adição de reagentes químicos [WPCF, 1990]. Os principais subprodutos a que dão origem são os gradados, as areias e os óleos/gorduras.

Por outro lado, o tratamento primário tem por objectivo a remoção de uma fracção da matéria orgânica presente na água residual sob a forma de sólidos em suspensão, através da acção da gravidade, podendo igualmente socorrer-se da adição de reagentes químicos [Metcalf & Eddy, 2003], sendo materializada em órgãos que, genericamente, se designam por decantadores primários. Os principais subprodutos são as lamas primárias e as escumas.

O tratamento secundário tem por objectivo a redução do teor em matéria orgânica presente numa água residual, na forma coloidal e dissolvida [WPCF, 1990] e eventualmente a redução do teor em nutrientes através de processos biológicos ou químicos [Metcalf & Eddy, 2003]. Os processos biológicos mais comumente utilizados incluem os processos por biomassa em suspensão, vulgarmente designados por lamas activadas e que podem apresentar inúmeras variantes, e os processos por biomassa fixa, que incluem igualmente algumas variantes. Quaisquer destes processos exigem, normalmente, uma operação subsequente de sedimentação, comumente designada por decantação secundária [WPCF, 1990]. O tratamento secundário permite a obtenção de um efluente com baixo teor em matéria orgânica e em sólidos suspensos (e, eventualmente, em nutrientes). Os principais subprodutos são as lamas biológicas ou secundárias e as escumas.

As lamas (ou biosólidos) apresentam-se numa forma líquida e o seu tratamento tem por principal objectivo reduzir o teor em água e em matéria orgânica, dotando os sólidos processados das características adequadas à sua valorização ou deposição final [Metcalf & Eddy, 2003]. As principais operações e processos do tratamento da fase sólida incluem a concentração dos sólidos (espessamento e desidratação) e a estabilização (biológica ou química).

Uma das alternativas mais usuais ao tratamento convencional das águas residuais (processos intensivos) é o recurso a sistemas de lagunagem ou lagoas de estabilização (processos extensivos) que garantem igualmente, e fundamentalmente, a redução de matéria orgânica, sendo normalmente classificadas de acordo com as condições de funcionamento e presença de oxigénio, em anaeróbias, facultativas, aeróbias e de maturação [Mara and Pearson, 1998].

Na figura seguinte (figura 3.2) apresenta-se um esquema simplificado de uma ETAR por lagunagem.

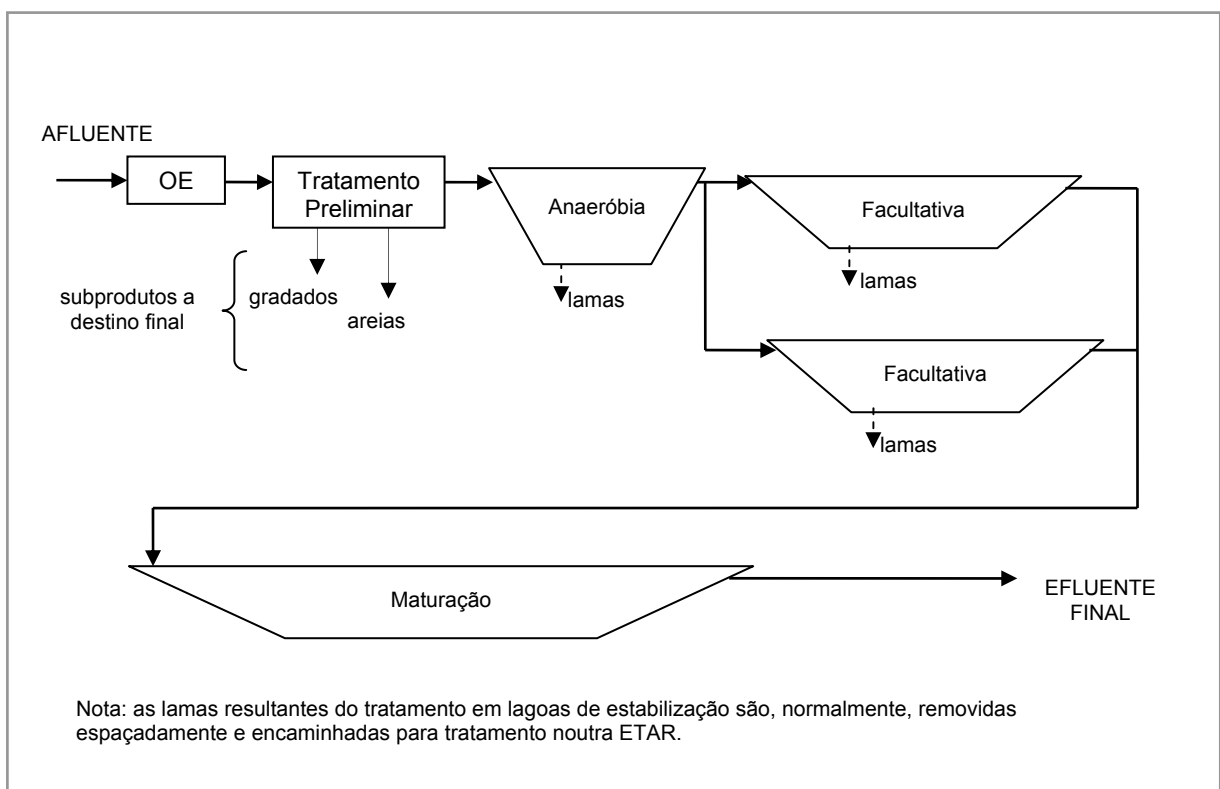


Figura 3.2 – Diagrama geral de uma ETAR por lagunagem.

## 3.2 Origens de odores em ETAR

As principais origens de odores numa ETAR convencional incluem as operações do tratamento preliminar e do tratamento das lamas [WPCF, 1990] e a descarga e processamento dos conteúdos de limpa-fossas [Degremont, 1989]. De acordo com [Vincent, 2001] os principais focos de odores numa ETAR convencional são, por ordem de maior frequência, em primeiro lugar, as operações de espessamento e de desidratação de lama, seguidos da obra de entrada, pontos de entrega das condutas elevatórias e, por último, os decantadores primários.

Ainda segundo o mesmo autor, os locais de descarga dos caudais de retorno resultantes do processamento das lamas na ETAR constituem igualmente locais potencialmente odoríficos [Vincent, 2001].

Por outro lado, a Norma Europeia EN12255-9:2002 refere como principais origens de odores em ETAR locais como obra de entrada e tratamento preliminar, decantadores primários, tratamento secundário, locais de transferência, armazenamento e tratamento de lamas, incluindo a digestão anaeróbia, relacionada nomeadamente com fugas ou emissões de biogás e, também, com o primeiro local de descarga das lamas digeridas.

Em termos gerais, o sulfureto de hidrogénio é o composto de maior ocorrência em ETAR no ar da ventilação de locais com água residual bruta, da obra de entrada e tratamento preliminar, da decantação primária e dos gases da digestão das lamas. Por outro lado, a ocorrência de amoníaco é normalmente associada às operações de processamento de lamas [Card, 2001].

No quadro 3.1 seguinte, adaptado de [WPCF, 1990], identificam-se os principais locais de ocorrência de odores e as respectivas origens mais prováveis.

No que se refere às principais origens numa ETAR por lagunagem, estas incluem, a obra de entrada e tratamento preliminar (quando existente e de forma semelhante ao que acontece na ETAR convencional) e as lagoas anaeróbias. As lagoas facultativas também podem constituir uma origem de odores sendo, no entanto, de ocorrência menos frequente [WEF/ASCE, 1995; Picot *et al.*, 2001].

Quadro 3.1 – Principais locais de ocorrência de odores e origens mais prováveis (adaptado de [WPCF, 1990]).

ORIGEM	ÁGUA RESIDUAL	AREIAS	GRADADOS	ESCUMAS	LAMAS	AR DE PROCESSO	LODOS NAS PAREDES	RESÍDUOS ORGÂNICOS À SUPERFÍCIE	DEPÓSITOS DE LAMA	PAREDES POROSAS	DERRAMES QUÍMICOS	ZONAS COM REFLUXOS OU CURTO CIRCUITOS
LOCAL DE OCORRÊNCIA												
Drenagem gravítica ou em pressão	✓	-	-	-	-	✓	✓		✓			
Estações elevatórias poço húmido poço seco	✓ ✓	- -	- -	✓ -	- -	- -	✓ -	✓ ✓	✓ -	✓ ✓	✓ -	✓ -
Gradagem	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-
Desarenação	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	-
Equalização	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
Decantação primária	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓
Adição de químicos	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	-
Reactor biológico - biomassa em suspensão	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	✓
Reactor biológico - biomassa fixa	✓	-	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Lagoas de estabilização	✓	-	-	✓	-	-		✓	✓	-	-	-
Decantação secundária	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Filtração final	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-
Armazenamento e processamento dos subprodutos (gradados, areias e flotantes)	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	-
Recirculação de caudais processuais	✓	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-
Recepção e processamento de líquidos sépticos	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
Poços de elevação de lamas	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	-	-
Espessamento e armazenamento das lamas	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
Desidratação mecânica das lamas	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
Digestão das lamas	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-

## 3.3 Principais mecanismos da emissão de odores

### 3.3.1 Considerações gerais

A ocorrência de odores, conforme referido anteriormente (capítulo 2) e de acordo com a Norma Europeia EN12255-9:2002, está relacionada com os seguintes factores:

- condições desfavoráveis nos sistemas de drenagem (como por exemplo tempos de retenção elevados, pouca manutenção e descargas industriais);
- longos percursos em pressão (condutas elevatórias);
- sobrecarga dos processos de tratamento;
- lagoas anaeróbias;
- armazenamento e processos de tratamento de lamas.

Os mecanismos da emissão de odores incluem, [Metcalf & Eddy, 2003]:

- a libertação de compostos odoríficos existentes na água residual afluyente – na obra de entrada (escoamento turbulento), nas câmaras com pré-arejamento (volatilização à passagem de ar) e em locais de recepção e transferência de líquidos sépticos (conteúdos de limpa fossas ou caudais de retorno do processamento das lamas na ETAR);
- a formação e libertação de compostos odoríficos devido à acumulação de matéria putrescível – no armazenamento dos subprodutos do tratamento preliminar, nos tanques de equalização e nos deflectores da decantação primária e secundária, em que ocorre a libertação directamente a partir das superfícies dos resíduos e do líquido;
- o estabelecimento de condições sépticas na fase líquida, associada à deposição de sólidos em tanques de equalização e, ou em tanques de arejamento e, também, aos elevados tempos de retenção na decantação primária;

- o estabelecimento de condições sépticas na fase sólida, associada aos elevados tempos de retenção de lamas na decantação primária, na decantação secundária e nos poços de bombagem de lamas, potenciando a libertação de odores nos locais de transferência daquelas lamas para os órgãos de tratamento a jusante;
- a formação de compostos odoríficos devido à oxigenação insuficiente nos reactores biológicos, normalmente associada a sobrecarga do processo e incapacidade ou ineficiência do sistema de arejamento, com libertação de odores a partir da superfície do reactor e a jusante em condições de escoamento turbulento.

No quadro 3.2 apresenta-se um resumo, adaptado de [Metcalf & Eddy, 2003], das origens de odores mais comuns em ETAR e os respectivos motivos e mecanismos da sua ocorrência, bem como o seu potencial odorífico relativo.

Seguidamente resumem-se os principais mecanismos da emissão de odores, associados às operações e processos de tratamento potencialmente odoríficos.

### **3.3.2 Obra de entrada**

A ocorrência de odores na obra de entrada deve-se à libertação para a atmosfera dos gases retidos no interior dos colectores [WPCF, 1990] e à volatilização dos compostos odoríficos contidos na água residual afluyente devido ao regime de escoamento turbulento [Babbit and Baumann, 1967]. Deste modo, segundo [USEPA, 1985; Metcalf & Eddy, 2003], a ocorrência de odores na obra de entrada pode ser agravada se:

- o sistema de drenagem for longo, com estabelecimento de condições anaeróbias;
- houver descargas de águas sépticas ou potencialmente sépticas, e, ou descargas industriais para o sistema de drenagem ou directamente na obra de entrada;
- houver recirculação de caudais processuais internos à obra de entrada, com elevada carga orgânica e eventualmente sépticos, que resultam, por exemplo, das operações de tratamento de lamas.

## Ocorrência de odores em ETAR

Quadro 3.2 – Principais origens de odores e respectivos mecanismos, associados à formação e libertação de odores (adaptado de [Metcalf & Eddy, 2003]).

PRINCIPAIS MECANISMOS ASSOCIADOS À FORMAÇÃO E LIBERTAÇÃO	CO NO AFLUENTE	ACUMULAÇÃO DE MATÉRIAS PUTRESCÍVEIS	CONDIÇÕES SÉPTICAS	ELEVADOS TEMPOS DE RETENÇÃO	SOBRECARGA	OXIGENAÇÃO INSUFICIENTE	MISTURA INSUFICIENTE	COLMATAÇÃO	ADIÇÃO DE QUÍMICOS	ESTABILIZAÇÃO INSUFICIENTE	TURBULÊNCIA	INTERFACE LÍQUIDO - AR	INTERFACE SÓLIDO - AR	POTENCIAL ODORÍFICO RELATIVO
LOCAL DE OCORRÊNCIA (ORIGEM DE ODORES)														
Obra de entrada	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	↑
Gradagem	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	↑
Desarenação e Desengorduramento	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	↑
Pré-arejamento	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	↑
Equalização	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-	↑
Decantação primária	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	↑ / ≈
Reactor biológico - biomassa em suspensão	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	≈ / ↓
Reactor biológico - biomassa fixa	-	-	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	↑ / ≈
Decantação secundária	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	≈ / ↓
Processamento de gradados, areias e flotantes	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	↑
Recirculação dos caudais processuais	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	↑
Recepção e processamento de líquidos sépticos	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	↑
Estações elevatórias de água residual ou de lamas	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	↑
Espessamento e armazenamento das lamas	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	-	✓	↑ / ≈
Desidratação mecânica das lamas	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	↑ / ≈
Desidratação das lamas em leitos de secagem	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	↑ / ≈
Estabilização química das lamas	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	≈
Estabilização biológica aeróbia das lamas	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	≈ / ↓
Estabilização biológica anaeróbia das lamas	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	↑ / ≈
Pontos de expedição de lamas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	↑

CO: compostos odoríferos; -: não aplicável; ↑: elevado; ≈: moderado; ↓: baixo.

### **3.3.3 Tratamento preliminar**

A emissão de odores nas operações incluídas no tratamento preliminar é devida à presença de compostos odoríferos na fase líquida ou à sua formação a partir de material orgânico acumulado nos canais, nas barras da gradagem, nas câmaras de distribuição de caudal, e em conjunto com os subprodutos armazenados. A libertação para a atmosfera fica a dever-se à volatilização a partir da fase líquida em descarregadores ou em planos de água arejados (pré-arejamento ou tanques de equalização) ou à volatilização a partir dos sólidos acumulados [USEPA, 1985; WEF/ASCE, 1995].

### **3.3.4 Tratamento primário – decantadores**

A ocorrência de odores no tratamento primário fica a dever-se à acumulação de escumas junto aos deflectores e à acumulação de lamas sedimentadas por longos períodos de tempo, que contribuem para o estabelecimento de condições sépticas com a consequente formação de compostos odoríferos [USEPA, 1985].

Os compostos odoríferos serão então libertados para a atmosfera por volatilização a partir da interface sólido-ar (caso da degradação das escumas), da interface líquido-ar consoante as condições atmosféricas (vento) e por condições de turbulência nos canais de entrada, nos poços de alimentação e na descarga sobre os descarregadores de saída do efluente da decantação primária [WEF/ASCE, 1995].

### **3.3.5 Tratamento secundário – reactores biológicos e decantação secundária**

Comparativamente ao total de emissões numa ETAR, não é provável que a ocorrência de odores nos reactores biológicos seja muito significativa [WEF/ASCE, 1995]. Em reactores com biomassa suspensa a ocorrência de odores pode ficar a dever-se a situações que conduzam à deposição de sólidos ou ao estabelecimento de zonas anóxicas descontroladas (mistura e, ou arejamento insuficiente ou ineficiente), enquanto que em reactores com biomassa fixa a ocorrência de odores está normalmente associada ao crescimento desigual

de biofilme e ao estabelecimento de condições anóxicas (arejamento insuficiente ou ineficiente e, ou problemas na distribuição da água residual) [USEPA, 1985].

De acordo com [WEF/ASCE, 1995], a formação de odores em reactores biológicos relacionada com o arejamento pode resultar da sobrecarga do sistema e, complementarmente, a libertação dos compostos odoríficos é motivada pela acção física do arejamento que volatiliza aqueles compostos.

Do mesmo modo, também os decantadores secundários não constituem uma origem de odores, salvo a ocorrência de problemas nos processos de estabilização aeróbios a montante ou a retenção das lamas decantadas por tempos elevados [USEPA, 1985].

### 3.3.6 Espessamento e desidratação de lamas

De um modo geral, as lamas emitem odores [EPA, 1995] dependendo das suas características e da maior ou menor propensão para a septicidade [Einarsen *et al.*, 2000]. Este segundo aspecto é potenciado pela formação de compostos odoríficos devido à dificuldade em manter as lamas em condições aeróbias oxidativas e, também, pela libertação dos compostos odoríficos por volatilização durante as operações de manuseamento e de transporte das lamas [Morton, 2002] ou, ainda, à volatilização por exposição da lama à atmosfera [USEPA, 1995].

O espessamento por gravidade costuma ser o tipo de espessamento potencialmente mais odorífico, devido à formação de compostos odoríficos decorrente do estabelecimento de condições sépticas em consequência do tempo de retenção necessário ao espessamento e, também, ao baixo potencial redox da lama [USEPA, 1985] e à libertação dos compostos odoríficos formados por exposição das lamas à atmosfera [WEF/ASCE, 1995].

Por outro lado, a ocorrência de odores nos processos de desidratação depende do tipo e das características das lamas, do método utilizado para a desidratação e dos químicos utilizados para o condicionamento [USEPA, 1985]. A desidratação gravítica em leitos de secagem, efectuada ao ar livre, promove a libertação significativa de odores nos primeiros dois a três dias após nova aplicação, antes do desenvolvimento da crosta de superfície [WEF/ASCE, 1995]. Os mecanismos incluem a libertação de compostos odoríficos a partir

da interface sólido-ar e a sua formação é devido ao excesso de matéria putrescível e, ou à estabilização insuficiente das lamas [Metcalf & Eddy, 2003].

Os processos de desidratação mecanizados são, usualmente, encerrados em edifícios. A desidratação por centrifugação emite menos odores para o interior do edifício mas promove uma maior concentração de compostos odoríficos no ar de extracção. Por outro lado, os equipamentos de desidratação como filtros de banda e filtros prensa, são mais propensos à emissão de odores para a atmosfera da sala, sendo de salientar que o recurso a condicionantes químicos como polímeros, cal ou sais de ferro, pode agravar a libertação de odores [WEF/ASCE, 1995].

A formação de compostos odoríficos pode ser acentuada com a mistura de lamas primária e secundária, que potenciam a instalação de condições sépticas [Einarsen *et al.*, 2000] dado que, frequentemente, não é garantido oxigénio dissolvido residual que contrarie aquele fenómeno [WEF/ASCE, 1995].

### **3.3.7 Estabilização das lamas**

Os subprodutos da estabilização das lamas não constituem uma origem significativa de odores na ETAR, quer a estabilização seja efectuada por via biológica, em digestores aeróbios ou anaeróbios, ou por via química (por exemplo, através da adição de cal) [USEPA, 1985].

No entanto, uma estabilização anaeróbia a funcionar no regime de baixa carga pode, em presença de uma baixa alcalinidade das lamas e com estratificação no digestor, contribuir para a diminuição do pH das lamas, limitando o desenvolvimento de uma população estável de bactérias metanogénicas e potenciando a libertação de ácidos gordos voláteis, que podem ser compostos extremamente odoríficos.

A estabilização química com cal que inclui o aumento do pH da lama acima de 11,0 [WPCF, 1990] através da adição de cal pode promover a libertação de amoníaco [USEPA, 1985].

### 3.3.8 Caudais resultantes do processamento das lamas

Os caudais resultantes do processamento das lamas apresentam elevados teores em matéria orgânica e em amoníaco e podem conter quantidades muito significativas de outros compostos odoríficos [WEF/ASCE, 1995]. Conseqüentemente, estes caudais podem constituir uma das principais origens de odores em ETAR, principalmente quando constituem uma sobrecarga aos processos biológicos ou são encaminhados para a obra de entrada. A libertação dos odores contidos neste fluxo deve-se à volatilização em escoamentos com regime turbulento e em locais com elevados gradientes de velocidade [USEPA, 1985].

De salientar que, quando as lamas são sujeitas a uma estabilização química com cal as escorrências podem possuir um pH elevado, propício à manutenção dos sulfuretos em solução que serão, posteriormente, potencialmente libertados durante a transferência daquele caudal para tratamento ou nos próprios órgãos de tratamento da fase líquida [WEF/ASCE, 1995].

### 3.3.9 Recepção e processamento de líquidos sépticos

A ocorrência de odores associada à recepção e ao processamento de líquidos sépticos (por exemplo, o conteúdo dos limpa fossas) está associada ao seu elevado teor em compostos odoríficos e ao frequente regime de turbulência a que este fluxo é sujeito (descarga para a obra de entrada ou para algum órgão de tratamento), bem como, aos efeitos que a sua incorporação incontrolada na fase líquida pode ter enquanto sobrecarga para os processos de tratamento [USEPA, 1985].

### 3.3.10 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização com maior ocorrência de odores incluem as lagoas anaeróbias e, menos frequentemente, as lagoas facultativas. Em qualquer dos casos, a ocorrência de odores nas lagoas está relacionada com a oxigenação insuficiente na camada mais superficial das lagoas, associada a fenómenos interligados como morte das algas,

sobrecarga das lagoas, acumulação de escumas à superfície, falta da remoção das lamas, inversão da temperatura durante a primavera e em climas frios [WEF/ASCE, 1995].

### 3.4 Quantificação das emissões de odores

Como se referiu anteriormente (capítulo 2), a quantificação das emissões de odores é expressa em ou/m<sup>3</sup> e a quantificação das emissões para a atmosfera de compostos odoríferos é expressa em mg/Nm<sup>3</sup> ou ppmv, de um determinado composto químico.

De acordo com [ERG, 1997] a quantificação das emissões de odores pode ser estimada recorrendo a cálculos determinísticos, a modelos matemáticos de emissão de odores, a medições da fase gasosa, a factores de emissão específicos por origem e a balanços de massa. De entre os referidos, a aplicação de factores específicos de emissão de odores é o método mais expedito, sendo no entanto de salientar que aquelas emissões dependem de vários fenómenos que variam de ETAR para ETAR, como sejam, a constituição da água residual bruta, a temperatura, a linha de tratamento e a hidráulica dos circuitos. Deste modo, alguns autores [USEPA, 1985; WSDE, 1998] desaconselham a sua utilização, a não ser que tenham resultado de medições na própria instalação recomendando o recurso a outros métodos de estimação de emissões, nomeadamente a modelos matemáticos. Em [ERG, 1997] são apresentados vários destes modelos que se referem de modo não exaustivo:

- WATER8/CHEMDAT8 – USEPA
- BASTE – CH2M Hill Company
- PAVE – Chemical Manufacturers Association
- CINCI – USEPA
- NOCEPM – NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream)
- TORONTO – Ontario Ministry of the Environment
- TOXCHEM+ – Enviromega Ltd Company

## Ocorrência de odores em ETAR

No quadro seguinte resumem-se alguns factores específicos de emissões de odores, apurados por medição em vários locais da ETAR e em várias ETAR.

Quadro 3.3 – Factores específicos de emissão de odores, segundo medições efectuadas em vários pontos e em várias ETAR (adaptado de [Frechen, 2001]).

LOCAL	FACTOR ESPECÍFICO DE EMISSÃO DE ODOR (ou/(m <sup>2</sup> .h))	OBSERVAÇÕES
Obra de entrada (inclui a bombagem, gradagem, desarenação e desengorduramento)	75000	depende grandemente do projecto das instalações e se existe ou não afluência de caudais sépticos
Ar no interior do edifício da obra de entrada, onde se incluem equipamentos de gradagem e de elevação	50 – 400	com ventilação natural; medidos valores até 6700 ou/(m <sup>2</sup> .h)
Obra de entrada	200 – 1200	no canal à superfície da água
Gradagem	1000 – 5000	-
Desarenação	500 – 20000	em câmara arejada
Areia removida	1000 – 6500	-
Desengordurador	2000 – 40000	as emissões podem ser maiores dependendo da O&M da instalação
Flotantes removidos	1000 – 15000	
Decantador primário: superfície líquida	500 – 4000	as emissões podem ser reduzidas com adequadas práticas de O&M
Decantador primário: descarregador	500 – 5000	
Reactor biológico: zona anaeróbia	850 – 3000	biomassa em suspensão
Reactor biológico: zona anóxica	600 – 2000	-
Reactor biológico: zona aeróbia	300 – 1700	-
Reactores anaeróbios para remoção biológica de fósforo	15000 – 50000	-
Decantador secundário	150 – 500	-
Filtração	100 – 200	-
Espessador de lama primária	12000 – 35000	-
Espessador de lama estabilizada	500 – 5000	-
Lama estabilizada, desidratada	600 – 16000	-
Ar no interior do edifício da desidratação	20 – 400	com ventilação natural
Ar ao lado dos equipamentos de desidratação	1000	caso de lama estabilizada
Ar ao lado dos equipamentos de desidratação	16000	caso de lama acondicionada termicamente
Imediatamente após deposição final de lama, máximo	740000	9000 mg NH <sub>3</sub> /(m <sup>2</sup> .h); lama primária acondicionada ou lama insuficientemente estabilizada com cal

Notas: as faixas de valores apresentados aplicam-se em situações normais de funcionamento de uma ETAR, bem operada e sem contribuições significativas de efluentes industriais ou outros específicos;

Mais recentemente, Frechen apresentou mais resultados das medições de odores por área emissora, tendo concluído que, para a generalidade dos valores, apresentam uma boa conformidade [Frechen, 2004].

Por outro lado, [Vincent, 2001] apresenta alguns valores quantitativos do potencial odoríficos em alguns dos fluxos odoríficos mais comuns em ETAR, que se resumem no quadro seguinte.

Quadro 3.4 – Quantificação do potencial odorífico ( $\text{ou}/\text{m}^3$ ) em alguns dos fluxos odoríficos mais comuns em ETAR (adaptado de [Vincent, 2001; DEFRA, 2003]).

FLUXO ODORÍFICO	POTENCIAL ODORÍFICO ( $\text{ou}_E/\text{m}^3$ )
Água residual bruta - típica	200 – 5 000
Água residual séptica de estação elevatória	1 000 000
Efluente industrial	160 000
Alimentação da decantação primária	3 000
Descarregador da decantação primária	25 000
Lamas activadas	620
Selector da vala de oxidação	2000
Efluente final	600
Lama bruta	100 000 → 2500 000
Lama após digestão, no digestor	300 000
Lama após digestão e após armazenamento	10 000
Sobrenadante do espessamento gravítico (máximo)	4000 000

No quadro 3.5 seguinte apresentam-se elementos sobre a concentração de odores por origem e para um ETAR municipal típica, que poderão constituir dados de entrada para modelos de dispersão de odores (adaptado de [DEFRA, 2003]).

## Ocorrência de odores em ETAR

Quadro 3.5 – Emissões de odores numa ETAR municipal típica (adaptado de [DEFRA, 2003]).

<b>ORIGEM</b>	<b>PARÂMETRO</b>	<b>CONCENTRAÇÃO DE ODOR (OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CAUDAL DE AR ESPECÍFICO (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h)</b>	<b>ÁREA CONTRIBUINTE (m<sup>2</sup>)</b>	<b>MASSA DE FLUXO DE ODOR (OU<sub>E</sub>/h)</b>
Afluente		995	8,4	100	834000
Contentor de gradados		3235	6,8	10	226000
Elevação do afluente		4842	11,2	156	8472000
Desarenação		39	4,7	140	26000
Areia removida		158	6,9	10	11000
Superfície do decantador primário		93	6,7	1376	855000
Efluente do decantador primário		128	6,8	64	56000
Recirculação de lama biológica		63	6,8	25	11000
Reactor aeróbio com lamas activadas		43	6,7	1820	518000
Superfície do decantador secundário		37	5,3	1640	320000
Efluente do decantador secundário		52	5,5	180	51000
Armazenamento de lama		2234	6,1	47	642000
Espessador de lama		1045	5,4	95	536000
Lama desidratada		102	6,0	50	30000

No quadro seguinte resumem-se alguns resultados analíticos da concentração em compostos odoríficos na fase gasosa, junto das principais origens de odores numa ETAR, compilados por [Degremont, 1989].

Quadro 3.6 – Concentrações atmosféricas de compostos odoríficos junto das operações e processos de tratamento potencialmente emissoras de odores (adaptado de [Degremont, 1989]).

<b>OPERAÇÃO / PROCESSO</b>	<b>Concentração atmosférica de compostos odoríficos (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>			
	<b>Ác. Acético</b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>Mercaptanos</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
Gradagem e desarenação	1 a 10	1 a 3	0,5 a 1	1 a 3
Decantação primária	1 a 5	0,5 a 1	0,2 a 0,5	1 a 3
Armazenamento de lama primária	-	10 a 500	2 a 250	-
Tanque arejado	1 a 5	< 1	< 0,5	-
Decantação secundário	1 a 5	< 1	< 0,5	-
Espessador de lama	-	5 a 30	2 a 10	2 a 10
Desidratção de lama	10 a 25	10 a 50	2 a 15	5 a 25

## 4 Controlo de odores

### 4.1 Introdução

Os principais objectivos do controlo de odores incluem a salvaguarda da saúde dos operadores, a minimização dos problemas de corrosão e a redução do incómodo que as emissões de odores possam ter na comunidade vizinha da ETAR [USEPA, 1985]. Os dois primeiros objectivos são assegurados por uma adequada ventilação dos espaços confinados, sendo o último objectivo assegurado pela estanquidade do sistema de contenção e ventilação de ar odorífero e pela eficiência do sistema de tratamento de odores e da descarga do ar tratado.

De acordo com [Lund, 1971; Degremont, 1989; De heyder and Thoeye, 2000], o controlo de odores inclui, por um lado, a redução das emissões (medidas preventivas ou de minimização) e, por outro, o tratamento do ar odorífero e a sua respectiva dispersão atmosférica (medidas curativas).

A adopção das medidas de minimização pode não eliminar totalmente a ocorrência de odores em ETAR mas permite a sua redução significativa e uma estimativa mais aproximada das necessidades de tratamento posterior, minimizando os respectivos custos de investimento e de exploração [MECV, 1980].

As medidas curativas incidem sobre os odores já formados e que se encontram na fase gasosa e abrangem, por isso, a contenção, a ventilação, o tratamento do ar odorífero e a melhoria da dispersão atmosférica [De heyder and Thoeye, 2000]. As medidas de dispersão atmosférica incluem estruturas indutoras de turbulência no ar e zonas de amortecimento [Metcalf & Eddy, 2003].

As medidas curativas podem ainda incluir o recurso a agentes de disfarce ou de neutralização de odores [De heyder and Thoeye, 2000]. Estes processos socorrem-se da pulverização daqueles agentes nas imediações da origem do odor, funcionando sobre os princípios da percepção selectiva do sistema olfactivo humano [MECV, 1980]. O disfarce envolve a substituição de um odor ofensivo por um odor mais agradável [USEPA, 1985], recorrendo a óleos essenciais e resultando numa mistura normalmente identificada pelo

## Controlo de odores

---

olfacto humano [Rafson, 1998]. Por outro lado, a neutralização envolve o recurso a compostos químicos que neutralizem cada um dos compostos odoríficos na fase gasosa, conduzindo à transformação dos compostos odoríficos noutros com odor menos intenso ou inodoro [Metcalf & Eddy, 2003] e pode ser conseguida por adsorção, absorção ou por combinação [Rafson, 1998].

De qualquer modo, o recurso a agentes de disfarce constitui uma opção para resolução dos problemas de odores por períodos de tempo curtos [Metcalf & Eddy, 2003]. Deste modo, esta medida constitui a última das técnicas preferidas disponíveis para o controlo de odores e não deve ser considerada como uma solução permanente [USEPA, 1985], pelo que, não será aprofundada ao longo deste trabalho.

No quadro seguinte resumem-se as principais medidas para o controlo de odores.

Quadro 4.1 – Principais medidas para o controlo de odores em ETAR (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995]).

MEDIDAS PARA O CONTROLO DE ODORES EM ETAR	PREVENTIVAS	CURATIVAS	OBSERVAÇÕES
Controlo na origem	✓	-	inclui controlo de descargas de efluentes industriais, melhoria das operações de manutenção e limpeza e alterações operacionais ou de processo
Concepção e projecto de uma ETAR na óptica da redução da incidência de odores	✓	-	inclui a selecção do local, o apuramento das contribuições, a selecção dos tipos de tratamento e hidráulica
Tratamento da fase líquida	✓	-	inclui a adição de químicos e o aumento da concentração em oxigénio
Agentes de disfarce ou de neutralização	-	✓	-
Contenção e ventilação do ar odorífico	-	✓	inclui coberturas de órgãos e o encerramento dos processos de tratamento em edifícios; inclui ventilação de extracção (pontual e geral) e de insuflação
Tratamento do ar odorífico	-	✓	inclui tratamentos por absorção, por adsorção e por oxidação (térmica, biológica ou química)
Descarga e diluição atmosférica	-	✓	abrange a dispersão atmosférica e outras técnicas meteorológicas de controlo

Os princípios de concepção e requisitos de desempenho para o controlo de odores e ventilação em ETAR encontram-se especificados na Norma Europeia EN12255-9:2002. Por

outro lado, as orientações por forma a minimizar a septicidade nos sistemas de drenagem são objecto da Norma Europeia EN752-4.

A selecção das medidas de controlo de odores a aplicar em cada caso deve fundamentar-se em considerações como o efeito da medida, o tempo de reacção necessário, a execução prática, a funcionalidade, a operação e manutenção, as implicações nos restantes processos de tratamento (por exemplo, no espessamento e na desidratação das lamas, na qualidade dos caudais de retorno) e os custos envolvidos [Einarsen, *et al.*, 2000].

No quadro 4.2 seguinte, adaptado de [WPCF, 1990], resumem-se as principais tecnologias aplicáveis no controlo de odores por processos de tratamento enquanto origem de odores.

## **4.2 Minimização da ocorrência de odores**

### **4.2.1 Considerações gerais**

A minimização da ocorrência de odores incide sobre a formação e libertação de compostos odoríficos e o efeito da ocorrência de odores [Vincent, 2001] e inclui medidas aplicáveis nas fases de concepção e de exploração dos sistemas de drenagem e de tratamento [WEF/ASCE, 1995].

Uma vez formados, os compostos odoríficos tendem a acompanhar o circuito ao longo da linha de tratamento até serem transferidos para a atmosfera em locais onde a interface água-ar seja significativa [EN12255-9:2002].

Apesar dos esforços que se venham a desenvolver no sentido de minimizar a ocorrência de odores, é expectável que ocasionalmente ocorram odores [Metcalf & Eddy, 2003] e que estes possam causar incómodo. Deste modo, minimizar o efeito da ocorrência de odores constitui um dos principais aspectos que deverá ser equacionado, incluindo a abordagem da localização da ETAR, dos processos de tratamento das fases líquida e sólida, da concepção de coberturas de órgãos potencialmente odoríficos e de eventuais processos de tratamento do ar odorífico e de dispersão [MECV, 1980; Vincent, 2001].

## Controlo de odores

Quadro 4.2 – Principais tecnologias aplicáveis ao controlo de odores em ETAR, por processo de tratamento enquanto origem de odor (adaptado de [USEPA, 1985; WPCF, 1990]).

OPERAÇÃO E PROCESSO		TECNOLOGIA APLICÁVEL PARA O CONTROLO DE ODORES					
		ADIÇÃO DE QUÍMICOS, A MONTANTE DA ETAR	AREJAMENTO	ADIÇÃO DE QUÍMICOS, NA ETAR	CONTENÇÃO, RECOLHA E TRATAMENTO DO AR	MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO A JUSANTE	MELHORIA DA O&M
Tratamento da fase líquida	Gradagem	✓	-	-	✓	-	✓
	Desarenação	✓	-	-	✓	-	✓
	Equalização	✓	✓	✓	-	✓	-
	Pré-arejamento	✓	-	-	✓	-	-
	Decantação primária	✓	-	✓	✓	✓	✓
	Tratamento biológico por biomassa em suspensão	-	-	-	-	-	✓
	Tratamento biológico por biomassa fixa	-	-	✓	✓	-	✓
	Tratamento físico-químico	-	-	✓	✓	✓	✓
	Decantação secundária	-	-	-	-	-	✓
	Filtração	-	-	-	-	-	-
	Desinfecção	-	-	-	-	-	-
	Recirculação de caudais processuais	-	✓	✓	-	✓	-
Tratamento da fase sólida	Espessamento gravítico das lamas	-	-	✓	✓	-	-
	Espessamento por flotação das lamas	-	-	-	-	-	-
	Armazenamento de lamas	-	-	✓	✓	✓	-
	Estabilização biológica	-	-	-	-	-	✓
	Estabilização química	-	-	-	✓	-	-
	Condicionamento térmico	-	-	-	-	-	-
	Desidratação mecânica	-	-	✓	✓	-	-
	Desidratação gravítica em leitos de secagem	-	-	✓	-	-	✓
Recepção e processamento de líquidos sépticos	-	✓	✓	✓	✓	-	

Por outro lado, a minimização da ocorrência de odores em ETAR depende da vigilância e controlo das condições da afluência, nomeadamente de descargas potencialmente odoríficas [Metcalf & Eddy, 2003], sendo essencial contrariar o estabelecimento de condições sépticas na fase líquida ou sólida [MECV, 1980] pelo que, de acordo com [WPCF, 1990], devem ser tomadas medidas como:

- conceber os colectores com inclinação suficiente por forma a assegurar as velocidades adequadas à prevenção da deposição de sólidos;
- manter sempre oxigénio dissolvido na água residual;
- minimizar os tempos de retenção hidráulica nas tubagens e poços de bombagem;
- manter as tubagens e paredes limpas através de adequadas práticas de operação e manutenção.
- manter fluxos hidráulicos adequados.

#### **4.2.2 Controlo dos odores na origem**

O controlo na origem é uma das medidas de minimização de ocorrência de odores e inclui o estabelecimento de restrições a descargas que contenham compostos odoríficos ou que induzam o estabelecimento de condições anaeróbias e a formação de compostos odoríficos [De heyder and Thoeys, 2000]. As referidas restrições podem incluir a obrigação de pré-tratamento antes da descarga, a homogeneização e a equalização na origem [Metcalf & Eddy, 2003].

Os fluxos que normalmente apresentam características que potenciam a ocorrência de odores incluem efluentes industriais, efluentes resultantes da limpeza de fossas sépticas, lamas de outras ETAR [USEPA, 1985] e fluxos internos da ETAR, principalmente aqueles que resultam dos processos de espessamento e de desidratação das lamas [EN12255-9:2002].

### 4.2.3 Aspectos de concepção e de exploração da ETAR

Em termos de concepção, as medidas de minimização da ocorrência de odores incluem o correcto apuramento dos caudais e cargas, o dimensionamento hidráulico apropriado, a promoção dos meios adequados à manutenção dos teores em oxigénio dissolvido e a concepção das instalações por forma a facilitar as operações de limpeza [WEF/ASCE, 1995].

O apuramento dos caudais e cargas afluentes, para os anos de início e de horizonte de projecto, tem implicações directas no funcionamento dos diversos órgãos de tratamento e na consequente possibilidade de ocorrerem odores [WEF/ASCE, 1995], dado que afectam o dimensionamento hidráulico, os tempos de retenção, as cargas dos processos biológicos e a produção de lamas [USEPA, 1985]. De facto, o sobredimensionamento hidráulico poderá implicar tempos de retenção elevados que propiciam o estabelecimento de condições sépticas ou velocidades de escoamento baixas que favorecem a deposição de sólidos. Por outro lado, o subdimensionamento poderá conduzir a elevadas velocidades de escoamento e a uma maior incidência de escoamentos em regime turbulento [WEF/ASCE, 1995]. No entanto as situações mais frequentes de ocorrência de odor resultam da sobrecarga orgânica, do fornecimento inadequado de ar / oxigénio, da ventilação imprópria ou simplesmente da falta de reconhecimento que algum processos de tratamento podem necessitar de medidas específicas para o controlo de odores [USEPA, 1985].

O dimensionamento hidráulico apropriado dos sistemas de drenagem inclui a adopção de características que previnam a deposição de sólidos, tempos de retenção elevados e o estabelecimento de condições anaeróbias, por um lado, e a libertação de compostos odoríferos para a atmosfera, por outro [MECV, 1980]. Os critérios a adoptar incluem a manutenção da velocidade de auto limpeza (superior a 0,45 m/s ao caudal mínimo) [USEPA, 1985] bem como de um teor mínimo em oxigénio dissolvido (superior a 0,5 - 1,0 mg/L) [WEF/ASCE, 1995], ambos os critérios devem ser assegurados pela inclinação do colector gravítico [Vincent, 2001]. Este mesmo autor recomenda ainda que se considere, entre outros aspectos, a minimização do comprimento das condutas elevatórias, das quedas hidráulicas, dos volumes dos poços de bombagem, da acumulação de sedimentos no poço húmido das elevações, o favorecimento das operações de remoção de flutuantes do poço de bombagem e a promoção da ventilação adequada.

No dimensionamento hidráulico de uma ETAR, às considerações anteriores, acresce a preocupação com o escoamento em regime turbulento dos fluxos potencialmente odoríficos [WEF/ASCE, 1995] que incluem os caudais de retorno das operações de espessamento e de desidratação de lamas ou da recepção de conteúdos de fossas sépticas [Metcalf & Eddy, 2003], devendo optar-se por entradas submersas em vez de quedas hidráulicas que favorecem as trocas entre o líquido e o ar atmosférico, potenciando a volatilização de compostos odoríficos contidos nesses fluxos [WEF/ASCE, 1995]. Outros aspectos relativos à concepção hidráulica de uma ETAR dizem respeito à prevenção da deposição de sólidos e ao estabelecimento de zonas com gradientes de velocidade baixos ou nulos [USEPA, 1985].

A concepção geral da ETAR deverá facilitar a limpeza geral, como por exemplo, prever a existência de pontos de água junto dos processos onde se preveja a acumulação de sólidos ou de lamas (canais, grades, tanques de retenção, zonas de acumulação de sólidos, areias e de escumas, transportadores), prever um fácil acesso aos vários componentes a limpar, adoptar drenos para escoamento das águas de limpeza e possibilitar o esvaziamento e acesso ao interior de todos os órgãos [USEPA, 1985].

Os aspectos de concepção de uma ETAR incluem a selecção de materiais de construção adequados, nomeadamente serem quimicamente inertes ou estáveis, pouco adsorventes de compostos odoríficos, lisos e laváveis e não serem condutores de calor [USEPA, 1985].

Por outro lado, a prevenção da ocorrência de odores inclui adequadas actividades de exploração que minimizem o estabelecimento de condições sépticas, incluindo a vigilância das condições de escoamento, da deposição de sólidos nos colectores e nos sistemas de elevação e a manutenção e limpeza regular das infraestruturas [MECV, 1980]. De acordo com [WPCF, 1990] as adequadas actividades de operação e manutenção são necessárias em todos os processos de tratamento, sendo especialmente relevantes em:

- providenciar suficientes gradientes de velocidade no escoamento para prevenção da deposição de sólidos e assegurar a mistura completa, tendo em atenção que regimes excessivamente turbulentos promovem a libertação de odores em resultado da sua existência na fase líquida;
- manter um mínimo de 1,0 mg/L em oxigénio dissolvido nos tanques de arejamento;

- evitar o estabelecimento de condições sépticas nas lamas sedimentadas através da adopção de adequadas taxas de recirculação;
- assegurar adequados tempos de retenção hidráulico e de sólidos em todos os órgãos;
- respeitar os intervalos de funcionamento típicos de cada processo de tratamento;
- desenvolver um programa controlo de descargas industriais, estimulando a aplicação de pré-tratamentos na origem por forma a que sejam limitadas as descargas com elevada carga orgânica ou com outras características prejudiciais aos processos de tratamento e favoráveis à ocorrência de odores.

De acordo com [De heyder and Thoeve, 2000] a minimização da ocorrência de condições anaeróbias indesejáveis pode decorrer da aplicação de medidas de optimização da operação dos processos de tratamento das fases líquida e sólida, nomeadamente na separação de fluxos das lamas primárias das biológicas, na redução dos tempos de retenção de lamas no fundo dos decantadores primários, na promoção do retorno de caudais ricos em nitrato e na minimização do retorno dos caudais com elevada carga orgânica da desidratação.

No quadro seguinte (quadro 4.3) indicam-se, resumidamente, alguns dos aspectos associados à concepção e exploração de ETAR com o objectivo de minimizar a ocorrência de odores.

Quadro 4.3 – Aspectos gerais de concepção e de exploração das ETAR na óptica da minimização da ocorrência de odores.

CUIDADOS / ASPECTOS A RETER	CONCEPÇÃO	EXPLORAÇÃO
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 seu 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 das águas residuais e lamas	✓	-
Redução dos gradientes de velocidade em canais e descarregadores	✓	-

CUIDADOS / ASPECTOS A REETER	CONCEPÇÃO	EXPLORAÇÃO
Minimização dos circuitos de drenagem de fluxos potencialmente odoríficos	✓	-
Compacidade dos órgãos	✓	-
Remoção de escumas e sólidos depositados em canais	-	✓
Aumentar a distância entre as potenciais origens de odores e os receptores mais sensíveis	✓	-
Agrupar as principais origens de odores, permitindo a optimização das operações de controlo de odores	✓	-
Prever a utilização do ar viciado extraído de uma área como ar de processo noutra operação/processo de tratamento, atendendo à sua qualidade no sentido de precaver situações de corrosão	✓	-

#### 4.2.4 Adição de agentes químicos à fase líquida

A minimização de ocorrência de odores por adição de agentes químicos à água residual permite contrariar a ocorrência de condições anaeróbias, no sistema de drenagem e na ETAR, através do controlo do pH ou da promoção de reacções de oxidação e precipitação dos compostos odoríficos presentes [USEPA, 1985]. O recurso a agentes químicos com efeitos biocidas não é corrente devido aos possíveis efeitos negativos nos processos de tratamento por via biológica e aos elevados custos da operação [Einarsen, 2000].

A adição de ar ou oxigénio à água residual implica uma ponderação dos benefícios da redução da formação de compostos odoríficos e dos efeitos indesejáveis do provável aumento da libertação de odores eventualmente presentes na massa de água a arejar [WEF/ASCE, 1995].

No quadro 4.4 apresentam-se alguns dos agentes químicos usualmente adicionados à água residual para prevenção da ocorrência de odores, quais os mecanismos envolvidos e as principais vantagens e desvantagens da aplicação de cada agente químico. De salientar que os mecanismos decorrentes da adição de agentes químicos incluem eliminação das condições anaeróbias, efeito biocida, eliminação dos compostos odoríficos por oxidação ou por precipitação ou adsorção e ainda controlo da libertação de odores por alteração do pH.

No quadro 4.5 resumem-se as medidas de minimização para a ocorrência de odores em alguns dos principais processos de tratamento em ETAR.

## Controlo de odores

Quadro 4.4 – Agentes químicos utilizados na prevenção da ocorrência de odores e respectivos mecanismos, vantagens e desvantagens (adaptado de [WPCF, 1990; WEF/ASCE, 1995; Rafson, 1998; Metcalf & Eddy, 2003])

AGENTE QUÍMICO	MECANISMO PARA A PREVENÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ODORES					VANTAGENS	DESVANTAGENS
	Eliminação das condições anaeróbias	Biocidas	Oxidação	Precipitação ou adsorção	Controlo de pH		
Ar	✓	-	✓	-	-	Económico	Limitado a pequenas instalações
Oxigénio	✓	✓	✓	-	-	Eficiente	Necessita de armazenamento local
Nitrato	✓	-	-	-	-	-	Aumenta o teor em N na água residual
Cloro Hipoclorito de sódio Hipoclorito de cálcio	-	✓	✓	-	-	Oxidante forte. Biocida eficiente. Destrói os sulfuretos. Disponível na forma gasosa ou líquida.	Cl <sub>2</sub> pode originar subprodutos tóxicos (compostos organoclorados). Pode inactivar bactérias aeróbias.
Dióxido de cloro	-	✓	-	-	-	Desinfectante forte. Subprodutos não tóxicos.	A produção no local pode ser dispendiosa. Monitorização em contínuo da taxa de aplicação. Perigo de explosão.
Peróxido de hidrogénio	✓	✓	✓	-	-	Desinfectante fraco. Bom oxidante. Subprodutos não tóxicos. Fornecedor de OD. Inibe a formação de bactérias redutoras de sulfato.	Não afecta o amoníaco ou compostos orgânicos. Pode ser tóxico para bactérias aeróbias. Requer elevados tempos de contacto (15 min a 2 h). A solução concentrada é perigosa. Bastante dispendioso.
Permanganato de potássio	-	✓	✓	-	-	Oxidante forte. Estável e fácil de manusear. Não é corrosivo.	Não afecta o amoníaco ou di-sulfuretos. Dispendioso para grandes quantidades. Forma precipitado insolúvel MnO <sub>2</sub> .
Ozono	-	-	✓	-	-	Oxidante forte. Desinfectante forte. Eficiente sobre o H <sub>2</sub> S gasoso.	Instável. Produção no local. Tóxico a partir de 1 ppm. Manutenção especializada. Não afecta o H <sub>2</sub> S em solução. Dispendioso. Equipamento sensível à humidade.
Sais de ferro (cloreto férrico e sulfato férrico)	-	-	✓	✓	-	-	-
Cal e hidróxido de sódio	-	✓	-	-	✓	-	-

Quadro 4.5 – Medidas de minimização da ocorrência de odores em alguns dos principais processos de tratamento das fases líquida e sólida numa ETAR (adaptado de Rafson, 1998)].

PROCESSO	PROBLEMAS	MEDIDAS
<b>FASE LÍQUIDA</b>		
<u>Tratamento preliminar</u>		
Retenção de sólidos, grades grossa e fina	Os compostos odoríficos e COV são transferidos para a fase gasosa devido à turbulência inerente ao processo	Adição de químicos a montante. Recircular lama activada para a obra de entrada.
Descarregadores Parshall	A turbulência promove a volatilização dos compostos dissolvidos	Utilizar medidores de caudal ultrasónicos ou magnéticos.
Desarenadores	As câmaras arejadas induzem a volatilização dos compostos dissolvidos	Os desarenadores em vortex ou em canal de fluxo horizontal são menos turbulentos
<u>Tratamento primário</u>		
Decantadores primários	Formação de sulfuretos durante o armazenamento. Volatilização dos sulfuretos e COV nos descarregadores. Formação de sulfuretos nos sólidos decantados.	Retirar de serviço os tanques de armazenamento desnecessários. Subir o nível da água no canal de saída para diminuir a queda dos descarregadores. Remoção assídua de lama. Evitar a co-decantação de lamas. Adicionar sais de ferro directamente sobre o decantador ou a montante.
Tanques de equalização	Odores provenientes de sólidos residuais no fluxo equalizado	Providenciar equipamentos para recolha e remoção ou limpar os sólidos com jacto de água
<u>Tratamento secundário</u>		
Biomassa fixa (leitos percoladores e discos biológicos)	Volatilização dos compostos nos sistemas de distribuição do afluente. Formação de compostos odoríficos quando há sobrecarga ou défice em oxigénio.	Adicionar sais de ferro a montante. Limitar a carga afluente. Providenciar ventilação forçada. Abrandar os distribuidores de caudal ou aumentar a taxa de humidificação para manter um biofilme fino.
Reactores com arejamento	Volatilização dos compostos odoríficos e COV na entrada dos reactores. Formação de compostos odoríficos quando há défice em oxigénio.	Diminuir o arejamento na entrada. O arejamento por difusão com bolha fina causa menor volatilização do que com bolhas grossas. O arejamento com oxigénio puro tem menores emissões.
<u>Desinfecção</u>		
Cloragem	Formação de subprodutos voláteis	Utilizar automatismos de controlo para a dosagem de cloro. Converter os sistemas para desinfecção por radiação ultravioleta.

## Controlo de odores

PROCESSO	PROBLEMAS	MEDIDAS
<b>FASE SÓLIDA</b>		
<u>Espessamento</u>		
Espessadores gravíticos	O co-espessamento de lamas biológicas e primárias promove a formação de sulfuretos. Períodos de retenção elevados em condições anaeróbias são problemáticos.	Evitar o co-espessamento, caso estejam disponíveis vários órgãos. Utilizar tratamento químico directamente para reduzir a formação de sulfuretos durante o espessamento.
Flotação	O arejamento volatiliza os sulfuretos e outros compostos odoríficos da lama.	Utilizar um pré-tratamento químico para remover os sulfuretos da lama antes de ser processada.
<u>Desidratação</u>		
Filtros de banda ou prensa	Volatilização de sulfuretos e COV da lama afluenta para o ar da sala de desidratação	A adição de permanganato de potássio ou de peróxido de hidrogénio remove os compostos odoríficos e COV
<u>Estabilização</u>		
Digestores anaeróbios	Formação de H <sub>2</sub> S durante a digestão, que corrói o equipamento de combustão. A qualidade do ar é uma preocupação porque H <sub>2</sub> S é convertido em dióxido de enxofre durante a combustão.	Manter o processo com temperatura e pH adequados. Adicionar sais de ferro directamente no digestor, na entrada de lama ou nos digestores primários.
Digestores aeróbios	Formação de compostos odoríficos quando o processo fica em sobrecarga ou com défice de oxigénio.	Providenciar adequados meios de arejamento e mistura para manter condições aeróbias
Estabilização química	Libertação de amoníaco devido à subida de pH	Ventilar para o exterior, a menos que as concentrações em amoníaco sejam muito elevadas ou seja uma área sensível
<u>Armazenamento</u>		
Por curtos períodos	Armazenamento combinado de lama primária e biológica promove a formação de sulfuretos	Evitar armazenar lamas mistas. Providenciar mistura para manter as condições aeróbias. Adicionar sais de ferro nos tanques de arejamento e tratar os subprodutos formados.
Por longos períodos	As lamas quimicamente estabilizadas podem tornar-se odoríficas. Libertação de odores quando se mexe nas pilhas de armazenamento.	Adicionar cal suplementar para manter o pH durante o período de armazenamento. Limitar a superfície exposta e cobrir se possível. Mexer nas pilhas em condições meteorológicas favoráveis.
Aplicação no solo	Libertação de odores quando se espalha as lamas numa grande área de terreno	Aplicar as lamas potencialmente odoríficas em áreas remotas. Recorrer à injeção subsuperficial para minimizar a incidência de odores.

## **4.3 Contenção e ventilação do ar odorífico**

### **4.3.1 Aspectos gerais**

Numa ETAR pode ser indispensável assegurar o tratamento do ar odorífico porque podem ocorrer emissões odoríficas mesmo após aplicadas todas as possíveis medidas de minimização [MECV, 1980]. Por outro lado, o tratamento do ar odorífico só é possível se as emissões odoríficas forem primeiramente captadas e encaminhadas a tratamento [Degremont, 1989].

Deste modo, as operações e processos de tratamento potencialmente odoríficos são frequentemente cobertas ou encerradas em edifícios, possibilitando a extracção do ar odorífico, através de ventiladores, e o seu tratamento antes de ser descarregado para a atmosfera exterior [Koe, 2001]. Consequentemente, o controlo de odores inclui a cobertura das origens, a instalação de pontos de recolha, a ventilação dos espaços fechados e o encaminhamento do ar odorífico para tratamento e dispersão [Metcalf & Eddy, 2003].

### **4.3.2 Contenção e condução do ar odorífico**

A contenção dos odores numa ETAR inclui a instalação de coberturas ou pontos de recolha sobre as origens potencialmente odoríficas, sendo o ar odorífico conduzido através de condutas e ventilador ao processo de tratamento [Metcalf & Eddy, 2003]. A contenção do ar odorífico é tanto mais eficiente quanto mais próxima da origem for a sua captura uma vez que, deste modo, se minimiza a quantidade de ar contaminado a enviar a tratamento, poupando no equipamento de ventilação e no de tratamento [Heumann, 1997].

Em ETAR e de acordo com a norma europeia EN12255-9:2002, a concepção das coberturas para contenção de ar odorífico deverá focar aspectos como a sobrepressão ou a depressão sob a cobertura, a dimensão e geometria dos processos a cobrir (vão a vencer e acessos aos equipamentos), as cargas a suportar (ventos, neve e acessos pedonais), os materiais de construção (adequados às condições de agressividade corrosiva e de exposição solar) e os acessos necessários para as operações de rotina da instalação e de manutenção, reparação ou substituição dos equipamentos.

Por outro lado, [Heumann, 1997] sugere que, para o sucesso da contenção de odores, é fundamental atender à direcção dos fluxos de ar e à localização das pessoas em relação à origem de odores, na óptica de que o fluxo de ar criado deverá sempre afastar o ar odorífico das pessoas, em vez de fazê-lo passar através das pessoas.

A concepção de pontos de recolha de ar deverá ainda tomar em consideração que alguns gases se podem acumular junto ao tecto ou junto ao chão, dependendo da densidade e da temperatura, pelo que, alguns dos pontos de recolha, devem ser localizados em conformidade [Rafson, 1998].

A selecção dos materiais e das coberturas deverá contemplar as agressões químicas mais prováveis que, numa ETAR, será o ácido sulfúrico para os processos de montante e os ácidos orgânicos voláteis para os de jusante [Koe, 2001]. Deste modo, os materiais para as coberturas e condutas poderão ser aço galvanizado, alumínio, fibra de vidro, aço inoxidável, PVC e PEAD [Rafson, 1998].

A ligação das coberturas e pontos de recolha ao processo de tratamento faz-se através de condutas dimensionadas para transportar os gases a uma velocidade que dependerá do seu teor em partículas. No caso dos gases a transportar apresentarem poucos ou nenhuns sólidos sedimentáveis, a velocidade de dimensionamento a adoptar poderá variar entre 5 e 10 m/s e, caso de o ar a transportar ser principalmente constituído por fumos e vapores, a velocidade a adoptar poderá variar entre 10 e 13 m/s [Heumann, 1997].

No quadro seguinte apresentam-se os critérios gerais para o dimensionamento de condutas de ar.

Quadro 4.6 – Critérios gerais para o dimensionamento de condutas de ar odorífico (adaptado de [Rafson, 1998]).

PARÂMETRO	VALOR
Velocidade do ar, m/s	< 13
Perdas por fricção, Pa/m	8 – 12
Velocidade de saída “stack”, m/s	15
Pressão interna típica, Pa	500 – 2300

### 4.3.3 Sistema de ventilação

Um sistema de ventilação tem por principal objectivo a renovação do ar e a remoção de contaminantes com um mínimo dispêndio de energia [Conceição, *et al.*, 1997]. Deste modo, numa ETAR, o sistema de ventilação de espaços confinados deve assegurar a qualidade do ar no interior, prevenir emissões de odores para o exterior e encaminhar o ar odorífero a tratamento [Degremont, 1989; McNab, 2004]. A qualidade do ar interior é estabelecida para a salvaguarda da saúde ocupacional, para controlo da humidade relativa e minimizar o estabelecimento de condições corrosivas e para minimizar os perigos de explosão [USEPA, 1985].

Em termos gerais, pode-se classificar os sistemas de ventilação em:

- ventilação natural – quando a renovação do ar se faz através de aberturas, nas coberturas de órgãos ou nos edifícios, concebidas para promoverem a circulação de ar do interior para o exterior e vice-versa;
- ventilação mecânica – quando a renovação do ar se faz através de ventiladores que asseguram a extracção do ar contaminado e a insuflação de ar novo.

Nos espaços que confinam operações e processos potencialmente odoríferos recomenda-se a adopção da ventilação por meios mecânicos, por intermédio de ventiladores [Degremont, 1989]. As características dos ventiladores são determinadas pelo caudal de ar ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) a transportar com energia suficiente para vencer uma dada pressão dinâmica ( $\text{mmca}$  ou  $\text{Pa}$ ) [Stoecker and Jones, 1982].

De acordo com [Rafson, 1998], a captação do ar odorífero em zonas fechadas (edifícios, salas, órgãos cobertos) implica o estabelecimento de depressões (para prevenção da saída do ar interior) induzidas por ventiladores através da extracção de um fluxo de ar do espaço confinado.

A determinação da capacidade, em caudal, do sistema de ventilação é usualmente determinada recorrendo a fórmulas empíricas. Normalmente, a primeira aproximação ao caudal de ar do sistema de ventilação é efectuada através da seguinte expressão (4.1).

$$Q = n \times V \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde,

$Q$  – caudal de ar a extrair ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )

$n$  – número de renovações horárias ( $\text{h}^{-1}$ )

$V$  – volume do espaço a ventilar ( $\text{m}^3$ )

O estabelecimento do número de renovações horárias está directamente relacionado com a classificação da zona confinada a ventilar de acordo com o grau de contaminação e a qualidade desejada [Degremont, 1989].

No quadro seguinte apresentam-se valores relativos ao número de renovações horárias aplicáveis em ETAR, segundo a zona da ETAR, órgão ou processo de tratamento abrangido.

Quadro 4.7 – Valores de renovação horária aplicáveis a diversos locais da ETAR.

ZONA DA ETAR	$n$ ( $\text{h}^{-1}$ )	OUTRAS RESTRIÇÕES
Com base no volume dos órgãos em vazio (1)	0,5 - 12	-
Com permanência de trabalhadores (2)	12	dependente da estanquidade das coberturas
Sem permanência de trabalhadores (2)	4 - 6	
Tratamento de lamas (3)	12	-
Tratamento da fase líquida (3)	15	-
Com permanência de pessoas (4)	10 - 12	-
Sem permanência de pessoas (4)	5 - 10	-
Tratamento de lamas (5)	6 - 12	humidade relativa $\leq 60\%$
Poço de elevação (6)	15 - 25	-
Obra de entrada (6)	12 - 20	-
Decantadores primários cobertos (6)	12 - 15	-
Decantadores secundários cobertos (6)	12 - 15	-
Espessadores gravíticos (6)	12 - 20	-
Espessamento mecânico (6)	12 - 15	-
Desidratação mecânica (6)	12 - 15	-
Sala de controlo da Digestão anaeróbia (6)	12 - 20	-

Adaptado de: (1) [McNab, 2004]; (2) [Pope, 2000]; (3) [WEF/ASCE, 1995]; (4) [Degremont, 1989]; (5) [USEPA, 1985]; (6) [NBP, 2005].

O volume de ar a extrair num espaço confinado determinado pela aplicação da expressão (4.1) pode ser validado ou complementado com a determinação do caudal de ar a extrair em função da quantidade, em massa, de compostos odoríficos libertados por unidade de tempo em cada origem e estabelecendo qual a concentração aceitável de compostos no ar, aplicando a expressão (4.2) seguinte.

$$Q = \frac{\sum (F_e \times A)}{C_a} \quad \text{(Equação 4.2)}$$

Onde,

Q – caudal de ar a extrair (Nm<sup>3</sup>/h)

F<sub>e</sub> – factor específico de emissão de poluente para uma dada origem (mg/m<sup>2</sup>/h)

A – área emissora de poluente (m<sup>2</sup>)

C<sub>a</sub> – concentração aceitável no ar ambiente (mg/m<sup>3</sup>)

A aplicação da anterior expressão implica a identificação das potenciais origens de poluentes atmosféricos e a atribuição de um factor específico de emissão. A concentração aceitável no ar ambiente diz respeito às concentrações a que os trabalhadores podem ser expostos sem prejuízo da sua saúde, sendo recomendável que os trabalhadores sem utilização de equipamento especial de protecção respiratória não devem permanecer em espaços que não assegurem uma ventilação capaz de garantir que as concentrações de poluentes sejam inferiores a 25% do valor limite de exposição [WEF/ASCE, 1995, citando o Instituto para a Segurança e Saúde Ocupacional nos EUA, NIOSH].

De acordo com [Rafson, 1998], ao caudal obtido pelas expressões (4.1) e (4.2) anteriores há que acrescentar o caudal de pressurização, para garantia da pressurização desejada na zona confinada, dado pela expressão (4.3) seguinte.

$$Q_p = C_f \times A \times \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad \text{(Equação 4.3)}$$

Onde,

Q<sub>p</sub> – caudal de pressurização (Nm<sup>3</sup>/s)

$C_f$  – coeficiente, normalmente entre 0,6 e 0,7

$A$  – área das passagens de ar ( $m^2$ ), entre  $0,13 \cdot 10^{-2}$  e  $0,7 \cdot 10^{-4}$  x área das paredes do edifício, acrescida de outras áreas como grelhas de ventilação

$P$  – diferencial de pressão (Pa), normalmente de 25 Pa

$\rho$  – densidade do ar que entra na zona confinada ( $kg/m^3$ ), cerca de 1,2

Por outro lado, é comum recorrer a factores de segurança para maximizar o caudal de ar a extrair e que são aplicados segundo o tipo de ventilação, que se resume no quadro seguinte (quadro 4.8).

Quadro 4.8 – Factores de segurança para dimensionamento da capacidade de ventilação.

TIPO DE VENTILAÇÃO	FACTOR DE SEGURANÇA
extracção	3
insuflação e extracção	1,5 a 2

A aplicação de factores de segurança pode decorrer da necessidade de cobrir a flutuação interna nos órgãos de tratamento quando o caudal a ventilar é determinado com a ocupação máxima do volume do órgão, recomendando-se, para esses casos, a utilização de factores de segurança entre 1,2 e 2 [McNab, 2004].

Segundo [Rafson, 1998], a manutenção das diferenças de pressão em edifícios só é praticável quando as aberturas para o exterior são limitadas, dado que, o efeito do vento ao passar numa qualquer abertura (tipo portão, portas ou janelas abertas) desequilibra a pressurização do espaço, pelo que, quando é necessário manter aberturas por longos períodos de tempo se deverá prever cortinas de plástico ou cortinas de ar que reduzem o efeito do vento e minimizam as trocas com o exterior.

Complementarmente ao caudal, o sistema de ventilação é caracterizado pela sua capacidade, em pressão, dado pela expressão (4.4) seguinte [Stoecker and Jones, 1982].

$$\Delta H = kQ^2 \quad \text{(Equação 4.4)}$$

Onde,

$\Delta H$  – perda de carga originada na instalação pela passagem do caudal Q

$k$  – coeficiente constante característico de um dado sistema

Q – caudal de de ar

De referir que, de acordo com [Stoecker and Jones, 1982], num sistema de ventilação em regime permanente a pressão total do ventilador é igual à perda de carga na instalação, pelo que, o escoamento de ar numa instalação pode ser caracterizado pelo somatório de todas as perdas de carga localizadas e distribuídas ao longo do sistema, segundo a expressão (4.5). Aqueles autores salientam que no dimensionamento do ventilador é admitido que o escoamento se efectua no interior de condutas circulares de secção transversal uniforme, sendo o escoamento unidimensional e axissimétrico.

$$\Delta H = \sum_i^n \left( \xi_i + \frac{f_i \times l_i}{\phi_i} \right) \frac{Q_i^2}{2 \times g \times A_i^2} \quad (\text{Equação 4.5})$$

Onde,

$\xi$  – coeficiente de perda de carga localizada

$f$  – factor de atrito

$l$  – comprimento linear da tubagem (m)

$\phi$  – diâmetro da tubagem (m)

Q – caudal (m<sup>3</sup>/s)

$g$  – aceleração da gravidade (9,8 m/s<sup>2</sup>)

A – secção transversal da conduta (m<sup>2</sup>)

Para se estimar o caudal extraído por pontos de recolha ou chaminés pode-se recorrer a [Rafson, 1998] e à expressão (4.6) para a determinação do caudal de extracção em cada ponto ( $Q_e$ ) e que resulta do caudal da captação ( $Q_c$ ), directamente relacionado com a velocidade de extracção ( $v_e$ , da ordem dos 0,25 - 0,5 m/s), acrescido de uma proporção que relaciona o afastamento da captação à origem.

$$Q_n = Q_c \frac{(10 \times H^2 + A)}{A} \quad (\text{Equação 4.6})$$

Onde,

$Q_n$  – caudal de extracção (m<sup>3</sup>/s)

$Q_c$  – caudal de captação (m<sup>3</sup>/s)

$H$  – distância vertical da face da chaminé à origem de ar odorífico (m)

$A$  – área da face da chaminé (m<sup>2</sup>)

De acordo com a anterior expressão, a eficiência deste tipo de captações aumenta com a proximidade à origem odorífica, ou seja, com a diminuição da distância vertical da face da chaminé à origem de ar odorífico ( $H$ ). Pelo que, a concepção deste tipo de captações deverá minimizar o afastamento à origem odorífica e se possível anulá-la através de ligações directas [Rafson, 1998].

## 4.4 Tratamento do ar odorífico

### 4.4.1 Aspectos gerais

O tratamento do ar odorífico, também designado por desodorização, tem como principal objectivo a remoção dos compostos odoríficos presentes no ar recolhido antes da sua dispersão atmosférica [Lund, 1971]. Numa ETAR, o ar odorífico decorre da ventilação geral de espaços confinadas e de extracções pontuais nas potenciais origens de odores, sendo caracterizado por grandes volumes de ar com baixas concentrações e múltiplos compostos odoríficos [WEF/ASCE, 1995].

De acordo com [Metcalf & Eddy, 2003], as várias possibilidades para o tratamento de odores incluem:

- processos biológicos, nos quais a intervenção de microrganismos é responsável pela remoção dos compostos odoríficos através da sua decomposição e incorporação na biomassa;

- processos químicos, que induzem a oxidação, a redução e, ou a precipitação dos compostos odoríficos;
- processos físicos, nos quais a remoção dos compostos odoríficos do ar é materializada por transferência de massa, da fase gasosa para a fase líquida (absorção<sup>5</sup>) ou da fase gasosa para a fase sólida (adsorção<sup>6</sup>);
- processos térmicos de combustão ou oxidação a elevadas temperaturas, que asseguram a destruição dos compostos odoríficos presentes no ar.

Entre as várias tecnologias disponíveis para o tratamento de odores, a Norma Europeia EN12255-9:2002 recomenda a oxidação biológica, a oxidação química, a adsorção e oxidação térmica.

A oxidação biológica inclui processos físicos e biológicos que envolvem, respectivamente, a transferência dos compostos da fase gasosa para a fase líquida ou sólida e a sua posterior de degradação por acção dos microrganismos em suspensão ou fixos a um suporte [Van Langenhove and De heyder, 2001]. Os processos biológicos têm-se revelado bem adaptados ao tratamento do ar odorífico que ocorre em ETAR dado que são capazes de tratar, com elevada eficiência de remoção, fluxos de ar contendo múltiplos compostos poluentes [Iranpour, 2005] com vantagens acrescidas ao nível da segurança, economia e simplicidade de exploração [Picot *et al.*, 2001].

Em ETAR, os processos biológicos aplicados à remoção de odores mais utilizados incluem os biofiltros (*biofilters* na terminologia anglo-saxónica), biofiltros humidificados (*biotrickling filters* na terminologia anglo-saxónica) e biomassa em suspensão (*bioscrubbers* na terminologia anglo-saxónica) [Van Langenhove and De heyder, 2001].

A oxidação química envolve processos físicos e químicos. Os primeiros facilitam o contacto entre os agentes químicos e os compostos odoríficos e os segundos garantem a neutralização dos compostos odoríficos por agentes químicos [WEF/ASCE, 1995]. As tecnologias de oxidação química incluem a lavagem sobre um meio de enchimento (torres de lavagem) e a vaporização de agentes químicos sobre o ar odorífico [Card, 2001]. Trata-

---

<sup>5</sup> Absorção designa o processo pelo qual as moléculas na fase gasosa são transferidas para a fase líquida, podendo incluir uma dissolução física das moléculas no líquido ou uma reacção com um constituinte dissolvido no líquido [Lund, 1971].

<sup>6</sup> Adsorção designa o processo pelo qual as moléculas de um gás ou líquido são fixadas na superfície de um material sólido, através da formação de ligações físicas (mais reversíveis) ou químicas (menos reversíveis) entre as moléculas adsorvidas e o sólido adsorvente [Lund, 1971].

se de uma solução bastante bem adaptada à remoção de compostos odoríficos inorgânicos, como o sulfureto de hidrogénio e o amoníaco, sendo menos eficiente na remoção de compostos odoríficos orgânicos, sulfurados ou azotados, por serem menos solúveis e mais resistentes à oxidação. As soluções mais utilizadas incluem a utilização de ácido sulfúrico para a remoção de amoníaco, num primeiro estágio, e de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio para a remoção do sulfureto de hidrogénio, nos estágios seguintes.

A adsorção dos compostos odoríficos é uma tecnologia caracterizada pela passagem do ar odorífico por um meio adsorvente capaz de fixar e concentrar os compostos odoríficos, facilitando o seu subsequente processamento [Turk and Bandosz, 2001]. Os meios adsorventes passíveis da aplicação no tratamento do ar odorífico são vários, sendo o carvão activado granular o mais utilizado [WEF/ASCE, 1995].

O tratamento do ar odorífico por oxidação térmica envolve as condições idênticas à da generalidade dos processos de combustão, ou seja, o ar a tratar deverá possuir uma concentração suficiente em compostos combustíveis para manter o processo de combustão, como sejam hidrocarbonetos e oxigénio. Por outro lado, em ETAR, à excepção do gás resultante dos processos de estabilização biológica de lamas, a maioria dos fluxos de ar odorífico não possui tais características [WEF/ASCE, 1995], pelo que, esta tecnologia não será aprofundada.

A selecção das tecnologias a aplicar no tratamento do ar odorífico nas ETAR depende, entre outros, de factores como a eficiência de remoção, o caudal e concentração inicial, tempo de reacção requerido tipo e espécies químicas dos compostos odoríficos presentes, variabilidade do caudal e da concentração, simplicidade de operação e manutenção, efeitos adicionais no tratamento das fase líquida e, ou sólida e das necessidades específicas de espaço e de infraestruturas [MECV, 1980; Einarsen *et al.*, 2000; McNab, 2004].

Deste modo, a concepção de instalações de tratamento de odores envolve, entre outros, os seguintes aspectos [MECV, 1980; DEFRA, 2003]:

- a caracterização do ar a tratar (caudal, temperatura, pressão, composição, teor em humidade, matéria particulada, fluidez, solubilidade, absorvância, combustibilidade);
- a definição do quadro de qualidade e, ou eficiência de remoção necessária;

- a avaliação das condições climatéricas e atmosféricas locais;
- a selecção das tecnologias de tratamento de odores aplicáveis;
- a concepção e dimensionamento das várias tecnologias equacionadas;
- a avaliação económica de cada uma das tecnologias equacionadas.

A definição do quadro de qualidade do ar tratado pode ser caracterizada em termos de quantificação do odor, em  $\text{ou}_E/\text{m}^3$  ou da quantificação de determinados compostos odoríficos em ppm ou  $\text{mg}/\text{m}^3$  [Jones, 2002; DEFRA, 2003].

Em função da concepção da ETAR, o tratamento de odores poderá estar concentrado num único local ou, pelo contrário, serem necessárias várias instalações de tratamento para cada grupo de operações e processos de tratamento (por exemplo uma para a obra de entrada e tratamento preliminar e outra para o tratamento da fase sólida). Por outro lado, em situações particulares poderá justificar-se dividir os fluxos de odores de acordo com as respectivas cargas e características e utilizar diferentes tecnologias para cada tipo [McNab, 2004].

## **4.4.2 Processos biológicos**

### **4.4.2.1 Biofiltração**

Na biofiltração, o ar odorífero é forçado a passar através de um meio filtrante constituído por material orgânico sobre o qual os microrganismos se fixam formando um biofilme [Van Langenhove and De heyder, 2001], não sendo necessário inocular o meio filtrante nem adicionar agentes químicos [USEPA, 2000]. O biofilme é constituído principalmente por bactérias, actinomicetas e fungos que decompõem os compostos odoríficos em dióxido de carbono e água [Metcalf & Eddy, 2003].

A biofiltração envolve processos físicos e biológicos uma vez que, conforme o ar odorífero passa através do meio filtrante, os compostos odoríficos são absorvidos na camada húmida do biofilme e adsorvidos na superfície do meio filtrante sendo posteriormente oxidados no seio do biofilme [Metcalf & Eddy, 2003].

As características mais importantes associadas ao meio filtrante incluem a porosidade (deverá ser constituído por partículas de dimensões uniformes e com elevada área superficial específica, por forma a potenciar o crescimento significativo de populações de microrganismos), ter capacidade tampão e providenciar uma fonte de carbono [Boyle, 2000]. Estas características podem ser asseguradas através de uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos, entre os quais se incluem, respectivamente, o húmos, a turfa, o composto, o solo, as lascas de madeira e as cascas de árvore e as pedras porosas, os materiais cerâmicos e plásticos [WEF/ASCE, 1995] por forma a garantir um espaço intersticial entre 40 a 80% e um teor em matéria orgânica de 35 a 55% e a capacidade de manter o pH entre 7 e 8 [Metcalf & Eddy, 2003].

De acordo com [Van Langenhove and De heyder, 2001], o tratamento de ar odorífero por biofiltração inclui, normalmente, uma torre de humidificação e um biofiltro (v. figura 4.1). As torres de humidificação a montante do biofiltro asseguram não só o fornecimento de humidade como também a remoção de matéria particulada, prevenindo a colmatção do meio filtrante [Iranpour *et al.*, 2005].

Os biofiltros possuem, normalmente, um sistema de distribuição de ar odorífero e um sistema de drenagem de escorrências, sendo essencial que a distribuição do ar odorífero ocorra de um modo uniforme e com a pressão adequada [WEF/ASCE, 1995].

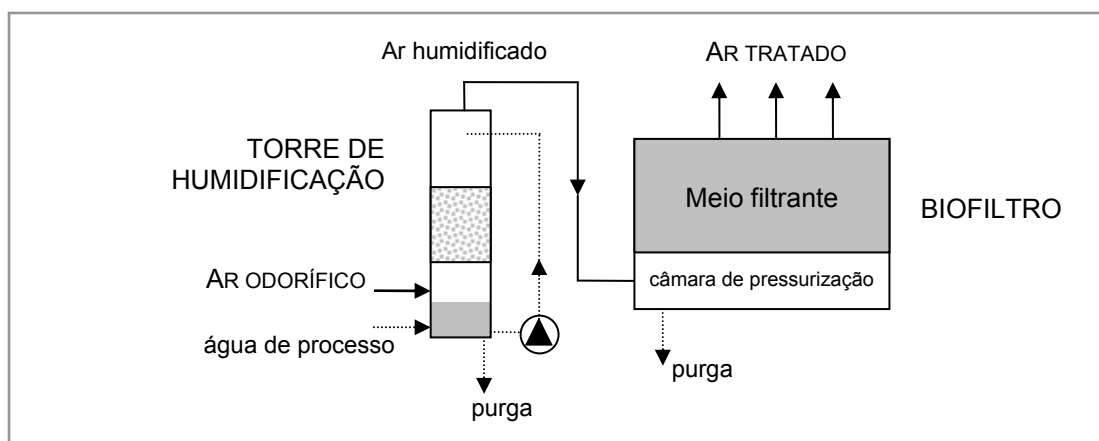


Figura 4.1 – Diagrama simplificado de uma linha de tratamento de ar odorífero por biofiltração (adaptado de [Rafson, 1998; Van Langenhove and De heyder, 2001]).

A dimensão dos biofiltros é normalmente baseada no tempo de residência do gás no leito, na carga hidráulica por unidade de ar e na capacidade de eliminação dos constituintes.

No quadro seguinte resumem-se os principais critérios de dimensionamento e de operação dos biofiltros.

Quadro 4.9 – Principais critérios de dimensionamento dos biofiltros (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Boyle, 2001; Metcalf & Eddy, 2003; Iranpour *et al.*, 2005]).

CRITÉRIO	UNIDADE	VALOR
<u>de dimensionamento</u>		
Tempo de retenção real	s	30 – 60
Tempo de retenção em vazio	s	20 – 200
Porosidade do meio filtrante	%	35 – 50
Altura do meio filtrante	m	1 – 1,25
Carga hidráulica superficial	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	50 – 100 (150)
Carga hidráulica volúmica	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h	10 – 100
Perda de carga	mm ca	100 – 150
<u>de operação</u>		
Temperatura interior (ótimo)	°C	15 – 45 (25 – 35)
Humidade em função do meio filtrante		
- material orgânico (húmus)	%	30 – 70
- material sintético		50 – 65
		55 – 65
pH (ótimo)	-	6 – 8 (6,5 – 7,5)
Concentração em oxigénio	O <sub>2</sub> / composto oxidado	100
	mg O <sub>2</sub> /L	1 – 2

No quadro seguinte apresentam-se as eficiências de remoção comumente associadas à biofiltração.

Quadro 4.10 – Eficiências de remoção da biofiltração para alguns dos compostos odoríficos removidos (adaptado de [USEPA, 2000 e 2003; Quigley *et al.*, 2004; Iranpour *et al.*, 2005]).

PARÂMETRO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO ESTIMADA (%)
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	> 80
Aminas	> 60
Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	> 95
Mercaptanos e compostos sulfurados reduzidos	> 90
Compostos orgânicos voláteis	< 90
Odor	> 80

Os principais parâmetros que controlam o desempenho dos biofiltros, e que deverão ser alvo de controlo operacional, incluem a composição e concentração do ar odorífero, a temperatura, a humidade e pH, a disponibilidade em oxigénio, carbono e nutrientes, o tempo de retenção, a compactação do meio filtrante e a distribuição do ar odorífero [USEPA, 2003].

### 4.4.2.2 Biofiltração humidificada

A biofiltração humidificada constitui uma tecnologia semelhante aos biofiltros na qual o meio filtrante é constituído por material inerte, muito poroso [Morton and Caballero, 1996] que permite a fixação e desenvolvimento de microrganismos, sendo a humidade fornecida através da pulverização de um líquido sobre o meio filtrante [Van Langenhove and De heyder, 2001]. O meio filtrante neste tipo de sistemas é normalmente de origem cerâmica ou plástica sendo caracterizado por um elevado índice de vazios (até 95%) pelo que, a perda de carga no seio do meio filtrante é significativamente reduzida, possibilitando a utilização de maiores alturas de meio de enchimento [USEPA, 2003].

Na figura seguinte (figura 4.2) apresenta-se um diagrama simplificado de um biofiltro humidificado.

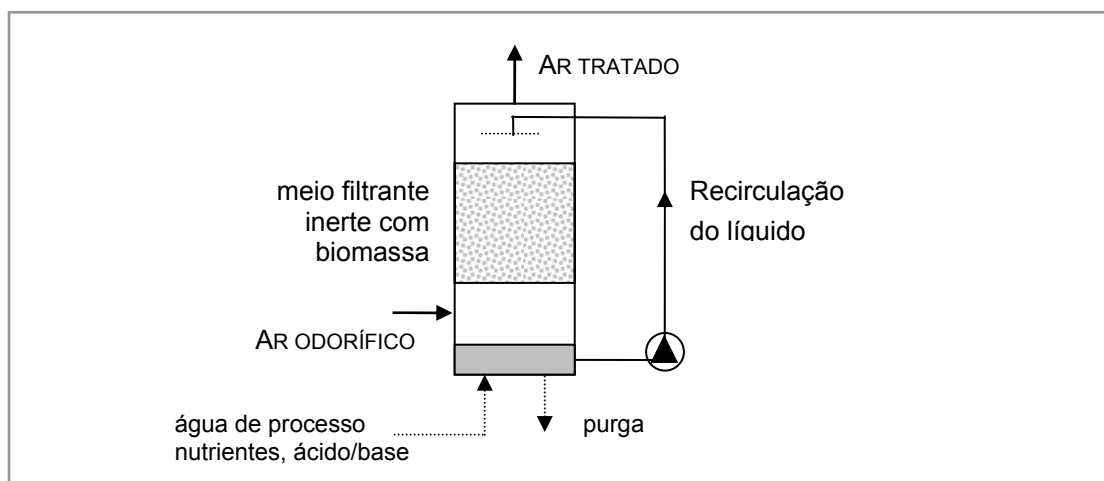


Figura 4.2 – Diagrama simplificado de uma linha de tratamento de ar odorífero por biofiltração humidificada (adaptado de [Van Langenhove and De heyder, 2001]).

No quadro seguinte resumem-se os principais critérios de dimensionamento do processo de biofiltração humidificada.

Quadro 4.11 – Principais critérios de dimensionamento da biofiltração humidificada (adaptado de [Koe, 2000; Wu *et al.*, 2001; USEPA, 2003]).

CRITÉRIO	UNIDADE	VALOR
Porosidade do meio filtrante	%	90 – 95
Tempo de retenção em vazio (gás)	s	2 – 60
Altura do meio filtrante	m	0,9 – 1,8
Perda de carga	m ca	90 – 500
Velocidade de aproximação do gás	m/s	0,067 – 0,670
Carga hidráulica superficial do líquido de lavagem	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	0,75 – 1,25
Taxa de recirculação do líquido de lavagem	L/min	0,2 – 1,0
Razão gás/líquido	-	50 – 500
pH no líquido de lavagem		
- para remoção de COV	-	~ 7
- para remoção de H <sub>2</sub> S		1 - 2

No quadro seguinte apresentam-se as eficiências de remoção comumente associadas à biofiltração humidificada.

Quadro 4.12 – Eficiências de remoção da biofiltração humidificada para alguns dos compostos odoríficos removidos (adaptado de [Kanagawa *et al.*, 2004; Iranpour *et al.*, 2005]).

PARÂMETRO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	> 95
Aminas	-
Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	> 95
Mercaptanos e compostos sulfurados reduzidos	80 – 90
Compostos orgânicos voláteis	-
Odor	> 90

O desempenho da biofiltração humidificada depende principalmente do tempo de retenção, da carga hidráulica máxima, do pH e das espécies de microrganismos presentes bem como da temperatura e do tipo de meio de enchimento [Koe and Yang, 2000].

De acordo com [Gabriel and Deshusses, 2004] o processo de tratamento em biofiltros humidificados pode atingir eficiências de remoção equiparáveis ou superiores às obtidas com lavagem química.

#### 4.4.2.3 Biomassa em suspensão

O processo de remoção de odores através do recurso a reactores de biomassa em suspensão decorre de processos de absorção dos compostos odoríficos e da sua degradação biológica por populações de microrganismos em suspensão [Hansen and Rindel, 2000], pelo que inclui, normalmente uma torre de absorção, um reactor biológico com biomassa em suspensão para a oxidação biológica dos compostos absorvidos e a recirculação do efluente do reactor para a torre de absorção [Van Langenhove and De heyder, 2001]. Na figura seguinte (figura 4.3) apresenta-se um diagrama simplificado do processo de tratamento por biomassa em suspensão.

Os parâmetros essenciais para o dimensionamento de um processo de biomassa em suspensão são o tipo de meio de enchimento, a área superficial do meio de contacto, a taxa de recirculação do líquido e a concentração da biomassa em suspensão [Van Langenhove and De heyder, 2001]. Pelo facto de incluir dois sub-processos independentes, um para a absorção e outro para a oxidação biológica, mas interligados, simplifica os processos de dimensionamento e de operação do sistema [Hansen and Rindel, 2000].

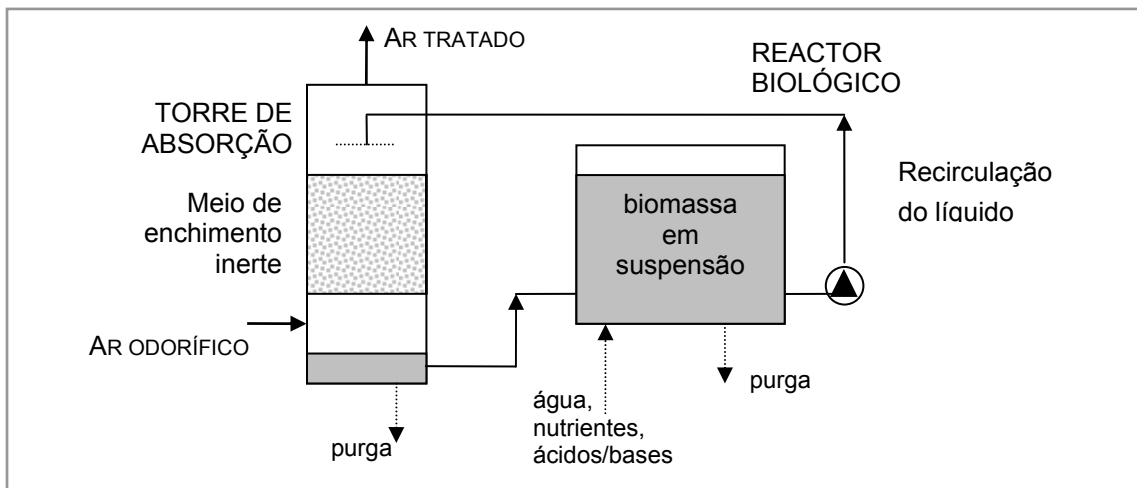


Figura 4.3 – Diagrama simplificado do processo de tratamento de odores por biomassa em suspensão (adaptado de [Van Langenhove and De heyder, 2001]).

No quadro 4.13 resumem-se os principais critérios de dimensionamento dos processos de biomassa em suspensão para o tratamento de ar odorífico e no quadro 4.14 seguinte apresentam-se as eficiências comumente associadas a este processo.

Quadro 4.13 – Principais critérios de dimensionamento para os processos de tratamento de ar odorífico por biomassa em suspensão (adaptado de [Hansen and Rindel, 2000; Le Cloirec *et al.*, 2001]).

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Carga hidráulica superficial (ar)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	720 – 3600
Carga superficial superficial (líquido de lavagem)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	30 – 100
Carga mássica do gás	kg/m <sup>2</sup> /s	0,410 – 0,819
Carga mássica do líquido	kg/m <sup>2</sup> /s	0,400 – 0,700

Quadro 4.14 – Eficiências de remoção dos processos de biomassa em suspensão para alguns dos compostos odoríficos removidos.

COMPOSTO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	
	COM BOLHA FINA	COM BOLHA MÉDIA
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	-	> 90
Aminas	-	-
Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	> 99,5	< 85 – 92
Mercaptanos e compostos sulfurados reduzidos	-	-
Compostos orgânicos voláteis	-	-
Odor	> 99,5	90 – 95

Em alternativa, a difusão do ar odorífico em reactores com lammas activadas constitui uma opção económica aos processos biológicos dedicados ao tratamento do ar odorífico, uma vez que recorre a órgãos de tratamento existentes [Bowker and Burgess, 2001]. Neste caso, os compostos odoríficos são removidos através da combinação de processos físicos, como absorção e adsorção e condensação e biológicos [NBP, 2005].

É de referir que absorção afecta os compostos odoríficos mais solúveis como o sulfureto de hidrogénio e a transferência de massa será função da área superficial das bolhas, do tempo de contacto e do coeficiente de difusão. Por outro lado, a adsorção é responsável pela fixação de compostos de maior peso molecular e menos solúveis aos flocos biológicos existentes em concentrações entre 1000 e 2000 mg/L. O facto de, por vezes o ar odorífico apresentar temperaturas ligeiramente elevadas em relação à temperatura das lammas activadas, promove a condensação de compostos orgânicos voláteis [Bowker, 2000].

A introdução do ar odorífico é efectuada no sistema de difusão para arejamento da biomassa em suspensão, sendo essencial, como em qualquer sistema de arejamento por ar difuso, a adopção de um sistema de pré-tratamento do ar, com o objectivo de remover humidade e condensações, percussoras da formação de ácido na presença de sulfureto de hidrogénio, e de remover partículas, como poeiras e gorduras percussoras de aerossóis [Bowker and Burgess, 2001].

Na figura seguinte (figura 4.4) apresenta-se um diagrama simplificado do processo de tratamento do ar odorífico por difusão em reactor com lamas activadas.

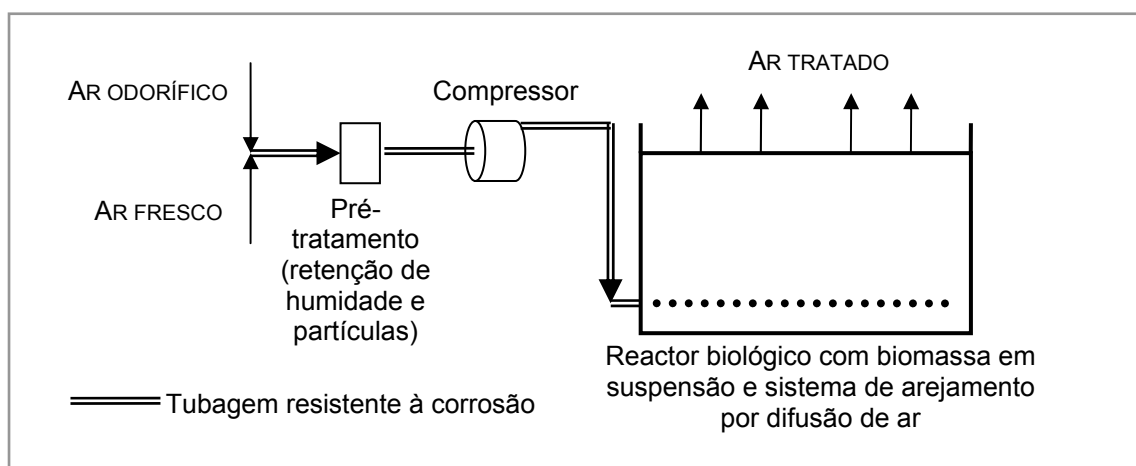


Figura 4.4 – Diagrama simplificado do processo de tratamento de ar odorífico por difusão em reactor com lamas activadas (adaptado de [Bowker and Burgess, 2001]).

Nos quadros seguintes (quadro 4.15 e quadro 4.16) resumem-se, respectivamente, os principais critérios de dimensionamento dos processos por difusão em reactores com lamas activadas e as eficiências comumente associadas a este processo.

Quadro 4.15 – Principais critérios de dimensionamento dos processos por difusão em reactores com lamas activadas (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Barbosa *et al.*, 2004]).

PARÂMETRO	UNIDADE	INTERVALO
Profundidade de imersão dos difusores	m	≥ 3
Carga de sulfuretos	mg / g MLSS / d	7 – 15
Concentração de sulfuretos no ar odorífico	ppmv	5 – 150

Quadro 4.16 – Eficiências do tratamento do ar odorífero por difusão em reactores com biomassa em suspensão (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Bowker, 2000]).

COMPOSTO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	
	COM BOLHA FINA	COM BOLHA MÉDIA
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	-	100
Aminas	-	-
Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	> 99,5	92
Mercaptanos e compostos sulfurados reduzidos	-	90
Compostos orgânicos voláteis	-	90
Odor	> 99,5	> 95

### 4.4.3 Processos físico-químicos

#### 4.4.3.1 Absorção e oxidação química

O ar odorífero pode ser tratado por processos físicos e químicos que envolvem o contacto entre um líquido de lavagem e o ar odorífero [WEF/ASCE, 1995], incluindo as tecnologias de lavagem sobre um meio de enchimento ou de vaporização [Card, 2001].

A lavagem sobre um meio de enchimento envolve, primeiro, a transferência dos compostos odoríferos da fase gasosa para a fase líquida e, segundo, a sua oxidação em meio líquido [WEF/ASCE, 1995]. No entanto, [Card, 2001] salienta que a oxidação dos compostos absorvidos na fase líquida favorece a absorção e que, por isso, pode ocorrer oxidação dos compostos odoríferos na fase gasosa.

A lavagem sobre um meio de enchimento pode ser materializada através de configurações verticais, genericamente designadas por torres de lavagem, ou através de configurações horizontais. As torres de lavagem são, normalmente, constituídas por um cilindro vertical no qual o ar odorífero constitui o fluxo ascendente em contracorrente com o líquido de lavagem, localizadas sobre uma câmara de armazenamento do líquido de lavagem, uma câmara de entrada, um sistema de distribuição de ar odorífero, um meio de enchimento, um sistema de pulverização do líquido de lavagem e um condensador por onde o ar passa antes de sair [WEF/ASCE, 1995]. Na figura seguinte apresenta-se um diagrama simplificado de uma torre de lavagem.

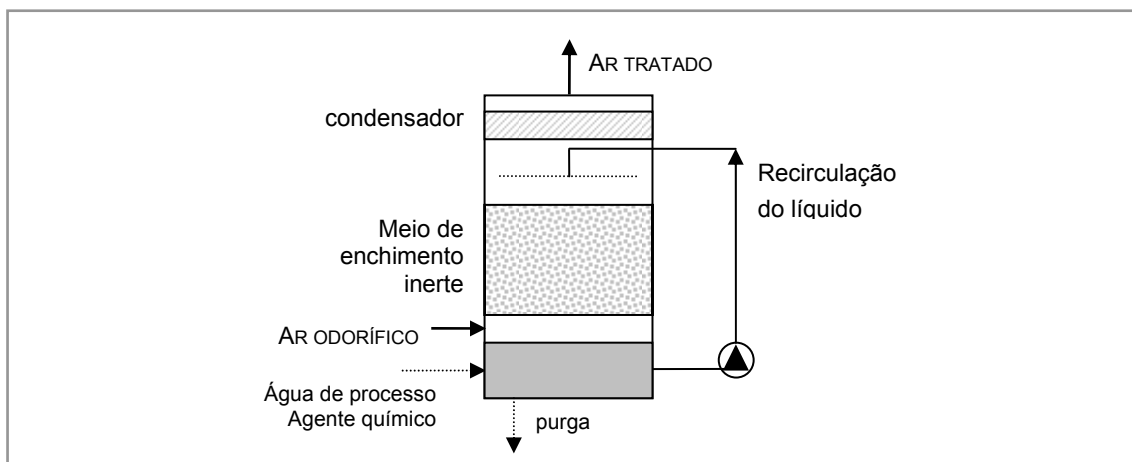


Figura 4.5 – Diagrama simplificado de uma torre de lavagem, com fluxo vertical em contracorrente (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).

O principal objectivo das torres de lavagem é garantir o contacto entre o ar odorífico e o líquido de lavagem por forma a favorecer a sua absorção e posterior oxidação [Metcalf & Eddy, 2003]. A transferência dos compostos odoríficos para a fase líquida ocorre com a passagem, simultânea do ar odorífico e do líquido de lavagem, no meio de enchimento [NBP, 2005] e a sua eficiência varia principalmente com a superfície específica do meio de enchimento, normalmente inerte constituído por elementos cerâmicos, metálicos ou plásticos [WEF/ASCE, 1995]. Os principais critérios de dimensionamento das torres de lavagem resumem-se no quadro seguinte.

Quadro 4.17 – Principais critérios de dimensionamento das torres de lavagem (adaptado de [Card, 2001]).

CRITÉRIO	UNIDADE	VALOR
Carga superficial do ar odorífico	$m^3/m^2/s$	1 - 2 (1,5)
Relação entre o ar odorífico e o líquido de lavagem	$m^3 \text{ ar} / m^3 \text{ líquido}$	80 - 1000 (400)
Razão de recirculação do líquido de lavagem	L/min por cada $m^3/s$ de ar	170
Volume do meio de enchimento	$m^3$ por cada $m^3/s$ de ar	2

O líquido de lavagem pode ser constituído apenas por água ou incluir soluções quimicamente activas. De um modo geral, a lavagem com água permite a absorção de parte dos compostos odoríficos, nomeadamente de amoníaco e de outros compostos bastante solúveis em água, desde que a água de lavagem seja pobre nesses compostos, pelo que estes processos não admitem grandes taxas de recirculação da água de lavagem. Nestas

circunstâncias, esta solução consome muita água pelo que, caso não seja possível reutilizar água residual tratada, não constitui, normalmente, uma solução economicamente atractiva [MECV, 1980].

No que respeita à lavagem química, utilizam-se diferentes reagentes químicos para a remoção de diferentes compostos odoríficos do ar [Metcalf & Eddy, 2003]. Os reagentes químicos que mais frequentemente se utilizam incluem os que se apresentam no quadro seguinte consoante o grupo de compostos odoríficos a remover (quadro 4.18) [WEF/ASCE, 1995; Metcalf & Eddy, 2003].

Quadro 4.18 – Reagentes químicos comumente utilizados na lavagem do ar e compostos odoríficos que removem (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).

AGENTE QUÍMICO	COMPOSTOS AZOTADOS	COMPOSTOS SULFURADOS	AGV	ALDEÍDOS E CETONAS	SUBPRODUTOS DA OXIDAÇÃO
Soluções ácidas					
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	✓	-	-	-	-
Ácido clorídrico (HCl)	✓	-	-	-	-
Soluções oxidantes					
Hipoclorito de sódio (NaOCl)	-	✓	-	-	-
Permanganato de potássio (KMnO <sub>4</sub> )	-	✓	-	-	-
Peróxido de hidrogénio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	-	✓	-	-	-
Ozono líquido (O <sub>3</sub> liq.)	-	✓	-	-	-
Cloro gasoso (Cl <sub>2</sub> )	-	✓	-	-	-
Soluções básicas					
Hidróxido de sódio (NaOH)	-	✓	✓	-	✓
Bissulfito de sódio ( )	-	-	-	✓	✓

A selecção do reagente químico está relacionada com questões de segurança, facilidade de utilização, velocidade da reacção com o composto que se pretende remover, entre outras [Card, 2001]. O consumo dos agentes químicos é normalmente estimado numa base estequiométrica, sendo posteriormente ajustado em função das condições locais e da ocorrência de reacções de competição [Metcalf & Eddy, 2003].

De um modo geral, os compostos odoríficos ácidos, como o sulfureto de hidrogénio, são removidos por lavagem com soluções básicas ou com pH elevado enquanto que os compostos odoríficos básicos, como o amoníaco, são removidos por lavagem ácida ou com

pH baixo. Por outro lado, ao adicionarem-se reagentes oxidantes, como cloro, peróxido de hidrogénio, permanganato de potássio, ao líquido de lavagem, o desempenho do sistema aumenta e a entrada de água de processo diminui [Card, 2001]. No quadro seguinte apresentam-se exemplos das reacções químicas correntemente utilizadas para a estimação dos consumos de reagentes.

Quadro 4.19 – Reacções químicas utilizadas na estimativa dos consumos de reagentes químicos na remoção de compostos odoríficos (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Metcalf & Eddy, 2003]).

AGENTE QUÍMICO	COMPOSTO	REACÇÃO QUÍMICA	CONSUMO ESTIMADO (g / g)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	$2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	2 - 4
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	$2\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{CH}_3\text{NH}_2)_2\text{SO}_4$	*
NaOH	H <sub>2</sub> S	$\text{H}_2\text{S} + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{NaS} + 2\text{H}_2\text{O}$	*
NaOCl	H <sub>2</sub> S	$\text{H}_2\text{S} + 4\text{NaOCl} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{NaCl}$	8 – 10
NaOCl	H <sub>2</sub> S	$\text{H}_2\text{S} + \text{NaOCl} \rightarrow \text{S}^\circ \downarrow + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$	*
KMnO <sub>4</sub> (pH < 7)	H <sub>2</sub> S	$3\text{H}_2\text{S} + 2\text{KMnO}_4 \rightarrow 3\text{S} + 2\text{KOH} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	6 – 7
KMnO <sub>4</sub> (pH > 7)	H <sub>2</sub> S	$3\text{H}_2\text{S} + 8\text{KMnO}_4 \rightarrow 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} + 8\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	*
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH < 8,5)	H <sub>2</sub> S	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{S}^\circ \downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$	1 – 4
NaOCl	CH <sub>3</sub> SH	$2\text{CH}_3\text{SH} + \text{NaOCl} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{S-SCH}_3 + \text{NaCl}$	*
NaOH	R-COOH	$\text{R-COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{R-COONa} + \text{H}_2\text{O}$	*
NaOH	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	2 – 3

\* ausência de informação.

Para a remoção de sulfureto de hidrogénio do ar recorre-se a lavagens com soluções a pH elevado, nomeadamente através da utilização de hidróxido de sódio, como agente químico único [WEF/ASCE, 1995]. Por outro lado, a remoção do sulfureto de hidrogénio apenas com hidróxido de sódio é bastante económica para concentrações afluentes a partir de 25 a 100 ppmv, com eficiências de remoção entre 90 e 95%, salientando-se que apenas se remove aquele composto, pelo que poderá ser necessário um outro estágio para a remoção de outros compostos odoríficos [Card, 2001].

No quadro seguinte apresentam-se os principais critérios de dimensionamento deste sistema, atendendo a que a dureza da água de processo deverá ser inferior a 50 mg/L expressa em CaCO<sub>3</sub> para evitar incrustações [WEF/ASCE, 1995]. Quando as concentrações em H<sub>2</sub>S no ar odorífico são superiores a 100 ppmv, esta solução deixa de ser económica [Card, 2001].

Quadro 4.20 – Principais critérios de dimensionamento de torres de lavagem com hidróxido de sódio para a remoção de sulfureto de hidrogénio (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; Metcalf & Eddy, 2003]).

CRITÉRIO	UNIDADE	VALOR
Tempo de retenção do gás	s	1,3 – 2,0
Tempo de contacto mínimo com o meio de enchimento	s	1,2
Profundidade do meio de enchimento	m	1,8 – 3
Razão de aplicação do líquido de lavagem	kg líquido / kg ar	1,5 – 2,5
	L/s por m <sup>3</sup> /s de ar	2 – 3
pH	-	11 – 12,5
Consumo de NaOH	g NaOH / kg H <sub>2</sub> S	2000 – 3000
Caudal água de processo	L/s por kg H <sub>2</sub> S a pH11	0,075
	L/s por kg H <sub>2</sub> S a pH12,5	0,004
Caudal de recirculação das soluções de lavagem	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> de área de coluna	20
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
Temperatura	°C	15 – 40

A remoção de amoníaco do ar odorífico, em concentrações superiores a 5 a 50 ppmv, pode ser conseguido, de forma económica, em torres de lavagem com pH baixo através da adição de ácido sulfúrico [Card, 2001].

A configuração mais frequente das torres de lavagem em ETAR inclui a adição de hipoclorito de sódio, como oxidante, e de hidróxido de sódio, para controlo de pH entre 8 e 9. O controlo do pH tem como principal objectivo minimizar a libertação de compostos odoríficos clorados [Card, 2001]. No quadro seguinte apresentam-se as eficiências típicas deste processo.

Quadro 4.21 – Eficiências da lavagem química com hipoclorito de sódio, num estágio único (adaptado de Metcalf & Eddy, 2003]).

PARÂMETRO	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

O processo de tratamento em torres de lavagem é controlado pelo nível do líquido na câmara, indicando se é necessário adicionar água de processo, e por analisadores de pH e, ou de potencial redox, indicando se é necessário adicionar reagentes [NBP, 2005].

O tratamento do ar odorífero em ETAR pode ser conseguido com lavagem em um estágio ou em múltiplos estágios, ou seja, no primeiro caso, a remoção de compostos odoríferos é efectuada numa única torre de lavagem e, no segundo, por duas ou mais torres de lavagem em série. 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 odoríferos (p.ex. sulfureto de hidrogénio) seja reduzida antes do tratamento com hipoclorito, nos segundo e terceiro estágios.

### 4.4.3.2 Adsorção dos compostos odoríferos

No tratamento de ar odorífero por adsorção, o ar odorífero é forçado a passar através de um meio filtrante constituído por material sólido adsorvente [Turk and Bandosz, 2001], promotor da retenção, por fixação à sua superfície, dos compostos odoríferos [WEF/ASCE, 1995]. Esta fixação, conseguida por processos de ligação entre as moléculas a reter e o material sólido adsorvente, pode ser física ou química, sendo o primeiro processo mais reversível que o segundo [Lund, 1971].

Os sistemas de adsorção são geralmente constituídos por meios filtrantes estáticos, genericamente caracterizados por possuírem elevada área superficial por unidade de peso, elevada porosidade e superfície hidrofóbica [NBP, 2005], inseridos em torres cilíndricas de fluxo vertical [Turk and Bandosz, 2001], construídas em betão ou em fibra de vidro [WSDE, 1998], nos quais o processo de adsorção evolui da zona de entrada do ar odorífero, progredindo com o fluxo de ar, até à saturação do meio na zona de saída do ar [WEF/ASCE, 1995]. O esquema ilustrativo desta evolução é apresentado na figura seguinte (figura 4.6).

Uma vez saturado o meio de adsorção procede-se à sua desorção ou regeneração por solubilização à temperatura ambiente, regeneração química ou com vapor a elevadas temperaturas numa atmosfera redutora, efectuada no local ou, mais frequentemente, pelo fornecedor [MECV, 1980].

A regeneração implica a colocação em fora de serviço do sistema de adsorção, por períodos variáveis, e a recuperação de apenas parte da capacidade de adsorção inicial do material, cerca de 85% na primeira regeneração, pelo que após duas a três regenerações é normalmente efectuada a substituição do meio adsorvente [WEF/ASCE, 1995]. Da regeneração resulta água contaminada, que necessita de tratamento antes da sua descarga final, e, ou vapor concentrado, que pode ser sujeito a incineração mais eficiente do que o ar odorífero original [NBP, 2005].

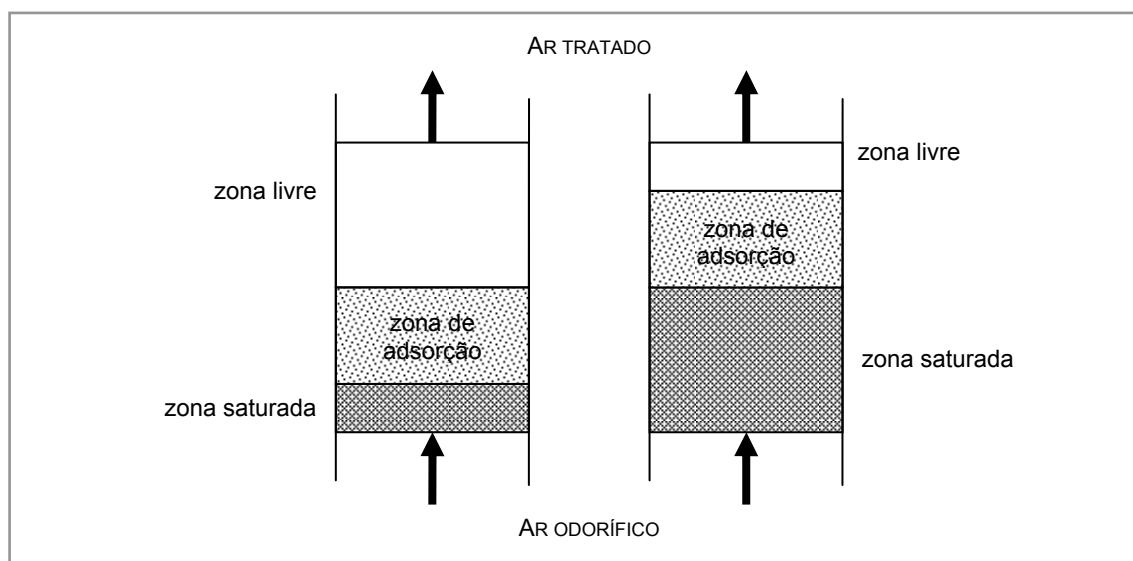


Figura 4.6 – Esquema simplificado do movimento da zona de adsorção ao longo do tempo de funcionamento de um leito de adsorção (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).

O tempo de vida útil do material adsorvente, ou o tempo que decorre até à saturação do meio adsorvente, está directamente relacionada com o ar afluente, em termos de concentração e composição dos compostos a adsorver [WEF/ASCE, 1995], na medida em que quanto maior for a concentração afluente menor será o tempo de vida útil [WSDE, 1998], e pode ser estimado através da seguinte expressão (adaptada de [Turk and Bandosz, 2001]).

$$t = 6,7 \times 10^6 \frac{S \times W}{E \times Q \times M \times C} \quad (\text{Equação 4.7})$$

Onde,

$t$  – tempo de vida útil do material adsorvente (horas)

$S$  – saturação proporcional do adsorvente (normalmente cerca de 0,1)

$W$  – peso do material adsorvente (kg)

$E$  – relação média entre a eficiência de adsorção e o tempo de vida útil (normalmente cerca de 1)

$Q$  – caudal de ar afluente ao meio adsorvente (L/s)

$M$  – peso molecular médio dos compostos a adsorver (normalmente cerca de 100 g/mol)

$C$  – concentração média dos compostos a adsorver no afluente (ppmv)

Os materiais utilizados para a adsorção de compostos gasosos incluem aluminas, silicas, carbono (carvão activado) e polímeros orgânicos [Heumann, 1997], mas em ETAR, o material adsorvente mais frequentemente utilizado no tratamento de ar odorífero é o carvão activado (virgem ou quimicamente impregnado), normalmente utilizado em leitos, simples ou duplos, com cerca de 0,9 m de altura [WEF/ASCE, 1995], cujos principais critérios de dimensionamento são apresentados no quadro seguinte (quadro 4.22).

Quadro 4.22 – Principais critérios de dimensionamento dos sistemas de adsorção em carvão activado para tratamento de ar odorífero (adaptado de [WEF/ASCE, 1995; WSDE, 1998; Turk and Bandosz, 2001]).

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Capacidade para adsorção física (CCl <sub>4</sub> /100g)	% em peso	> 60
Rigidez	%	> 90
Porosidade interna	%	60 – 80
Resistência à passagem do ar	kPa/m	1,6
Humidade afluente	% em peso	1 – 3
Altura do leito adsorvente	m	≈ 0,9
Velocidade superficial de passagem do ar	m/s	0,25 – 0,5
Área superficial específica	m <sup>2</sup> /g	800 - 2000
Carga volumétrica total	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s	< 25
Tempo de contacto em vazio	s	3 – 4

A capacidade de adsorção de um material sólido, expressa em gramas por 100 gramas de adsorvente, corresponde à quantidade máxima de compostos que o adsorvente é capaz de fixar, nas condições de operação (temperatura e humidade, concentração e composição do ar afluente) [MECV, 1980] que, normalmente, ronda os 10% em peso, para

um meio adsorvente com carvão activado virgem, com 1 metro de altura e para 0,25 m/s de passagem de ar [Turk and Bandosz, 2001]. [MECV, 1980], salienta ainda que o ar odorífico afluyente deve ser isento de poeiras e de vapor de água, características que contribuem para a colmatação do meio e diminuição da sua capacidade adsorvente.

De acordo com [MECV, 1980], a capacidade de adsorção do carvão activado depende do tipo de compostos a adsorver e que, no caso de odores de ETAR, a limitação é, normalmente, imposta pelo composto odorífico de mais difícil adsorção. Ao carvão activado virgem, são normalmente bem adsorvidos compostos com pontos de ebulição superiores a cerca de +40°C, pelo que são dificilmente adsorvidos compostos odoríficos como o amoníaco e algumas aminas, o sulfureto de hidrogénio e o mercaptano de metilo [WEF/ASCE, 1995].

No quadro seguinte (quadro 4.23) apresentam-se alguns exemplos de compostos odoríficos e a respectiva capacidade relativa do carvão activado em os adsorver.

Quadro 4.23 – Capacidade de adsorção relativa do carvão activado para vários compostos odoríficos de ocorrência em ETAR (adaptado de [MECV, 1980]).

COMPOSTO ODORÍFICO	CAPACIDADE DE ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO VIRGEM
Amoníaco	○
Aminas	○
Sulfureto de hidrogénio	○
Mercaptano de metilo	●
Aldeídos (formaldeído e acetaldeído)	●
AGV, Ácido acético	●
AGV, Ácido butírico	●
Álcoóis	●

● bem adsorvidos; ● medianamente adsorvidos; ○ dificilmente adsorvidos

Para os compostos dificilmente adsorvidos, a eficiência da adsorção ao carvão activado pode ser melhorada através da sua impregnação [MECV, 1980], que favorece a oxidação daqueles compostos em produtos inodoros ou menos odoríficos ou, ainda, em produtos com maior peso molecular que são mais facilmente adsorvidos e retidos [Turk and Bandosz, 2001]. A impregnação mais comum é efectuada com hidróxidos, nomeadamente

de sódio (NaOH) ou de potássio (KOH), para a remoção de compostos reduzidos sulfurados (sulfureto de hidrogénio e de mercaptano de metilo) [WEF/ASCE, 1995] ou com ácidos para a remoção de amoníaco [MECV, 1980].

A impregnação do carvão activado com hidróxidos apresenta algumas desvantagens operacionais, entre as quais, perigo de auto ignição e conversão do sulfureto de hidrogénio em enxofre elementar. Por sua vez, a presença de enxofre elementar adsorvido dificulta a regeneração local e diminui a vida útil do meio adsorvente, dado que a deposição do enxofre elementar e dos respectivos sais à superfície do material adsorvente bloqueiam as zonas porosas onde poderia ocorrer a sorção do sulfureto de hidrogénio [Turk and Bandosz, 2001]. Deste modo, quando o ar odorífero contém baixas concentrações mas de compostos odoríferos variados, como sulfureto de hidrogénio e COV sulfurados, é mais adequada a selecção do carvão activado virgem, mesmo admitindo reduzidas cinéticas de adsorção [NBP, 2005], sendo ainda possível otimizar-se a solução através da adsorção em dois estágios, um primeiro com carvão activado virgem e um segundo com carvão activado impregnado [WSDE, 1998].

Na figura seguinte apresenta-se um esquema simplificado de uma torre de adsorção com duplo leito de adsorção (figura 4.7).

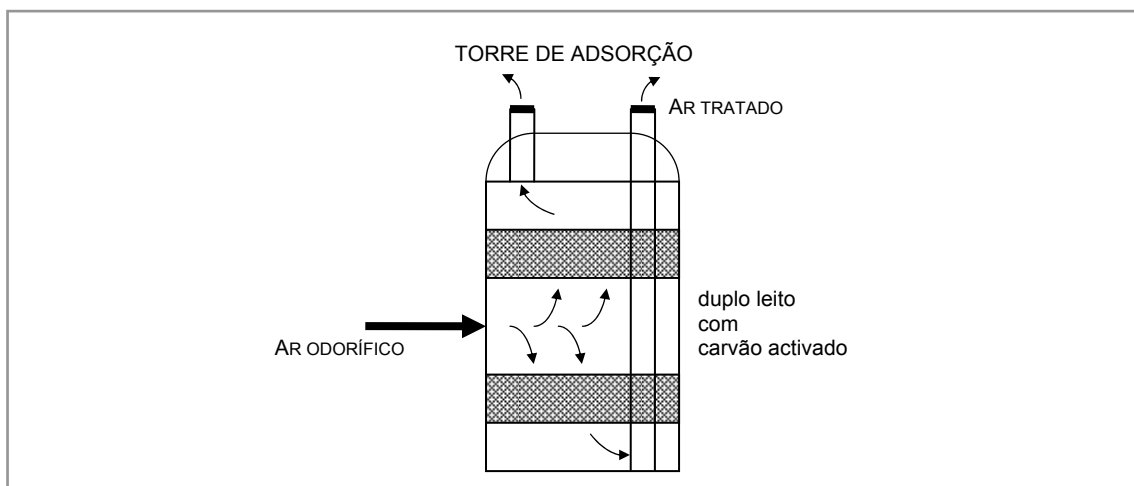


Figura 4.7 – Esquema simplificado de um sistema de tratamento de ar por adsorção em duplo leito de carvão activado (adaptado de [USEPA, 1985]).

Dado que o ar odorífero em ETAR é constituído uma mistura complexa de vários compostos odoríferos, com diferentes pesos moleculares, volatilidades e afinidades químicas, variável de estação para estação [Turk and Bandosz, 2001], o tratamento por

adsorção é aplicado como etapa final num processo com multietapas [Metcalf & Eddy, 2003]. Por exemplo, processos de tratamento de ar odorífero por absorção e oxidação química, para remoção de compostos reduzidos azotados e de compostos reduzidos sulfurados, complementados por uma última etapa de adsorção, preferencialmente em carvão activado não impregnado, para a retenção de compostos odoríferos remanescentes [MECV, 1980], sendo neste caso necessária uma etapa intermédia de desumidificação do ar [WSDE, 1998]. Mais informações sobre este tipo de tratamento de ar odorífero podem ser obtidas em [Heumann, 1997] e em [Rafson, 1998].

#### **4.4.4 Resumo da aplicabilidade técnica de cada solução alternativa**

Nos pontos anteriores foram apresentados os processos de tratamento de ar odorífero que normalmente são aplicados em ETAR, classificados em processos biológicos e processos físico-químicos. De acordo com [Picot *et al.*, 2001], a principal vantagem dos primeiros em relação aos segundos decorre da ausência ou da menor utilização de agentes químicos, o que se traduz em menores custos de operação, tecnologias mais ecológicas, mais seguras e mais fiáveis. Por outro lado, [Bowker and Burgess, 2001] salienta que a forma mais económica de tratar o ar odorífero é aquela que prevê a destruição dos compostos odoríferos, em oposição a outras que prevêem apenas a transferência dos compostos da fase gasosa para a líquida ou sólida, e que a aplicação de reacções químicas específicas para cada composto odorífero não constitui um método fiável para a eliminação de odores em ETAR, dado que os odores de ocorrência em ETAR são constituídos por uma mistura de vários compostos odoríferos.

De entre os processos biológicos apresentados, [Koe and Yang, 2000] considera a lavagem sobre biomassa fixa mais vantajosa do que os biofiltros dado que apresenta um tempo de retenção menor e elevadas eficiências de remoção para baixas concentrações, sendo também mais simples o controlo das condições de operação. Por outro lado, [Edwards and Nirmalakhandan, 1999; Hansen and Rindel, 2000] defendem que o tratamento com biomassa suspensa acumula as vantagens dos processos biológicos, por biofiltração ou por biofiltração humidificada, sem as desvantagens da eventual colmatação do meio de enchimento, e com a vantagem adicional de apresentam maior flexibilidade operacional. Complementarmente, [Pinjing *et al.*, 2001] concluiu que a metabolização do sulfureto de hidrogénio e de mercaptano de metilo é conseguida por bactérias obtidas a partir das lamas

de ETAR, salientando que a capacidade de remoção é otimizada se se ajustar os valores de pH do meio para valores de 2 a 3 e de 6 a 8, respectivamente, para a metabolização de sulfureto de hidrogénio e de mercaptano de metilo. Deste modo, este mesmo autor, recomenda a adopção de dois estágios para remoção biológica de odores em ETAR, um primeiro estágio, ácido, para a remoção de sulfureto de hidrogénio e de amoníaco e um segundo estágio, neutro, para a remoção de mercaptano de metilo e sulfuretos de metilo.

No quadro seguinte (quadro 4.24), são apresentadas as principais vantagens e desvantagens das tecnologias aplicadas ao tratamento de ar odorífico em ETAR.

## 4.5 Diluição e dispersão atmosférica

O quadro de qualidade para as descargas atmosféricas de ar odorífico tem como principal objectivo a redução do incómodo nas comunidades vizinhas [Lund, 1971] e, por norma, não pretendem definir uma eficiência de redução ou uma redução quantitativa de compostos odoríficos específicos sendo aceitável o recurso a medidas de dispersão e diluição das emissões de odores como medidas para a redução dos impactos [WSDE, 1998]. De um modo geral, a diluição e dispersão atmosférica aplica-se ao ar efluente do tratamento do ar odorífico, por não constituir *per si* um tratamento, pretendendo-se apenas melhorar a aerodinâmica local evitando a acumulação dos odores e a consequente diminuição do efeito de diluição e de dispersão atmosférica [NBP, 2005].

Deste modo, problemática da ocorrência de incómodo com odores pode ser solucionada por diluição [NBP, 2005]. A diluição pode ser conseguida por indução de gradientes de velocidade ao nível atmosférico que promovam a dispersão de odores e o movimento ascendente da pluma e por aumento da distância entre a origem de odores e os receptores (criação de zonas de amortecimento) [WSDE, 1998; Metcalf & Eddy, 2003].

Quadro 4.24 – Principais tecnologias aplicadas ao tratamento de ar odorífico em ETAR e resumo das suas principais características, vantagens e desvantagens (adaptado de [WEF/ASCE, 1995]).

TECNOLOGIA	APLICAÇÃO		VANTAGENS	DESVANTAGENS	FACTORES DE CUSTO
	INTENSIDADE DE ODOR	DIMENSÃO DA ETAR			
Biofiltração	baixa a moderada	pequena a grande	Apto a tratar uma vasta gama de compostos odoríficos; O&M mínima e simples; Não requer agentes químicos; Os subprodutos não necessitam de tratamento posterior; Eficiente para alguns COV.	Elevado índice de ocupação de área por volume de ar afluente; Pouco apto a alterações de processo; Necessita de: - controlo sobre a humidade e o pH do meio; - substituição periódica do meio; - mais pressão no ar afluente para superar as perdas de carga do meio, normalmente elevadas; - pré-tratamento do ar odorífico, caso este contenha poeiras ou partículas, que favorecem a colmatação do meio.	INV: baixo O&M: baixo
Biofiltração humidificada	-	-	Apto a tratar grandes volumes de ar; Baixas perdas de carga;	A absorção pode ser uma limitação; É questionável a adequação ao tratamento de outros compostos odoríficos para além de H <sub>2</sub> S;	-
Biomassa em suspensão	-	-	O&M simples; Não requer agentes químicos.	É questionável a fiabilidade do desempenho; Pouco apto a alterações do processo.	-
Difusão em biomassa em suspensão	baixa a moderada	pequena a grande	Processo simples e eficiente; O&M mínimas.	Possível corrosão no compressor de ar; Pode não ser apropriado a odores de intensidade muito forte.	INV: baixo, se se puderem utilizar os compressores e difusores de ar existentes

## Controlo de odores

TECNOLOGIA	APLICAÇÃO		VANTAGENS	DESVANTAGENS	FACTORES DE CUSTO
	INTENSIDADE DE ODOR	DIMENSÃO DA ETAR			
Absorção e oxidação química	moderada a elevada	média a grande	<p>Recurso frequente a meios de enchimento para a absorção;</p> <p>Elevada eficiência de absorção para alguns compostos;</p> <p>Capaz de processar grandes volumes de ar eficientemente;</p> <p>Apto a variações das concentração afluentes (em H<sub>2</sub>S e noutros compostos).</p>	<p>A recirculação do líquido de lavagem com compostos odoríficos em solução pode favorecer a sua saída com o ar tratado;</p> <p>Pode ocorrer a volatilização dos compostos químicos do líquido de lavagem e a sua saída com o ar tratado;</p> <p>Cuidados especiais no manuseamento dos agentes químicos e das purgas do sistema;</p> <p>Manutenção periódica do sistema de distribuição do líquido de lavagem e do meio de enchimento, que inclui a lavagem com ácido;</p> <p>Necessidade de amaciamento da água de processo;</p> <p>As grandes torres de lavagem podem ser um problema estético;</p> <p>Não é bem adaptado à remoção de COV, nomeadamente compostos de baixa solubilidade.</p>	<p>INV: moderado</p> <p>O&amp;M: moderado</p>
Adsorção em carvão activado	baixa a moderada	pequena a grande	<p>Operação fiável e consistente para vários compostos odoríficos;</p> <p>O&amp;M simples para a maioria dos sistemas;</p> <p>Poucas partes móveis;</p> <p>A capacidade de adsorção pode ser aumentada através de aditivos químicos.</p>	<p>O adsorvente atinge rapidamente elevadas concentrações de compostos odoríficos, pelo que é mais aplicável a ar odorífico mais diluído por forma a obter períodos de vida útil mais longos;</p> <p>A regeneração pode ser dispendiosa, difícil e demorada;</p> <p>O carvão activado impregnado com NaOH deve ser manuseado cuidadosamente dada a reactividade do material;</p> <p>As poeiras e humidade no ar afluente podem colmatar o material adsorvente;</p> <p>A deposição do adsorvente utilizado e dos subprodutos da regeneração podem constituir um problema.</p>	<p>INV: baixo</p> <p>O&amp;M: depende da frequência da regeneração ou substituição do material adsorvente</p>

## 5 Desodorização nas ETAR em Portugal

### 5.1 Metodologia

O principal objectivo do inquérito realizado foi avaliar a situação do tratamento de ar odorífero nas ETAR existentes e em funcionamento em Portugal Continental, na óptica das tecnologias utilizadas, procurando identificar quais os principais problemas operacionais dos sistemas de desodorização instalados. O ano de referência do estudo foi o ano de 2004 tendo-se procurado igualmente obter informações sobre os custos de investimento e de exploração.

A identificação das ETAR com tratamento de ar odorífero, existentes e em funcionamento, foi realizada através da consulta da página da Internet da ÁGUAS DE PORTUGAL ([www.adp.pt](http://www.adp.pt)), onde se identificaram as empresas em funcionamento na área de saneamento, com as quais foram, posteriormente, efectuados contactos telefónicos por forma a aferir a existência de ETAR com sistema de desodorização. Constatou-se que algumas áreas de saneamento em Portugal não estavam abrangidas pelas empresas multimunicipais de saneamento do grupo ÁGUAS DE PORTUGAL. Nestes casos, a identificação das ETAR com desodorização em funcionamento foi efectuada através de consultas telefónicas para as Direcções Regionais de Ambiente da região e para as Câmaras Municipais ou Serviços Municipalizados.

Durante os referidos contactos telefónicos foram agendadas, mediante disponibilidade, as visitas às ETAR identificadas. Para sistematizar a informação a recolher nas visitas às instalações preparou-se um modelo de inquérito, que se apresenta no Anexo I. Durante a marcação das visitas foram referidos os objectivos tendo em alguns casos sido enviado, via fax ou via correio electrónico, o modelo de inquérito que se pretendia preencher, por forma a haver disponibilidade da informação no dia da visita.

No quadro seguinte (quadro 5.1) apresentam-se as ETAR apuradas com indicação da entidade responsável.

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Quadro 5.1 – Listagem de ETAR com tratamento de ar odorífero em Portugal e no ano de 2004.

Designação da ETAR	Localização	Entidade responsável	Situação	Visita
ETAR do Casalinho	Óbidos	ÁGUAS DO OESTE	em arranque	20 Mai 2004
ETAR da Figueira da Foz, zona urbana	Figueira da Foz	ÁGUAS DA FIGUEIRA	em funcionamento	20 Mai 2004
ETAR de Beirolas	Lisboa	SIMTEJO	em funcionamento	27 Mai 2004
ETAR de Frielas	Lisboa	SIMTEJO	em funcionamento	27 Mai 2004
ETAR de Chelas	Lisboa	SIMTEJO	em funcionamento	27 Mai 2004
ETAR de Alcântara	Lisboa	SIMTEJO	em funcionamento	28 Set 2004
ETAR de S. João da Talha	Lisboa	SIMTEJO	em funcionamento	28 Set 2004
ETAR de Vale Faro	Albufeira	SMAS DE ALBUFEIRA	em funcionamento	30 Set 2004
ETAR de Vila Velha de Ródão	Vila Velha de Ródão	ÁGUAS DO CENTRO	em funcionamento	1 Out 2004
ETAR de Sesimbra	Sesimbra	CM SESIMBRA	em funcionamento	6 Out 2004
ETAR Norte	Aveiro	SIMRIA	em funcionamento	7 Out 2004
ETAR Sul	Ilhavo, Aveiro	SIMRIA	em funcionamento	7 Out 2004
ETAR de Cosena	Seixal	CM SEIXAL	em funcionamento	11 Out 2004
ETAR de Setúbal	Setúbal	CM SETÚBAL	em funcionamento	11 Out 2004
ETAR de Vila Real	Vila Real	ÁGUAS DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOUTRO	em funcionamento	12 Out 2004
ETAR de Peniche	Peniche	SMAS DE PENICHE	em funcionamento	19 Out 2004
ETAR de Sobreiras	Porto	AS PORTO	em funcionamento	20 Out 2004
ETAR de Gaia Litoral	Vila Nova de Gaia	ÁGUAS DE GAIA	em funcionamento	22 Out 2004
ETAR de Febros	Vila Nova de Gaia	ÁGUAS DE GAIA	em funcionamento	22 Out 2004
ETAR da Guia	Estoril	SANEST	em funcionamento	25 Out 2004
ETAR Ribeira de Moinhos	Sines	ÁGUAS DE SANTO ANDRÉ	em funcionamento	25 Out 2004
ETAR de Portinho da Costa	Almada	SMAS ALMADA	em funcionamento	26 Out 2004
ETAR do Freixo	Porto	SMAS PORTO	em funcionamento	27 Out 2004
ETAR da Luz	Aldeia da Luz	ÁGUAS DO CENTRO ALENTEJO	em funcionamento	28 Out 2004
ETAR de Santa Cruz	Óbidos	ÁGUAS DO OESTE	em funcionamento	(1)
ETAR Quinta da Lomba	Almada	SMAS ALMADA	-	(1)
ETAR da Mutela	Almada		em arranque	(2)
ETAR de Alijó	Vila Real	ÁGUAS DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOUTRO	em construção	(3)
ETAR de Sabrosa	Vila Real		em construção	(3)

Nota: as ETAR não foram visitadas porque (1) não foi possível agendar a visita; (2) a ETAR estava em fase de arranque não sendo possível efectuar a visita; (3) as ETAR estavam em construção, ficando fora do âmbito do estudo.

Deste modo, das 27 ETAR existentes e em funcionamento com tratamento de ar odorífero em Portugal Continental, foram visitadas 24, o que correspondeu a uma cobertura de cerca de 90 %.

O inquérito elaborado pretendeu identificar a ETAR, resumir as características qualitativas e quantitativas da água residual afluyente prevista em projecto e actual, bem como caracterizar as linhas de tratamento das fases líquida e sólida. De igual modo, pretendeu-se identificar e caracterizar o sistema de desodorização, nas suas componentes de contenção das emissões, captação e ventilação do ar odorífero e respectivo tratamento, providenciando uma descrição do funcionamento, da capacidade e das características dos principais equipamentos. Pretendeu-se também recolher elementos sobre a exploração e monitorização dos sistemas de desodorização instalados e apurar os custos relativos à ventilação e tratamento nas suas componentes de investimento e de exploração e a representatividade destes valores no total da ETAR.

Para a maioria das ETAR visitadas não foi possível completar o inquérito por falta de disponibilidade dos elementos à data da visita. Nestes casos, foi ainda solicitado o envio posterior daqueles elementos, via fax, correio ou e-mail. No entanto, para a maioria dos casos, este método revelou-se ineficaz.

## 5.2 Resultados obtidos

A recolha de dados para preenchimento dos inquéritos foi dada como terminada no final de Novembro de 2004.

Para a generalidade dos casos de estudo (ETAR visitadas) foi possível preencher os campos de inquérito relativos à descrição e capacidade da ETAR e à descrição geral do tratamento de ar odorífero. Por outro lado, os restantes campos foram de preenchimento mais heterogéneo. De facto, dos 24 casos de estudo, 20 informaram sobre a capacidade do processo de desodorização, 14 forneceram elementos sobre a caracterização dos equipamentos de ventilação e de tratamento de odores, 11 efectuavam a monitorização do processo, em 12 foi possível aferir o custo de investimento com o processo de desodorização e apenas 6 instalações forneceram elementos sobre os custos de exploração parcelares do tratamento de ar odorífero.

## Desodorização nas ETAR em Portugal

No quadro seguinte (quadro 5.2) indicam-se os campos do inquérito que foi possível preencher com a informação recolhida por ETAR.

Quadro 5.2 – Indicação da informação recolhida por ETAR.

Designação da ETAR	Elementos recolhidos					
	ETAR		Sistema de desodorização			
	Descrição	Capacidade	Descrição	Capacidade	Monitorização e Exploração	Custos INV / EXP
ETAR do Casalinho	✓	✓	✓	✓	○	✓ / ○
ETAR da Figueira da Foz	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de Beirolas	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ○
ETAR de Frielas	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ○
ETAR de Chelas	✓	✓	✓	✓	○	✓ / ✓
ETAR de Alcântara	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de S. João da Talha	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de Vale Faro	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ✓
ETAR de V.V. de Ródão	✓	✓	✓	○	✓	○ / ○
ETAR de Sesimbra	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR Norte	✓	✓	✓	✓	○	✓ / ○
ETAR Sul	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ✓
ETAR de Cosena	✓	✓	✓	○	○	○ / ○
ETAR de Setúbal	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de Vila Real	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de Peniche	✓	✓	✓	○	✓	✓ / ○
ETAR de Sobreiras	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR de Gaia Litoral	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ✓
ETAR de Febros	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ○
ETAR da Guia	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ✓
ETAR Rib <sup>a</sup> de Moinhos	✓	✓	✓	○	✓	✓ / ○
ETAR de Portinho da Costa	✓	✓	✓	✓	✓	✓ / ○
ETAR do Freixo	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○
ETAR da Luz	✓	✓	✓	✓	✓	○ / ○

✓ os campos foram totalmente ou parcialmente preenchidos; ○ os campos não foram preenchidos; INV investimento; EXP exploração.

Por outro lado, a informação recolhida com o preenchimento dos inquéritos revelou-se bastante heterogénea, dado que, o preenchimento dos campos relativos à caracterização dos equipamentos, aos resultados de exploração e de monitorização e aos custos de investimento e de exploração foi frequentemente parcial e as parcelas preenchidas variaram de caso para caso, conforme disponibilidade da informação.

A informação recolhida durante as visitas e com o preenchimento dos inquéritos apresenta-se sistematizada nos quadros seguintes.

A informação relativa à caracterização das ETAR é apresentada no quadro 5.3, apresentando-se no quadro 5.4 as origens do ar a tratar, o caudal de ar envolvido e a tecnologia aplicada na desodorização, por ETAR. Nos quadros 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 resume-se a informação relativa à caracterização, respectivamente, dos aspectos de ventilação, dos processos de desodorização por biofiltração, dos processos de desodorização por absorção e oxidação química e dos processos de desodorização por adsorção em carvão activado.

No quadro 5.9 resume-se a informação recolhida sobre o funcionamento e monitorização do processo de desodorização e a ocorrência de odores. Salienta-se que a monitorização, quando efectuada, recorre a analisadores portáteis com até quatro entradas para sensores, cada sensor é específico para um dado composto ou grupo de compostos e para uma gama de concentrações expectável. Os analisadores portáteis identificados nas visitas são, na globalidade, da marca Drager ou Draeger, havendo sido indicado o tipo Miniwarm numa das ETAR. As especificações destes equipamentos podem ser consultadas em [www.draeger.com](http://www.draeger.com). Os compostos analisados são, por ordem de ocorrência, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> e compostos orgânicos sulfurados (mercaptanos, entre outros).

Por último, no quadro 5.10 resumem-se os custos de investimento e de exploração que foi possível obter por ETAR.

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Quadro 5.3 – Caracterização das ETAR visitadas.

Designação da ETAR	Ano de referência		Dimensão da ETAR		% actual afluente	Afluência à ETAR	Linha de tratamento		Retorno dos Caudais da FS	Número de linhas de desodorização
	de construção	de arranque	População (HE)	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)			da fase líquida (FL)	da fase sólida (FS)		
ETAR do Casalinho	2003	2004	9928	1936	5%	gv	OE, Gr, Desar, LAb, LM, DUV	EspG, DesFB, CL	OE	1 (FS)
ETAR da Figueira da Foz, zona urbana	2000	2003	64094	16590	54%	gv	OE, Gr, EE, Pr, Tsubp, P, EEi LAm, F, DUV	EspG, Flo, ML, Dig, DesC	OE / EE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)
ETAR de Beirolas	1999, rem	2000	213510	54000	75%	-	OE, Gr, Pr, Tsubp, P, Eq, LAm, F, DUV	EspG, Flo, ML, Dig, DesFB, EstQ	OE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)
ETAR de Frielas	1999	2000	700000	70000	50%	gv	OE, Gr, EE, Pr, Tsubp, P, Eq, LAm, BF, DUV	EspG, Flo, ML, Dig, DesC	OE	3 (1ª: FL; 2ª: FS; 3ª: EE)
ETAR de Chelas	1997	2000	211000	52500	85%	-	OE, Gr, Pr, Tsubp, P, Eq, LAm, F, DUV	EspG, Flo, ML, Dig, DesC, EstQ, SL	OE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)
ETAR de Alcântara	1989	2004 <sup>(1)</sup>	725000	188800	60%	gv	OE, Gr, EE, Pr, Tsubp, FQ, P	EspM, DesC, EstQ, SL	OE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)
ETAR de S. João da Talha	1997*	-	210000	13927	69%	gv	OE, EE, Gr, Pr, Eq, FQ, P, LAm	EspG, Flo, ML, Dig, DesC, CL	OE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)
ETAR de Vale Faro	2001	2002	130000	25000	77%	gv	OE, Gr, EE, Pr, Tsubp, LAb, F, DUV	EspG, DesC, EstQ	OE	1 (tudo)
ETAR de Vila Velha de Ródão	1999	2000	3000	204	-	gv	OE, EE, Gr, LAb	DesFB	EE	1 (tudo)
ETAR de Sesimbra	2000*	-	30000	6000	42%	-	OE, Gr, Pr/P, Tsubp, BF, DUV	EspG, Dig, DesC	OE	1 (FL, FS)
ETAR Norte de Aveiro	1999	2003	272000	48705	15%	ee	OE, Gr, Pr, Tsubp, P, LAm	ML, EspG, Dig, DesFB, EstQ, SL	OE	1 (FL, FS)
ETAR Sul de Aveiro	1999	2002	159700	39278	22%	ee	OE, Gr, Pr, Tsubp, P, LAm	EspG, Flo, ML, Dig, DesC, EstQ, SL	OE	2 (1ª: FL; 2ª: FS)

Desodorização nas ETAR em Portugal

Designação da ETAR	Ano de referência		Dimensão da ETAR		% actual afluente	Afluência à ETAR	Linha de tratamento		Retorno dos Caudais da FS	Número de linhas de desodorização
	de construção	de arranque	População (HE)	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)			da fase líquida (FL)	da fase sólida (FS)		
ETAR de Cosena	1995	1996	7500	1300	73%	ee	OE, Gr, Pr, LAb	EspG, DesFB	OE	1 (FS)
ETAR de Setúbal	2002	2003	253107	27922	32%	gv	OE, Gr, EE, Pr, Tsubp, P, LAm, DUV	EspG, Flo, ML, Dig, DesC	OE	1 (FL, FS)
ETAR de Vila Real	2002	2004	45000	9360	-	gv	OE, Gr, Pr/P, Tsubp, LAm	EspG, Flo, ML, Dig, DesFB, EstQ, SL	Pr	1 (FL, FS)
ETAR de Peniche	1999	2001	46500	4000	86%	gv	OE, Gr, Pr, Tsubp, LAb, BF	Flo, DesC, EstQ	OE	1 (tudo)
ETAR de Sobreiras	1999 - 2002	2003	200000	54000	73%	gv	OE, Gr, EE, Pr/P, Tsubp, LAm, F, DUV	Flo, ML, DesC, EstQ, SL	Pr	1 (tudo)
ETAR de Gaia Litoral	2002	2003	300000	66718	67%	ee	OE, Gr, Pr/P, Tsubp, LAm	EspG, Flo, ML, Dig, DesC	Pr	1 (tudo)
ETAR de Febros	2002	2003	80000	14000	31%	gv	OE, Gr, Pr, Tsubp, LAb	EspG, ML, DesC, SL	OE	1 (FL, FS)
ETAR da Guia	1974 - 1988	1994	920000	19200	78%	gv	OE, Gr, Desar, Tsubp	-	-	1 (tudo)
ETAR Ribeira de Moinhos	1981	1982	180000	-	-	gv	OE, Gr, Desar, TROG, Tsubp, Eq, P, LAm	EspG, DesC	TROG	1 (FL)
ETAR de Portinho da Costa	2001 - 2003	2004	140000	22400	46%	gv	OE, Gr, EE, Pr/P, FQ, Tsubp, BF	EspG, Dig, DesC, EstQ, SL	EE	1 (FL, FS)
ETAR do Freixo	1999	2000	170000	35900	45%	ee	OE, Pr/P, FQ, Tsubp, LAm, DUV	EspG, EspC, ML, Dig, DesC, EstQ, SL	Pr	1 (FL, FS)
ETAR da Luz	2002	2003	900	70	39%	gv	OE, Gr, LAb, FQ, LG	EspG, DesSF	OE	1 (FL, FS)

Notas: <sup>(1)</sup> após última remodelação; \* estimado; gv: gravítico; ee: por elevação; - ausência de informação

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Quadro 5.4 – Identificação, por ETAR, das origens do ar a tratar, do caudal envolvido e da tecnologia aplicada na desodorização.

Designação da ETAR	Origem do ar a tratar	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Tecnologia de Tratamento de Odores		
			Biofiltração	Absorção e Oxidação Química	Adsorção em Carvão Activado
ETAR do Casalinho	Sala de DesFB e CL	1750			✓
ETAR da Figueira da Foz, zona urbana	Edifício da FL (OE, EE, Pr, Tsubp), P e EEi	4470	✓		
	EspG, Flo, Edifício de Esp e Edifício de DesC e CL	4350	✓		
ETAR de Beirolas	Edifício da Gr, Edifício do Tsubp, Edifício do Pr, EE, Eq	68000		✓	
	EspG, Flo, ML, Sala de DesFB	2000		✓	
ETAR de Frielas	Edifício da Gr, Edifício do Tsubp	20000		✓	
	Edifício da Flo, EspG, Edifício da DesC, ML	25000		✓	
	Estação elevatória	22000		✓	
ETAR de Chelas	Edifício da OE, Edifício do Pr, Edifício da P	22500		✓	
	EspG, Flo, ML, Edifício da Flo, Edifício da DesFB+C, TL, SL	24200		✓	
ETAR de Alcântara	Edifício da OE, EE, Tsubp, Edifício do Pr, Eq	35000		✓	
	Edifício das lamas (EspM, DesC, EstQ), SL, TL	37000	✓		
ETAR de S. João da Talha	Edifício da OE, EE, Edifício da Gr	9800			✓
	Edifício da DesC	2400			✓
ETAR de Vale Faro	Edifício do Pr (OE, Gr, Pr), Edifício da DesC, EspG, Geral	35200		✓	
ETAR de Vila Velha de Ródão	Piso superior do Edifício (Gr, LAb, DesFB)	2000*			✓
ETAR de Sesimbra	Sala da OE, Gr, Tsubp, Sala DesC, Sala Pr/P	4300	✓	✓	
ETAR Norte de Aveiro	Edifício da OE/Gr, Edifício da DesFB, ML, EspG	30000		✓	
ETAR Sul de Aveiro	Edifício da OE e Pr	3500		✓	
	EspG, ML, Sala de DesC	5300		✓	
ETAR de Cosena	Sala da DesFB	1000*			✓
ETAR de Setúbal	Edifício da FL (OE, Gr, EE, RFS, Tsubp), EspG, Sala Esp e ML, Sala Dig, Edifício da DesC	20000		✓	
ETAR de Vila Real	Edifício da OE (OE, Gr, Tsubp), Edifício da DesC, EspG, ML, SL	5700		✓	

Designação da ETAR	Origem do ar a tratar	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Tecnologia de Tratamento de Odores		
			Biofiltração	Absorção e Oxidação Química	Adsorção em Carvão Activado
ETAR de Peniche	Tudo	20000*	✓	✓	
ETAR de Sobreiras	Tudo	60000		✓	
ETAR de Gaia Litoral	Tudo	60000		✓	
ETAR de Febros	Edifício da OE (OE, Gr, Tsubp, DesC), EspG, ML, SL	6400			✓
ETAR da Guia	Galerias da OE, Gr, Desar, Tsubp	75000		✓	
ETAR Ribeira de Moinhos	OE, Gr, TROG	1000*		✓	
ETAR de Portinho da Costa	Edifício da OE (OE, Gr, EE, Tsubp), Sala Pr/P, EspG, Edifício de DesC, SL	17400		✓	
ETAR do Freixo	Edifício da OE e Gr, Edifício do Pr/P, Sala das C, EspG e ML	15000		✓	
ETAR da Luz	Edifício (OE, Gr, DesSF)	1750	✓		

\* valor estimado

Quadro 5.5 – Caracterização do sistema de ventilação, por ETAR.

Designação da ETAR	Rede de tubagens de extracção				Ventiladores	
	NOS EDIFÍCIOS		ÓRGÃOS ISOLADOS	Secções isoláveis	de extracção	de insuflação
	Geral	Pontual				
ETAR do Casalinho	sim, ≈ 3 m do chão	não	não	não	1	não
ETAR da Figueira da Foz, zu	sim, ≈ 3 m do chão, na parede lateral a um dos portões de acesso	sim (1 na OE)	sim (P, EEi)	sim, órgãos isolados	1 + 1	não
ETAR da Figueira da Foz, zu	sim, uma toma única no ed de Des e uma toma única no ed Esp	sim (CL e saída escorrências DesC)	sim (Esp, Flo)	sim, órgãos isolados	1 + 1	não
ETAR de Beirolas	sim, ≈ 3 m do chão, na parede oposta aos portões de acesso	não	sim (Eq)	sim (Eq)	2	não
ETAR de Beirolas	não	sim (por cima da DesFB)	sim (Esp, Flo, ML)	-	1	não

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Designação da ETAR	Rede de tubagens de extracção				Ventiladores	
	NOS EDIFÍCIOS		ÓRGÃOS ISOLADOS	Secções isoláveis	de extracção	de insuflação
	Geral	Pontual				
ETAR de Frielas	sim	-	não	-	1	-
ETAR de Frielas	sim	sim (CL e saída escorrências DesC)	sim (Esp, ML)	-	1	-
ETAR de Frielas	-	-	-	-	1	-
ETAR de Chelas	-	-	-	-	2	-
ETAR de Chelas	-	-	-	-	2	-
ETAR de Alcântara	sim, ≈ 3 m do chão	sim (OE, Gr, EE, Tsubp)	sim (Eq, Pr)	sim, todas as extracções pontuais	1	-
ETAR de Alcântara	sim, junto ao tecto	sim (EspM, EstQ e saída scorrências DesC)	sim (antigo EspG e SL)	sim, todas as extracções pontuais	1	-
ETAR de S. João da Talha	-	-		-	1	não
ETAR de S. João da Talha	-	-		-	1	não
ETAR de Vale Faro	sim, junto à l.a. no Ed OE e Pr; junto ao tecto nas restantes zonas	sim (EspG e saída escorrências DesC)	sim (EspG)	sim (várias)	1	não
ETAR de Vila Velha de Ródão	sim, junto ao tecto, piso superior	não	não	não	1	não
ETAR de Sesimbra	não	sim (OE, Gr, Tsubp, Pr/P, Des)	sim (EspG, ML)	não	1 + 1	não
ETAR Norte de Aveiro	sim Ed OE e Gr; sim Ed DesFB (junto ao tecto, junto aos contentores de Gr e por cima dos FB)	não	sim (EspG; ML)	não	3	não
ETAR Sul de Aveiro	sim, Ed Pr (≈ 2,0 m da l.a.)	sim	não	não	1	não
ETAR Sul de Aveiro	sim, Ed DesC (≈ 3,0 m do chão)	não	sim (EspG, ML)	sim, órgãos isolados	1	não
ETAR de Cosena	não, um ponto único de extracção na sala da DesFB	não	não	não	1	não
ETAR de Setúbal	sim, Ed OE e Ed DesC (junto ao tecto)	sim (OE, EE, RFS, Sala Esp, Sala Dig)	sim (EspG, ML)	sim, órgãos isolados e extracções pontuais no Ed OE	1	não
ETAR de Vila Real	sim, Ed OE e Gr e Ed DesFB (junto ao tecto)	sim (Tsubp, DesFB)	sim (EspG, ML, SL)	sim, órgãos isolados e extracções pontuais no Ed OE	1	sim, Ed OE e Gr

Designação da ETAR	Rede de tubagens de extracção				Ventiladores	
	NOS EDIFÍCIOS		ÓRGÃOS ISOLADOS	Secções isoláveis	de extracção	de insuflação
	Geral	Pontual				
ETAR de Peniche	sim, Ed Tratamento (junto ao tecto)	sim (no Ed T: OE, Gr, Tsubp, Pr, DesC)	sim (tanques de lamas e tratamento de gorduras)	sim	2	sim, Ed OE
ETAR de Sobreiras	sim, genericamente, junto ao tecto	sim	não, estão todos integrados num edifício único	sim	-	sim
ETAR de Gaia Litoral	sim	sim	sim (EspG, ML)	sim	2 + 1	sim
ETAR de Febros	sim, junto ao tecto e às paredes exteriores, por cima das janelas	não	sim, (EspG ML, SL)	sim, órgãos isolados	1	não
ETAR da Guia	sim, nas paredes laterais, a 1 m do chão	sim (nos equipamentos)	não	sim	1 + 1	sim, junto ao tecto
ETAR de Ribeira de Moinhos	não	não	sim, (OE, Gr, TROG)	não	1	-
ETAR de Portinho da Costa	sim, ≈ 2 m do chão, por cima das origens de odores	sim (EE, EspG, DesC, SL)	não	sim, extracção pontual	1 + 1	s, junto ao tecto
ETAR do Freixo	sim, junto do tecto, com tomadas junto ao chão	sim (OE, EspC, DesC)	sim (EspG, ML, SL)	sim, tomadas pontuais e órgãos isolados	1	-
ETAR da Luz	sim, junto ao tecto, na parede oposta ao portão de acesso, duas grelhas: uma por cima da OE e outra por cima da DesSF	não	não	não	1	não

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Quadro 5.6 – Caracterização dos processos de desodorização por biofiltração, por ETAR.

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Biofiltração							
		Características do meio filtrante			Humidificação		Características construtivas		
		Material	Altura (mm)	Inoculação (sim /não)	do ar afluyente	do meio filtrante	Planta	Área (m <sup>2</sup> )	Fechado (sim /não)
ETAR da Figueira da Foz	4470	turfa	1000	não	não	sim	rectangular	32	sim
ETAR da Figueira da Foz	4350	turfa	1000	não	não	sim	rectangular	32	sim
ETAR de Alcântara	37000	origem vegetal	-	-	sim	sim	rectangular	45	não
ETAR de Sesimbra	4300	turfa	1000	-	não	sim	rectangular	40	sim
ETAR de Peniche	20000*	biolite	-	sim	não	sim	circular	-	sim
ETAR da Luz	1750	origem vegetal	3000	não	não	sim	circular	7	não

\* valor estimado

Quadro 5.7 – Caracterização dos processos de desodorização por absorção e oxidação química, por ETAR.

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Absorção e Oxidação Química											
		Características das torres de absorção							Bombas de recirculação do líquido de lavagem				Reagentes utilizados
		Número	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume do reservatório (L)	Meio de enchimento			Número	Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	Pressão (mca)	Potência (kW)	
(sim /não)	Altura (mm)					Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )							
ETAR de Beirolas	68000	2	4000	5500	10000	sim	-	104	2	130	18	18,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Beirolas	2000	2	800	5500	500	sim	-	104	2	6	15	0,75	NaOCl (1 <sup>a</sup> ); NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Frielas	20000	2	2200	6600	-	sim	-	-	2	56	14	9	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Absorção e Oxidação Química											
		Características das torres de absorção							Bombas de recirculação do líquido de lavagem				Reagentes utilizados
		Número	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume do reservatório (L)	Meio de enchimento			Número	Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	Pressão (mca)	Potência (kW)	
(sim/não)	Altura (mm)					Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )							
ETAR de Frielas	25000	2	2500	6000	-	sim	-	-	2	70	14	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Frielas	22000	2	2500	5300	5000	sim	-	-	2	60	18	7,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Chelas	22500	2	2200	-	-	sim	-	-	2	60	16	7,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Chelas	24200	2	-	-	-	sim	-	-	2	25	16	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Alcantara	35000	1	-	-	-	sim	-	-	-	-	-	-	NaOCl + NaOH (1 <sup>a</sup> )
ETAR de Vale Faro	35200	2	3000	5700	7000	sim	2000	-	2	85	20	15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Sesimbra	4300	2	1200	-	-	sim	-	-	2	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR Norte de Aveiro	30000	2	3000	5500	7000	sim	2000	110	2	85	20	15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR Sul de Aveiro	3500	2	1000	5400	800	sim	-	-	2	9	15	1,1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR Sul de Aveiro	5300	2	1200	-	-	sim	-	-	2	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Setúbal	20000	2	2000	5700	3000	sim	-	-	2	30	18	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Vila Real	5700	2	-	-	-	sim	-	-	2	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR de Peniche	20000*	3	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (3 <sup>a</sup> )
ETAR de Sobreiras	60000	3	-	-	-	sim	-	-	3	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl (2 <sup>a</sup> ); NaOH (3 <sup>a</sup> )

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Absorção e Oxidação Química											
		Características das torres de absorção							Bombas de recirculação do líquido de lavagem				Reagentes utilizados
		Número	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume do reservatório (L)	Meio de enchimento			Número	Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	Pressão (mca)	Potência (kW)	
(sim/não)	Altura (mm)					Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )							
ETAR de Gaia Litoral	60000	3	3500	-	-	sim	2500	-	3	115	18	15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl (2 <sup>a</sup> ); NaOH (3 <sup>a</sup> )
ETAR da Guia	75000	1	3000	12000	7000	sim	1000	-	1	350	-	90	NaOCl+NaOH (1 <sup>a</sup> )
ETAR de Rib <sup>a</sup> de Moinhos	1000*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O <sub>3</sub>
ETAR de Portinho da Costa	17400	2	1900	-	-	sim	-	-	2 + 2	43	17	5,5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl+NaOH (2 <sup>a</sup> )
ETAR do Freixo	15000	3	-	-	-	sim	-	-	3	-	-	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 <sup>a</sup> ); NaOCl (2 <sup>a</sup> ); NaOH (2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> )

\* valor estimado

Quadro 5.8 – Caracterização dos processos de desodorização por adsorção em carvão activado, por ETAR.

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Adsorção em carvão activado									
		Características das torres de filtração				Características do meio adsorvente					
		Nº de unidades	Nº de leitos por unidade	Área unitária (m <sup>2</sup> )	Altura total (m)	Impregnado (sim / não)	Quantidade (kg)	Altura de cada leito (mm)	Área específica (m <sup>2</sup> /g)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Teor em humidade (%)
ETAR do Casalinho	1750	1	2	1,1	2,0	sim	452*	800	1000	500	10 - 15
ETAR de S. João da Talha	9800	1	2	9,6	2,1	sim	4310	800*	-	560	2
ETAR de S. João da Talha	2400	1	2	2,0	1,9	sim	1060	940*	-	560	2
ETAR de Vila Velha de Ródão	2000*	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-

Designação da ETAR	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Adsorção em carvão activado									
		Características das torres de filtração				Características do meio adsorvente					
		Nº de unidades	Nº de leitos por unidade	Área unitária (m <sup>2</sup> )	Altura total (m)	Impregnado (sim / não)	Quantidade (kg)	Altura de cada leito (mm)	Área específica (m <sup>2</sup> /g)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Teor em humidade (%)
ETAR de Cosena	1000*	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Febros	6400	1	1	4,9	-	sim	2280	785*	1150	590	10 - 15

\* valor estimado

Quadro 5.9 – Informação recolhida sobre o funcionamento do processo de desodorização e ocorrência de odores, por ETAR.

Designação da ETAR	Avaliação do funcionamento	Monitorização							Situações de ocorrência de odores	
		(sim / não)	do ar afluente (ppmv)			do ar efluente (ppmv)			Queixas da vizinhança?	Quando é que ocorrem mais odores na ETAR?
			H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH		
ETAR do Casalinho	em arranque	não	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR da Figueira da Foz, zu	funciona bem	sim	5 - 7 (11,7)	28 - 83 (61,3)	-	0	0	-	não	-
ETAR da Figueira da Foz, zu	funciona bem	sim	2 - 4 (2,7)	12 - 22 (15,7)	-	0	0	-	-	-
ETAR de Beirolas	funciona bem	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Beirolas	funciona bem	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Frielas	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	não	-
ETAR de Frielas	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Frielas	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Chelas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Chelas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Alcantara	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	não	-
ETAR de Alcantara	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de S. João da Talha	não é suficiente	sim	-	-	-	-	-	-	sim	-

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Designação da ETAR	Avaliação do funcionamento	Monitorização							Situações de ocorrência de odores	
		(sim /não)	do ar afluente (ppmv)			do ar efluente (ppmv)			Queixas da vizinhança?	Quando é que ocorrem mais odores na ETAR?
			H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH		
ETAR de S. João da Talha	não é suficiente	sim	-	-	-	-	-	-	sim	-
ETAR de Vale Faro	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	não	-
ETAR de Vila Velha de Ródão	não avaliam	não	-	-	-	-	-	-	não	armazenamento temporário das lamas
ETAR de Sesimbra	-	não	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR Norte de Aveiro	em arranque	sim	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR Sul de Aveiro	funciona bem	sim	2 - 65 (9)	-	-	0 - 7 (0,6)	-	-	-	-
ETAR Sul de Aveiro	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Cosena	não avaliam	não	-	-	-	-	-	-	não	-
ETAR de Setúbal	em arranque	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETAR de Vila Real	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	sim, durante a expedição das lamas	sobrecarga do espessador, movimentação das lamas desidratadas
ETAR de Peniche	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	não é frequente	descargas da industria pesqueira
ETAR de Sobreiras	funciona bem	sim	-	-	-	-	-	-	sim, durante o arranque	durante a desidratação
ETAR de Gaia Litoral	funciona bem	sim	6	26	1,5	0	0	0	não	saída das lamas, descargas industriais
ETAR de Febros	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	não	tempo mais quente
ETAR da Guia	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	não	-
ETAR Ribeira de Moinhos	não funciona	não	-	-	-	-	-	-	sim	há sempre odores, mais ou menos intensos conforme a temperatura e o tipo de descargas industriais
ETAR de Portinho da Costa	funciona bem	sim	5	10	2	0,1	0,1	< 0,05	não	tempo mais quente
ETAR do Freixo	em arranque	não	-	-	-	-	-	-	não	tempo mais quente ou quando chove
ETAR da Luz	funciona bem	não	-	-	-	-	-	-	não	tempo mais quente no interior do edifício

Quadro 5.10 – Custos de investimento e de exploração, por ETAR.

Designação da ETAR	Dimensão da ETAR (HE)	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Tecnologia			Custos de Investimento				Custos de exploração	
			B	OQ	CA	Euros (€)	% Total	Ano	e inclui:	€/ano	% Total
ETAR do Casalinho	9928	1750			✓	13650	1,44%	2003	Ve; Tr	-	-
ETAR da Figueira da Foz	64094	4470	✓			-	-	-	-	-	-
		4350	✓			-	-	-	-	-	-
ETAR de Beirolas	213510	68000		✓		340000	-	1996	Ve; Tr	-	-
		2000		✓		65000	-	1996	Ve; Tr	-	-
ETAR de Frielas	700000	20000		✓		161220	0,38%	1996	Ve; Tr	-	-
		25000		✓							
		22000		✓							
ETAR de Chelas	211000	22500		✓		122700	-	1996	Ve; Tr	-	-
		24200		✓		138200	-	2000	Ve; Tr	-	-
ETAR de Alcantara	725000	35000		✓		-	-	-	-	-	-
		37000	✓			-	-	-	-	-	-
ETAR de S. João da Talha	210000	9800			✓	-	-	-	-	-	-
		2400			✓	-	-	-	-	-	-
ETAR de Vale Faro	130000	35200		✓		17400	0,20%	2001	-	4350	≈ 2%
ETAR de V.Velha de Ródão	3000	2000*			✓	-	-	-	-	-	-
ETAR de Sesimbra	30000	4300	✓	✓		-	-	-	-	-	-
ETAR Norte	272000	30000		✓		103400	0,84%	1999	Ve; Tr	-	desprezável
		5300		✓		73650	0,56%	1999	Ve; Tr	-	< 0,5%
3500		✓									
ETAR de Cosena	7500	1000*			✓	-	-	-	-	-	-
ETAR de Setúbal	253107	20000		✓		-	-	-	-	-	-
ETAR de Vila Real	45000	5700		✓		-	-	-	-	-	-

## Desodorização nas ETAR em Portugal

Designação da ETAR	Dimensão da ETAR (HE)	Caudal de ar a tratar (Nm <sup>3</sup> /h)	Tecnologia			Custos de Investimento				Custos de exploração	
			B	OQ	CA	Euros (€)	% Total	Ano	e inclui:	€/ano	% Total
ETAR de Peniche	46500	20000*	✓	✓		175000	3,50%	1999	Ve; Tr	-	≈ 5% (energia)
ETAR de Sobreiras	200000	60000		✓		-	-	-	-	-	-
ETAR de Gaia Litoral	300000	60000		✓		472200	2,40%	2001	Ve; Tr	-	5 - 7%
ETAR de Febros	80000	6400			✓	21600	-	2002	Tr	-	-
ETAR da Guia	920000	75000		✓		-	-	-	-	-	> 80%
ETAR Ribeira de Moinhos	180000	1000*		✓		265000	-	2004	Ct; Ve; Tr	-	-
ETAR de Portinho da Costa	140000	17400		✓		115800	1,02%	2003	Ve; Tr	-	-
ETAR do Freixo	170000	15000		✓		-	-	1999	-	-	-
ETAR da Luz	900	1750	✓			-	-	-	-	-	-

Notas: HE: habitante equivalente; B: Biofiltração; OQ: Absorção e oxidação química; CA: Adsorção em carvão activado; Ct: contenção; Ve: ventilação; Tr: tratamento; ✓ assinala a tecnologia aplicada; \* estimado; - ausência de informação

## 6 Exploração dos resultados

### 6.1 Características das ETAR com desodorização

Da análise dos resultados apresentados no quadro 5.3 anterior, verifica-se que o recurso ao tratamento de ar odorífero nas ETAR em Portugal é uma prática relativamente recente, dado que maioria das ETAR visitadas, 18 dos 24 casos de estudo, foram construídas no período compreendido entre 1999 e 2003 e, em duas das restantes (ETAR de Alcântara e da ETAR de Ribeira dos Moinhos) apesar de serem de construção anterior o processo de desodorização instalado reporta-se ao referido período. De acordo com a informação obtida, o processo de desodorização em ETAR mais antigo em Portugal data de 1989 na ETAR da Guia, seguido pelo instalado na ETAR de Cosena que data de 1995.

Nos casos de estudo analisados, o tratamento de ar odorífero é mais frequente em ETAR de dimensão superior a 50 000 HE, o que acontece em 17 dos 24 casos, dos quais 10 dizem respeito a ETAR de dimensão superior a 200 000 HE. Por outro lado, verificou-se existir tratamento de ar odorífero em 4 ETAR de dimensão inferior a 10 000 HE.

No que respeita à linha de tratamento da fase líquida, 2 dos 24 casos não incluem tratamento secundário e dos restantes, 20 dos 22 casos, asseguram o tratamento secundário por processo de biomassa em suspensão e destes, 7 casos funcionam em regime de baixa carga. Deste modo, na maioria das ETAR visitadas, o processamento das lamas resultantes do tratamento da fase líquida inclui o espessamento gravítico das lamas primárias, o espessamento por flotação da lamas biológicas, a mistura de lamas, a digestão anaeróbia das lamas mistas e a desidratação das lamas por meios mecânicos.

Os caudais que resultam do tratamento da fase sólida retomam à linha de tratamento da fase líquida através da obra de entrada, em 16 dos 20 casos, sendo que nos restantes casos a sua entrada se faz a jusante da gradagem e a montante da remoção de areias e de gorduras.

No que respeita ao número de linhas de tratamento de ar odorífero, verifica-se que em 7 dos 24 casos de estudo existe mais do que uma linha de desodorização, em 6 destes casos são adoptadas duas linhas, uma para o tratamento do ar odorífero dos órgãos de

tratamento da fase líquida e outra para o correspondente da fase sólida, verificando-se, também, que estes casos são ETAR de grande dimensão e não totalmente cobertas.

Deste modo, os 24 casos de estudo totalizam 32 linhas de tratamento de odores. Por outro lado, em 17 dos 24 casos, é adoptada apenas uma linha de desodorização para a totalidade do ar odorífico proveniente das etapas de tratamento da fase sólida e, ou líquida. De entre estes casos, aparece ainda um subgrupo de 6, caracterizado pela desodorização da totalidade dos órgãos de tratamento da fase líquida e sólida e que coincide com a integração da ETAR em espaços confinados e em edifícios.

## 6.2 Principais origens de ar a tratar e tecnologia aplicada

No que se refere à identificação das origens do ar a tratar nas ETAR visitadas, verifica-se que 22 dos 24 casos de estudo, incluem a ventilação e desodorização dos órgãos de tratamento da fase sólida, e que destes apenas 2 abrangem exclusivamente as etapas de desidratação e que, por outro lado, 2 dos 24 casos de estudo, incluem apenas a ventilação e desodorização dos órgãos de tratamento da fase líquida e um deles não inclui tratamento da fase sólida. A distribuição dos órgãos e processos de tratamento das fases líquida e sólida desodorizados é a que se resume no quadro seguinte.

Quadro 6.1 – Número de órgãos e processos de tratamento existentes nas ETAR visitadas e o respectivo número que é sujeito a desodorização.

Locais analisados	N.º de casos	
	Existente	Desodorizado
Tratamento da Fase Líquida		
Obra de entrada (OE)	24	20
Gradagem (Gr)	24	22
Desarenação (Desar)	3	1
Desengorduramento (Deseng)	1	1
Pr (desarenação e desengorduramento)	19	12
P (decantação primária)	16	7
Tratamento dos subprodutos (Tsubp)	20	15
Recepção do conteúdo de fossas sépticas (RFS)	1	1
Equalização das águas residuais afluentes (Eq)	4	2
Elevação a montante do tratamento secundário (EE)	9	8
Tratamento secundário (LA ou BF)	22	5

Locais analisados	N.º de casos	
	Existente	Desodorizado
Tratamento terciário (BF ou F e DUV)	11	2
Tratamento da Fase Sólida		
Espessamento (EspG / EspM / EspC)	20	14
Espessamento por flotação (Flo)	11	7
Mistura de lamas (ML)	13	12
Desidratação (DesC / DesFB / DesSF)	23	22
Armazenamento de lamas (SL / CL / PqL)	23	8
Geral dos edifícios de processo	-	6

Da análise do quadro anterior verifica-se que os órgãos e processos de tratamento que, quando existentes, são mais frequentemente sujeitos a desodorização incluem, por ordem decrescente de ocorrência e com um índice superior a 75%, a desidratação mecânica e mistura de lamas, a gradagem, as elevações de águas residuais, a obra de entrada e o tratamento dos subprodutos. A desodorização das operações de espessamento de lamas ocorrem em cerca de 70% dos casos, enquanto que a desodorização das etapas de desarenação e, ou desengorduramento representam uma incidência de cerca de 60% dos casos.

Por outro lado, dos 32 sistemas de desodorização apurados 31 abrangem a extracção de ar de edifícios de processo e de órgãos de tratamento e apenas 1 abrange exclusivamente a extracção de ar de órgãos cobertos não visitáveis.

Relativamente à incidência das tecnologias aplicadas ao tratamento de odores, apuraram-se apenas três tecnologias: a biofiltração, a absorção e oxidação química e a adsorção em carvão activado. Das 32 linhas de tratamento de odores inseridas nos 24 casos de estudo, 2 possuem processos de tratamento de ar odorífero que acumulam biofiltração e absorção e oxidação química, um caso de forma cumulativa, em série, e outro de forma alternativa, em paralelo. Dos restantes 30, 4 aplicam exclusivamente a biofiltração ( $\approx 13\%$ ), 20 aplicam exclusivamente a absorção e oxidação química ( $\approx 67\%$ ) e 6 aplicam apenas a adsorção em carvão activado ( $\approx 20\%$ ).

Sistematizando a informação relativa à dimensão da ETAR, ao caudal de ar a tratar e à tecnologia de tratamento de odores aplicada, resume-se no quadro seguinte.

## Exploração dos resultados

Quadro 6.2 – Informação recolhida por tecnologia aplicada.

Tecnologia	Biofiltração	Absorção e oxidação química	Adsorção em carvão activado
Sistemas de desodorização	6	22	6
Dimensão da ETAR (HE)	900 – 64000 (725000)	45000 – 700000 (920000)	3000 – 80000 (210000)
Caudal de ar afluente (Nm <sup>3</sup> /h)	1750 – 4470 (37000)	2000 – 68000 (75000)	1750 – 6400 (9800)

Nota: entre parênteses apresentam-se alguns valores máximos que não correspondem à gama geral da aplicação da tecnologia, porque ou existe mais do que um sistema de desodorização na ETAR, ou retrata uma situação muito particular.

De acordo com o apurado, as tecnologias por biofiltração e adsorção em carvão activado são, genericamente, aplicadas para a mesma gama de dimensão de ETAR e de caudal de ar a tratar, enquanto que por absorção e oxidação química são aplicadas também em ETAR de dimensões superiores.

Na figura seguinte apresenta-se a variação do caudal de ar a tratar em função da dimensão da ETAR, com indicação da tecnologia aplicada ao tratamento de ar odorífico.

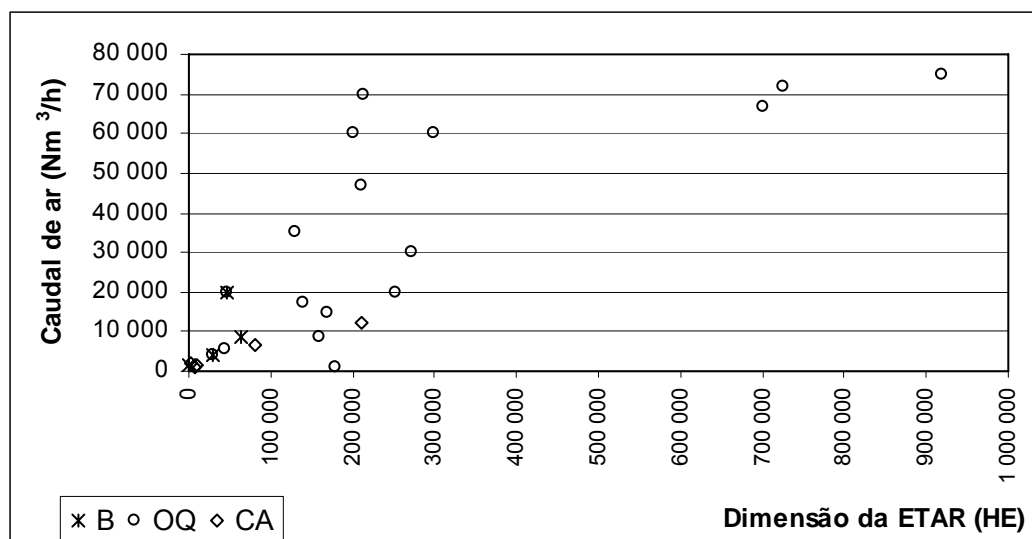


Figura 6.1 – Variação do caudal de ar odorífico a tratar em função da dimensão da ETAR com indicação da tecnologia aplicada ao tratamento do ar odorífico (B - biofiltração; OQ - absorção e oxidação química; CA - adsorção em carvão activado).

Deste modo e acordo com os dados recolhidos, não é evidente haver relação entre a dimensão da ETAR e o caudal de ar a tratar, o que pode ser justificado pela capacidade de extracção que varia com situações particulares de cada ETAR.

### **6.3 Características do sistema de ventilação**

Como referido anteriormente, apuraram-se 32 processos de desodorização, dos quais 31 abrangem a extracção de ar de edifícios de processo e de órgãos de tratamento e apenas 1 abrange exclusivamente a extracção de ar de órgãos cobertos não visitáveis.

Dos referidos 31 casos de estudo, apenas em 26 foi possível caracterizar alguns dos componentes do sistema de ventilação, dos quais, 15 abrangem cumulativamente a extracção geral dos edifícios e a extracção pontual sobre os órgãos inseridos no interior dos edifícios, 9 abrangem exclusivamente a extracção geral dos edifícios de processo e 2 abrangem exclusivamente a extracção pontual nos órgãos de tratamento, inseridos em edifícios. Por outro lado, 18 dos 26 casos, incluem a extracção de ar de órgãos de tratamento isolados com coberturas próprias.

No que respeita à flexibilidade dos caudais a extrair, nomeadamente através da existência secções isoláveis, identificou-se que 16 dos 24 casos que responderam integram possibilidade de isolamento de secções nomeadamente nas captações pontuais, em órgãos de tratamento com cobertura própria e em extracções pontuais no interior de edifícios.

Por outro lado, em apenas 6 dos 32 sistemas de ventilação se apurou haver instalado um ventilador de reserva pelo que na maioria dos casos os sistemas são pouco fiáveis uma vez que uma avaria no ventilador de serviço promove a paragem de todo o circuito de extracção e tratamento.

A insuflação de ar e a criação de circuitos de arrastamento dos poluentes atmosféricos é um conceito pouco aplicado, dado que apenas 6 dos 23 casos que responderam admitiram a existência de insuflação de ar nos edifícios desodorizados.

A eficiência da extracção de ar na óptica da renovação do ar do interior das salas e edifícios que encerram processos de tratamento é por vezes duvidosa porque as tubagens de extracção geral localizam-se acima dos 2 m de altura, mesmo quando não há cobertura

de todas as origens de odores por captações pontuais junto da lâmina líquida ou sólida, colocando as pessoas entre a origem de odor e o ponto de extracção. Este facto, leva a que, como se verificou em algumas das visitas, os portões, as janelas e, ou portas de acesso àquelas zonas sejam mantidas abertas para “ventilar” e assegurar uma atmosfera segura.

Por outro lado, das visitas efectuadas depreende-se que os sistemas de ventilação mais eficientes e que proporcionam um ar mais fresco no interior dos espaços confinados, incluem a extracção de ar e a insuflação de ar fresco.

A relação entre os pontos de extracção e de insuflação de ar revelou-se mais eficaz quando, para além de os espaços serem mantidos em depressão, a insuflação é feita superiormente, em oposição à extracção, com várias tomadas junto ao chão, sendo que as origens de odores localizavam-se genericamente ao nível das passagens ou inferior a estas e havia extracção pontual em equipamentos e em contentores de resíduos. Noutros casos, a insuflação era efectuada em oposição horizontal mas não vertical, ambas junto ao tecto, com passagens de circulação de pessoal a um nível inferior e, apesar das extracções pontuais, a renovação do ar não se verificou ser tão eficiente.

No que respeita à reutilização do ar extraído de zonas menos odoríficas como ar de processo, apenas em uma das ETAR, o ar extraído do edifício dos decantadores secundários é utilizado para arejamento nos reactores biológicos, sendo posteriormente sujeito a tratamento via absorção e oxidação química.

## **6.4 Caracterização das tecnologias aplicadas ao tratamento de ar odorífico**

### **6.4.1 Biofiltração**

A biofiltração, enquanto tecnologia dedicada ao tratamento de ar odorífico apresentou uma incidência de cerca de 18% nas ETAR visitadas, ou seja 6 casos, num dos quais constitui um primeiro estágio no processo de tratamento. As principais características do processo de desodorização por biofiltração, dos 6 casos de estudo, são apresentadas no quadro 5.6 anterior.

O caudal de ar a tratar varia entre 1750 Nm<sup>3</sup>/h e 37 000 Nm<sup>3</sup>/h, salientando-se que em 4 dos 6 casos, o caudal de ar tratado é inferior a 5000 Nm<sup>3</sup>/h e que em todos os casos apenas existia um biofiltro por linha de tratamento de ar odorífico.

Num dos casos, verificou-se que a biofiltração era utilizada como primeiro estágio de tratamento, para parte do caudal mais odorífico, seguida de absorção e oxidação química. Num outro caso, verificou-se que a biofiltração possuía, em alternativa, uma linha de tratamento por absorção e oxidação química. Uma das ETAR, possuía biofiltração apenas para o ar odorífico proveniente das etapas de tratamento da fase sólida.

Relativamente à constituição do meio filtrante, dos 6 casos, apenas um possui meio filtrante de natureza inorgânica e inoculado e coincide com a situação de primeiro estágio do tratamento por absorção e oxidação química, nos restantes o meio filtrante é de natureza orgânica composto por turfa ou por uma mistura de materiais de origem vegetal.

A altura do meio filtrante é, em 3 casos, de 1000 mm e coincide com a utilização de meios de turfa e de caudais de ar afluente entre 4000 e 4500 Nm<sup>3</sup>/h. Num dos casos, a altura do meio é de 3000 mm e corresponde ao processo de menor dimensão com materiais de origem vegetal como meio de enchimento. Deste modo, não se confirma correlação entre o caudal de ar e a altura do meio de enchimento e a sua constituição.

Os tipos de biofiltros observados são, em 4 dos 6 casos, de planta rectangular e de planta circular, nos restantes 2 casos. Por outro lado, 4 dos 6 casos apresentam cobertura com uma saída de ar por chaminé, sendo a adopção de coberturas independente da planta adoptada.

De acordo com os elementos recolhidos, a área de biofiltração é tanto maior quanto maior é o caudal afluente, pelo menos, nos 5 casos onde este campo foi preenchido (ver figura 6.2 seguinte).

Todos os biofiltros observados possuem humidificação directa sobre o meio filtrante, recorrendo para o efeito à rede de água de serviço, com origem em água potável ou em água residual tratada. Por outro lado, apenas um dos processos de tratamento por biofiltração inclui humidificação prévia do ar afluente e corresponde ao biofiltro de maior dimensão.

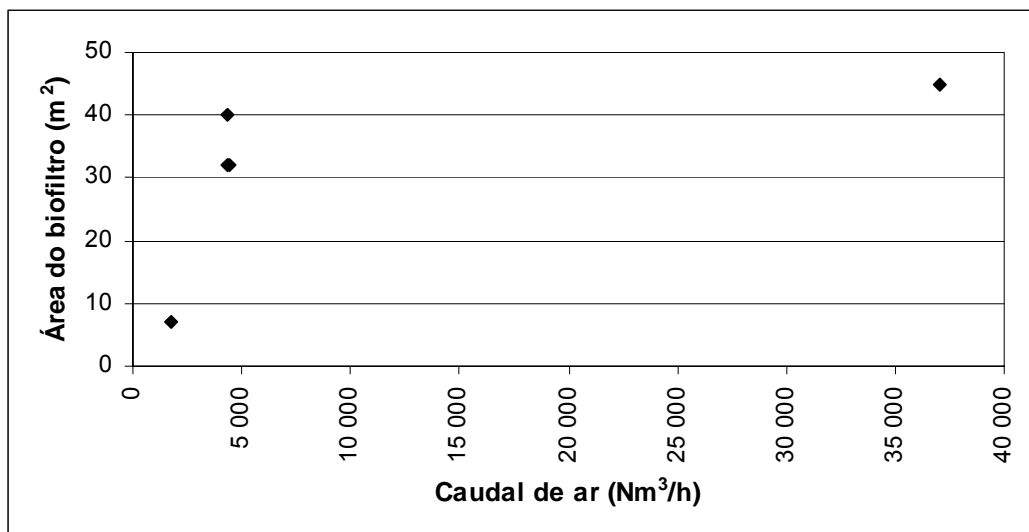


Figura 6.2 – Evolução da área do biofiltro com o caudal de ar a tratar.

Relativamente aos critérios de dimensionamento dos biofiltros, apurou-se que a carga hidráulica superficial aplicada varia entre 100 e 820  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , salientando-se que dois dos 5 valores apurados são superiores ao valor máximo, de referência na bibliografia, de 150  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ . Por outro lado, a carga hidráulica volúmica obtida em 4 dos 6 casos, varia entre 80 e 140  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{h}$ , e destes 3 valores são superiores a 100  $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{h}$  (valor de referência da bibliografia).

### 6.4.2 Absorção e oxidação química

O processo de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química foi aplicado em 22 dos 32 casos de estudo, num dos quais constitui um tratamento complementar à etapa de biofiltração e num outro caso constitui um tratamento alternativo ao processo de biofiltração. Resultando numa aplicação exclusiva desta tecnologia em 20 dos 32 casos de estudo. As principais características dos processos de desodorização por absorção e oxidação química visitados são apresentadas no quadro 5.7 anterior. O caudal de ar a tratar varia entre 2000  $\text{Nm}^3/\text{h}$  e 75 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ , salientando-se que a maioria dos casos, 14 dos 22, trata um caudal de ar entre 5000 e 50 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ .

Os processos de desodorização por absorção e oxidação química são em 15 dos 22 casos, em dois estágios. Destes 15 casos, em 14 a lavagem é efectuada no primeiro estágio

com uma solução ácida e no segundo com uma solução oxidante e básica. O restante caso de dois estágios aplica no primeiro estágio uma solução oxidante e no segundo estágio a solução básica.

Em 4 dos 22 casos, o processo de desodorização inclui a absorção e oxidação química em três estágios, e destes casos, em 3, o primeiro estágio diz respeito à lavagem ácida, o segundo estágio à lavagem oxidante e o último estágio à lavagem básica. O restante caso de três estágios, refere-se a duas lavagem ácidas em série e uma última com oxidante e base. Os 3 casos de processos de desodorização por absorção e oxidação química em estágio único aplicam, em 2 casos, uma solução de lavagem oxidante e básica e, no restante caso, apenas um oxidante.

Os reagentes químicos mais utilizados são o ácido sulfúrico (para produção da solução de lavagem ácida), o hipoclorito de sódio e o hidróxido de sódio (para a produção da solução de lavagem oxidante e básica, respectivamente). Em dois casos, o processo inclui a utilização do ozono como oxidante, sendo apenas aplicado num dos casos de estudo.

De acordo com o apurado, todos os casos de estudo recorrem à absorção em torres de lavagem em órgãos verticais, de planta circular, com meio de enchimento, de fluxo de ar ascendente em contracorrente com o líquido de lavagem, que por sua vez é distribuído, a partir de um reservatório na base da torre para a parte superior da torre, sobre o meio de enchimento. Apenas em um dos casos existem reservas instaladas das bombas de recirculação, pelo que, na maioria, existe uma bomba de recirculação instalada por torre.

O diâmetro das torres varia entre 800 e 4000 mm, correspondendo a menor à linha de tratamento com menor caudal de ar e a maior à linha de tratamento com o segundo maior caudal, de 68 000 Nm<sup>3</sup>/h. A altura das torres de absorção varia entre 5300 e 12 000 mm. Eliminando as situações extremas de caudal de ar odorífico a tratar por se tratarem de situações particulares, obtém-se uma evolução relativamente linear entre o diâmetro das torres de absorção e o caudal de recirculação do líquido de lavagem com o caudal de ar odorífico a tratar (ver figura 6.3). Por outro lado, a altura das torres, representada na mesma figura, não evolui com o caudal de ar a tratar. Deste modo, há indícios de que as torres são dimensionadas para critérios hidráulicos e taxa de absorção semelhantes.

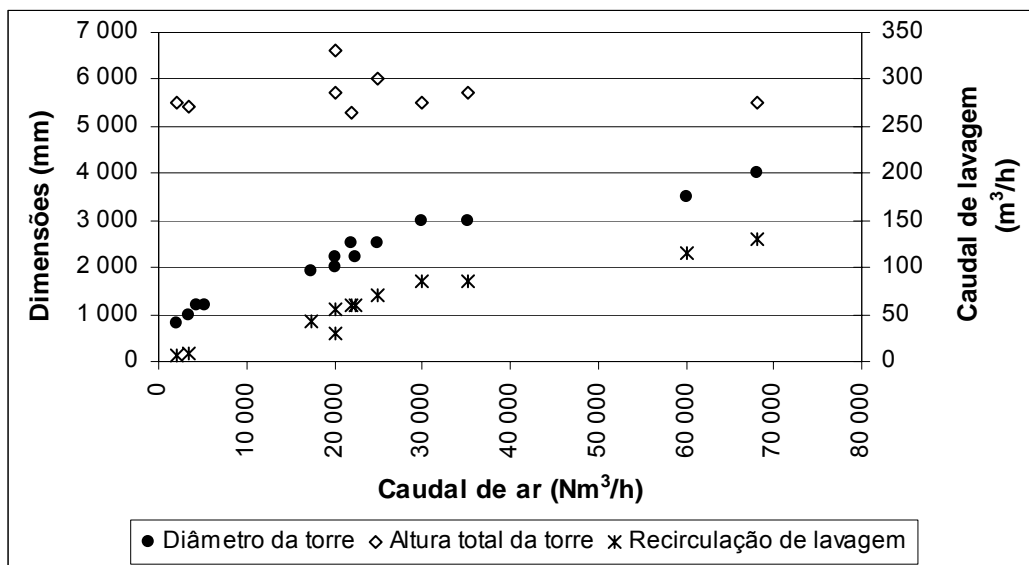


Figura 6.3 – Evolução da dimensão das torres de absorção e da recirculação do líquido de lavagem com o caudal de ar odorífico afluente ao processo.

De facto, estimando alguns dos parâmetros de funcionamento (para os 14 casos possíveis) verifica-se que apenas um não respeita o intervalo recomendado pela bibliografia para a carga superficial (entre 1 e 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s) e a excepção corresponde ao sistema mais antigo primeiramente dimensionado para recorrer à oxidação com ozono e posteriormente adaptado para oxidação por hipoclorito de sódio. A relação entre o ar afluente ao sistema e o caudal de líquido de lavagem em recirculação é respeitado em todas as instalações (entre 80 e 1000 m<sup>3</sup> ar / m<sup>3</sup> líquido), situando-se maioritariamente entre 300 e 500.

### 6.4.3 Adsorção em carvão activado

O processo de tratamento de ar odorífico por adsorção em carvão activado é aplicado em 6 dos 32 casos de estudo. Em qualquer dos casos, é o único processo de tratamento de ar aplicado, não constituindo, em nenhum dos casos, um processo de afinação final do tratamento do ar.

As principais características do processo de desodorização por adsorção em carvão activado, dos 6 casos de estudo, são apresentadas no quadro 5.8 anterior. O caudal de ar a tratar varia entre 1750 Nm<sup>3</sup>/h e 9800 Nm<sup>3</sup>/h, salientando-se que todos os processos são

constituídos por uma torre de absorção única que, em 4 dos 6 casos, incorpora dois leitos de material adsorvente (carvão activado).

Na figura seguinte apresenta-se a evolução das dimensões da torre de absorção com o caudal de ar afluente, para os 4 casos onde respectivos os campos foram preenchidos.

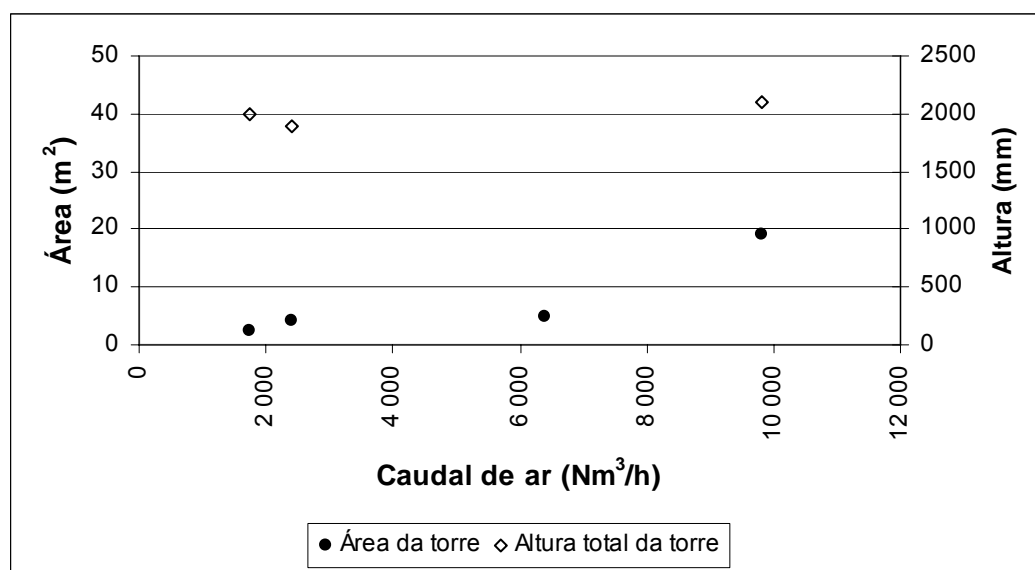


Figura 6.4 – Evolução das dimensões da torre de filtração com o caudal de ar a tratar.

De acordo com a figura anterior, a área do filtro adsorvente aumenta com o caudal de ar afluente, enquanto que a altura da torre de adsorção ronda os 2,0 metros de altura para qualquer dos 3 casos apurados.

Em 4 dos 6 casos de estudo apurou-se que o carvão activado utilizado era do tipo impregnado com NaOH. Nos restantes casos, o tipo de carvão utilizado não foi especificado.

Apesar de só se ter apurado a generalidade das características do carvão activado em 4 dos 6 casos, é possível verificar que a quantidade de carvão activado utilizado aumenta com o caudal de ar a tratar, enquanto que as restantes características do material adsorvente variam independentemente do caudal, salientando-se que a altura do meio adsorvente ronda os 800 mm, a área específica varia entre os 1000 e os 1150 m<sup>2</sup>/g, e o peso específico varia entre 500 e 590 kg/m<sup>3</sup>. As torres de absorção em carvão activado apuradas funcionam com velocidades superficiais que, em 3 dos 4 casos caracterizados, são inferiores a 0,2 m/s e apenas um dos casos apresenta uma velocidade dentro do intervalo recomendado pela bibliografia (0,25 a 0,5 m/s).

## 6.5 Funcionamento e monitorização dos processos de desodorização

### 6.5.1 Avaliação geral e monitorização

A informação recolhida sobre o funcionamento dos processos de desodorização foi apresentada no quadro 5.9 anterior.

Dos 32 processos de desodorização em estudo, foi possível aferir, de entre os 29 casos que preencheram este campo, que 20 funcionam bem e que 4 estavam em fase de arranque. Dos restantes 5 casos, em 2 o funcionamento do processo de desodorização não era sujeito a avaliação (ambos por adsorção em carvão activado), em 2 o processo existente não era suficiente (ambos também por adsorção em carvão activado) e no caso restante o processo estava fora de funcionamento sem justificação (por adsorção e oxidação química com ozono). Por outro lado, a monitorização dos processos de desodorização foi confirmada em apenas 11 dos 20 casos que "funcionam bem", sendo frequente que a avaliação do funcionamento dos processos de desodorização não tenha por base medições de odores ou de compostos odoríficos à entrada e à saída do processo.

Dos 11 casos onde é assumida alguma monitorização, esta é maioritariamente pontual e recorrendo a analisadores portáteis de compostos na fase gasosa como sulfureto de hidrogénio, amoníaco e mercaptanos (grupo de compostos sulfurados). Em 5 destes 11 casos foram facultados alguns dos resultados que se resumem no quadro seguinte.

Quadro 6.3 – Resumo dos resultados da monitorização efectuada nos 5 casos de estudo, por tecnologia de tratamento de ar odorífico aplicada.

Tecnologia	Monitorização					
	do ar afluente (ppmv)			do ar efluente (ppmv)		
	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	R-SH
B	5 - 7 (11,7)	28 - 83 (61,3)	-	0	0	-
B	2 - 4 (2,7)	12 - 22 (15,7)	-	0	0	-
OQ	2 - 65 (9)	-	-	0 - 7 (0,6)	-	-
OQ	6	26	1,5	0	0	0
OQ	5	10	2	0,1	0,1	< 0,05

Nota: B: biofiltração; OQ: absorção e oxidação química, - ausência de informação.

De acordo com os resultados obtidos, apesar de pouco representativos das tecnologias aplicadas, há indícios de que a biofiltração possa constituir uma tecnologia mais eficiente na remoção de  $H_2S$  e de  $NH_3$  do que a absorção e oxidação química, dado que para concentrações afluente genericamente mais elevadas se obtêm à saída concentrações nulas. Salienta-se, no entanto, que os dados de monitorização recolhidos nos dois processos com biofiltração se reportam a análises durante o arranque da instalação e para efeitos de garantias enquanto que os restantes processos se encontravam em pleno funcionamento.

Procurou-se avaliar, através do portal do representante dos analisadores portáteis correntemente referidos nas ETAR visitadas ([www.draeger.com](http://www.draeger.com)), quais os limites de detecção dos analisadores disponíveis para os referidos compostos. No entanto existem disponíveis vários modelos de analisadores portáteis aplicáveis a compostos gasosos, cuja precisão varia entre eles e, também, varia consoante o tipo de sensor utilizado. Em apenas um caso foi referido o modelo utilizado (Drager MiniWarn) não tendo sido disponibilizados resultados da monitorização, cujos sensores, designados por XS, apresentam gamas de funcionamento de 0 a 200 ppm, para  $H_2S$  e para  $NH_3$ , e uma resolução no monitor de 1 ppm, e de 0 a 20 ppm, para os mercaptanos e outros compostos orgânicos sulfurados, e uma resolução no monitor de 0,5 ppm.

Os resultados apresentados no quadro anterior cujos valores apresentam casas decimais indicam que o analisador portátil utilizado naqueles casos, apesar de ser da mesma marca, poderá ser de outro modelo nomeadamente do modelo mais recente designado por Drager CMS, cujos os sensores funcionam em intervalos menos abrangentes mas com mais precisão, por exemplo, o intervalo dos sensores para medição do amoníaco ou do sulfureto de hidrogénio podem ser de 0,20 a 5,0 ppm ou de 5 a 50 ppm, entre outros, enquanto que para os mercaptanos e outros compostos orgânicos sulfurados o intervalo de funcionamento pode ser desde 0,25 a 60 ppm.

Por outro lado, os valores limite de detecção para os compostos analisados, reportando os valores apresentados no quadro 2.10 anterior, são 0,00047 ppm para  $H_2S$ , 0,037 ppm para  $NH_3$  e inferior a 0,0011 ppm para os mercaptanos, pelo que, com alguma certeza em dois casos e a verificar nos restantes, haverá margem para ocorrerem odores à saída dos órgãos de tratamento de odores.

## 6.5.2 Situações de ocorrência de odores

O inquérito tentou também apurar quais as situações de ocorrência de odores para além dos limites da ETAR e no interior da ETAR. Apenas 17 dos 24 casos de estudo (ETAR visitadas) responderam sobre a ocorrência de queixas da vizinhança e, destes, em 13 não se verificavam queixas de odores por parte da vizinhança.

Sobre a ocorrência de odores no interior do recinto da ETAR e em que situação é que se verificam odores mais intensos, foram preenchidos 10 dos 24 campos. Destes, apenas um confirmou a ocorrência permanente de odores na ETAR cuja intensidade depende das condições atmosféricas e das descargas industriais (ETAR industrial). Os restantes associaram a ocorrência de odores a situações pontuais como:

- dias com temperatura ambiente mais quente .....4 casos;
- períodos de desidratação de lamas e, ou de movimentação destas ....4 casos;
- períodos coincidentes com descargas industriais .....2 casos.

## 6.5.3 Problemas de exploração

### 6.5.3.1 Comentários gerais

O campo do inquérito que inclui a identificação de problemas de exploração ou condicionantes relacionadas com os sistemas de desodorização instalados foram preenchidos em apenas em 12 dos 24 casos de estudo, e destes apenas um se refere a processo com biofiltração e outro com adsorção em carvão activado.

Em duas das ETAR visitadas, foi referido que o doseamento de cloreto férrico na decantação primária diminuía a ocorrência de odores. Por outro lado, numa das ETAR foi salientada a não obrigação legal de efectuar medições de odores ou compostos odoríficos e que, por outro lado, os intervalos de resultados dados pelos aparelhos portáteis são superiores às concentrações detectadas pelo olfacto humano.

### 6.5.3.2 Sistema de ventilação

Os aspectos de exploração do sistema de ventilação para extracção do ar odorífico incluíram os seguintes comentários:

- a possibilidade de regulação do caudal de ar extraído por troço ou por secção através do seccionamento das captações ou por regulação nas grelhas de extracção;
- a localização dos pontos de extracção em função da localização das áreas emissoras e dos pontos de entrada de ar e dos possíveis pontos de acumulação de compostos odoríficos;
- a manutenção do equilíbrio de pressões por forma a manter os espaços em depressão e evitar a fuga de odores para o exterior;
- a importância de prever purgas de condensados nas tubagens de condução de ar, nomeadamente nos troços enterrados por serem de acesso difícil;
- as reparações das ligações de tubagens e das próprias tubagens obrigam, por vezes e porque não possuem duplicações, à ocorrência de paragens da extracção e até do tratamento;
- a importância de localizar os ventiladores em salas dedicadas e insonorizadas ou providenciar ventiladores com dispositivos de insonorização de forma a que não sejam desligados durante as operações de manutenção normal da ETAR.

### 6.5.3.3 Processo por biofiltração

Os comentários relativos aos problemas de exploração dos sistemas de desodorização por biofiltração referem-se à dificuldade de monitorizar o que se passa dentro do biofiltro, nomeadamente no que se refere ao estado de colmatação e de humidade.

### 6.5.3.4 Processo por absorção e oxidação química

Nos processos de desodorização por absorção e oxidação química foram identificados os seguintes problemas ou dificuldades de exploração:

- manutenção e limpeza do meio de enchimento das torres (efectuada mensalmente, bimensalmente, semestralmente);
- manutenção das sondas, afinação das bombas doseadoras e das bombas de recirculação do líquido de lavagem, associada à dificuldade de controlo analítico do líquido de lavagem e do ar afluente e efluente do sistema de desodorização;
- manutenção das tubagens dos circuitos de doseamento de reagentes, de recirculação do líquido de lavagem e de ar entre torres, cuja degradação é associada aos ligantes utilizados na junção entre as tubagens e os acessórios e é responsável pela ocorrência de fugas de reagentes;
- degradação dos materiais e equipamentos em contacto directo ou indirecto com os reagentes; como é o caso dos distribuidores do líquido de lavagem no interior da torre, das bombas de recirculação do líquido de lavagem, das tubagens de reagentes;
- compatibilização dos volumes de armazenamento de reagentes com os volumes transportados e disponibilizados pelos fornecedores e diferenciação clara das ligações de reposição de diferentes reagentes, evitando confusões e acidentes;
- ocorrência de espumas durante o arranque do sistema de desodorização.

### 6.5.3.5 Processo por adsorção em carvão activado

Apenas numa das ETAR com processo de desodorização por adsorção em carvão activado foram identificados problemas de exploração, que se relacionavam com a dificuldade e custo da regeneração e substituição do meio filtrante adsorvente.

## 6.6 Custos de investimento e de exploração dos sistemas de desodorização

A informação recolhida sobre os custos de investimento e de exploração dos sistemas de desodorização foi apresentada no quadro 5.10 anterior.

Analisando a informação, verifica-se que relativamente aos custos de investimento se obtiveram 12 respostas (50% dos casos de estudo), e destas, nenhuma incide sobre os processos de tratamento do ar odorífico por biofiltração e apenas duas são dos processos por adsorção em carvão activado. Por outro lado, um dos casos refere-se à aplicação de duas tecnologias em série (biofiltração e absorção e oxidação química), sem distinção dos custos por tecnologia nem informação sobre a capacidade de cada tecnologia, dado que o caudal que aflui à biofiltração é menor do que o que aflui às torres de lavagem.

Deste modo, restam 9 valores de investimento relativos à aplicação de processos por absorção e oxidação química. No entanto, um destes processos diferencia-se por utilizar ozono como reagente e incorporar nos custos as coberturas dos órgãos de tratamento desodorizados, não sendo por isso comparável com os restantes. Por outro lado, obtiveram-se apenas 6 respostas relativas aos custos de exploração e todas referem-se a processos de desodorização por absorção e oxidação química.

No quadro seguinte (quadro 6.4) apresenta-se um resumo da informação recolhida relativa aos custos por tecnologia aplicada ao tratamento de ar odorífico.

Quadro 6.4 – Informação recolhida por tecnologia aplicada.

Tecnologia	Biofiltração	Absorção e oxidação química	Adsorção em carvão activado
Sistemas de desodorização	6	22	6
Dimensão da ETAR (HE)	900 – 64000 (725000)	45000 – 700000 (920000)	3000 – 80000 (210000)
Caudal de ar afluyente (Nm <sup>3</sup> /h)	1750 – 4470 (37000)	2000 – 68000 (75000)	1750 – 6400 (9800)
Custos de investimento (euros)	-	17400 – 340000 (472200)	13650 – 21600 (-)
Custos de investimento (% do investimento total na ETAR)	-	0,2 - 2,4 (3,5)	≈ 1,4 (-)
Custos de exploração (% dos custos totais de exploração da ETAR)	-	desprezável – 7% (>80%)	-

Nota: entre parênteses apresentam-se os valores máximos que apresentam um grande desvio dos valores médios ou incluem mais do que um sistema de desodorização na ETAR ou retratam uma situação particular.

## Exploração dos resultados

Da análise do conteúdo do quadro anterior, salienta-se que os custos de investimento e de exploração dos sistemas de desodorização nos respectivos custos globais das ETAR são relativamente reduzidos, inferior a 5% para o investimento e inferior a 10% para a exploração, e isto relativamente ao processo de tratamento por absorção e oxidação química, tradicionalmente um processo mais dispendioso do que a biofiltração.

Com os elementos de custos de investimento recolhidos será então possível avaliar e quantificar os processos de desodorização por absorção e oxidação química, que abrangem 8 dos 22 casos de estudo, tendo-se para o efeito elaborado o gráfico apresentado na figura seguinte (Figura 6.5), onde se relaciona o investimento com o caudal de ar tratado.

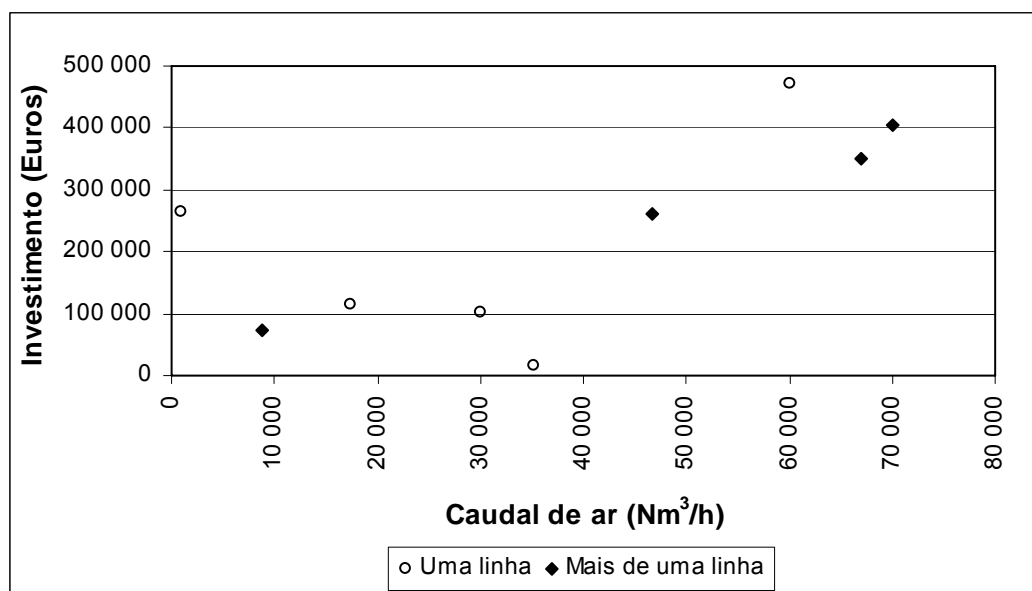


Figura 6.5 – Variação do investimento em processos de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química em função do caudal de ar afluente.

Os valores apresentados na figura 6.5 reportam a dois conjuntos diferentes de dados, um para ETAR com uma única linha de tratamento de ar odorífico e outro para ETAR com mais do que uma linha de tratamento de ar odorífico, não sendo portanto comparáveis. Por forma a procurar comparar os resultados, os valores de investimento que incluem mais do que uma linha de tratamento de ar odorífico foram distribuídos em função do caudal de ar parcial tratado, que se conhece. Por outro lado, excluiu-se o valor que se apresenta mais próximo do eixo das ordenadas, pois retrata uma situação particular de áreas cobertas e ventiladas e de recurso ao ozono como reagente oxidante, e, também, o valor que se apresenta mais próximo do eixo das abcissas, por representar um valor de investimento

muito baixo para o caudal tratado. Feitos os referidos ajustes, obteve-se o gráfico apresentado na figura seguinte (Figura 6.6).

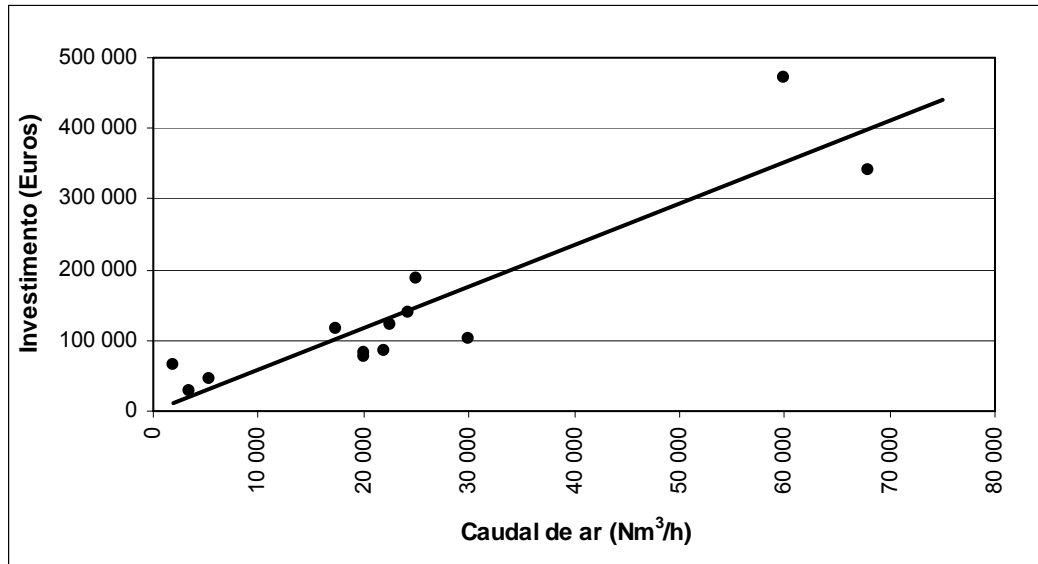


Figura 6.6 – Variação do investimento em processos de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química em função do caudal de ar afluente e após tratamento dos dados.

Da análise do gráfico da figura anterior, afigura-se que o valor de investimento em sistemas de desodorização com processo de tratamento por absorção e oxidação química é directamente proporcional ao caudal de ar tratado, sendo a curva que melhor se ajusta aquele conjunto de valores uma regressão linear com a expressão seguinte.

$$I = 5,88 Q - 1387 \quad (r^2 = 0,8281) \quad \text{(Equação 6.1)}$$

Onde,

$I$  – valor de investimento do sistema de desodorização, incluindo ventilação e tratamento (euros);

$Q$  - valor do caudal de ar odorífico (Nm<sup>3</sup>/h)



## 7 Discussão

Da análise dos resultados obtidos com os inquéritos efectuados às empresas responsáveis pelas ETAR com tratamento do ar odorífero existentes em Portugal salienta-se a relativamente recente e crescente preocupação com a questão das emissões de odores dentro e fora do recinto da ETAR. Esta questão afigura-se relativamente recente porque incide principalmente na última década e crescente porque inicialmente incidia em ETAR maioritariamente de grandes dimensões e, ou inseridas na malha urbana e, posteriormente, passou a abranger também ETAR mais pequenas e fora do núcleo urbano. Esta postura dos organismos portugueses é concordante com a tendência natural, verificada noutros países pela comunidade científica, para a salvaguarda da saúde dos trabalhadores, da manutenção das infraestruturas e da maior aceitação pública das ETAR na vizinhança de zonas urbanas residenciais.

De facto, a aplicação de sistemas de ventilação e de tratamento do ar em espaços confinados da ETAR iniciou-se, provavelmente, com a questão da salvaguarda da saúde dos operadores e, talvez por isso, a ETAR mais antiga com este tipo de processo seja a ETAR da Guia que, para além de outras particularidades, é caracterizada por se situar a uma cota geométrica inferior ao terreno. As ETAR existentes e novas que se lhe seguiram caracterizam-se, na sua maioria, por se localizarem dentro da malha urbana e por ter sido necessário recorrer a soluções de cobertura total ou parcial dos órgãos e processos de tratamento com a conseqüente necessidade de ventilação dos espaços e de desodorização do ar recolhido.

Deste modo, as primeiras ETAR com processos de desodorização são ETAR de grandes dimensões localizadas na área urbana de Lisboa (nomeadamente de adaptações das ETAR de Beirolos, Chelas, Alcântara e S. João da Talha) e na área urbana do Porto (nomeadamente as novas ETAR de Sobreiras, Freixo, Gaia Litoral e Febros). No entanto, a aplicação de processos de desodorização tem vindo a ser aplicada em ETAR de menor dimensão e fora da malha urbana. Este fenómeno pode estar associado a uma primeira necessidade de ventilar espaços confinados e órgãos ou processos de tratamento, por respeito das normas de segurança e saúde no trabalho e para diminuir as intervenções de manutenção dessas infraestruturas.

Decorrente da ventilação surge um caudal de ar potencialmente odorífero, com concentrações variáveis que, associado a condições climatéricas, também variáveis, pode provocar queixas da população vizinha, mesmo que esta se localize a alguma distância. A título de prevenção são, então, aplicadas tecnologias de tratamento de ar odorífero antes da sua descarga na atmosfera, não se tendo apurado nenhuma situação em que se tenha estudado a dispersão dos compostos odoríferos na atmosfera.

Deste modo, parece razoável afirmar-se que Portugal, nesta última década, começou a dar os primeiros passos no sentido de uma melhor integração urbana e ambiental das ETAR no que concerne à questão das emissões de odores.

Este fenómeno é também reflectido pela revisão da legislação aplicável à segurança e saúde no trabalho, através da Norma Portuguesa 1796:2004 e da Portaria n.º 762/2002, de 1 de Julho, e da legislação aplicável às emissões para a atmosfera (Decreto-lei n.º 78/2004, de 3 de Abril e da Portaria n.º 80/2006, de 23 de Janeiro). Apesar desta última não abranger especificamente as ETAR, fornece indicadores de grandeza das emissões para salvaguarda do ar enquanto recurso natural.

Por outro lado, o sistema de desodorização em ETAR incide, por ordem de frequência acima dos 50% de ocorrência, nas operações e processos de desidratação de lamas, mistura de lamas espessadas, obra de entrada e gradagem, elevação da água residual a montante do tratamento secundário, tratamento dos subprodutos, espessamento de lamas, desarenação e desengorduramento. De acordo com a revisão bibliográfica efectuada, nomeadamente com a Norma europeia EN12255-9:2002 e com [Vincent, 2001], as operações de desarenação e desengorduramento, em termos odoríferos, estão ao mesmo nível que a gradagem, porém a menor incidência da sua cobertura pelos processos de desodorização indiciam alguma falta de abrangência das principais origens de odores nas ETAR visitadas.

Em algumas das ETAR visitadas permanecia a ocorrência de odores dentro e fora do recinto, indiciando alguma insuficiência da abrangência ou da capacidade do sistema de ventilação/desodorização. O sistema poderia ser insuficiente por não abranger todos os processos de tratamento odoríferos, como as etapas de desarenação e desengorduramento ou as zonas de armazenamento de lamas desidratadas, ou por não assegurar a depressão nos espaços confinados odoríferos.

Os odores de ocorrência natural no interior dos edifícios com operações e processos odoríficos revelaram-se mais incómodos quando as zonas de passagem se localizavam entre as origens de odores e os pontos de captação de ar odorífico, salientando-se a importância do estabelecimento de correntes de ar fresco nas zonas de passagem e de permanência de operadores. Deste modo, afigura-se importante a localização relativa dos pontos de entrada de ar, quer sejam por grelhas nas paredes dos edifícios ou nas portas, por janelas ou por grelhas de insuflação de ar, dos pontos de extracção de ar e destes com a localização das origens de odores e zonas de passagem e de permanência de pessoas.

De facto, situações observadas como a localização das grelhas de extracção por cima de janelas abertas, junto a grelhas de ar fresco, ao mesmo nível que a insuflação de ar fresco, ou por cima dos passadiços localizados acima da lâmina líquida, e onde nem todas as origens de odores eram abrangidas por extracções pontuais, correspondem a espaços genericamente mais odoríficos, onde também se verifica uma maior degradação, por corrosão de alguns dos componentes, metálicos e em betão.

Entre os caudais de ar a tratar e a dimensão da ETAR não parece haver uma relação directa, eventualmente devido à grande variabilidade da concepção dos espaços a desodorizar e do sistema de ventilação e desodorização. Por outro lado, a emissão de compostos odoríficos na ETAR depende, também, de vários outros factores associados à situação particular de cada ETAR, como o tipo de águas residuais, as características do sistema de drenagem, a localização e meio receptor das águas residuais tratadas e os órgãos e processos de tratamento que compõem a ETAR, nas suas fases líquida e sólida.

De um modo geral, a dimensão da ETAR influencia as áreas e os volumes dos órgãos de tratamento que, por sua vez, influenciam as superfícies líquidas e sólidas potencialmente emissoras de compostos odoríficos, mas ao cobrir os órgãos ou ao encerrá-los dentro de edifícios o caudal de ar odorífico passa também a depender do tipo de cobertura ou de edifício, dos volumes que estes implicam e do tipo de captações para extracção de ar.

A generalidade das ETAR visitadas aplica processos de tratamento intensivos, por lamas activadas e, ou biofiltração, com desidratação mecânica das lamas resultantes. As tecnologias aplicadas ao tratamento do ar odorífico proveniente das operações e processos de tratamento da fase líquida e da fase sólida das ETAR existentes em Portugal incluem basicamente a absorção e oxidação química, a biofiltração e a adsorção em carvão activado.

Normalmente as referidas tecnologias de tratamento de ar odorífico são aplicadas em exclusivo, tendo-se apenas observado um caso onde na mesma linha de tratamento se aplica a biofiltração, para parte do caudal mais odorífico, seguida de absorção e oxidação química para a totalidade do caudal. Por outro lado, não se observou a utilização da adsorção em carvão activado como tratamento de afinação da qualidade do ar tratado.

A incidência das tecnologias de tratamento de ar odorífico nas ETAR visitadas aponta para a aplicação da biofiltração e adsorção em carvão activado para menores caudais de ar a tratar, geralmente inferior a 10 000 Nm<sup>3</sup>/h, enquanto que a absorção e oxidação química é aplicada, genericamente, para maiores caudais de ar, entre 5000 e 75 000 Nm<sup>3</sup>/h. A tecnologia mais aplicada é a absorção e oxidação química enquanto que os processos por biofiltração e adsorção em carvão activado apresentaram uma menor ocorrência, sendo estas da mesma ordem de grandeza.

Os processos de tratamento do ar odorífico por biofiltração incluíam a humidificação do meio filtrante por aspersão de água sobre o mesmo e, em apenas um caso, era também incluída uma torre de humidificação do ar afluente. Pelo que, em acordo com [Van Langenhove and De heyder, 2000] a retenção das partículas arrastadas com a extracção de ar efectuada numa torre de humidificação, não se aplica para a maioria dos casos e haverá uma maior propensão para a colmatação do meio filtrante. Por outro lado, os critérios de dimensionamento aplicados aos biofiltros que foi possível apurar com os elementos recolhidos, indica que em nenhum dos casos são respeitados cumulativamente os valores recomendados em [WEF/ASCE, 1995; Boyle, 2001; Metcalf & Eddy, 2003; Iranpour *et al.*, 2005], nomeadamente, a altura do meio filtrante (inferior a 1,25 m), a carga hidráulica superficial (máxima de 150 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h), a carga hidráulica volúmica (até 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h).

A avaliação do desempenho do processo de biofiltração, nos casos em que ocorre, deverá ser efectuada através de análises de compostos no ar afluente e efluente do biofiltro. No entanto, não se apurou nenhuma situação em que se conhece o ponto de situação do biofiltro no que respeita aos parâmetros de operação como temperatura, humidade, pH disponibilidade de oxigénio. A falta de controlo destes parâmetros fica normalmente associada à dificuldade de execução de análises ao interior do meio filtrante. Na prática o único parâmetro de controlo do meio filtrante é a observação da cota da superfície indicadora da altura do meio filtrante, quando visível.

A tecnologia de tratamento de ar odorífico mais aplicada em Portugal diz respeito à absorção e oxidação química, materializada em órgãos do tipo do que são apresentados em [WEF/ASCE, 1995], correntemente designados por torres de lavagem, caracterizadas por possuírem um meio de enchimento e uma configuração vertical, por onde o ar odorífico flui de um modo ascendente e em contracorrente com o líquido de lavagem quimicamente activo, recirculado em contínuo a partir de um reservatório incorporado na própria torre. No entanto, não se verificou em todos os casos a existência de condensador na parte superior da torre, por onde o ar passaria antes de sair para a atmosfera.

Na maioria dos casos, a lavagem é efectuada em dois estágios, recorrendo o primeiro a uma solução de lavagem ácida (ácido sulfúrico) e o segundo a uma solução de lavagem oxidante e básica (hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio). Os critérios de dimensionamento aplicados às torres de lavagem, que foi possível apurar com os elementos recolhidos, indicam que são respeitados os intervalos dos parâmetros recomendados em [WEF/ASCE, 1995], nomeadamente, carga superficial e relação entre o ar afluente ao sistema e o caudal de líquido de lavagem em recirculação. Quando efectuada, a monitorização do processo é realizada mediante análises de compostos odoríficos à entrada e à saída do sistema.

A aplicação de processos de adsorção em carvão activado dedicados à remoção de compostos odoríficos em ETAR inclui, na maioria dos casos, a adopção de uma única torre com dois leitos de adsorção em carvão activado, conforme esquema apresentado em [USEPA, 1985]. O carvão activado utilizado é, maioritariamente, do tipo impregnado com NaOH o que de acordo com [WEF/ASCE, 1995] indica que são apenas removidos os compostos reduzidos sulfurados, como o sulfureto de hidrogénio e os mercaptanos. Num dos casos de estudo foi possível validar o referido por [Turk and Bandosz, 2001] no que respeita às dificuldades de operação relacionadas com a regeneração e insuficiência para eliminação dos principais odores afluentes.

Em termos de parâmetros de dimensionamento das torres de filtração com carvão activado foi possível apurar que a altura dos leitos varia entre 785 e os 940 mm o que se pode considerar concordante com o referido em [WEF/ASCE, 1995] (altura do leito próxima dos 900 mm). Por outro lado, em 3 dos 4 casos caracterizados, as torres de filtração funcionam com velocidades superficiais inferiores a 0,2 m/s e apenas no caso restante apresenta uma velocidade dentro do intervalo 0,25 a 0,5 m/s, referido em [WEF/ASCE, 1995]. Com os elementos apurado, foi possível verificar que a quantidade de carvão

activado utilizado aumenta com o caudal de ar a tratar, o que faz sentido na óptica da adopção de uma carga volúmica para o estabelecimento da quantidade de carvão a utilizar que, nos casos observados, se verificou variar entre 315 e 1660 Nm<sup>3</sup>/h de ar a tratar por cada m<sup>3</sup> de carvão activado utilizado. Nos casos observados salienta-se que por falta de disponibilidade de dados de monitorização não foi possível verificar as cargas poluentes assumidas e de funcionamento.

De facto, para a generalidade das instalações visitadas não se efectuava monitorização do ar e em alguns dos casos em se realizava não foi possível aceder a resultados na monitorização. De qualquer forma, o método de medição utilizado é o analítico através de equipamento portátil de duas, três ou quatro entradas, cada entrada para um composto, tendo-se verificando que os compostos monitorizados são, preferencialmente, o sulfureto de hidrogénio, o metano, o amoníaco e, menos frequentemente, o grupo de compostos orgânicos sulfurados (mercaptanos). A selecção destes compostos vai ao encontro dos compostos indicados por [WPCF,1990; Joher *et al.*, 1996; Walsh, 1996; Vincent, 2001] como os principais responsáveis pela ocorrência de odores em ETAR, entre outros referidos.

A amostragem do ar afluente a tratamento é efectuada na tubagem de condução do ar odorífico através de uma pequena perfuração para introdução do tubo de extracção da amostra para o aparelho de medição portátil correntemente utilizado.

De acordo com [WEF/ASCE, 1995; Turk and Bandosz, 2001], o ar odorífico numa ETAR é normalmente constituído por uma mistura de muitos compostos odoríficos pelo que, nos poucos casos estudados onde é efectuada monitorização do ar, a caracterização fica restrita, no melhor dos casos, a três compostos odoríficos, não sendo porém possível apurar se outros compostos odoríficos estariam presentes, em que proporções e como estes variam com o tratamento implementado. Deste modo, a medição analítica efectuada não pode ser utilizada na confirmação de quais os compostos odoríficos de ocorrência numa dada ETAR, e daí validar métodos de minimização da sua ocorrência e a aplicação tecnologias de tratamento.

Por outro lado, a dimensão dada pela concentração em odor determinável por métodos sensoriais normalizados na Norma Europeia EN13725:2003 e por outras anteriores a esta, de origem alemã, francesa holandesa ou norte americana, não tem sido aplicada, o que pode constituir um entrave para avaliações futuras de desempenho dos processos de

tratamento de ar odorífico, dado que, o primeiro objectivo deste tipo de tratamento é o de remover odores do ar e reduzir o incómodo que os odores podem provocar nas populações e a sua conseqüente relutância em ter uma ETAR nas imediações das suas residências ou em utilizar espaços públicos nas imediações de uma ETAR permanentemente odorífica.

Os resultados de monitorização disponibilizados por serem pouco representativos das tecnologias aplicadas, não constituíram elementos de validação de elementos bibliográficos, por exemplo, sobre a aplicação das tecnologias e sua eficiência, pelo que afigura-se que a monitorização dos processos de tratamento de odores venha a constituir, a curto prazo, uma área a desenvolver.

Admitindo que os valores limite de detecção humana do odor, associados aos compostos preferencialmente monitorizados, são inferiores aos valores de detecção e de registo dos analisadores portáteis, é possível que o ar após tratamento ainda seja odorífico dependendo da sua composição efectiva e das respectivas concentrações. Em consequência e porque em muitos dos casos de estudo se verificou que a saída do ar correspondia à saída do último órgão de tratamento, a uma cota mais relacionada com o órgão ou com o edifício que o encerrava do que com fenómenos de dispersão, afigura-se que a adopção de infraestruturas de descarga do ar tratado para diluição e dispersão atmosférica, como medida complementar ao tratamento do ar odorífico e de prevenção do incómodo, conforme referido por [Lund, 1971; WSDE, 1998], ainda não seja aplicado nem, tão pouco, avaliada a sua necessidade. Com efeito, o facto de ocorrerem odores em algumas das ETAR visitadas e, ou nas imediações destas pode indicar que não foram optimizadas as estratégias e soluções de diluição e de dispersão atmosférica, principalmente se a origem dessa ocorrência é o ar tratado, o que não foi possível confirmar nos casos estudados.

A problemática dos odores em ETAR inclui os processos de minimização, contenção e tratamento. Em relação à primeira componente, registaram-se apenas duas situações onde a exploração da ETAR incluía a adição de agentes químicos (cloreto férrico, a montante da decantação primária), sendo comum a adopção de boas práticas de limpeza. Por outro lado, os sistemas de contenção e ventilação foram os que colheram mais comentários por quem explora as instalações, que na sua totalidade indicam que há, de facto, uma relação directa entre a eficiência do sistema de contenção e ventilação e a qualidade do ambiente e a ocorrência de corrosão nas infraestruturas cobertas. De entre o conjunto de comentários tecidos e observados, salienta-se a importância de avaliar correctamente os circuitos de ar e

localização das tomadas de extracção de ar e de avaliar a possibilidade de regulação do caudal extraído por secção.

Os aspectos de operação e exploração dos processos de tratamento de ar odorífico, transmitidos por quem explora as instalações, indicam que a biofiltração é dos processos mais simples de operar, apesar da dificuldade em monitorizar o seu interior e avaliar o estado de colmatação e o teor de humidade. Como os processos por biofiltração são relativamente recentes ainda não tinha havido necessidade de substituição do meio filtrante nem a experiência das eventuais dificuldades dessa operação.

Por outro lado, os processos de tratamento de ar odorífico por absorção e oxidação química são mais acompanhados por quem explora dado que, para além de serem processos genericamente implementados há mais tempo, estes integram normalmente alguns componentes de monitorização e a sua operação implica, correntemente, acções sobre o processo. Este é, também, o processo que acumula mais problemas ou dificuldades identificadas por quem explora, entre os quais se salienta a necessidade periódica de esvaziar e limpar a torre e o meio de enchimento, a ocorrência de fugas de reagentes decorrentes da degradação das ligações entre troços de tubagens e de acessórios e que propicia ambientes corrosivos e, também, o manuseamento de reagentes potencialmente perigosos.

Os processos de tratamento de ar odorífico por adsorção em carvão activado, aplicados à mesma proporção que o processo por biofiltração mas de aplicação mais antiga, revelou-se pouco apreciado e em apenas um caso foram tecidos comentários sobre a sua exploração. As dificuldades observadas prendem-se com a falta instrumentos que transmitam o que se passa no seu interior e com a falta de monitorização do ar afluente e ar tratado. No único caso em que este tipo de processo é sujeito a monitorização pontual, revelou-se um processo de tratamento insuficiente e problemático de gerir, decorrente das dificuldades de regeneração e substituição do meio adsorvente, agravadas pela rapidez de saturação do mesmo.

Finalmente, a implementação de sistemas de desodorização que incluem ventilação e tratamento representa, para a generalidade dos casos estudados com processos de tratamento por absorção e oxidação química, uma mais valia inferior a 4% do investimento global na ETAR e inferior a 10% dos custos totais de exploração. Relativamente aos restantes processos de tratamento implementados não foi possível obter elementos

respeitantes aos custos. No entanto, de acordo com [WEF/ASCE, 1995; Picot et al., 2001], o processo de tratamento por absorção e oxidação química apresenta, relativamente aos processos biológicos, maiores custos de investimento e de exploração, pelo que, afigura-se que a implementação de sistemas de desodorização seja uma importante mais valia com implicações pouco significativas em termos de investimento e de exploração comparativamente aos correspondentes valores globais da ETAR.



## 8 Conclusões

Em Portugal o tratamento de odores em ETAR é relativamente recente e as tecnologias aplicadas reportam-se principalmente à absorção e oxidação química, seguida pela biofiltração e adsorção em carvão activado. A selecção das tecnologias aplicadas não evidencia estar relacionada com a dimensão da ETAR, mas afigura-se existir alguma relação com o caudal de ar a tratar. Na ausência generalizada de monitorização de odores não foi possível desenvolver outras relações entre as tecnologias aplicadas e o tipo de compostos odoríficos e a sua concentração e intensidade do odor, nem avaliar o funcionamento e eficiência dos processos de tratamento de ar odorífico aplicados.

Ao contrário da tendência generalizada da comunidade científica internacional, que aponta para aplicação preferencial de processos biológicos ao tratamento de odores, recorrendo a biofiltros ou a processos mais intensivos, a tendência em Portugal tem sido a da aplicação de processos físico-químicos, reconhecidamente de exploração mais dispendiosa e mais perigosa. Este fenómeno, afigura-se de ocorrência normal numa história semelhante de aplicação destas tecnologias noutros países, dado que muitos dos desafios relatados em artigos científicos reportam à conversão de processos de tratamento de odores por absorção e oxidação química em processos biológicos. A tendência será, portanto, a da inversão e aplicação mais sistemática de processos biológicos ao tratamento de odores em ETAR em Portugal, deixando os processos físico-químicos para complementos do tratamento e de afinação final, quando necessária.

A monitorização de odores e de compostos odoríficos é um campo pouco desenvolvido e aplicado, sendo recomendável que se insista na sua implementação de forma a se produzirem elementos avaliadores do desempenho das tecnologias e de regulação do funcionamento dos processos de tratamento.

O controlo de odores nas ETAR estudadas inclui a contenção de odores, a ventilação dos espaços confinados e das origens de odores e o tratamento do ar odorífico, não se tendo apurado a inclusão de medidas de diluição e dispersão atmosférica do ar tratado.

Os sistemas de contenção e ventilação revelaram-se uma importante componente no controlo eficiente dos odores emitidos e na manutenção das condições de segurança dos espaços confinados, porém esta solução nem sempre se encontra optimizada.

## Conclusões

---

Do presente estudo, pode-se inferir que a aplicação de sistemas de desodorização nas ETAR existentes em Portugal afigura-se uma área em desenvolvimento em termos de projecto, construção e monitorização e representa uma mais valia, normalmente, de baixo custo de investimento e de exploração nos valores globais de uma ETAR.

## Referências Bibliográficas

- ATSDR (1992). *Toxicological profile for methyl mercaptan*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 1992. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (1999). *Methyl mercaptan – ToxFAQs*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, July, 1999. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (2004a). *Ammonia – ToxFAQs*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2004. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (2004b). *Hydrogen sulfide – ToxFAQs*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2004. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (2004c). *Toxicological profile for ammonia*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2004. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (2004d). *Toxicological profile for hydrogen sulfide*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Science, United States Department of Health and Human Services. Atlanta, September, 2004. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- ATSDR (2005). *Minimal Risk Levels*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Public Health Science. United States Department of Health and Human Services. Atlanta, December, 2003. Disponível em [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- Azevedo, M. (1992). *Psicologia, Psicologia educacional e psicologia do desenvolvimento*. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências. Disponível em [www.educ.fc.ul.pt/docentes/mazevedo/materiais/IntroducaoEpistemologica.pdf](http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/mazevedo/materiais/IntroducaoEpistemologica.pdf)
- Babbitt, H.E., and Baumann, E.R. (1967). *Sewerage and sewage treatment* (8<sup>th</sup> Ed.). New York, John Wiley & Sons, Inc..

## Referências Bibliográficas

---

- Barbosa, V.L., Dufol, D., Callan, J.L., Sneath, R., and Stuetz, R.M. (2004). Hydrogen sulphide removal by activated sludge diffusion. *Water Science and Technology*, 50(4), 199-205.
- Bliss P.J., Shulz, T.J., Senger, T., and Kaye, R.B. (1996). Odour measurement – factors affecting olfactometry panel measurement. *Water Science and Technology*, 34(3-4), 549-556.
- Both, R., Sucker, K., Winneke, G., and Koch, E. (2004). Odour intensity and hedonic tone – important parameters to describe odour annoyance to residents. *Water Science and Technology*, 50(4), 83-92.
- Boyle, J. (2000). *Controlling odours from municipal and industrial wastewater plants. Design and operation of biofilters*. Presented to B.C. Hydro Water and Wastewater Center, December, 1.
- Bowker, R.P.G., McGinley, C.M., and Webster, N.A. (1994). *Estimating odor emission rates from wastewater treatment plants*. Comunicação apresentada em Water Environmental Federation Specially Conference: *Odors and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Wastewater Treatment Facilities*. Jacksonville, April, 24-27. Disponível em [www.fivesenses.com](http://www.fivesenses.com).
- Bowker, R.P.G. (2000). Biological odour control by diffusion into activated sludge basins. *Water Science and Technology*, 41(6), 127-132.
- Bowker, R.P.G., and Burgess, J.E. (2001). *Activated sludge diffusion as an odour control technique*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 415-434. London, IWA Publishing.
- Brewer, M.S., and Cadwallader, K.R. (2002). *Overview of odor measurement techniques*. Illinois University, 59-74. Disponível em [www.trail.uiuc.edu](http://www.trail.uiuc.edu).
- Cain, W.S. and Cometto-Muñiz, J.E. (2004). Identifying and controlling odor in the municipal wastewater environment. Health effects of biosolids odors: a literature review and analysis. Water Environment Research Foundation (WERF) and International Water Association (IWA) Ed..

- Card, T. (2001). *Chemical odour scrubbing systems*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 309-344. London, IWA Publishing.
- Conceição, E.Z.E., Silva, M.C.G. e Viegas D.X. (1997). Avaliação da qualidade do ar – utilizando gases traçadores. *Indústria e Ambiente*, 9, 17-24.
- Correia, M. (2002). *Sistemas públicos de saneamento de águas residuais urbanas. Segurança e Saúde no Trabalho – Estudos 5*. Lisboa, IDICT.
- DEFRA (2003). *Best Available Techniques for Odour Control at Sewage Treatment Works*. Department for Food and Rural Affairs (DEFRA), United Kingdom, London. Disponível em [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)
- DEFRA (2006). *Code of practice on odour nuisance from sewage treatment works*. Department for Food and Rural Affairs (DEFRA), United Kingdom, London. Disponível em [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)
- Degremont (1989). *Memento Technique de L'Eau* (9<sup>a</sup> Ed.). Degremont.
- De heyder, B., and Thoeys, C. (2000). A conscious scheme for remediation of odour nuisance at sewage treatment plants. *Water Science and Technology*, 41(6), 9-16.
- EA (2002). *Odor guidance. Internal guidance for the regulation of odour at waste management facilities* (3<sup>rd</sup> version). Environmental Agency (EA), July.
- Einarsen, A.M., Rasmussen, A-I., Bungum, B., and Sveberg M. (2000). Biological prevention and removal of hydrogen sulphide in sludge at Lillehammer Wastewater Treatment Plant. *Water Science and Technology*, 41(6), 175-187.
- EN 12255-9:2002. European Standard on *Wastewater treatment plants – Part 9: Odour control and ventilation*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, January.
- EN 13725:2003. European Standard on *Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*. European Committee for Standardization (CEN), April. Disponível em [www.cenorm.be](http://www.cenorm.be)

## Referências Bibliográficas

---

- EPA (2001). *Odour impacts and odour emission control. Measures for intensive agriculture*. Environmental Protection Agency (EPA). Disponível em [www.epa.ie/pubs/docs/odour%20Impacts%Final.pdf](http://www.epa.ie/pubs/docs/odour%20Impacts%Final.pdf)
- ERG (1997). *Preferred and alternative methods for estimating air emissions form wastewater collection and treatment – Final Report. Volume II: Chapter 5*. Eastern Research Group (ERG), March. Disponível em [www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume02/ii05.pdf](http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume02/ii05.pdf)
- Frechen, F.-B. (2000). Odour measurement and odour policy in Germany. *Water Science and Technology*, 41(6), 17-24.
- Frechen, F.-B. (2001). *Prediction of odorous emissions*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 201-213. London, IWA Publishing.
- Frechen, F.-B. (2002). State of the art of odour measurement. *Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center*, 149-155. Disponível em [www.env.go.jp/en/lar/odor\\_measure/02\\_3\\_6.pdf](http://www.env.go.jp/en/lar/odor_measure/02_3_6.pdf)
- Frechen, F.-B. (2004). Odour emission inventory of German wastewater treatment plants – odour flow rates and odour emission capacity. *Water Science and Technology*, 50(4), 139-146.
- Gabriel, D., and Deshusses, M.A. (2004). Technical and economical analysis of the conversion of a full-scale scrubber to a biotrickling filter for odor control. *Water Science and Technology*, 50(4), 309-318.
- Gostelow, P., and Parsons, S.A. (2000). Sewage treatment works odour measurement. *Water Science and Technology*, 41(6), 33-40.
- Gostelow, P. and Parsons, S.A. (2001). *Hydrogen sulfide measurement*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 120-129. London, IWA Publishing.
- Gostelow, P., Parsons, S.A., and Cobb, J. (2001). Development of an odorant emission model for sewage treatment works. *Water Science and Technology*, 44(9), 181-188.
- Heumann, W. L. (1997). *Industrial air pollution control systems*. McGraw-Hill, Inc..

- Hvitved-Jacobsen, T., and Volertsen, J. (2001). *Odour formation in sewers*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 33-68. London, IWA Publishing.
- Iranpour, R., Cox, H.H.J., Deshusses, M.A. and Schroeder, E.D. (2005). Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal. *American Institute of Chemical Engineers Environmental Progress*, 24(3), 254-267.
- Issey, S., and Lang, E. (2001). *Toxicity, Ammonia from Emergency Medicine / Toxicology*. Boston Publishing Co.. [www.emedicine.com](http://www.emedicine.com)
- Jahani, F., Deviny, J., Mansfeld, F., Rosen, I.G., Sun, Z., and Wang, C. (2001). Investigations of sulfuric acid corrosion of concrete. I: Modeling and chemical observations. *Journal of Environmental Engineering*, 127(5), 572-579.
- Jiang, J., and Kaye, R. (2001). *Sampling techniques for odour measurement*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 106-119. London, IWA Publishing.
- Joher, J.B., Garcia, M.V.F., Castillo, M.C.G., and Alemany, F.O. (1996). Control de olores en una EDAR. *Tecnología del Agua* (Junio), 40-45.
- Jones, N. (2002). *Odour impact assessment at Saltford Sewage Treatment Works – Report for Project NPAS02a*. OdourNet UK, Ltd., September. Disponível em [www.odournet.com](http://www.odournet.com)
- Kanagawa, T., Qi, H.W., Okubo, T., and Tokura, N. (2004). Biological treatment of ammonia gas at high loading. *Water Science and Technology*, 50(4), 283-290.
- Kaye, R., and Jiang, K. (2000). Development of odour impact criteria for sewage treatment plants using odour complaint history. *Water Science and Technology*, 41(6), 57-64.
- Koe, L.C.C., and Yang, F. (2000). A bioscrubber for hydrogen sulphide removal. *Water Science and Technology*, 41(6), 141-145.

## Referências Bibliográficas

---

- Koe, L. (2001). *Process covers for odour containment*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 293-308. London, IWA Publishing.
- Koe, L.C.C. (2002). Development of the odormat for sewage odour measurement. *Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center*, 128-133. Disponível em [www.env.go.jp/en/lar/odor\\_measure/02\\_3\\_3.pdf](http://www.env.go.jp/en/lar/odor_measure/02_3_3.pdf)
- Lin, C.-F., Wu, T.-Z., Hao, O.J., Lin, Y.-C., and Rau, Y.-R. (2000). Biosensor for detecting odorous compounds. *Journal of Environmental Engineering*, 126(5), 446-450.
- Lund, H.F. (1971). *Industrial pollution control handbook*. McGraw-Hill, Inc..
- Mahin, T.D. (2001). Comparison of different approaches used to regulate odours around the world. *Water Science and Technology*, 44(9), 87-102.
- Mandavia, S. (2001). *Toxicity, Hydrogen sulfide*. Disponível em [www.emedicine.com](http://www.emedicine.com)
- Mara, D. and Pearson, H. (1998). *Design Manual for Waste stabilization Ponds in Mediterranean Countries* (1<sup>st</sup> Ed.). Lagoon Technology Internationa, Ltd., England.
- McGinley, M.A., and McGinley, C.M. (2004). Comparison of field olfactometers in a controlled chamber using hydrogen sulfide as the test odorant. *Water Science and Technology*, 50(4), 75-82.
- McIntyre, A. (2000). Application of dispersion modelling to odour assessment: a practical tool or a complex trap?. *Water Science and Technology*, 41(6), 81-88.
- McNab, D. (2004). *A Draft Code of Practice on Assessment and Control of Odour Nuisance from Waste Water Treatment Works*. Scottish Executive, Environment Group, Air Noise & Nuisance Team. Disponível em [www.scotland.gov.uk](http://www.scotland.gov.uk)
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse* (4<sup>th</sup> Ed.). Revista por Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D.. International Ed., McGraw-Hill, Inc..
- MECV (1980). *Etudes d'impact des stations d'epuration urbaines – Odour et bruits*. Ministere de l'Environnement du Cadre de Vie (MECV) - Direction de la Prevention des Pollutions. FD Imprimerie Alençonnaise.

- MFE (2003). *Good practice guide for assessing and managing odour in New Zealand. Air Quality Report 36*. Ministry for the Environment (MFE), New Zealand, June. Disponível em [www/mfe.govt.nz](http://www/mfe.govt.nz)
- Mitchell, F.L. (2002). *A report on the health consequences of the July, 2001 ATOFINA Incident*. FACOEM. Atlanta, Georgia.
- Morton, R., and Caballero, R. (1996). Odor control overview. The biotrickling story. *Water Environment Technology* (June), 39-45.
- Morton, C. (2002). *Sources of odors in wastewater treatment processes*. Malcolm Pirnie Ed.. Disponível em [www.pirnie.com/docs/resources\\_pubs\\_air\\_jan02\\_2.html](http://www.pirnie.com/docs/resources_pubs_air_jan02_2.html)
- Morton, C., and Tudman, S. (2002). *Methods used to measure onsite odors*. Malcolm Pirnie Ed.. Disponível em [www.pirnie.com/docs/resources\\_pubs\\_air\\_jan02\\_3.html](http://www.pirnie.com/docs/resources_pubs_air_jan02_3.html)
- NBP (2005). *National manual of good practice for biosolids, chapter 6 – odor control*. National Biosolids Partnership (NBP), USA, January, 2005. Disponível em [www.biosolids.com](http://www.biosolids.com)
- Newby, D.B., and McGinley, M.A. (2004). Ambient odour testing of concentrated animal feeding operations using field and laboratory olfactometers. *Water Science and Technology*, 50(4), 109-114.
- NP 1796:2004. Norma Portuguesa sobre *Segurança e saúde no trabalho. Valores limite de exposição profissional a agentes químicos* (3ª Ed.). IPQ (Ed.).
- OSHA (2003a). *Safety and Health Topics: Ammonia*. U.S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA).
- OSHA (2003b). *Safety and Health Topics: Methyl Mercaptan*. U.S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA).
- Parsons, S.A., Smith, N., Gostelow, P., and Wishart, J. (2000). Hydrogen sulphide dispersion modelling – urban and rural case studies. *Water Science and Technology*, 41(6), 117-126.
- Pelosi, P., and Persaud, K.C. (2000). *Physiological and artificial systems for odour recognition*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Workshop on Chemical Sensors and Biosensors,

## Referências Bibliográficas

---

- 1999, March, 18-19. F.Mazzei & R.Pilloton Ed., 37-55, 2000. Disponível em <http://192.107.77.201/Workshop%5CContents%5CPapers%5CPaperO04.PDF>
- Picot, B., Paing, J., Toffoletto, L., Sambuco, J.P., and Costa, R.H.R. (2001). Odor control of an anaerobic lagoon with a biological cover: floating peat beds. *Water Science and Technology*, 44(9), 309-316.
- Pope, R.J. (2000). *First step to effective odor control*. Clearwaters, 30(2). Disponível em [www.nywea.org/clearwaters](http://www.nywea.org/clearwaters)
- Quigley, C., Easter, C., Burrowes, P., and Witherspoon, J. (2004). Biotechnology-based odour control: design criteria and performance data. *Water Science and Technology*, 50(4), 319-326.
- Rafson, H. J. (1998). *Odor and VOC control handbook*. McGraw-Hill, Inc..
- Sander, R. (1999). *Compilation of Henry's Law constants for inorganic and organic species of potencial importance in Environmental Chemistry* (3<sup>rd</sup> version). Air Chemistry Department, Max-Planck Institute of Chemistry. Disponível em [www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html](http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html)
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parkin, G.F. (1994). *Chemistry for environmental engineering* (4<sup>th</sup> Ed.). Singapore, McGraw-Hill, Inc..
- Sneath, R.W. and Clarkson, C. (2000). Odour measurement: A code of practice. *Water Science and Technology*, 41(6), 25-31.
- Sneath, R.W. (2001). *Olfactometry and the CEN standard prEN13725*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 131-154. London, IWA Publishing.
- Stoecker, W.F. and Jones J.W. (1982). *Refrigeration and Air Conditioning* (2<sup>nd</sup> Ed.). McGraw-Hill, Inc..
- Stuetz, R.M., Fenner, R.A., Hall, S.J., Stratful, I., and Loke, D. (2000). Monitoring of wastewater odours using an electronic nose. *Water Science and Technology*, 41(6), 41-47.

- Stuetz, R.M., Gostelow, P., and Burgess, J.E. (2001). *Odour perception*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 3-15. London, IWA Publishing.
- Stuetz, R.M., and Fenner, R.A. (2001). *Odour measurements using sensor arrays*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 179-198. London, IWA Publishing.
- Turk, A., and Bandosz, T.J. (2001). *Adsorption systems for odour treatment*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 345-364. London, IWA Publishing.
- USEPA (1985). *Design Manual - Odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants*, USEPA (United States Environmental Protection Agency). EPA 625/1-85/018, Washington, DC: Autor.
- USEPA (2003). *Using bioreactors to control air pollution*. USEPA (United States Environmental Protection Agency). EPA-456/R-03-003, Washington, DC: Autor. Disponível em [www.epa.gov/ttn/catc](http://www.epa.gov/ttn/catc)
- Van Harreveld, A.P. (2004). Odour management tools – filling the gaps. *Water Science and Technology*, 50(4), 1-8.
- Van Langenhove, H., and De heyder, B. (2001). *Biotechnological treatment of sewage odours*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 396-414. London, IWA Publishing.
- Vincent, A.J. (2001). *Sources of odours in wastewater treatment*. Em R. Stuetz and F.-B. Frechen (Ed.), *Odours in wastewater treatment: measurement, modelling and control* (1<sup>st</sup> Ed.), 69-92. London, IWA Publishing.
- Vossen, F. (2003). *Olfactometry – its application and limits. The European Standard: EN13725*. Comunicação apresentada em 1<sup>st</sup> International ECN Workshop on effective odour management in Biological Waste Treatment Plants. OdourNet BV, The Netherlands. Disponível em [www.odournet.com](http://www.odournet.com)
- Walsh, J. L. (1996). What's that smell? Characterizing, controlling and regulating odor. *Industrial Wastewater* (May/June), 34-38.

## Referências Bibliográficas

---

- WEF/ASCE (1995). *Odor control in wastewater treatment plants*. Water Environmental Federation (WEF) manual of practice n 22 and American Society of Civil Engineers (ASCE) manuals and reports on engineering practice n 82.
- WHO (2003). *Hydrogen sulfide: human health aspects*. Concise International Chemical Assessment Document 53 (cicad53). World Health Association (WHO). Geneva: Autor.
- Witherspoon, J.R., Sidhu, A., Castleberry, J., Coleman, L., Reynolds, K., Card, T., and Daigger, G.T. (2000). Odour emission estimates and control strategies using models and sampling for East Bay Municipal Utility district's collection sewage system and wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, 41(6), 65-71.
- WPCF (1976). Water Pollution Control Federation. *Operation of wastewater treatment plants (manual of practice n 11). Chapter 27 Odor Control*. Washington, D.C., Lancaster Pa..
- WPCF (1990). Water Pollution Control Federation. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants (manual of practice n 11). Volume I, Chapter 13 Odor Control (2<sup>nd</sup> Ed.)*. St. Joseph, Imperial Printing Co..
- WSDE, 1998. *Criteria for Sewage Works Design – Water Quality Program*. Pub n.º 98-37-WQ. Washington State Department of Ecology (WSDE). Disponível em [www.ecy.wa.gov/](http://www.ecy.wa.gov/)
- Wu, L., Loo, Y.-Y., and Koe, L.C.C. (2001). A pilot study of a biotrickling biofilter for the treatment of odorous sewage air. *Water Science and Technology*, 44(9), 295-299.
- Zhang, Q., Feddes, J.J.R., Edeogu, I.K., and Zhou, X.J. (2002). Correlation between odor intensity assessed by human assessors and odour concentration measured with olfactometers. *Canadian Biosystems Engineering*, 44, 6.27-6.32. Disponível em [www.engr.usask.ca/societies/csae/papersAlc2002/CSAE02-601.pdf](http://www.engr.usask.ca/societies/csae/papersAlc2002/CSAE02-601.pdf)

# Anexo I – Inquérito tipo

Caso de Estudo N.º \_\_ – ETAR \_\_\_\_\_ (designação)

DESODORIZAÇÃO POR \_\_\_\_\_

(designação: BIOFILTRAÇÃO, ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA E, OU ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO)

## 1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR

A ETAR \_\_\_\_\_, sob a exploração de \_\_\_\_\_, localizada em \_\_\_\_\_, foi construída em \_\_\_\_\_ e iniciou o seu funcionamento em \_\_\_\_\_, tendo a visita sido efectuada a \_\_ de \_\_\_\_ de \_\_, pelas \_\_h00. O dia apresentava-se \_\_\_\_\_.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por \_\_\_\_\_.

A afluência à ETAR é \_\_\_\_\_ (gravítica ou por elevação, que elevações contempla).

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por \_\_\_\_\_.

As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para \_\_\_\_\_.

Identificação dos espaços confinados: \_\_\_\_\_.

A ETAR possui \_\_\_\_ (número) linhas de tratamento da fase gasosa, uma para os odores provenientes de \_\_\_\_\_ e que se socorre de tratamento por \_\_\_\_\_, e outra, para os odores provenientes de \_\_\_\_\_, e que se socorre de tratamento por \_\_\_\_\_.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR \_\_\_\_\_ foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de \_\_\_\_\_ habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de \_\_\_\_\_ habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são de, respectivamente, \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/dia e \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/dia e \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH		
Temperatura (°C)		
CBO <sub>5</sub> (mg/L)		
CQO (mg/L)		
SST (mg/L)		
Nt (mg/L)		
Pt (mg/L)		

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído de \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e com válvulas de seccionamento (s/n) e \_\_\_\_ (número) ventiladores com capacidade para \_\_\_\_\_ Nm<sup>3</sup>/h e que funciona \_\_\_\_ horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual os locais \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ e de forma geral as operações de \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

As grelhas de extracção de ar localizam-se \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (junto ao tecto, junto ao chão, a cerca de \_\_ metros acima de \_\_\_\_).

A ventilação dos espaços confinados \_\_\_\_\_ (quais) inclui para além da extracção, a insuflação de ar (s/n) através de \_\_\_\_\_.

(*existe ou não*) instrumentos de medição / alarme de H<sub>2</sub>S atmosférico que accionam alarme visual e, ou sonoro nos espaços confinados, nomeadamente em \_\_\_\_\_.

A linha de tratamento de odores é constituída por biofiltração, absorção e oxidação química ou adsorção em carvão activado, com \_\_\_\_ estágios, através de \_\_\_\_\_ (*designação dos órgãos ou equipamentos*), em série.

**(*absorção e oxidação química*)**

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com \_\_\_\_\_.

No segundo estágio a lavagem é efectuada com \_\_\_\_\_.

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente (s/n), possuem meio de enchimento (s/n) sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem (s/n) \_\_\_\_\_.

O doseamento de reagentes, por forma a manter a eficiência da solução de recirculação, é controlada automaticamente através de sondas (s/n) \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ (*tipo*).

Os reagentes são armazenados em \_\_\_\_\_

**(*adsorção em carvão activado*)**

A adsorção é efectuada em \_\_\_\_ (*número*) torres de filtração em carvão activado, cada uma com \_\_\_\_ (*número*) leitos de material adsorvente.

**(*biofiltração*)**

O meio filtrante é constituído por \_\_\_\_ m de altura com \_\_\_\_\_ (*composição*), inoculado (s/n) \_\_\_\_ com \_\_\_\_\_

A humidificação do meio é efectuada (s/n) através de \_\_\_\_\_  
(*frequência da humidificação*)

As escorrências resultantes da humidificação são encaminhadas para \_\_\_\_\_

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção e a insuflação de ar, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>			
Número			
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)			
Pressão (mmca)			
Potência total instalada (kW)			

A instalação de tratamento de ar odorífico é composta por \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>		
Número		
Diâmetro (mm)		
Altura total (mm)		
Volume do reservatório (L)		
<i>Meio de enchimento</i>		
Tipo		
Altura (m)		
Densidade		
Velocidade de passagem (m/s)		
Superfície livre (%)		
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )		
Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )		
<i>Bombas para recirculação</i>		
Número		
Tipo		
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)		
Pressão (mca)		
Potência instalada (kW)		

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>			
Designação			
Concentração			
Número de reservatórios			
Capacidade (L)			
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número			
Tipo			
Caudal unitário (L/h)			
Pressão (bar)			
Potência instalada (W)			
Accionamento			

Quadro 3.x – Equipamentos da desodorização por adsorção em carvão activado.

<i>Torres de filtração</i>		
Número de leitos filtrantes		
Tipo de funcionamento		
Diâmetro (mm)		
Altura total (mm)		
Perda de carga (mmca)		
<i>Meio filtrante</i>		
Tipo		
Impregnação		
Altura (mm)		
Volume (m <sup>3</sup> )		
Quantidade (kg)		
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )		
Área específica (m <sup>2</sup> /g)		
Tamanho do grão (mm)		
Teor em humidade (%)		

Quadro 3.x – Equipamentos da desodorização por biofiltração

<i>Biofiltros</i>		
Número		
Tipo		
Dimensões (mm)		
Altura total (mm)		
Volume (m <sup>3</sup> )		
<i>Meio filtrante</i>		
Tipo		
Altura (mm)		
Densidade (esc. Von Post)		
Diâmetro do granulado		
<i>Humidificação</i>		
Tipo de sistema		
<i>Bombas</i>		
Número		
Tipo		
Caudal (m <sup>3</sup> /h)		
Pressão (mca)		
Potência instalada (kW)		

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem ? (s/n, comentários)

\_\_\_\_\_

É efectuada alguma monitorização do sistema de desodorização? (s/n) \_\_\_\_\_,  
 (de que tipo) \_\_\_\_\_  
 (com que equipamentos) \_\_\_\_\_

(*existe ou não*) \_\_ (*nº*) analisadores de \_\_\_\_\_ (*composto*) gasoso (s/n) \_\_\_\_\_,  
 colocados em \_\_\_\_\_

(*existe ou não*) instrumentos portáteis para análise e medição das concentrações  
 gasosas de compostos \_\_\_\_\_

Ocorrem queixas de odores, por parte da vizinhança? (s/n, em que situações)

Quando é que ocorrem mais odores dentro do recinto da ETAR? \_\_\_\_\_

Quais os principais problemas de exploração do sistema de desodorização? \_\_\_\_\_

## 5 – CUSTOS

Valor de investimento no sistema de desodorização (1) \_\_\_\_\_, no ano \_\_\_\_

Valor de investimento no sistema de desodorização (2) \_\_\_\_\_, no ano \_\_\_\_

(valores de projecto, proposta ou de construção)

valores que incluem: coberturas (s/n), rede de tubagens (s/n), ventilação de extracção (s/n), ventilação de insuflação (s/n), órgãos e equipamentos de tratamento de odores.

Valor de investimento total na ETAR \_\_\_\_\_, no ano \_\_\_\_\_, representando o sistema de desodorização um investimento da ordem dos \_\_\_\_\_ % do investimento global.

Valores dos custos de exploração:

\_\_\_\_\_ (€/ano)

ou \_\_\_\_\_ (% dos custos totais de exploração da ETAR)

que incluem: energia (s/n), consumo de reagentes (s/n), consumo de água (s/n),

Valores relativos aos consumos médios (anuais ou mensais):

energia: \_\_\_\_\_ kW /mês ou kW /ano

reagente: \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ L / mês ou m<sup>3</sup>/ano

reagente: \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ L / mês ou m<sup>3</sup>/ano

reagente: \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ L / mês ou m<sup>3</sup>/ano

água = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/mês ou m<sup>3</sup>/ano

## 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR \_\_\_\_\_ (designação), elaborado por \_\_\_\_\_ (projectista/construtor) para \_\_\_\_\_ (dono de obra) e da visita efectuada ao local com o acompanhamento de \_\_\_\_\_.

## Anexo II – Inquéritos efectuados

### Índice dos casos de estudo

CASO DE ESTUDO N.º 1 – ETAR DO CASALINHO .....	189
CASO DE ESTUDO N.º 2 – ETAR DA FIGUEIRA DA FOZ, ZONA URBANA .....	193
CASO DE ESTUDO N.º 3 – ETAR DE BEIROLAS .....	198
CASO DE ESTUDO N.º 4 – ETAR DE FRIELAS .....	204
CASO DE ESTUDO N.º 5 – ETAR DE CHELAS .....	210
CASO DE ESTUDO N.º 6 – ETAR DE ALCÂNTARA.....	216
CASO DE ESTUDO N.º 7 – ETAR DE S. JOÃO DA TALHA.....	221
CASO DE ESTUDO N.º 8 – ETAR DE VALE FARO .....	226
CASO DE ESTUDO N.º 9 – ETAR DE VILA VELHA DE RÓDÃO .....	231
CASO DE ESTUDO N.º 10 – ETAR DE SESIMBRA.....	234
CASO DE ESTUDO N.º 11 – ETAR NORTE DE AVEIRO .....	238
CASO DE ESTUDO N.º 12 – ETAR SUL DE AVEIRO .....	243
CASO DE ESTUDO N.º 13 – ETAR DE COSENA .....	249
CASO DE ESTUDO N.º 14 – ETAR DE SETÚBAL .....	251
CASO DE ESTUDO N.º 15 – ETAR DE VILA REAL .....	257
CASO DE ESTUDO N.º 16 – ETAR DE PENICHE .....	260
CASO DE ESTUDO N.º 17 – ETAR DE SOBREIRAS .....	264
CASO DE ESTUDO N.º 18 – ETAR DE GAIA LITORAL.....	268
CASO DE ESTUDO N.º 19 – ETAR DE FEBROS.....	275

## Inquéritos efectuados

---

CASO DE ESTUDO N.º 20 – ETAR DA GUIA.....	279
CASO DE ESTUDO N.º 21 – ETAR DE RIBEIRA DOS MOINHOS .....	284
CASO DE ESTUDO N.º 22 – ETAR DO PORTINHO DA COSTA.....	287
CASO DE ESTUDO N.º 23 – ETAR DO FREIXO .....	293
CASO DE ESTUDO N.º 24 – ETAR DA LUZ.....	297

## **Caso de Estudo N.º 1 – ETAR do Casalinho**

### **DESODORIZAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Casalinho, sob a exploração da Águas do Oeste, localizada em Óbidos, junto à margem Sul da Lagoa de Óbidos, foi construída em 1981 e remodelada em 2003, tendo reiniciado o seu funcionamento em 2004. A visita foi efectuada a 20 de Maio de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se limpo, com períodos pouco nublados e temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por tratamento preliminar (tamisação e desarenação em canal), equalização, tratamento biológico por lamas activadas em regime de baixa carga (em reactores que podem funcionar em "batch" sequencial ou em mistura completa, com insuflação de ar) e decantação secundária, possibilidade de adição de cloreto férrico a montante do tratamento secundário, afinação e filtração em lagoas de macrófitas e desinfecção por radiação ultravioleta em canal. A afluência à ETAR é gravítica.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico em duas unidades tronco-cónicas e desidratação em filtro de banda ou alternativamente em leitos de secagem. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada. Apenas a desidratação e a zona de parqueamento do contentor para armazenamento de lamas desidratadas se localizam em espaços confinados, designados respectivamente por sala de desidratação e por parque de lamas, ambos os espaços estão integrados no edifício de exploração.

A ETAR de Casalinho possui uma linha de tratamento da fase gasosa para os odores provenientes da sala de desidratação e do parque de lamas, e que se socorre de tratamento por adsorção em carvão activado.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de Casalinho foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 9 928 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR é de cerca de 500 habitantes.

O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 1 936 m<sup>3</sup>/dia e 149 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de 90 m<sup>3</sup>/dia e 10 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH	6,5 – 7,5	-
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	334	114
CQO (mg/L)	-	255
SST (mg/L)	390	52
Nt (mg/L)	66,9	43,7
Pt (mg/L)	22,3	0,1

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de desodorização inclui o ar extraído da sala de desidratação e do parque de lamas. A extracção do ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e um ventilador com capacidade para 1 750 Nm<sup>3</sup>/h. O sistema de desodorização funcionará em função do funcionamento da desidratação, em regime automático ou por accionamento manual ou temporizado.

A rede de tubagens abrange de forma geral os espaços desodorizados através de três grelhas no parque de lamas e de duas grelhas na sala de desidratação, localizadas a cerca de 3,0 metros do pavimento. A ventilação inclui apenas a extracção. No parque de lamas a entrada de ar é efectuada através de grelhas localizadas a cerca de 3 metros do chão e no lado oposto à extracção enquanto que na sala de desidratação estão localizadas à mesma altura e lateralmente, na parede oposta ao portão de acesso. A linha de tratamento de odores é constituída por adsorção em carvão activado em torre de filtração de leite duplo. O controlo dos teores de H<sub>2</sub>S no ar ambiente será efectuado por sonda portátil.

#### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de um ventilador cuja capacidade foi estimada com base no volume a ventilar, num

total de 350 m<sup>3</sup>, e numa taxa de renovação de 5 Nm<sup>3</sup>.(m<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup>. No quadro seguinte apresentam-se as principais características do ventilador.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	
Número	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	1750
Pressão (mmca)	150
Potência total instalada (kW)	2,2

A instalação de desodorização é composta por uma torre de filtração em carvão activado de leito duplo, dimensionada para remover 99% dos compostos odoríficos presentes no ar afluente, que em projecto se estimou ser composto por sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S), mercaptano de metilo (CH<sub>3</sub> SH), sulfureto de dimetilo ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> S) e di-sulfureto de dimetilo ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> S<sub>2</sub>), numa concentração total máxima de 15 mg.(Nm<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup>.

Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por adsorção em carvão activado.

<i>Torres de filtração</i>	
Número de leitos filtrantes	2
Tipo de funcionamento	-
Diâmetro (mm)	1200
Altura total (mm)	2000
Perda de carga (mmca)	80
<i>Meio filtrante</i>	
Tipo	carvão activado
Regeneração	com NaOH
Altura (mm)	800
Volume (m <sup>3</sup> )	1,5
Quantidade (kg)	700
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	500
Área específica (m <sup>2</sup> /g)	1000
Tamanho do grão (mm)	3 – 6
Teor em humidade (%)	10 – 15

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Pelo facto da visita ter sido efectuada durante o período de arranque da ETAR do Casalinho, e dado que o caudal afluente é bastante reduzido e não haver ainda produção suficiente de lamas para a entrada em funcionamento da desidratação, não há dados de exploração nem de monitorização do sistema de desodorização.

#### **5 – CUSTOS**

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de 13 650 €, no ano 2003, valores que incluem: o sistema de ventilação (rede de tubagens e ventilador) e a torre de filtração.

O valor de investimento total na ETAR foi de 920 000 €, no ano 2003, representando o sistema de desodorização um investimento da ordem dos 1,48 % do investimento global.

Ainda não foi possível contabilizar os custos de exploração da ETAR.

#### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR de Casalinho e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Susana Almeida.

## **Caso de Estudo N.º 2 – ETAR da Figueira da Foz, zona urbana**

### **DESODORIZAÇÃO POR BIOFILTRAÇÃO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Figueira da Foz, zona urbana, sob a exploração da Águas da Figueira, S.A., localizada entre a margem Norte do rio Mondego e a linha de caminho de ferro, na Figueira da Foz, foi construída em 2000 e iniciou o seu funcionamento em 2003, tendo a visita sido efectuada a 20 de Maio de 2004, pelas 16h00. O dia apresentava-se de céu limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (gradagem, desarenação e desengorduramento), decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga (remoção de matéria carbonácea, azoto e fósforo), em reactores com insuflação de ar e três zonas distintas (anaeróbia, anóxica e aeróbia) seguida de desgasificação e decantação secundária, e tratamento terciário por filtração em areia e desinfecção por radiação ultravioleta em canal.

A afluência à ETAR é gravítica existindo, no decorrer da linha de tratamento da fase líquida, duas elevações, a primeira após a operação de gradagem e a segunda após a decantação primária.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias, espessamento por flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica e desidratação em centrífugas.

Os espaços confinados incluem o edifício da obra de entrada, que encerra também o tratamento preliminar e o processamento dos subprodutos, o edifício da desidratação, que encerra também os contentores para armazenamento temporário das lamas desidratadas, e o edifício de apoio ao espessamento, que inclui o tanque de mistura de lamas. A elevação intermédia, a decantação primária, o espessador gravítico e o flotador são cobertos e sujeitos a desodorização.

A ETAR da Figueira da Foz possui 2 linhas de tratamento da fase gasosa, uma para os odores provenientes do edifício da obra de entrada, dos dois decantadores primários e da elevação intermédia, designada por desodorização 1, e outra, para os odores provenientes do edifício de desidratação, do edifício de apoio ao espessamento, do espessador gravítico

e do flotor, designada por desodorização 2. Ambas as linhas de tratamento de odores se socorrem de biofiltração.

As escorrências da desidratação e o líquido de humidificação do biofiltro da instalação de desodorização 1 são encaminhadas para a obra de entrada, enquanto que os sobrenadantes das operações de espessamento e tanque de mistura de lamas e o líquido de humidificação do biofiltro da instalação de desodorização 2 são encaminhados para montante dos reactores biológicos.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR da Figueira da Foz foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 64 094 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 35 000 habitantes, atingindo um máximo de 70 000 habitantes em época de Verão. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são de, respectivamente, 16 590 m<sup>3</sup>/dia e 1 330 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 9 000 m<sup>3</sup>/dia em média (no Verão atinge os 12 000 m<sup>3</sup>/dia e em época de chuva os 20 000 m<sup>3</sup>/dia).

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	293
CQO (mg/L)	562
SST (mg/L)	440
Nt (mg/L)	49
Pt (mg/L)	12

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de desodorização 1 inclui o ar extraído da obra de entrada, do tratamento preliminar e do tratamento dos respectivos subprodutos, da elevação inicial (num único edifício), dos decantadores primários e da elevação intermédia (nos parafusos de Arquimedes cobertos).

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens, equipada com grelhas e com válvulas de seccionamento, ligada a dois ventiladores com capacidade unitária para 4 470 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam, alternadamente, 24 horas por dia. Os ventiladores localizam-se dentro do edifício da desidratação.

A rede de tubagens abrange de forma pontual a obra de entrada, os decantadores primários e a elevação intermédia e de forma geral o edifício da obra de entrada e tratamento preliminar, onde as grelhas de extracção de ar se localizam a cerca de 3,0 metros acima do chão do piso térreo, na parede adjacente ao portão de acesso. A ventilação dos espaços confinados inclui apenas a extracção de ar odorífico.

A linha de tratamento de odores é constituída por biofiltração, através de um biofiltro de planta quadrada, coberto e de fluxo ascendente. O meio filtrante com 1 m de altura é constituído por uma mistura de turfa e casca de pinheiro, inoculado com bactérias que metabolizam os compostos odoríficos. A humedificação do meio é efectuada, continuamente, por aspersão com água residual tratada, após desinfecção. As escorrências resultantes da humedificação são encaminhadas para a obra de entrada.

### **3.2 – Instalação de desodorização 2**

A instalação de desodorização 2 inclui o ar extraído do espessador gravítico, do flotor, do edifício de espessamento, que encerra o tanque de mistura de lamas, e do edifício da desidratação (captação na saída das escorrências em cada centrífuga e junto aos contentores de lamas).

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens com tomadas de ar simples e pontuais, uma no edifício de desidratação, outra no edifício do espessamento e uma no espessador gravítico, e dois ventiladores, com capacidade para 4 350 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam, alternadamente, 24 horas por dia. A ventilação dos espaços inclui apenas a extracção de ar odorífico.

A linha de tratamento é constituída por biofiltração, através de um biofiltro idêntico ao descrito para a instalação de desodorização 2.

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.3 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	1+1	1+1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	4470	4350
Pressão (mmca)	150	200
Potência total instalada (kW)	5,5	7,5

Ambas as instalações de desodorização são composta por biofiltros de iguais dimensões e características construtivas. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos. A linha de tratamento é constituída por biofiltração em leito de turfa com um metro de altura, humidificado regularmente. Este órgão foi dimensionado para funcionar com uma carga superficial de filtração entre 100 e 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Quadro 3.4 – Equipamentos da desodorização por biofiltração

<i>Biofiltros</i>	
Número	1
Tipo	MONAFIL
Dimensões (mm)	6350 x 5000
Altura total (mm)	
Volume (m <sup>3</sup> )	90
<i>Meio filtrante</i>	
Tipo	turfa
Altura (mm)	1000
Densidade (esc. Von Post)	6 a 10
Diâmetro do granulado	<10 mm: 15% 10 – 20 mm: 75% > 20 mm: 10%
<i>Bombas de Humidificação</i>	
Número	2
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Relativamente à exploração das instalações de desodorização, a empresa Ondeo Degrémont, fornecedora dos biofiltros, efectuou medições do ar à entrada (na tubagem) e à saída dos biofiltros (na chaminé) com um analisador portátil (Drager MiniWarm B) para os parâmetros de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> e CH<sub>3</sub> SH. Foram efectuadas três medições numa semana e os resultados desta monitorização são sistematizados no quadro seguinte.

Quadro 4.1 – Sistematização dos resultados da monitorização de compostos odoríficos.

<i>Local da medição</i>	<i>Concentração (ppmv)</i>		
	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> SH
etapas de tratamento da fase líquida	11,7 (5 - 17)	61,3 (28 - 83)	0
etapas de tratamento da fase sólida	2,7 (2 - 4)	15,7 (12 a 22)	0
ar efluente dos biofiltros	0	0	0

Tratam-se de resultados de arranque da instalação e para efeitos de garantias, não havendo disponíveis mais dados sobre exploração ou monitorização dos sistemas de desodorização.

#### 5 – CUSTOS

Não foi possível apurar quaisquer custos de investimento ou de exploração do sistema de desodorização nem da ETAR.

#### 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do estudo prévio e projecto de execução da ETAR da Figueira da Foz, elaborados pelo consórcio SETAL Degrémont / Soares da Costa para a Câmara Municipal da Figueira da Foz, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Gorete Marlene.

## **Caso de Estudo N.º 3 – ETAR de Beirolas**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Beirolas, sob a exploração da SIMTEJO, localizada na zona Este do Parque Expo, junto à ponte Vasco da Gama, em Lisboa, foi remodelada em 1999 e iniciou o seu funcionamento em 2000, tendo a visita sido efectuada a 27 de Maio de 2004, pelas 9h30. O dia apresentava-se limpo e a temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por tratamento preliminar (gradagem, desarenação e desengorduramento), decantação primária, equalização, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga em reactores com arejamento por ar difuso (remoção de matéria carbonácea e azotada) seguidos de decantadores secundários e tratamento terciário por filtração e desinfecção por radiação ultravioleta. A afluência à ETAR é gravítica.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento das lamas primárias e flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica anaeróbia com valorização do biogás em cogeração, desidratação em filtros de banda e estabilização química com cal. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

Os espaços confinados e sujeitos a desodorização integram o edifício da gradagem, onde é efectuada a gradagem e o armazenamento dos gradados, o edifício do tratamento das areias e gorduras, o edifício do tratamento preliminar, onde se localizam os tanques de remoção de areias e gorduras, o edifício da desidratação, onde se localizam os dois filtros de banda.

A ETAR de Beirolas possui duas linhas de tratamento de fase gasosa, uma para a desodorização dos órgãos de tratamento da fase líquida, designada por desodorização 1, e outra para os órgãos de tratamento da fase sólida, designada por desodorização 2. Ambas se socorrem de tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Beirolas foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 213 510 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 160 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são de, respectivamente, 54 000 m<sup>3</sup>/dia e 4 600 m<sup>3</sup>/h

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
pH	7,5
Temperatura (°C)	> 15
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	260 a 500
CQO (mg/L)	650 a 1250
SST (mg/L)	270 a 550
Nt (mg/L)	50 a 65
Pt (mg/L)	10 a 15

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de desodorização 1, inclui o ar extraído dos edifícios da gradagem, da remoção de areias e gorduras e do tratamento dos subprodutos, da elevação e do tanque de equalização. A ventilação dos espaços confinados inclui apenas a extracção de ar.

A extracção de ar nos edifícios é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e dois ventiladores com capacidade total para 68 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam 24 horas por dia. A capacidade de extracção de ar foi estimada com base no volume a ventilar e no estabelecimento de taxas de renovação, de 12 Nm<sup>3</sup>.(m<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup> e de 6 Nm<sup>3</sup>.(m<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup> para locais com e sem permanência de pessoas, respectivamente. O volume assim obtido foi ainda acrescido do caudal de ar injectado em alguns órgãos de tratamento, com o objectivo de manter os espaços ventilados em depressão.

A rede de tubagens abrange de forma pontual o poço de bombagem e o tanque de equalização e de forma geral as operações encerradas em edifícios, desenvolvendo-se a partir do edifício do tratamento dos subprodutos, passando pela desarenação e

desengorduramento, uma tomada no poço de bombagem, o edifício da gradagem e uma tomada no tanque de equalização.

As grelhas de extracção de ar localizam-se a cerca de 3,0 metros do pavimento e na parede oposta aos portões de acesso dos edifícios.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com dois estágios, através de duas torres de absorção, em série.

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ ) para remoção dos compostos azotados. No segundo estágio a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio, NaOCl e de hidróxido de sódio, NaOH). Os consumos médios foram obtidos considerando que o teor médio de  $H_2S$  no ar seria da ordem dos 8 a 10 ppm.

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O reservatório possui, como medida de segurança uma descarga de superfície com sifão para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico. O doseamento de reagentes, por forma a manter a eficiência da solução de recirculação, é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. Os reagentes são armazenados em contentores próprios instalados em cubas de retenção.

O sistema de tratamento possui dois analisadores de  $H_2S$  gasoso colocados à entrada (a jusante da ventilação) e à saída (na chaminé) e o funcionamento do sistema de recirculação é accionado segundo os valores medidos à entrada.

### **3.2 – Instalação de desodorização 2**

A instalação de desodorização 2 inclui o ar extraído do espessador, do flotador, do tanque de lamas mistas e da sala de desidratação (filtros de banda).

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com captações pontuais nos órgãos de espessamento e no tanque de mistura de lamas e com grelhas localizadas por cima de cada um dos filtros banda e um ventilador com capacidade para  $2000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  e que funciona 24 horas por dia.

A ventilação da sala de desidratação conta apenas com a extracção de ar efectuada a partir das grelhas localizadas por cima dos filtros de banda, não existindo outras tomadas de ar no edifício.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química com dois estágios, através de duas torres de absorção, em série. No primeiro estágio a lavagem é efectuada com hipoclorito de sódio (NaOCl). No segundo estágio, a lavagem é efectuada com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH).

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	2	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	34000	2000
Pressão (mmca)	160	160
Potência total instalada (kW)	37 / un	2,2

Em cada instalação de desodorização, as duas torres de absorção são iguais, todas de funcionamento em contracorrente e com meio de enchimento. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos de cada instalação de desodorização.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	2	2
Diâmetro (mm)	4000	800
Altura total (mm)	5500	5500
Volume do reservatório (L)	10000	500
<i>Meio de enchimento</i>		
Tipo	anéis	anéis
Altura (m)	-	-
Densidade	7000	7000
Velocidade de passagem (m/s)	50	50

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Superfície livre (%)	91	91
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	70	70
Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	104	104
<i>Bombas para recirculação</i>		
Número	2	2
Tipo	centrifuga horizontal	centrifuga horizontal
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	130	6
Pressão (mca)	18	15
Potência instalada (kW)	18,5	0,75

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>Desodorização 1</i>			<i>Desodorização 2</i>	
	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98	14	25	14	25
Número de reservatórios	1	1	1	1	1
Capacidade (L)	3000	10000	10000	1000	500
<i>Bombas doseadoras</i>					
Número	1	1	1	1	1
Tipo	membrana	membrana	membrana	membrana	membrana
Caudal unitário (L/h)	2-20	14-140	4-40	2-20	2-20
Pressão (bar)	2	2	2	2	2
Potência instalada (W)	90	90	90	90	90
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH

## 5 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem, havendo medição dos valores de H<sub>2</sub>S à entrada e à saída da última torre de lavagem, de cada sistema de desodorização, através de analisadores fixos que comandam as bombas de recirculação.

Não foi possível obter informações sobre a ocorrência de odores.

No que respeita a problemas de exploração dos sistemas de desodorização, salienta-se a necessidade da lavagem do meio de enchimento, com a periodicidade bi-anual.

## **6 – CUSTOS**

O valor de investimento no sistema de desodorização 1 foi de 340 000 euros e para o sistema de desodorização 2 foi de 65 000 euros, no ano 1996, valores que incluem a rede de tubagens, a ventilação de extracção e os órgãos e equipamentos de tratamento de odores.

Os custos de exploração, contabilizáveis em energia, consumo de reagentes e de água não puderam ser aferidos por não haver contabilização daqueles componentes em separado dos consumos totais da ETAR, tendo-se apurado, no entanto, junto da entidade exploradora (SIMTEJO) que aqueles custos não seriam significativos face ao custo global da exploração da ETAR de Beirolas.

## **7 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Beirolas, elaborado pelo consórcio SOMAGUE/HIDROCONTRATO para a SIMTEJO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Isabel Ramos.

## **Caso de Estudo N.º 4 – ETAR de Frielas**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Frielas, sob a exploração da SIMTEJO, localizada em Loures, junto à saída da A8 para Frielas, à esquerda desta e a cerca de 50 m, foi construída em 1999 e iniciou o seu funcionamento em 2000, tendo a visita sido efectuada a 27 de Maio de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se limpo e a temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por gradagem, desarenação e desengorduramento, decantação primária, com possibilidade de precipitação de fósforo, equalização, tratamento secundário em reactores de lamas activadas em regime de média carga e com insuflação de ar seguidos de decantadores secundários e tratamento terciário por biofiltração e desinfecção por radiação ultravioleta.

A afluência à ETAR é gravítica possuindo uma elevação, através de parafusos de Arquimedes, logo após a obra de entrada para a etapa de gradagem.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias e flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica e desidratação em centrífugas. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

A ETAR de Frielas contempla três grupos de espaços confinados sujeitos a desodorização, um inclui o edifício da gradagem e de tratamento dos subprodutos, outro que inclui o edifício da desidratação e os órgãos de processamento de lamas e o terceiro inclui a estação elevatória do afluente.

A ETAR possui 3 linhas de tratamento da fase gasosa, uma para cada um dos grupos de espaços confinados, e todas se socorrem de tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de Frielas foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 700 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à

ETAR seja de cerca de 350 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 70 000 m<sup>3</sup>/dia e 5 670 m<sup>3</sup>/h (incluindo pluvial), sendo actualmente de 35 000 m<sup>3</sup>/dia e de 4 500 m<sup>3</sup>/h em tempo seco e 8 000 m<sup>3</sup>/h em tempo de chuva.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente.

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH	-	7,5
Temperatura (°C)	-	> 15
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	548	400
CQO (mg/L)	1485	850
SST (mg/L)	859	450
Nt (mg/L)	72	70
Pt (mg/L)	14	10 a 15

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do edifício de gradagem e do edifício de gorduras.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e um ventilador com capacidade para 20 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funciona 24 horas por dia. A ventilação dos espaços confinados inclui apenas extracção de ar.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com dois estágios, através de duas torres de lavagem, em série.

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para remoção dos compostos azotados. No segundo estágio a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio, NaOCl, e de hidróxido de sódio, NaOH).

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem.

### 3.2 – Instalação de desodorização 2

A instalação de desodorização 2 inclui o ar extraído do edifício de flotação, dos espessadores, do edifício de desidratação, da saída de escorrências e do tanque de mistura de lamas. A capacidade de extracção de ar é de 25 000 Nm<sup>3</sup>/h.

A linha de tratamento é constituída por lavagem química ácida seguida de lavagem química básica em duas torres de lavagem, num sistema de funcionamento semelhante à instalação de desodorização 1.

### 3.3 – Instalação de desodorização 3

A instalação de desodorização 3, abrange o ar extraído da estação elevatória da fase líquida, relativa ao afluente bruto. A capacidade de extracção de ar é de 22 000 Nm<sup>3</sup>/h.

A linha de tratamento é constituída por lavagem química ácida – básica em duas torres de lavagem, em série e de funcionamento semelhante às utilizadas e descritas para as instalações de desodorização 1 e 2.

### 3.4 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui apenas a extracção de ar, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>	<i>Desodorização 3</i>
Número	1	1	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	20000	25000	22000
Pressão (mmca)	-	-	170
Potência total instalada (kW)	30	35	18,5

Todas as instalações de desodorização são constituídas por duas torres de absorção, de desenvolvimento vertical, de funcionamento em contracorrente, com meio de enchimento, e reservatório incorporado. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>	<i>Desodorização 3</i>
Número	2	2	2
Diâmetro (mm)	2200	2500	2500
Altura total (mm)	6600	6000	5300
Volume do reservatório (L)	-	-	5000
<i>Bombas para recirculação</i>			
Número	1 + 1	1 + 1	1 + 1
Tipo	centrifug horiz	centrifug horiz	centrifug horiz
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	56	70	60
Pressão (mca)	14	14	18
Potência instalada (kW)	14	14	18

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>Desodorização 1 / 2</i>			<i>Desodorização 3</i>		
	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	95	13	30	50	14	30
Número de reservatórios	1	1	1	1	1	1
Capacidade (L)	1000	5000 / 8000	2000 / 1500	1000	4000	2000
<i>Bombas doseadoras</i>						
Número						
Caudal unitário (L/h)	0-2 / 0-1	0-10 / 0-15	0-20 / 0-4	4-40	4-44	4-44
Pressão (bar)				10	10	10
Potência instalada (W)	- / 1,1	2,2	1,1	0,06	0,06	0,06
Accionamento	-	-	-	automático sonda pH	automático sonda rH	automático sonda pH

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Os processos de desodorização funcionam bem: avaliando pelo consumo de reagentes, há continuamente remoção de compostos odoríficos, uma vez que não é efectuada monitorização da qualidade do ar afluente ou efluente do processo.

As queixas de odores que normalmente se verificavam relacionavam-se com a existência de um parque de lamas em espaço aberto, situação que entretanto foi resolvida.

Como principais problemas de exploração, salientam-se os seguintes aspectos:

- dificuldade de regulação do caudal extraído de cada troço de tubagem da ventilação através de grelhas com regulação de caudal;
- inadequação dos materiais em contacto directo ou indirecto com os reagentes;
- o armazenamento de reagentes nem sempre é compatível com o volume transportado pelos fornecedores;
- as ligações para reposição de reagentes nos reservatórios de armazenamento da ETAR tem de ser devidamente identificadas e, de preferência, diferentes umas das outras, por forma a diminuir eventuais confusões sobre qual o reagente que pertence àquela ligação;
- as ligações rápidas nem sempre são seguras e a sua rápida execução pode provocar a ocorrência de acidentes;
- os aparelhos de medição de compostos odoríficos na fase gasosa possuem gamas de funcionamento acima das concentrações detectadas pelo olfacto humano, pelo que a sua aplicação, não sendo obrigatória, é questionável;
- os pontos de extracção de ar devem ser ajustados ao tipo de compostos atmosféricos expectáveis, dado que alguns deles se acumulam junto ao tecto e outros junto ao chão, nos edifícios.

### **5 – CUSTOS**

O valor de investimento nos processos de desodorização 1 e 2 foi de cerca de 161 220 euros, no ano 1996 à excepção da desodorização do tanque de mistura de lamas, efectuada posteriormente integrada na empreitada da desodorização 3. O valor de investimento no processo de desodorização 3 foi de cerca de 187 430 euros, no ano 2001 (valores de construção). Estes valores incluem: rede de tubagens e ventilação de extracção e os órgãos e os equipamentos de tratamento de odores.

O valor de investimento total na ETAR foi de 41 900 mil euros (8,4 milhões de contos), no ano 1996, representando os processos de desodorização 1 e 2 um investimento da ordem dos 0,4 % do investimento global.

Não foi possível aferir os custos de exploração nos processos de desodorização.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Frielas, elaborado pelo consórcio SOGEA / OTV / HLC / HAGEN / OPCA para a SIMTEJO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento do Sr. Eng.º Pedro Álvaro, Director de Exploração.

## **Caso de Estudo N.º 5 – ETAR de Chelas**

### **DESODORIZAÇÃO ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Chelas, sob a exploração da SIMTEJO, localizada a Sul de Chelas, em Lisboa, foi construída em 1997 e remodelada, pela última vez, em 2000, tendo a visita sido efectuada a 27 de Maio de 2004, pelas 16h00. O dia apresentava-se limpo e a temperatura quente.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, gradagem e tratamento preliminar com remoção de areias e gorduras, tratamento dos subprodutos, decantação primária, equalização, tratamento secundário em reactores de lamas activadas em regime de média carga e com arejamento por insuflação de ar e remoção de azoto, decantadores secundários e tratamento terciário por filtração e desinfecção por radiação ultravioleta.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento das lamas primárias e flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica com valorização do biogás por cogeração, desidratação em centrífugas e eventual estabilização química com cal. Após tratadas, as lamas são armazenadas num silo para expedição. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

Os espaços confinados sujeitos a desodorização incluem o edifício da gradagem, onde se localizam os contentores de armazenamento de gradados e o processamento e armazenamento das areias e gorduras removidas da fase líquida, o edifício da desarenação e desengorduramento, o edifício que encerra a decantação primária, o edifício da flotação e o edifício de desidratação.

A ETAR possui duas linhas de tratamento da fase gasosa, uma para os odores provenientes dos órgãos de tratamento da fase líquida, designada por desodorização 1, e outra, para os odores provenientes dos órgãos de tratamento da fase sólida, designada por desodorização 2. Ambas se socorrem de tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

A instalação de desodorização 1 existe desde 1997 e pretendia tratar o ar proveniente da obra de entrada, dos desarenadores e desengorduradores, da decantação primária, do

espessador gravítico, do flotador e da desidratação. Em 2000, a ETAR foi remodelada e ampliada e foi construída uma segunda linha para tratamento do ar (instalação de desodorização 2), separando-se então o ar proveniente das operações de tratamento da fase líquida dos da fase sólida. Deste modo, a desodorização 1 passou a tratar o ar extraído do edifício da gradagem, do edifício da desarenação e desengorduramento e da decantação primária e a desodorização 2, a tratar o ar extraído do espessador gravítico, do flotador, do tanque de mistura de lamas, do edifício da flotação, do edifício de desidratação (filtro banda e centrífugas), da saída de escorrências das centrífugas, do tanque de lamas digeridas e do silo de lamas.

As duas linhas de tratamento da fase gasosa são abastecidas com reagentes (ácido sulfúrico, hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio) a partir do mesmo conjunto de cubas de armazenamento, que estavam primeiramente afectas apenas à instalação de desodorização 1 e que após as últimas intervenções ficaram afectas às duas instalações de desodorização. De salientar que, em ambas as instalações de desodorização, os transvazes e purgas de fundo das torres de lavagem ácida são conduzidos à desarenação e o equivalente das torres de lavagem básica são conduzidos à decantação primária.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Chelas foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 211 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 180 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 52 500 m<sup>3</sup>/dia e 4 500 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 35 000 m<sup>3</sup>/dia e de 2 300 m<sup>3</sup>/h a 5 000 m<sup>3</sup>/h, respectivamente, em tempo seco e em tempo de chuva.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
pH	7,5 – 8,0
Temperatura (°C)	> 15
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	220
CQO (mg/L)	450
SST (mg/L)	180

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
Nt (mg/L)	45 (30 NH <sub>4</sub> )
Pt (mg/L)	5

### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

#### **3.1 – Instalação de desodorização 1**

A instalação de tratamento de odores (desodorização 1) inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada e gradagem, do edifício de desarenação e desengorduramento e do edifício da decantação primária.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens e dois ventiladores com capacidade total para 22 500 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam 24 horas por dia (7 500 Nm<sup>3</sup>/h são provenientes do edifício da obra de entrada; 9 000 Nm<sup>3</sup>/h do edifício de desarenação e desengorduramento e 6 000 Nm<sup>3</sup>/h do edifício de decantação primária).

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com dois estágios, através de duas torres de lavagem, em série.

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para remoção dos compostos azotados. No segundo estágio a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio, NaOCl, e de hidróxido de sódio, NaOH).

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. Na parte superior de cada torre existe um sistema distribuidor do líquido de lavagem, localizado acima do meio de enchimento. As torres de lavagem estão equipadas com filtro à saída do ar para retenção de gotas em suspensão no ar.

O reservatório possui sondas de nível utilizadas para manter o nível de líquido no reservatório através da admissão de água da rede, após descalcificação. O reservatório possui, como medida de segurança, uma descarga de superfície sifonada para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico e uma descarga de fundo para o seu completo esvaziamento.

O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de lavagem em recirculação é ajustado automaticamente através das sondas de pH (na primeira e segunda torre) e de eH (apenas na segunda torre).

### 3.2 – Instalação de desodorização 2

A instalação de tratamento de odores (desodorização 2) inclui o ar extraído do espessador gravítico, do flotador, do tanque de mistura de lamas, do edifício da flotação, do edifício de desidratação (filtro banda e centrífugas), da saída de escorrências das centrífugas, do tanque de lamas digeridas e do silo de lamas.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens e dois ventiladores com capacidade total para 24 200 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam 24 horas por dia.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com dois estágios, através de torres de lavagem, em série, de características funcionais semelhantes às descritas para a instalação de desodorização 1.

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	2	2
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	11250	12100
Pressão (mmca)	230	220
Potência total instalada (kW)	2 x 11	2 x 15

Ambas as instalações de desodorização (1 e 2) são compostas por duas torres de lavagem em série, de desenvolvimento vertical, com o fluxo de ar ascendente em contracorrente com o líquido de lavagem, possuem meio de enchimento e reservatório de líquido de lavagem incorporado, possuem também, na torre do último estágio um filtro para retenção de gotas. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	2	2
Diâmetro (mm)	2200	-
<i>Bombas para recirculação</i>		
Número	1	1
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	60	25
Pressão (mca)	16	16
Potência instalada (kW)	7,5	4

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>Desodorização 1 e 2</i>		
	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98	-	-
Número de reservatórios	1	1	1
Capacidade (L)	1000	4000	2000
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número	1	1	1
Caudal unitário (L/h)	7,2	4,2	50
Pressão (bar)	12	12	12
Potência instalada (W)	90	90	90
Accionamento	automático, sensor de pH	automático, sensor de eH	automático, sensor de pH

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Os processos de desodorização funcionam bem, não tendo sido possível aferir mais elementos relativos à exploração ou monitorização das instalações de desodorização instaladas e em funcionamento na ETAR de Chelas.

#### 5 – CUSTOS

O valor de investimento na instalação de desodorização (1) foi de 122 704,28 €, dos quais cerca de 23% foram para a construção civil, à data da construção em 1996 e para a

instalação de desodorização 2 foi de 138 200 euros, dos quais cerca de 8% foram afectos à construção civil, à data da construção em 2000 (valores de construção), valores que incluem a rede de tubagens, a ventilação de extracção e os órgãos e equipamentos de tratamento de odores.

Não foi possível apurar o valor do total de investimento na ETAR nem os valores dos custos de exploração.

Os valores relativos aos consumos médios (mensais), incluem:

reagente: hipoclorito de sódio = 1 a 4 toneladas / mês

reagente: hidróxido de sódio = 200 kg / mês

reagente: ácido sulfúrico = desprezável

Em relação às restantes fracções dos custos de exploração, nomeadamente o consumo de água e de energia, não foi possível apurar as suas grandezas.

## 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Chelas, elaborado pelo consórcio SETAL Degrémont / Soares da Costa / Engil / Teixeira Duarte / Degrémont e pela Ondeo Degrémont para a SIMTEJO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr. Eng.<sup>o</sup> José Martins. Não foi possível consultar a parte escrita dos projectos nem as fichas dos equipamentos.

## **Caso de Estudo N.º 6 – ETAR de Alcântara**

### **DESODORIZAÇÃO ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA E BIOFILTRAÇÃO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Alcântara, sob a exploração da SIMTEJO, localizada em Alcântara, na Avenida de Ceuta, por debaixo do Viaduto Duarte Pacheco, em Lisboa, foi construída em 1989. Recentemente, em 2003, esta ETAR sofreu intervenções de beneficiação com incidência na minimização das emissões de odores, através da implementação de sistemas de confinamento, extracção e tratamento de ar odorífero cujo início de funcionamento teve lugar em Junho de 2004.

A visita foi efectuada a 28 de Setembro de 2004, pelas 10h00. O dia apresentava-se limpo e a temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, tratamento preliminar (gradagem, tamisagem, desarenação e desengorduramento) e decantação primária com tratamento físico-químico (com possibilidade de adição de coagulante, cloreto férrico, e, ou floculante, polielectrólito). A jusante da gradagem, existe uma elevação por parafusos de Arquimedes.

A linha de tratamento da fase sólida, ou seja das lamas primárias, é constituída por um espessador gravítico que actualmente serve apenas de reservatório para alimentação do espessamento mecânico, em mesa espessadora, desidratação em centrífugas e estabilização química com cal. Após estabilização, as lamas são armazenadas em dois silos. As escorrências são encaminhados para a obra de entrada.

A ETAR de Alcântara possui duas linhas de tratamento de fase gasosa, uma para a desodorização dos órgãos de tratamento da fase líquida, designada por desodorização 1, e outra para os órgãos de tratamento da fase sólida, designada por desodorização 2. A instalação de desodorização 1 socorre-se de tratamento por absorção gás-líquido em um estágio (lavagem com solução oxidante/básica) e a instalação de desodorização 2 socorre-se de tratamento por biofiltração precedida de humidificação em torre de lavagem com água de serviço.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Alcântara foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 725 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 60%. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 188 800 m<sup>3</sup>/dia e 8 000 m<sup>3</sup>/h (máximo de 15 500 m<sup>3</sup>/h em duas horas).

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
pH	7,4
Temperatura (°C)	> 15
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	200
CQO (mg/L)	450 – 500
SST (mg/L)	210
Nt (mg/L)	35 – 40 (NKT)
Pt (mg/L)	5

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de tratamento de odores 1 inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada e do tratamento preliminar, onde se localizam as etapas de gradagem, elevação, remoção de areias e de óleos e gorduras, classificador de areias e separador de gorduras, e do tanque de equalização.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e com tomadas pontuais equipadas com válvulas de seccionamento e um ventilador com capacidade para 35 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funciona 24 horas por dia. A ventilação do edifício da gradagem e do tratamento preliminar inclui apenas a extracção.

No edifício da obra de entrada e tratamento preliminar, a rede de tubagens de extracção abrange de forma pontual todas as etapas da linha líquida. A extracção para além de estar enquadrada dentro do edifício possui coberturas metálicas junto à linha de água de onde são efectuadas tomadas de ar; o processamento dos resíduos recolhidos possuem

tomadas de ar constituídas por prolongamentos da tubagem de extracção na vertical. Por outro lado, a rede de tubagens apresenta várias válvulas de seccionamento que poderão possibilitar a gestão do ar dentro do edifício. As grelhas de extracção geral de ar localizam-se a cerca de 2,5 metros do chão, por cima dos contentores de armazenamento de resíduos.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, em estágio único, através de uma torre de lavagem, sendo a lavagem efectuada com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio).

A torre de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possui meio de enchimento sob o qual existe um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação, é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. O reservatório possui, como medida de segurança, uma descarga de superfície com sifão para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico.

### **3.2 – Instalação de desodorização 2**

A instalação de tratamento de odores (desodorização 2) inclui o ar extraído do antigo espessador, do edifício das lamas e dos silos de armazenamento de lama.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e tomadas pontuais equipadas com válvulas de seccionamento e um ventilador com capacidade para 37 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funciona 24 horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual os locais como os silos de lama, o armazenamento de lama a espessar, o equipamento de espessamento, a saída de escorrências das centrífugas, a zona de mistura de cal e, de forma geral, o interior do edifício das lamas.

As grelhas de extracção de ar localizam-se junto ao tecto do edifício, por cima dos portões de acesso ao interior. A ventilação do edifício inclui apenas a extracção de ar.

A linha de tratamento de odores é constituída por biofiltração em um estágio, através de um biofiltro, aberto, de planta rectangular e com aspersores periféricos para humidificação do meio filtrante. A montante do biofiltro existe uma torre de humidificação do ar a tratar. O meio filtrante é constituído por material de origem vegetal.

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	1	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	35 000	37 000
Pressão (mmca)	-	-
Potência total instalada (kW)	65	65

A instalação de desodorização 1 é composta por uma torre de lavagem, de desenvolvimento vertical, com meio de enchimento e recirculação do líquido de lavagem, incorpora um reservatório e um distribuidor do líquido de lavagem sobre o meio de enchimento. O ar flui ascendentemente em contracorrente com o líquido de lavagem. A recirculação do líquido de lavagem é assegurada por duas bombas de funcionamento alternativo (um é de reserva).

Os reagentes utilizados na lavagem são o hipoclorito de sódio (NaOCl a 14%) e o hidróxido de sódio (NaOH a 30%), armazenados em reservatórios de, respectivamente, 10 000 L e de 1000 L. Estes reagentes são doseados através de uma bomba doseadora por reagente, accionadas automaticamente através de sondas de rH e de pH.

A instalação de desodorização 2 tem por base um processo de biofiltração e é composta por uma torre de humidificação e por um biofiltro, de planta rectangular com cerca de 9 m x 5 m.

Não foi possível apurar as características dos principais equipamentos do processo de desodorização por absorção e oxidação química.

## 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Os processos de tratamento de odores funcionam bem e há monitorização através de equipamento portátil para avaliação dos teores atmosféricos de H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> e O<sub>2</sub>, estando em implementação um plano de monitorização regular.

Segundo informações no local, desde a implementação dos processos de desodorização não houve queixas de odores associadas à ETAR de Alcântara, salientando-se que em termos de exploração da ETAR a adição de cloreto férrico a montante da decantação primária promove uma menor formação e libertação de odores no circuito de processamento de lamas.

Os principais problemas de exploração dos sistemas de desodorização verificaram-se no arranque das torres de lavagem, devido à ocorrência de espumas em grande quantidade.

### **5 - CUSTOS**

Não foi possível aferir os valores do investimento nos processos de desodorização nem o valor de investimento total na ETAR de Alcântara.

Relativamente aos custos de exploração, apurou-se que na globalidade representam entre 6 e 7 % dos custos totais de exploração da ETAR.

Os valores relativos aos consumos médios mensais são os seguintes (instalação de desodorização 1):

reagente: hipoclorito de sódio = 2000 kg / mês

reagente: hidróxido de sódio = 500 kg / mês

Não foi possível apurar os custos com energia ou com o consumo de água.

### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da desodorização da ETAR de Alcântara, elaborado pelo consórcio CME / WEBER para a SIMTEJO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr. Eng. Luís Gomes.

## **Caso de Estudo N.º 7 – ETAR de S. João da Talha**

### **DESODORIZAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de S. João da Talha, sob a exploração da SIMTEJO, está localizada em S. João da Talha junto à Robilac, em S. João da Talha. A visita foi efectuada a 28 de Setembro de 2004, pelas 14h45 e o dia apresentava-se limpo e quente.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, tratamento preliminar (que inclui gradagem, desarenação e desengorduramento em tanques com insuflação de ar), tanque de equalização, tratamento primário físico-químico (com possibilidade para adição de cloreto férrico) e decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga, com arejamento por turbina, e decantação secundária. Parte do efluente tratado é reutilizado após filtração e desinfecção por radiação ultravioleta. Entre a obra de entrada e a operação de gradagem há elevação por intermédio de parafusos de Arquimedes.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias e espessamento por flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica em dois estágios (dois digestores primários e um digestor secundário), desidratação em centrífuga e armazenamento das lamas desidratadas em contentores. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

A ETAR de S. João da Talha possui duas linhas de tratamento de fase gasosa, uma para a desodorização dos órgãos de tratamento da fase líquida, designada por desodorização 1, e outra para os órgãos de tratamento da fase sólida, designada por desodorização 2, equipadas com um processo de remoção de compostos odoríficos por adsorção em carvão activado.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de S. João da Talha foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 210 000 habitantes dos quais cerca de 80 000 habitantes correspondem a contribuição industrial, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente afluí à ETAR seja de cerca de 145 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte

de projecto são, respectivamente, de 13 927 m<sup>3</sup>/dia e 262 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 12 500 m<sup>3</sup>/dia e de 332 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
pH	6,5
Temperatura (°C)	> 15
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	750 – 850
CQO (mg/L)	1000
SST (mg/L)	600
Nt (mg/L)	50 NKT (30 NH <sub>4</sub> )
Pt (mg/L)	12

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada e do tratamento preliminar (etapas de elevação e gradagem), tratamento de subprodutos e tanque de equalização.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e um ventilador com capacidade para 9 800 Nm<sup>3</sup>/h e que funciona 24 horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual a elevação por parafusos de Arquimedes e de forma geral o interior do edifício. As grelhas de extracção de ar localizam-se por cima dos equipamentos de gradagem, a cerca de 2 metros acima destes. A ventilação do edifício inclui apenas a extracção de ar.

A linha de tratamento de odores é constituída por adsorção em carvão activado, através de torre de filtração de leito duplo.

A torre de filtração foi dimensionada para remover 99% dos compostos odoríficos no ar afluente, cuja composição prevista incluía compostos odoríficos como sulfureto de hidrogénio, mercaptano de metilo, sulfureto de dimetilo e di-sulfureto de dimetilo, numa concentração total de 10 mg.(Nm<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup>.

### 3.2 – Instalação de desodorização 2

A instalação de tratamento de odores (desodorização 2) inclui o ar extraído do edifício de desidratação, onde estão instalados filtros banda, fora de serviço, e uma centrífuga, em serviço.

A extracção de ar é assegurada por um ventilador com capacidade para 2400 Nm<sup>3</sup>/h e que funciona nos períodos de desidratação. A ventilação do edifício inclui apenas a extracção de ar.

A linha de tratamento de odores é constituída por adsorção em carvão activado, semelhante à descrita para a instalação de desodorização 1, tendo por base os mesmos critérios de dimensionamento.

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

Os sistemas de ventilação dos espaços confinados a desodorizar incluem apenas a extracção de ar através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	1	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	9800	2400
Pressão (mmca)	150	150
Potência total instalada (kW)	7,5	2,2

Ambas as instalações de desodorização são compostas por filtros de carvão activado, de características semelhantes mas de dimensões diferentes. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por adsorção em carvão activado.

<i>Torres de filtração</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número de leitos filtrantes	2	2
Diâmetro (mm)	3500	1600
Altura total (mm)	2100	1900
<i>Meio filtrante</i>		
Tipo	carvão activado granulado	
Quantidade (kg)	4310	1060

<i>Torres de filtração</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	560	560
Tamanho do grão (mm)	3,7	3,7
Teor em humidade (%)	2	2

Em termos de projecto, foi considerado que este carvão activado possui uma capacidade de adsorção de H<sub>2</sub>S de 0,09 g/cm<sup>3</sup> e que as concentrações de contaminantes no ar afluente seriam cerca de 6,5 mg H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup>).

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Os processos de desodorização existentes são insuficientes para o controlo e minimização dos odores da ETAR e implicam grandes custos de exploração relacionados com a regeneração e substituição dos meios filtrantes. Neste contexto, está previsto para breve uma remodelação da ETAR no sentido de substituir os sistemas de desodorização existentes por outros que incluam uma maior área confinada e outra tecnologia de tratamento. Está previsto pela SIMTEJO que a ampliação inclua o confinamento das etapas de desarenação, processamento de subprodutos, tanque de homogeneização, caleiras e outros órgãos, silo de lamas, centrifugação, perfazendo um total de ar a extrair e a tratar de, cerca de 34 400 Nm<sup>3</sup>/h, prevendo que o tratamento se efectue recorrendo a sistemas de absorção gás-líquido em dois estágios, soluções de lavagem ácida e oxidante-básica.

É efectuada monitorização dos processos de desodorização através de equipamento portátil, com entradas para análise dos compostos sulfureto de hidrogénio, mercaptanos, amoníaco e metano. A monitorização é pontual.

Ocorrem queixas de odores, por parte da vizinhança, apesar do enquadramento industrial da ETAR.

Os períodos de maior incidência de queixas de odores e da ocorrência de odores na ETAR estão normalmente associados a dificuldades decorrentes da exploração da ETAR, nomeadamente, quando o único meio de desidratação em funcionamento (uma centrífuga, visto que o filtro de banda instalado está permanentemente fora de serviço) avaria e um arranjo de vários dias obriga ao armazenamento e acumulação de lamas nos órgãos de tratamento, quer da fase líquida (decantadores) quer da fase sólida (espessador e flotador),

verificando-se a ocorrência de mais odores na ETAR nessas alturas, agravadas pelo facto de serem operações em espaço aberto (não confinadas nem desodorizadas).

Relativamente a problemas de exploração relacionados com os sistemas de desodorização existentes, são salientadas as dificuldades na regeneração do carvão activado e na sua substituição.

Por outro lado, a formação e libertação de odores é diminuída com a adição mais ou menos frequente de cloreto férrico a montante da decantação primária com dosagem média na ordem dos 20 ppm para o caudal de 12 500 m<sup>3</sup>/dia.

## **5 - CUSTOS**

Não foi possível apurar os valores de investimento nos sistemas de desodorização (1 e 2) nem o valor de investimento total na ETAR.

Não foi, também, possível apurar os valores dos custos de exploração dos sistemas de desodorização nem a sua importância relativa nos custos totais de exploração da ETAR.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de S. João da Talha, elaborado pelo consórcio OPCA e HIDROCONTRATO, para a SIMTEJO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr. Eng.º Paulo Inocêncio.

## **Caso de Estudo N.º 8 – ETAR de Vale Faro**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Vale Faro, sob a exploração da Câmara Municipal de Albufeira, localizada em Albufeira, Algarve, foi construída em 2001 e iniciou o seu funcionamento em 2002, tendo a visita sido efectuada a 30 de Setembro de 2004, pelas 10h00. O dia apresentava-se limpo e quente.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, gradagem, elevação, gradagem fina, desarenação e desengorduramento, tratamento secundário por lamas activadas em vala de oxidação e decantação secundária, tratamento terciário por filtração e desinfecção.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico e desidratação em centrífuga, sendo pontualmente efectuada a estabilização química das lamas com cal. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

A linha de tratamento da fase gasosa é constituída por uma extensa e complexa rede de tubagens de extracção, um ventilador e tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

A ETAR de Vale Faro é caracterizada por encerrar num único edifício todas as operações e processos de tratamento. O interior do edifício é dividido em várias zonas de processo independentes, isoláveis e com extracção de ar, nomeadamente, a zona que encerra a obra de entrada e o pré-tratamento e a que encerra a desidratação de lamas. Por outro lado, o tratamento secundário e o tratamento terciário encontram-se no mesmo espaço onde também se encontram os espessadores gravíticos cobertos.

Nas zonas confinadas de risco, nomeadamente, na que inclui a obra de entrada e o tratamento preliminar e na que inclui a desidratação, existem dispositivos de alarme accionados da seguinte forma: o modo visual quando atingida 0,25 da concentração de risco para o sulfureto de hidrogénio e o modo sonoro quando atingida 0,5 da mesma concentração de referência.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Vale Faro foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 130 000 habitantes, dos quais serve actualmente cerca de 100 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 25 000 m<sup>3</sup>/dia e 4100 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de 13 400 m<sup>3</sup>/dia e 1000 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH		6 – 8
Temperatura (°C)		≈ 20
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	321	350
CQO (mg/L)	802	600
SST (mg/L)	321	335
Nt (mg/L)	50	50
Pt (mg/L)	12	9

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído dos espaços confinados designados por edifício do tratamento preliminar e por edifício de desidratação, do interior dos espessadores gravíticos e de tomadas junto ao tecto por de cima dos decantadores secundários e no arruamento lateral a estes órgãos. O sistema de ventilação inclui uma complexa rede de tubagens e grelhas simples de extracção que culmina num único ventilador com capacidade para 35 200 Nm<sup>3</sup>/h, responsável pela alimentação da linha de tratamento de odores e de funcionamento contínuo.

Para além da referida extracção de ar, a ventilação do edifício inclui a insuflação de ar fresco através de 10 ventiladores com capacidade total para a renovação de cerca de 10 vezes por hora do volume coberto não confinado, com cerca de 60 000 m<sup>3</sup>.

A linha de tratamento é constituída por absorção e oxidação química em dois estágios, que se socorre de duas torres de lavagem, instaladas em série, para neutralização dos compostos odoríficos azotados, no primeiro estágio através da adição de uma solução ácida

(adição de ácido sulfúrico) e dos compostos odoríficos sulfurados, no segundo estágio através da adição de uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio).

As torres de lavagem são de funcionamento em contracorrente e possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. O reservatório possui, como medida de segurança, uma descarga de superfície com sifão para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar

<i>Ventiladores</i>	<i>Extracção</i>
Número	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	35 200
Pressão (mmca)	258
Potência total instalada (kW)	75

A instalação de desodorização é composta por duas torres de absorção de dimensões e características iguais, diferenciando-se apenas pelos reagentes utilizados. Na primeira a lavagem é efectuada com uma solução com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e na segunda com uma solução com NaOCl e NaOH. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Sistema de tratamento de odores por absorção e oxidação química.

<i>Torres de lavagem</i>	
Número	2
Diâmetro (mm)	3000
Altura total (mm)	5700
Volume do reservatório (L)	7000

<i>Torres de lavagem</i>	
<i>Meio de enchimento</i>	
Tipo	anéis ecoring
Altura (m)	2
Velocidade de passagem (m/s)	2,5
<i>Bombas para recirculação</i>	
Número / torre	1
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	85
Pressão (mca)	20
Potência instalada (kW)	15

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98%	160 g Cl activo/ L	48%
Número de reservatórios	1	1	1 + electroagitador
Capacidade (L)	1200	6000	3000
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número	1	1	1
Caudal unitário (L/h)	27	27	27
Pressão (bar)	10	10	10
Potência instalada (W)	90	90	90
Accionamento	automático, sonda de pH (3)	automático, sonda de rH (450-700 mV)	automático, sonda de pH (9-10)

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem, ocorrendo odores quando são efectuadas operações de manutenção de limpeza ou de esvaziamento de tanques. O principal problema identificado no sistema de desodorização diz respeito à localização das tomadas de ar e à impossibilidade de regular a extracção, por fecho de algumas secções menos odoríficas.

Não é efectuada qualquer monitorização à entrada ou à saída da instalação de tratamento de odores.

As principais actividades de manutenção e exploração da instalação incluem a afinação das bombas doseadoras e de recirculação dos líquidos de lavagem, a manutenção das sondas e a manutenção das tubagens de ligação dos reagentes químicos.

### 5 – CUSTOS

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de 17 400 €, no ano 2001, dos quais cerca de 78% correspondem aos equipamentos de tratamento, 12% às tubagens e grelhas e 10% à ventilação (*valores de construção*). Estes valores excluem as coberturas e o sistema de insuflação de ar por estarem integrados no edifício global que encerra toda a ETAR.

O valor de investimento total na ETAR foi de 9 000 000 €, no ano 2001, representando o sistema de desodorização um investimento da ordem dos 0,2 % do investimento global.

Os valores dos custos de exploração representam cerca de 4350 €/ano (ano de 2003) ou cerca de 2 % dos custos totais de exploração da ETAR, dado que os custos totais de exploração rondam os 17 600 €/mês ou seja 211 200 €/ano, e incluem, como principais componentes, energia e reagentes, sendo o consumo de água pouco significativo e não contabilizado.

A potência total contratada é de 162,5 kW e representa um encargo médio anual de 21 000 €.

Os valores relativos aos consumos médios de reagentes são os seguintes: 200 L/ano ( $H_2SO_4$ ), 6 m<sup>3</sup>/ano ou 5 toneladas/ano (NaOCl), e 1 tonelada/ano (NaOH).

### 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Vale Faro, elaborado pelo consórcio PRIDESA / BPC para a Câmara Municipal de Albufeira, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento do Sr. Eng.º Marcelo Velha.

## **Caso de Estudo N.º 9 – ETAR de Vila Velha de Ródão**

### **DESODORIZAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Vila Velha de Ródão, sob a exploração da Águas do Centro, S.A., localizada em Vila Velha de Ródão, junto ao cais fluvial, foi construída em 1999 e iniciou o seu funcionamento em 2000, tendo a visita sido efectuada a 1 de Outubro de 2004, pelas 11h00, e o dia apresentava-se limpo e quente.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por gradagem, tamisação e reactor biológico que inclui num único órgão de planta circular, o tanque de arejamento com lamas activadas e a decantação secundária. A recirculação das lamas biológicas é efectuada para o canal de recurso da obra de entrada.

A afluência ao tratamento é por elevação localizada dentro do recinto da ETAR mas em edifício distinto daquele que encerra a tamisagem, o tratamento secundário e o processamento das lamas.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por desidratação em filtro de banda, cujas escorrências são encaminhadas para a estação elevatória, à cabeça da ETAR ou directamente para o reactor biológico.

O edifício da ETAR de Vila Velha de Ródão encerra todas as operações e processos de tratamento. No piso elevado, tem-se acesso à obra de entrada e ao tratamento preliminar e secundário, bem como ao equipamento de desidratação. As lamas desidratadas e os sólidos removidos no tratamento preliminar são encaminhados, por queda guiada, para os contentores localizados no piso zero do edifício, onde são temporariamente armazenados até expedição a destino final.

A linha de tratamento da fase gasosa inclui a ventilação do andar superior do edifício que abrange os órgãos de tratamento da fase líquida, nomeadamente, obra de entrada, gradagem, tamisagem, reactor biológico e desidratação, e uma torre de adsorção em leito duplo de carvão activado. O ventilador e a torre de adsorção localizam-se no piso 0.

### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de Vila Velha de Ródão foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 3000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 204 m<sup>3</sup>/dia e 56,5 m<sup>3</sup>/h. Não foi possível recolher elementos sobre a afluência actual nem sobre as características médias do afluente à ETAR.

### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

A instalação de tratamento de odores da ETAR de Vila Velha de Ródão inclui a ventilação do ar no piso superior do edifício, que encerra a obra de entrada, a gradagem e tamisação, o reaktor biológico e a desidratação das lamas. A recolha de ar odorífero é efectuada por grelhas localizadas junto ao tecto na periferia da única sala que alberga as referidas operações e processos. O ventilador localiza-se no piso inferior junto da torre de adsorção.

A torre de adsorção é composta por dois leitos de carvão activado, não tendo sido possível aferir mais pormenores sobre a capacidade instalada nem outros elementos característicos da instalação.

### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

De acordo com as informações locais, não é efectuada qualquer exploração específica ou monitorização da instalação de tratamento de odores por falta de instrumentação instalada na torre de adsorção, por falta de instrumentação portátil e por falta de acesso às chaminés de saída do ar tratado.

No que respeita à ocorrência de odores, a informação prestada indica que a ocorrência de odores é pontual e coincidente com períodos de manutenção das lamas no exterior do edifício.

Por outro lado, a estação elevatória não é desodorizada e constitui, normalmente uma origem de odores no recinto da ETAR.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar quaisquer custos relativos à ETAR de Vila Velha de Ródão.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da visita à ETAR de Vila Velha de Ródão efectuada com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Sónia Mexia, da ÁGUAS DO CENTRO ALENTEJO.

## **Caso de Estudo N.º 10 – ETAR de Sesimbra**

### **DESODORIZAÇÃO POR BIOFILTRAÇÃO ou POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Sesimbra, da Câmara Municipal de Sesimbra está localizada no fundo do saco do porto de pesca e recreio, junto à raiz do novo molhe de abrigo, aos pés do forte de S. José, em Sesimbra, tendo a visita sido efectuada a 11 de Outubro de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se com céu limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tamisagem, tratamento preliminar e primário em órgão patenteado “SEDIPAC 3D” que inclui remoção de areias, remoção de gorduras e decantação primária, tratamento secundário por biomassa fixa em biofiltros (dois estágios, remoção de carbono e nitrificação), tratamento terciário por desinfecção por radiação ultravioleta. A descarga é efectuada no mar por emissário submarino. As águas de lavagem dos biofiltros retornam à linha de tratamento a jusante da tamisagem.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas mistas, estabilização biológica em alta carga com valorização do biogás em cogeração, desidratação em centrifuga, armazenamento temporário das lamas em contentores para expedição. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

Todas as operações e processos de tratamento da ETAR são cobertos ou encerrados em salas ou edifícios. A ETAR possui um sistema de desodorização constituída por duas linhas de tratamento da fase gasosa, de funcionamento paralelo e alternativo, uma que se socorre de tratamento por biofiltração e a outra que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios. Como princípio, a linha de tratamento preferencial é a da biofiltração, constituindo a linha de tratamento por lavagem química uma segurança para quando o biofiltro necessitar de manutenção ou em períodos de maior afluência de poluentes.

O sistema de desodorização inclui a extracção do ar viciado do edifício que encerra a tamisagem, o tratamento preliminar e primário, o processamento e armazenamento temporário dos subprodutos, a desidratação de lamas e o armazenamento temporário destas, do espessamento gravítico e do tanque de mistura de lamas.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Sesimbra foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 30 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 6 000 m<sup>3</sup>/dia e 864 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 2 520 m<sup>3</sup>/dia.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual (Março 2001)</i>
pH	-	7,2 – 8,0
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	270 – 357	235 – 250
CQO (mg/L)	-	350 – 490
SST (mg/L)	450 – 596	140 – 370

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído da sala de tamisagem e de processamento dos subprodutos, da zona da desidratação, da sala que encerra o tratamento preliminar e primário, do espessador e do tanque de mistura de lamas.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e com válvulas de seccionamento e dois ventiladores com capacidade para 4300 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam, alternadamente, 24 horas por dia.

A rede de tubagens permite a extracção do ar de forma pontual através de tomadas simples, no espessador e no tanque de mistura de lamas, ou de tomadas constituídas por prolongamentos da tubagem que terminam com uma grelha localizada por cima das operações e processos odoríficos, nomeadamente sobre o SEDIPAC 3D, sobre a desidratação, sobre os equipamentos de processamento de subprodutos, sobre os

contentores de armazenamento de subprodutos e de lamas e sobre a obra de entrada, junto da tamisagem. O sistema de desodorização não inclui extracção geral do ar do interior das salas de processo nem a insuflação de ar fresco.

A linha de tratamento de odores é constituída por biofiltração e, alternativamente, por absorção e oxidação química em dois estágios.

### **3.2 – Características dos principais equipamentos**

A biofiltração tem lugar num biofiltro de planta rectangular com cerca de 40 m<sup>2</sup> de área, coberto com uma laje de betão e possui um meio filtrante constituído por 1 metro de altura de turfa com humidificação do meio através de chuveiros sobre a sua superfície. O biofiltro foi dimensionado para uma carga superficial de filtração entre os 100 e os 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. As escorrências resultantes da humidificação são encaminhadas para a obra de entrada.

A absorção e oxidação química, para funcionar em alternativa ao biofiltro, têm lugar numa série de duas torres de absorção com meio de enchimento e de funcionamento em contracorrente. Na base de cada uma das torres existe um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. As duas torres apresentam dimensões construtivas iguais, com 1200 mm de diâmetro cada, sendo que na primeira a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico) e na segunda, a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio). Os reagentes são armazenados em reservatórios de planta circular localizados junto das torres.

Não foi possível apurar outras características dos principais equipamentos do sistema de desodorização da ETAR de Sesimbra.

### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

O sistema de desodorização em funcionamento era o sistema por absorção e oxidação química, estando o biofiltro fora de serviço.

Não é efectuada qualquer monitorização ao sistema de desodorização.

Não foram identificadas quaisquer situações de queixas de odores, por parte da vizinhança, ou detalhe sobre a ocorrência de odores dentro do recinto da ETAR.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar os valores de investimento ou de exploração do sistema de desodorização nem da ETAR de Sesimbra.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR de Sesimbra, elaborado pelo consórcio SOMAGUE / DEGREMONT / ENSUL / AGS para a Câmara Municipal de Sesimbra, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento do Sr. Eng.º Lopes (da Câmara Municipal de Sesimbra), da Sr.ª Eng.ª Teresa (da Degrémont) e do Sr. Eng. João Silva (da SIMARSUL).

## **Caso de Estudo N.º 11 – ETAR Norte de Aveiro**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR Norte de Aveiro sob a exploração da SIMRIA, localizada junto à PORTUCEL, na freguesia de Cacia, em Aveiro, foi construída em 1999 e iniciou o seu funcionamento em Março de 2003, tendo a visita sido efectuada a 7 de Outubro de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se nublado.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (tamisação, desarenação e desengorduramento), decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga (em reactores equipados com arejamento superficial por turbinas, numa série de 4 por reactor) e decantação secundária.

O afluente à ETAR chega por bombagem a partir de uma estação elevatória e é descarregado, também por elevação, em conjunto com o efluente da PORTUCEL, num emissário submarino.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por mistura de lamas, espessamento das lamas mistas, estabilização biológica anaeróbia em dois estágios, desidratação em filtros de banda, estabilização química com cal e armazenamento em silo. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

Os espaços confinados sujeitos a desodorização incluem o edifício de pré-tratamento, que encerra a obra de entrada (câmara de chegada e de perda de carga do afluente bruto), a tamisação e a compactação dos resíduos sólidos removidos da fase líquida, o edifício de desidratação, que alberga a etapa de desidratação, composta por três filtros de banda de 2,0 metros, o sistema de preparação e doseamento de polielectrólito, a etapa de estabilização química com cal e os sistemas de apoio ao processo de desodorização.

A ETAR possui uma linha de tratamento da fase gasosa, para os odores provenientes do edifício do pré-tratamento, do tanque de mistura de lamas, dos espessadores e do edifício da desidratação e que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química, em dois estágios.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR Norte de Aveiro foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 272 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 35 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 48 705 m<sup>3</sup>/dia e 3 665 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de 7 200 m<sup>3</sup>/dia e 1 500 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente.

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH	-	7,4
Temperatura (°C)	-	22
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	350	135
CQO (mg/L)	-	416
SST (mg/L)	535	311
Nt (mg/L)	-	47 em NKT
Pt (mg/L)	-	7

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do edifício do pré-tratamento através de um ventilador com capacidade de 5 000 Nm<sup>3</sup>/h; dos espessadores e da câmara de mistura de lamas através de um ventilador com capacidade de 5 000 Nm<sup>3</sup>/h; e do edifício da desidratação através de um ventilador com capacidade para 20 000 Nm<sup>3</sup>/h. Na globalidade, a instalação de desodorização tem capacidade para tratar 30 000 Nm<sup>3</sup>/h.

No edifício do pré-tratamento a rede de tubagens equipadas com grelhas abrangem o ar geral do edifício em dois pisos, o superior acima da lâmina líquida do afluente bruto e junto da tamisação e o inferior junto à zona de armazenamento dos resíduos sólidos compactados. A extracção do ar deste edifício é assegurada por um ventilador próprio, localizado no exterior, que encaminha o ar recolhido directamente para a instalação de desodorização. Neste caso as grelhas de extracção localizam-se a cerca de 2,0 m acima do pavimento dos respectivos pisos.

No edifício da desidratação, a rede de tubagens equipadas com grelhas, umas que se distribuem ao longo das laterais dos filtros de banda e imediatamente por cima destes e outras, no sentido longitudinal do edifício, localizadas a mais de 3,0 metros acima do pavimento. Foi possível observar válvulas de regulação / seccionamento em alguns locais da tubagem, normalmente, imediatamente antes das junções. A extracção de ar deste edifício é assegurada por um ventilador. A extracção de ar do interior dos espessadores e da câmara de mistura de lamas é assegurada por outro ventilador. Em qualquer dos casos, a ventilação dos espaços confinados inclui apenas a extracção.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com dois estágios, através de duas torres de lavagem em série.

Salienta-se que o ar pressurizado pelo ventilador do edifício do pré-tratamento entra directamente na base da primeira torre de lavagem enquanto que o ar pressurizado pelos outros dois ventiladores se junta, a montante da entrada.

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ ) e no segundo estágio com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio, NaOCl, e de hidróxido de sódio, NaOH).

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. O reservatório possui, como medida de segurança uma descarga de superfície com sifão para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico.

O processo de tratamento do ar odorífico está preparado para funcionar automaticamente, bastando para tal estar um ventilador a funcionar, ou manualmente. Actualmente, devido às condições de afluência e às necessidades existentes, os três ventiladores só são accionados quando a desidratação funciona e dado que a produção de lamas ainda é pouco significativa, o sistema de tratamento de odores tem funcionado muito poucas horas, encontrando-se, portanto, numa fase de arranque.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção e a insuflação de ar, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Zona 1</i> <i>Edifício do pré-tratamento</i>	<i>Zona 2</i> <i>Espessamento e mistura de lamas</i>	<i>Zona 3</i> <i>Edifício da desidratação</i>
Número	1	1	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	5000	5000	20000
Pressão (mmca)	250	250	240
Potência total instalada (kW)	5,5	11	18,5

A instalação de desodorização é composta por duas torres de lavagem, cujas principais características dos principais equipamentos são apresenta nos quadros seguintes.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>
Número	2
Diâmetro (mm)	3000
Altura total (mm)	5500
Volume do reservatório (L)	7000
<i>Meio de enchimento</i>	
Tipo	anéis
Altura (m)	2
Superfície livre (%)	93
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	70
Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	110
<i>Bombas para recirculação</i>	
Número	2
Tipo	centrif. horiz
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	85
Pressão (mca)	2 bar
Potência instalada (kW)	15

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98	15	48
Número de reservatórios	1	1	1
Capacidade (L)	1000	4000	2000
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número	1	1	1
Tipo	membrana	membrana	membrana
Caudal unitário (L/h)	22	44	44
Pressão (bar)	10	10	10
Potência instalada (W)	60	60	60
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Dado que o sistema de ventilação e de tratamento de odores na ETAR Norte ainda não está em pleno funcionamento, só funcionando quando a desidratação funciona, não há resultados de exploração significativos nem qualquer tipo de monitorização.

#### **5 – CUSTOS**

Os custos de investimento para a instalação de desodorização foram de 103 400 euros, incluindo o sistema de ventilação. Na globalidade, os custos de investimento na ETAR Norte de Aveiro foram de, cerca de, 12,3 milhões de euros, representando a desodorização um investimento da ordem dos 0,84% do investimento global. Os custos de exploração, contabilizáveis em energia, consumo de reagentes e de água não puderam ser contabilizados, sendo considerados desprezáveis no custo total de exploração da ETAR.

#### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Norte de Aveiro, elaborado pelo consórcio Ramalho Rosa / FCC Dragados / Sopol para a SIMRIA, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Palmira Caraça (SIMRIA).

## **Caso de Estudo N.º 12 – ETAR Sul de Aveiro**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR Sul de Aveiro, sob a exploração da SIMRIA, localizada na Zona Industrial da Mota, em Gafanha, Ilhavo, foi construída em 1999/2000 e iniciou o seu funcionamento em 2002, tendo a visita sido efectuada a 7 de Outubro de 2004, pelas 13h00. O dia apresentava-se nublado e quente.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (tamisação, desarenação e desengorduramento), decantação primária, tratamento secundário (por lamas activadas em regime de média carga em duas séries de 4 reactores em linha, equipados com turbinas para arejamento) e decantação secundária.

A afluência à ETAR é por elevação através de estações elevatórias localizadas fora do recinto da ETAR. Na ETAR existe uma elevação final para alimentação do emissário submarino.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento das lamas primárias, flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, estabilização biológica em dois estágios, desidratação em centrífuga, estabilização química com cal, armazenamento em silo. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada, por elevação.

A obra de entrada e as operações de remoção e de processamento de sólidos, de areias e de gorduras, nomeadamente os canais de entrada e de tamisação, os tanques de retenção de areias e gorduras, com insuflação de ar, a compactação dos sólidos retidos, a lavagem das areias e a concentração de gorduras, localizam-se em espaço confinado e ventilado denominado por edifício de pré-tratamento. As etapas do processamento de lamas incluem várias salas do edifício de lamas, entre as quais se salienta a sala de desidratação por ser ventilada e cujo ar extraído é tratado.

A ETAR Sul de Aveiro possui duas linhas de tratamento da fase gasosa, uma para os odores provenientes das operações de tratamento da fase líquida, nomeadamente do edifício do pré-tratamento, denominada por desodorização 1, e outra para os odores provenientes das operações de tratamento da fase sólida, nomeadamente dos

espessadores gravíticos, do tanque de mistura de lamas e da sala de desidratação, denominada por desodorização 2, que se socorrem de tratamento por absorção e oxidação química, em dois estágios.

O processo de desodorização por absorção e oxidação química tem lugar em duas torres de lavagem, em série, de funcionamento em contracorrente e com meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. A sonda de pH na primeira torre controla o doseamento de ácido sulfúrico por forma a que a solução de lavagem possua um pH entre 3,5 e 2,0, enquanto que a sonda de pH na segunda torre controla o doseamento de hidróxido de sódio por forma a que o pH da solução de lavagem seja entre 9,0 e 10,5. A sonda de rH na segunda torre controla o doseamento de hipoclorito de sódio por forma a que o potencial redox da solução de lavagem se situe entre 250 mV e 400 mV.

Em ambas as instalações de desodorização, o dimensionamento da capacidade de extracção de ar teve por base o estabelecimento de taxas de renovação dos espaços confinados e o dimensionamento do sistema de tratamento de odores teve por base o estabelecimento de concentrações médias de amoníaco, de sulfureto de hidrogénio e de mercaptano de metilo no ar extraído.

## **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR Sul de Aveiro foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 159 700 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR é de cerca de 35 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 39 278 m<sup>3</sup>/dia e 3 096 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 7 250 m<sup>3</sup>/dia e 3670 m<sup>3</sup>/h, prevendo-se um aumento dos caudais a curto prazo devido à conclusão das obras no sistema interceptor.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
pH	-	7,5
Temperatura (°C)	-	< 24
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	255	370 – 400
CQO (mg/L)	-	540 – 560
SST (mg/L)	476	240 – 290
Nt (mg/L)	-	36
Pt (mg/L)	-	4

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização 1

A instalação de desodorização 1 inclui o ar extraído do edifício do pré-tratamento que confina a zona de chegada do afluente e as etapas de tratamento preliminar (tamisação, desarenação e desengorduramento, compactação de resíduos, classificador de areias e separador de gorduras).

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e com válvulas de seccionamento que abrange de forma pontual o local de descarga e de processamento de gorduras e, de forma geral, as operações de chegada, tamisação e compactação de resíduos, desarenação/desengorduramento e lavagem de areias. A extracção do ar do interior do edifício, com cerca de 225 m<sup>3</sup> de volume, é assegurada por um ventilador com capacidade para 3 500 Nm<sup>3</sup>/h que funciona 24 sobre 24 horas.

No interior do edifício de pré-tratamento existe um instrumento de medição de H<sub>2</sub>S atmosférico que acciona o alarme visual e sonoro.

Na visita ao interior do edifício verificou-se haver corrosão em algumas das grelhas de ventilação, nomeadamente nas localizadas por cima da tamisação, e no parafuso transportador / compactador de resíduos sólidos.

A linha de tratamento é constituída por lavagem química em dois estágios através de duas torres de lavagem, em série. No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e no segundo estágio com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio, NaOCl, e de hidróxido de sódio, NaOH). Os reagentes são armazenados no interior do edifício de pré-tratamento.

### 3.2 – Instalação de desodorização 2

A instalação de desodorização 2 inclui o ar extraído dos dois espessadores gravíticos, do tanque de mistura de lamas e da sala de desidratação de lamas onde estão instaladas duas centrífugas e a unidade de preparação e dosagem de polielectrólito.

A extracção de ar da sala de desidratação de lamas é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas ao longo da periferia da sala e a cerca de 3,0 de altura do chão, enquanto que a extracção de ar dos espessadores e do tanque de mistura de lamas é assegurada por uma tomada em cada ponto de extracção. Todas as secções de extracção de ar são passíveis de ser postas fora de serviço através do accionamento de válvulas de seccionamento (uma na saída de ar de cada espessador, outra na saída do tanque de mistura de lamas e outra para o geral da sala de desidratação). A extracção do ar dos diferentes locais é efectuada por um ventilador com capacidade para 5 300 Nm<sup>3</sup>/h que funciona 24 sobre 24 horas.

Os portões de acesso às salas de processamento de lamas são metálicos com grelhas de ventilação incorporadas e, na visita efectuada, verificou-se que o portão de acesso à sala de desidratação apresenta alguma corrosão.

A linha de tratamento é semelhante à instalada na desodorização 1, descrita anteriormente, salientando-se que os reagentes utilizados são armazenados em sala própria, incorporada no edifício de lamas e com acesso pela traseira do mesmo, junto às torres de lavagem.

### 3.3 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	1	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	3500	5300
Pressão (mmca)	150	150
Potência total instalada (kW)	3	-

Ambas as instalações de desodorização são compostas por duas torres de absorção e oxidação química de dimensões diferentes, mas de características de funcionamento semelhantes. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	<i>Desodorização 1</i>	<i>Desodorização 2</i>
Número	2	2
Diâmetro (mm)	1000	-
Altura total (mm)	5400	-
Volume do reservatório (L)	800	-
<i>Meio de enchimento</i>		
Tipo	anéis $\phi$ 50	-
Altura (m)	-	-
<i>Bombas para recirculação</i>		
Número	2	2
Tipo	centrif. horiz.	centrif. horiz.
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	9	-
Pressão (mca)	15	-
Potência instalada (kW)	1,1	-

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98	14	25
Número de reservatórios	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Capacidade (L)	500 / 500	1000 / 1000	500 / 500
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Tipo	-	-	-
Caudal unitário (L/h)	2-20	2-20	2-20
Pressão (bar)	12	12	12
Potência instalada (W)	60	60	60
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH

### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Os processos de desodorização funcionam bem e é efectuada monitorização de odores e do funcionamento do processo, nomeadamente no interior do edifício de pré-tratamento, junto às grelhas, e na saída da segunda torre de lavagem da instalação de desodorização 1, através de equipamento portátil de medição de H<sub>2</sub>S atmosférico, cujos resultados são os apresentados no quadro seguinte.

Quadro 4.1 – Sistematização dos resultados da monitorização de compostos odoríficos.

<i>Local da medição</i>	Concentração (ppmv) H <sub>2</sub> S
ar odorífico junto às grelhas	2 - 65 (9)
ar efluente da torre de lavagem	0 - 7 (0,6)

### 5 - CUSTOS

Os custos de investimento nas instalações de desodorização (1 e 2), com base na consulta da proposta, foram de cerca de 73 650 euros, incluindo o sistema de ventilação. Na globalidade, os custos de investimento na ETAR Sul de Aveiro foram de cerca de 13,2 milhões de euros, representando a desodorização um investimento da ordem dos 0,56% do investimento global.

Os custos de exploração, contabilizáveis em energia, consumo de reagentes e de água, dos sistemas de desodorização representam um valor inferior a 0,5% dos custos totais de exploração da ETAR, tendo-se apurado da consulta do relatório de exploração do mês de Julho de 2004 que o consumo médio de reagentes de lavagem foi de 150 L de NaOCl, 9 L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 7 L de NaOH.

### 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR Sul de Aveiro, elaborado pelo consórcio Teixeira Duarte / PRIDESA para a SIMRIA, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Palmira Gaiola (SIMRIA) e da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Carla Santos (PRIDESA).

## Caso de Estudo N.º 13 – ETAR de Cosena

### DESODORIZAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO

#### 1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR

A ETAR de Cosena, também designada por ETAR do Parque Industrial do Seixal (PIS), sob a exploração da Câmara Municipal do Seixal, localizada em Cosena, Paio Pires, junto à EN10, Seixal, foi construída em 1995 e iniciou o seu funcionamento em 1996, tendo a visita sido efectuada a 11 de Outubro de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se com o céu limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (gradagem, desarenação e desengorduramento com insuflação de ar, processamento das areias e dos flutuantes removidos), tratamento secundário em tanque de arejamento com lamas activadas e decantação secundária. A afluência à ETAR é por elevação, contemplando duas estações elevatórias integradas na própria ETAR.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento e desidratação (em filtro de banda e, alternativamente, em leitos de secagem). As escorrências e sobrenadantes são conduzidos a uma das estações elevatórias à cabeça da ETAR.

A ETAR possui uma linha de tratamento de fase gasosa, para os odores provenientes da etapa de desidratação de lama, confinada a uma sala do edifício da ETAR e que se socorre de tratamento por adsorção em carvão activado.

#### 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR da Cosena foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 7 500 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 5 500 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 1300 m<sup>3</sup>/dia e 162,5 m<sup>3</sup>/h. As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

Parâmetro	de projecto	actual
pH	6,5 – 7,5	-

Parâmetro	de projecto	actual
Temperatura (°C)	15 – 20	-
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	450	-
CQO (mg/L)	900	-
SST (mg/L)	675	-

### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

A instalação de desodorização abrange o ar extraído da sala de desidratação de lamas, com cerca de 120 m<sup>3</sup>, através de um ventilador responsável pela extracção do ar da sala e a sua introdução no filtro de carvão activado. Não foi possível aferir mais detalhes de concepção e de dimensionamento desta instalação.

### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

O sistema de desodorização não é sujeito a monitorização pelo que não foi possível apurar se funciona bem. No entanto, há ocorrência de odores na ETAR, possivelmente associada às lamas desidratadas armazenadas em contentores no exterior e à própria etapa de desidratação. Da visita à ETAR, observou-se que a ocorrência de odores no espaço envolvente pode ser motivada pelo não confinamento das lamas desidratadas e pelo ineficiente confinamento existente na sala de desidratação, uma vez que é mantida em ventilação natural, através de aberturas permanentes para o exterior (saída do tapete transportador e janelas abertas). Por outro lado, a extracção de ar para tratamento é efectuada num único ponto, localizado ao lado de uma janela mantida em aberto e por cima do tapete transportador.

### **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar os custos de investimento ou de exploração relativos à instalação de tratamento de odores nem da própria ETAR.

### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Patrícia Mestre.

## **Caso de Estudo N.º 14 – ETAR de Setúbal**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Setúbal, sob a exploração do consórcio construtor, localizada na Quinta da Cachofarra, junto à estação ferroviária de Praias do Sado, em Setúbal, foi construída em 2002 e iniciou o seu funcionamento em Maio de 2003, tendo a visita sido efectuada a 11 de Outubro de 2004, pelas 15h00. O dia apresentava-se limpo.

O sistema de drenagem inclui 7 km de colectores gravíticos (na zona baixa da cidade e frente ribeirinha), 8 km de condutas elevatórias (implantadas nos locais centrais e periféricos da cidade) e 8 estações elevatórias (cinco principais e três secundárias). A afluência à ETAR de Setúbal é assegurada por conduta gravítica em pressão e por conduta elevatória.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (onde se incluem as operações de tamisação e de remoção de areias, óleos e gorduras e a recepção e pré-tratamento do conteúdo de fossas sépticas), decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga (remoção de carbono e azoto) e com insuflação de ar, precipitação química de fósforo e decantação secundária, e tratamento terciário com desinfecção por radiação ultravioleta. A alimentação dos órgãos de desarenação e desengorduramento é feita por bombagem do efluente gradado.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento das lamas primárias, flotação das lamas secundárias, mistura de lamas, digestão anaeróbia em dois estágios com valorização do biogás em cogeração e desidratação mecânica em centrífugas. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

A ETAR de Setúbal possui uma linha de tratamento de fase gasosa, para a desodorização dos órgãos de tratamento das fases líquida (obra de entrada, tamisação, pré-tratamento do conteúdo de fossas sépticas e elevação) e dos órgãos afectos ao tratamento da fase sólida (espessamento, mistura de lamas, sala de espessamento, sala de digestão e desidratação), que se socorre de absorção e oxidação química em dois estágios.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Setúbal foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 253 107 habitantes (ao ano de 2010) e dos quais, cerca de, 56% correspondem à componente industrial (com dois utilizadores mais significativos: a Mauri Fermentos e o Parque Industrial da SAPEC), estimando-se que o equivalente populacional que actualmente afluí à ETAR seja de cerca de 80 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 27 922 m<sup>3</sup>/dia e 2 400 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de 8 000 m<sup>3</sup>/dia e 700 m<sup>3</sup>/h. As características médias do afluente à ETAR são as seguintes:

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>de projecto</i>	<i>actual</i>
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	500	550
SST (mg/L)	815	930
Nt (mg/L)	58	58
Pt (mg/L)	10	10

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada (onde se incluem as operações de tamisagem, pré-tratamento do conteúdo de fossas sépticas, elevação), dos espessadores (dois órgãos gravíticos, cobertos com laje de betão), da sala de apoio ao espessamento e à flotação (onde se inclui o tanque de mistura de lamas), da sala de apoio à digestão (onde existe uma tomada de extracção de ar) e do edifício de desidratação (onde estão instaladas três centrífugas e o equipamento de preparação e doseamento de polielectrólito), sendo a capacidade total de extracção de ar daqueles locais de 20 000 Nm<sup>3</sup>/h, assegurada por um ventilador, que funciona cerca de 16 horas por dia.

A capacidade de extracção foi determinada com base no volume dos espaços a ventilar e no estabelecimento de taxas de renovação, que variaram entre 9, 8 e 6 Nm<sup>3</sup>.(m<sup>3</sup>.h)<sup>-1</sup>, respectivamente, para o edifício da obra de entrada, o edifício de desidratação e os espessadores. Verificou-se a existência de mais pontos de extracção de

ar para fora destas zonas indicadas (nomeadamente, na sala de apoio ao espessamento, tanque de mistura e na sala de apoio à digestão).

Os circuitos das tubagens de extracção de ar são dois que se ligam a montante do ventilador, um proveniente do edifício da obra de entrada e outro proveniente dos órgãos de tratamento da fase sólida. O edifício da obra de entrada possui uma rede de tubagem de extracção de ar junto ao tecto, equipada com grelhas simples de secção quadrada, e com tomadas pontuais, equipadas com válvulas de regulação/seccionamento, na obra de entrada, no poço de elevação, no tanque de pré-arejamento do conteúdo de fossas sépticas e na câmara de escorrências. O edifício possui analisadores de H<sub>2</sub>S no ar atmosférico que disparam alarme sonoro e visual de alerta.

O circuito correspondente à extracção de ar das operações de tratamento da fase sólida tem início (ponto mais longe do ventilador) na sala de desidratação, passa pela sala de apoio à digestão, segue com a tubagem enterrada e passa em frente aos espessadores e à sala de apoio ao espessamento onde se liga a última extensão de tubagem de extracção de ar.

A sala de desidratação caracteriza-se por ser um espaço de planta rectangular com uma porta de acesso e no lado oposto um portão para remoção de equipamentos. Junto à porta de acesso, do lado esquerdo, está instalado o equipamento de preparação e doseamento de polielectrólito e, em frente e em plano elevado (cerca de 2,0 do chão), três centrífugas. A saída das escorrências faz-se por tubagem na vertical até cerca de 0,20 m do chão e sob a qual existe uma grelha para escoamento gravítico das escorrências. A ventilação da sala de desidratação é assegurada por tubagem, colocada a cerca de 3,5 m do chão num dos lados da sala, equipada com grelhas simples de secção quadrada para extracção do ar. À data da visita a operação de desidratação ainda não se encontrava em funcionamento.

A sala de apoio à digestão possui vários ventiladores para insuflação de ar e uma grelha para extracção de ar num troço de tubagem pertencente ao circuito de extracção de ar para tratamento.

Cada espessador gravítico das lamas primárias, que são dois, possui uma tomada de ar para extracção que, ao passar pela sala de apoio ao espessamento, apresenta mais uma grelha de extracção e uma tomada específica para o tanque de mistura de lamas. Cada uma destas três tomadas está equipada com válvula para regulação / seccionamento. A tubagem

sai então da sala de apoio ao espessamento e liga-se à tubagem que vêm da desidratação e vai para o ventilador.

A linha de tratamento do ar extraído dos referidos locais é constituída por absorção e oxidação química em dois estágios através de duas torres de absorção em série. No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico) e no segundo estágio com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio).

As torres de lavagem, de funcionamento em contracorrente, possuem meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH. O reservatório possui, como medida de segurança uma descarga de superfície com sifão para impedir a saída de ar, eventualmente, odorífico.

Toda a instalação de desodorização se encontra no exterior, possuindo duas cubas de retenção individualizadas, a primeira para as torres de lavagem e para o reservatório de ácido sulfúrico e a segunda para os reservatórios de hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio, garantindo que fugas em simultâneo de ácido com base ou hipoclorito não se misturam. Em caso de fuga de reagentes, há a possibilidade de avaliar a fuga e neutralizá-la, se necessário, antes de a enviar para a linha de tratamento da fase líquida da ETAR (obra de entrada).

Na saída da última torre de lavagem da desodorização existe uma sonda para monitorização em contínuo do H<sub>2</sub>S.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>extracção</i>
Número	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	20 000

<i>Ventiladores</i>	<i>extracção</i>
Pressão (mmca)	160
Potência total instalada (kW)	18,5

A instalação de desodorização é composta por duas torres de absorção de dimensões construtivas iguais, com meio de enchimento e de funcionamento em contracorrente. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>		<i>Bombas para recirculação</i>	
Número	2	Número	2
Diâmetro (mm)	2000	Tipo	centrifugas horiz
Altura total (mm)	5700	Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	30
Volume do reservatório (L)	3000	Pressão (mca)	18
Meio de enchimento	anéis	Potência instalada (kW)	4

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	40	14	25
Número de reservatórios	1	1	1
Capacidade (L)	1000	4000	2000
<b>Bombas doseadoras</b>			
Número	1	1	1
Tipo	membrana	membrana	membrana
Caudal unitário (L/h)	4-40	4-40	4-40
Pressão (bar)	10	10	10
Potência instalada (W)	60	60	60
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

Não foi possível obter informações sobre a exploração e monitorização do sistema de tratamento de ar odorífico.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar quaisquer custos de investimento ou de exploração da ETAR de Setúbal ou do sistema de desodorização.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR de Setúbal, elaborado pelo consórcio Zagope / Edifer / ETERMAR / ACSA / HIDROCONTRATO para a Câmara Municipal de Setúbal e da visita efectuada ao local com o acompanhamento do Sr. Eng.<sup>o</sup> Lobo Soares, da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Carla Guerreiro (ambos da Câmara Municipal de Setúbal) e do Sr. Eng.<sup>o</sup> João Silva (da SIMARSUL).

## **Caso de Estudo N.º 15 – ETAR de Vila Real**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Vila Real, sob a exploração da Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, S.A., localizada em Vila Real, foi construída em 2002/2003 e iniciou o seu funcionamento em 2004, tendo a visita sido efectuada a 12 de Outubro de 2004, pelas 12h00. O dia apresentava-se ligeiramente nublado.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (gradagem, tamisação, desarenação, desengorduramento), decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas em regime de média carga e decantação secundária. Existe uma bacia de retenção do afluente, localizada a jusante da tamisação.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias, espessamento por flotação das lamas biológicas, mistura de lamas, digestão anaeróbia, desidratação em filtros de banda, silagem e estabilização química da lama com cal.

As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a entrada do órgão de remoção de areias e flutuantes.

A ETAR de Vila Real possui uma linha de tratamento da fase gasosa, que abrange o ar extraído do edifício da obra de entrada e tratamento preliminar, do edifício de desidratação, do espessador gravítico, do tanque de mistura de lamas e do silo, equipada com tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR Vila Real foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 45 000 habitantes e para um caudal médio de 9360 m<sup>3</sup>/dia e um caudal de ponta de 260 L/s.

### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

#### **3.1 – Instalação de desodorização**

A instalação de desodorização inclui um ventilador com capacidade para 9 000 Nm<sup>3</sup>/h responsável pela extracção do ar do edifício da obra de entrada e tratamento preliminar, do edifício de desidratação, do espessador gravítico, do tanque de mistura de lamas e do silo.

O edifício da obra de entrada possui também ventiladores de parede que asseguram um caudal de ar insuflado de, na totalidade, 5 700 Nm<sup>3</sup>/h.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química em dois estágios, que tem lugar em duas torres de lavagem em série, de tipo vertical com escoamento em contracorrente, onde o ar entra pela parte inferior, enquanto a solução de lavagem, recirculada em contínuo, é dispersada pelo topo. As torres de lavagem são construídas em PRV e possuem meio de enchimento, distribuidor do líquido de lavagem localizado por cima do meio de enchimento, um filtro à saída do ar tratado para retenção das gotas em suspensão e uma zona na parte inferior da torre para armazenamento do líquido de lavagem.

No primeiro estágio a lavagem é efectuada com uma solução ácida (adição de ácido sulfúrico) para remoção dos compostos azotados e no segundo estágio com uma solução oxidante e básica (adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio) para remoção dos compostos sulfurados. O doseamento de reagentes é regulado em contínuo através de medidor de cloro livre para o hipoclorito de sódio e de pH para o hidróxido de sódio.

As torres de lavagem foram dimensionadas para uma velocidade de passagem máxima de 2,1 m/s, um tempo de contacto mínimo de 1,5 segundos e um caudal de recirculação das soluções de lavagem de 2,5 L/m<sup>3</sup>.

#### **3.2 – Características dos principais equipamentos**

As duas torres de lavagem, apresentam dimensões iguais, possuindo um diâmetro de 1300 mm e uma altura de 2800 m. Os reagentes são armazenados em cubas de PEAD com capacidades, respectivamente para os reagentes de ácido sulfúrico, hipoclorito de sódio e hidróxido de sódio, de 300 L, 4000 L e 4000 L, sendo o consumo máximo estimado de, pela mesma ordem, 0,34 L/dia, 53 L/dia (130 g de cloro activo) e de 52 L/dia.

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Segundo informações dos responsáveis, o sistema de tratamento de odores funciona bem. As concentrações no interior do edifício são controladas por aparelho de medição e alarme da concentração em sulfureto de hidrogénio no ar.

Pontualmente, são efectuadas medições de sulfureto de hidrogénio e de amoníaco com um aparelho portátil, não tendo sido possível aceder aos resultados dessas medições.

A ocorrência de queixas de odores sobre a ETAR, tem lugar quando, durante a expedição das lamas, há derrame sobre a estrada de acesso à ETAR.

Na óptica de quem trabalha na ETAR, a ocorrência de odores verifica-se quando há descarga e transvaze das lamas desidratadas a partir do silo e quando se verifica uma sobrecarga no espessador de lamas.

Não foram identificados quaisquer problemas de exploração da instalação de tratamento de odores.

#### **5 – CUSTOS**

Não foi possível aceder aos custos globais da construção e exploração da ETAR nem dos custos parciais relativos à instalação de desodorização.

#### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR de Vila Real, elaborado pelo consórcio ECOP / SETAL DEGRÉMONT para a ÁGUAS DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Noémia Santos e da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Ana Sousa.

## **Caso de Estudo N.º 16 – ETAR de Peniche**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Peniche, sob a exploração dos Serviços Municipalizados de Peniche, localizada em Cabo Carvoeiro, foi construída em 1999/2000 e iniciou o seu funcionamento em 2001, tendo a visita sido efectuada a 19 de Outubro de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se muito nublado, com vento forte e chuva.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (gradagem, remoção de areias e gorduras, tratamento biológico das gorduras removidas), tratamento secundário biológico por lamas activadas, em regime de baixa carga e com insuflação de ar, decantação secundária e biofiltração.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por flotação das lamas secundárias, desidratação em centrífuga e estabilização química com cal. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada.

A ETAR é constituída por vários volumes edificados, um corresponde ao edifício de tratamento, que confina a obra de entrada e os espaços ocupados pelas operações de gradagem, de remoção de areias e gorduras, em dois órgãos de planta circular, de flotação, num órgão, de desidratação, numa centrífuga, e o processamento e armazenamento dos gradados e das areias removidas da linha líquida. Outro dos volumes corresponde ao armazenamento das lamas estabilizadas e ao tanque onde ocorre o tratamento biológico das gorduras. Os reactores com lamas activadas constituem outro volume, com vigias para amostragem e controlo do que se passa no interior do reactor, e as duas unidades de decantação secundária estão cobertas por outro edifício. O sistema de biofiltração da água residual tratada ocupa outro volume edificado. Restando, ainda, o edifício de exploração.

A ETAR de Peniche possui uma linha de tratamento de fase gasosa, para a desodorização dos órgãos de tratamento da fase líquida e sólida, que se socorre de biofiltração como primeiro estágio do tratamento do ar proveniente do edifício de tratamento e de absorção e oxidação química, em dois estágios, para o tratamento de todo o ar odorífero da ETAR.

## **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de Peniche foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 46 500 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR é de cerca de 40 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto é de, respectivamente, 4 000 m<sup>3</sup>/dia e 830 m<sup>3</sup>/h, caudais que se verificam actualmente.

Não foi possível sistematizar as características médias do afluente à ETAR.

## **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

### **3.1 – Instalação de desodorização**

A instalação de desodorização inclui o ar extraído de duas zonas distintas, uma diz respeito ao ar extraído dos tanques de armazenamento de lama, do tanque de tratamento biológico de gorduras e do edifício de tratamento através de um ventilador (Zona 1), salientando-se que existe um ventilador mais pequeno, a montante deste, para a extracção de ar dos tanques de armazenamento de lama e do tanque de tratamento biológico de gorduras. A outra zona desodorizada (Zona 2) abrange o edifício da decantação, cujo ar é extraído através de um ventilador independente e que conduz o ar para o interior dos reactores biológicos que por sua vez é extraído, em conjunto com o ar da biofiltração da fase líquida, cisterna de água suja e poço de lamas biológicas por um outro ventilador.

A rede de tubagens de extracção de ar do edifício de tratamento é constituída por grelhas que captam o ar geral do interior do edifício e por captações localizadas, como sejam, a obra de entrada, junto à gradagem, a saída de escorrências da centrífuga, a caixa de junção de escorrências (da centrífuga e do flotador), da superfície dos órgãos de desarenação e desengorduramento, da caixa de saída de subnadante do flotador e do contentor de resíduos. Segundo observado durante a visita às instalações, todas as captações localizadas de extracção de ar afectas à Zona 1 possuem válvulas que possibilitam o seu isolamento/seccionamento. Na rede de tubagens de extracção de ar afectas à Zona 2, foi também possível identificar a possibilidade de seccionar e de regular a extracção das zonas de biofiltração da fase líquida e dos reactores biológicos / decantação secundária.

Observaram-se vários locais de toma de amostras de ar para monitorização da qualidade, não tendo sido possível apurar a gama de concentrações detectadas nesses pontos de colheita, por indisponibilidade dos elementos.

De referir que o edifício de tratamento para além da rede de tubagens de extracção de ar possui um ventilador que capta ar no exterior e uma rede de tubagens afectas à introdução de ar no edifício colocadas no lado oposto à localização da tubagem de captação e extracção de ar, por de cima dos portões e portas de acesso.

O ar extraído da primeira zona descrita é sujeito a tratamento em três estágios, um primeiro em torre de biofiltração, cujo meio de enchimento com a designação comercial de “BIOLITE” promove as condições para o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela remoção de compostos odoríficos. Esta torre de biofiltração é humidificada, em contínuo, com água residual tratada e em contracorrente com a admissão de ar à torre de biofiltração.

Após a passagem na torre de biofiltração, o ar é introduzido na primeira torre de lavagem química – primeiro estágio do tratamento por absorção e oxidação química – e prossegue a linha de tratamento em conjunto com o ar proveniente da segunda zona descrita, cuja entrada na torre é independente.

A linha de tratamento por absorção e oxidação química é constituída por três torres de lavagem, em série, duas de lavagem ácida e uma de lavagem oxidante e básica. As torres de lavagem ácida localizam-se no interior do edifício de tratamento e a torre de lavagem oxidante e básica localiza-se no exterior do edifício. Qualquer das torres é de funcionamento em contracorrente e com meio de enchimento sob o qual existe, em cada torre, um reservatório para armazenamento e recirculação do líquido de lavagem. O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede. O doseamento de reagentes por forma a manter a eficiência da solução de recirculação é controlado automaticamente através de sondas rH (potencial redox) e pH.

### **3.2 – Características dos principais equipamentos**

Não foi possível caracterizar os principais equipamentos por indisponibilidade de elementos.

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Em conversa no local com a responsável pelo laboratório, a Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Susete Lisboa, e pelo telefone com o director de exploração, o Sr. Eng.<sup>o</sup> João Pita, apurou-se que o sistema de desodorização funciona bem, que é efectuada monitorização diária do pH e do potencial redox dos líquidos de lavagem, e frequentemente aos gases H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> e Cl<sub>2</sub> com equipamento portátil.

Não é frequente a ocorrência de queixas de odores devido ao funcionamento da ETAR, sendo a ocorrência de odores mais intensos no interior da ETAR coincidentes com descargas da indústria pesqueira.

Os principais problemas de exploração relacionam-se com a manutenção dos meios de enchimento, dos distribuidores, das volutas das bombas e das tubagens. O meio de enchimento das torres de lavagem química é limpo periodicamente de dois em dois meses.

O biofiltro para tratamento de odores, aquando da visita, encontrava-se em manutenção e portanto fora de funcionamento. A lavagem do meio filtrante é automática com o aumento da perda de carga e é efectuada com água e ar.

#### **5 - CUSTOS**

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de 175 000 euros, no ano 2000, valor que inclui: rede de tubagens e ventilação de extracção e de insuflação, órgãos e equipamentos de tratamento de odores.

O valor de investimento total na ETAR de Peniche foi de cerca de 5 000 000 euros, no ano 2000, representando a instalação de desodorização um investimento da ordem dos 3,5 % do investimento global.

A energia afecta ao sistema de desodorização representa cerca de 5% do total gasto na ETAR. Não foi possível apurar outros custos de exploração.

#### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir dos elementos recolhidos durante a visita à ETAR de Peniche, efectuada com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Susete Lisboa e de contactos telefónicos com a Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Márcia Reis dos SMAS de Peniche e com o Sr. Eng.<sup>o</sup> João Pita da SISAQUA.

## **Caso de Estudo N.º 17 – ETAR de Sobreiras**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Sobreiras, sob a exploração dos SMAS do Porto, localizada em Sobreiras, Porto, foi construída em 1999/2002 e iniciou o seu funcionamento em 2003, tendo a visita sido efectuada a 20 de Outubro de 2004, pelas 15h00. O dia apresentava-se limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar, que inclui gradagem, remoção de areias e gorduras e tratamento biológico das gorduras removidas, decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas, em reaktor com zona anóxica, aeróbia e endógena, e decantação secundária e tratamento terciário por filtração em areia e desinfecção por radiação ultravioleta.

A afluência à ETAR é gravítica. Após a etapa de gradagem as águas residuais são elevadas para tratamento no órgão patenteado “SEDIPAC” que incorpora a remoção de areias e de gorduras e de decantação primária.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por flotação das lamas biológicas, mistura e homogeneização das lamas biológicas espessadas com as lamas primárias, desidratação em centrífugas e estabilização química com cal. As lamas são posteriormente armazenadas em silos até envio a destino final.

Os caudais de retorno da flotação juntam-se às águas sujas da lavagem dos filtros e são enviados para a entrada do SEDIPAC. As escorrências da desidratação são encaminhadas para a obra de entrada.

Toda a ETAR é coberta e as etapas de tratamento desenvolvem-se em vários níveis, alguns dos quais enterrados, e todos os órgãos e processos de tratamento são abrangidos pelo sistema de desodorização, que inclui a extracção do ar viciado e o seu encaminhamento para a instalação de tratamento de odores.

A ETAR possui uma linha de tratamento da fase gasosa que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química em três estágios.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR de Sobreiras foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 200 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 146 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 54 000 m<sup>3</sup>/dia e 4342 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 21 867 m<sup>3</sup>/dia e 2000 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

Parâmetro	de projecto	actual
pH	-	≈ 7
Temperatura (°C)	-	≈ 22
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	309	435
CQO (mg/L)	625	854
SST (mg/L)	400	375
Nt (mg/L)	70	68
Pt (mg/L)	14	10

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído de todos os órgãos de tratamento da fase líquida e sólida.

A extracção de ar é assegurada por uma complexa rede de tubagens equipadas com grelhas para a extracção generalizada do ar das salas e com tomadas pontuais para os órgãos ou equipamentos fechados. Observaram-se várias válvulas de seccionamento nas tubagens de extracção de ar. A capacidade de extracção de ar é de 60 000 Nm<sup>3</sup>/h. Os espaços visitáveis incluem também a insuflação de ar fresco.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com três estágios, através de três torres de absorção com meio de enchimento, em série. No primeiro estágio, a lavagem é efectuada com uma solução ácida, com ácido sulfúrico. No segundo estágio, a lavagem é efectuada com uma solução oxidante, com hipoclorito de

sódio e, no terceiro e último estágio, a lavagem é efectuada com uma solução alcalina, com hidróxido de sódio.

As torres de absorção com meio de enchimento, são do tipo vertical com escoamento em contracorrente, onde o ar a tratar é admitido pela parte inferior enquanto que a solução de lavagem é dispersa pela parte superior sobre o meio de enchimento. Quaisquer das torres possui um reservatório para armazenamento do líquido de lavagem a partir do qual é efectuada a recirculação em contínuo e um filtro à saída para retenção das gotas em suspensão no ar.

### **3.3 – Características dos principais equipamentos**

Não foi possível caracterizar os principais equipamentos por indisponibilidade de elementos.

## **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

O sistema de desodorização funciona bem. É efectuada monitorização do sistema de desodorização através de equipamento portátil com entradas para medição de sulfureto de hidrogénio, amoníaco e mercaptanos.

No que respeita a queixas de odores por parte da vizinhança, estas verificaram-se durante a fase de arranque da ETAR, devido a fugas do interior do edifício associadas ao equilíbrio de pressões e à deficiente trasfega de lamas, que entretanto foi melhorada através de ajuste no isolamento da saída das lamas.

No interior do recinto da ETAR ocorrem mais odores quando as centrífugas estão em funcionamento.

Os principais problemas de exploração do sistema de desodorização identificados incluem o controlo analítico do líquido de lavagem e dos gases à entrada e à saída do tratamento de odores, a manutenção do equilíbrio de pressões por forma a não haver fugas de odores para o exterior e as fugas nas tubagens de ar entre torres e de reagentes no circuito de doseamento às torres.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar os custos desta instalação.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta do folheto sobre a ETAR de Sobreiras dos SMAS do Porto e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Elsa Ferraz (dos SMAS do Porto) e do Sr. Eng.<sup>o</sup> Bruno Afonso (da Degremont).

## **Caso de Estudo N.º 18 – ETAR de Gaia Litoral**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Gaia Litoral, sob a exploração de ÁGUAS DE GAIA, EM, localizada na freguesia de Canidelo, Madalena, Vila Nova de Gaia, foi construída em 2002/2003 e iniciou o seu funcionamento em Maio de 2003, tendo a visita sido efectuada a 22 de Outubro de 2004, pelas 11h00. O dia apresentava-se ligeiramente nublado e a temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, gradagem, órgão compacto patenteado pela Ondeo Degremont para remoção de areias, gorduras e decantação primária (SEDIPAC), tratamento secundário por lamas activadas com arejamento por insuflação de ar e decantação secundária. A descarga do efluente final da ETAR é efectuada através de emissário submarino para o Oceano Atlântico a 30 m de profundidade e com 2,5 km de comprimento.

A afluência à ETAR é na totalidade por elevação através de 2 estações elevatórias.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias, flotação das lamas biológicas, tanque de mistura de lamas, digestão anaeróbia com aproveitamento do biogás e desidratação em centrífugas. A estação está dotada dos equipamentos necessários à estabilização química das lamas com cal. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a entrada do SEDIPAC.

Todas as operações e processos que compõem a ETAR de Gaia Litoral são confinados através de edifícios ou coberturas dedicadas e abrangidos pelo sistema de desodorização. Entre os edifícios, salientam-se o da obra de entrada e gradagem que alberga também o processamento das areias e dos flutuantes, o do SEDIPAC, o da desidratação e o da decantação secundária. Por outro lado, as coberturas dedicadas incluem o reator biológico, o espessador e o flotador.

A ETAR possui uma única linha de tratamento da fase gasosa para tratamento dos odores provenientes dos referidos edifícios e órgãos cobertos e que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química, em três estágios.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR Gaia Litoral foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 300 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 200 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 66 718 m<sup>3</sup>/dia e 4237 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 25 000 m<sup>3</sup>/dia e 2100 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

Parâmetro	de projecto	actual
pH	-	≈ 7
Temperatura (°C)	-	≈ 20
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	245	400
CQO (mg/L)	-	900
SST (mg/L)	368	250 – 300

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de desodorização inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada, do edifício do SEDIPAC, da sala de desidratação, do edifício da decantação secundária, do espessador, do flotador e da mistura de lamas, da sala dos contentores de lamas desidratadas, do poço de lamas e do reactor biológico.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e dois ventiladores (mais um de reserva) com capacidade unitária para 30 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam 24 horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual as seguintes origens: espessador, flotador, mistura de lamas, poço de bombagem de lamas e poço de bombagem de escorrências e ainda o reactor biológico e de forma geral os seguintes edifícios ou salas: edifício da obra de entrada, edifício do SEDIPAC, sala de desidratação e dos contentores de lamas, e o edifício da decantação secundária. Salienta-se que a extracção no edifício da obra de entrada inclui duas tomadas de ar junto ao contentor de gradados e junto aos equipamentos de processamento de areias e flutuantes.

Nos edifícios ou salas, as grelhas de extracção de ar localizam-se normalmente junto ao tecto ou a um metro abaixo deste.

A ventilação dos edifícios inclui, para além da extracção, a insuflação de ar, no extremo oposto à extracção, assegurada por ventiladores de parede ou de cobertura.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com três estágios, através de três torres de absorção com meio de enchimento em série. No primeiro estágio, a lavagem é efectuada com uma solução ácida, com ácido sulfúrico para remoção do amoníaco e das aminas. No segundo estágio, a lavagem é efectuada com uma solução oxidante, com hipoclorito de sódio para remoção do sulfureto de hidrogénio, dos sulfuretos orgânicos e dos mercaptanos. No terceiro e último estágio, a lavagem é efectuada com uma solução alcalina, com hidróxido de sódio, para eliminação dos ácidos carboxílicos, do sulfureto de hidrogénio, dos mercaptanos e também de parte do dióxido de carbono.

As torres de absorção com meio de enchimento, são do tipo vertical com escoamento em contracorrente, onde o ar a tratar é admitido pela parte inferior enquanto que a solução de lavagem é dispersa pela parte superior sobre o meio de enchimento. Quaisquer das torres possuem um reservatório para armazenamento do líquido de lavagem a partir do qual é efectuada a recirculação em contínuo e um filtro à saída para retenção das gotas em suspensão no ar.

A rede de tubagens permite efectuar manutenção numa das torres mantendo as outras duas em funcionamento.

O nível de líquido no reservatório é mantido automaticamente através da admissão de água da rede.

O doseamento de reagentes é controlado automaticamente através de medidores de pH para o ácido (primeiro estágio) e para a base (último estágio) e de cloro livre para o hipoclorito (segundo estágio). Os reagentes são armazenados em cubas de material sintético colocadas em bacias de retenção.

### **3.2 – Características dos principais equipamentos**

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção, através de ventiladores com as características principais apresentadas no quadro seguinte. A insuflação de ar nos edifício é assegurada por um vasto conjunto de ventiladores cujas características não foi possível apurar.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	
Número	2 + 1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	30 000
Pressão (mmca)	230
Potência total instalada (kW)	37

A instalação de desodorização é composta por três torres de absorção de dimensões e características construtivas iguais, dimensionadas para uma velocidade máxima de passagem de 2,1 m/s, para um tempo de contacto mínimo no meio de enchimento de 1,5 segundos e considerando um caudal de recirculação dos líquidos de lavagem de 2,5 L/m<sup>3</sup>. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	
Número	3
Diâmetro (mm)	3500
Meio de enchimento	
Tipo	-
Altura (m)	2,5
Densidade	
Velocidade de passagem (m/s)	1,7
<i>Bombas para recirculação</i>	
Número	3 + 3
Tipo	centrifuga horiz
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	115
Pressão (mca)	18
Potência instalada (kW)	15

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Ácido sulfúrico	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	98%	130 g Cl activo/ L (14%)	25%

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Número de reservatórios	1	1	1 + electroagitador
Capacidade (L)	500	8000	8000
Bombas doseadoras			
Número	1 + 1	1 + 1	1 + 1
Tipo	membrana	membrana	membrana
Caudal unitário (L/h)	4 – 45	4 – 45	4 – 45
Pressão (bar)	12	12	12
Potência instalada (W)	90	90	90
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de Cl	automático, sonda de pH

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem, sendo periodicamente efectuada monitorização dos resultados através de equipamento portátil com quatro entradas para medição das concentrações de sulfureto de hidrogénio, amoníaco, mercaptanos e metano. Os resultados desta monitorização são sistematizados no quadro seguinte.

Quadro 4.1 – Sistematização de alguns dos resultados da monitorização de compostos odoríficos.

<i>Local da medição</i>	Concentração (ppmv)			
	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	Mercaptanos	CH <sub>4</sub>
à entrada da ITO	6	26	1,5	5
à saída da ITO	0	0	0	0
no ar ambiente do edifício do SEDIPAC	15	25	1	0
no ar extraído do espessador e flotador	35	148	7,5	-

Não ocorrem queixas de odores, por parte da vizinhança, mas pontualmente nota-se mais odor no exterior, quando há saída das lamas nas galeras. Dentro do recinto da ETAR, nomeadamente no interior dos espaços confinados, as alturas com mais odores coincidem, normalmente com a chegada de águas residuais mais carregadas e pontualmente com um odor mais intenso, provavelmente associado a descargas industriais que são várias e de vários sectores.

Como principal problema de exploração do sistema de desodorização, foi salientada a ocorrência de corrosão no interior do edifício da desodorização, nomeadamente dos

motores expostos a ambientes corrosivos e a fugas na tubagem de doseamento de reagentes.

As principais actividades de operação e manutenção do sistema de desodorização incluem a purga diária de cerca de 20 cm de altura de líquido de lavagem do reservatório de cada torre e a purga e lavagem completa de uma das torres com intervalos de cerca de um mês e meio. Estas purgas são encaminhadas para a obra de entrada.

A purga diária do líquido de lavagem ajuda a manter o nível de saturação do líquido de lavagem em valores mais eficientes, diminuindo as necessidades de purga e lavagem total da torres.

## 5 – CUSTOS

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de cerca de 472 200 €, no ano 2001, do qual cerca de 58% corresponde à instalação de tratamento de odores (três torres de absorção, três ventiladores, seis bombas de recirculação de líquido, 6 bombas doseadoras de reagentes, armazenamento de reagentes e medidores/controladores de pH e cloro e tubagens de ar), cerca de 30% corresponde à rede de tubagens de extracção de ar viciado e 10% à ventilação para insuflação e extracção de ar dos espaços confinados visitáveis. O restante, cerca de 2%, é distribuído por instrumentação e outros equipamentos acessórios.

O valor de investimento total na ETAR de Gaia Litoral foi de 20 000 000 €, no ano 2001, representando o sistema de desodorização um investimento da ordem dos 2,4 % do investimento global.

Os valores dos custos de exploração do sistema de desodorização representam cerca de 5 a 7 % dos custos totais de exploração da ETAR, incluindo os custos de manutenção dos equipamentos. O consumo de água não é contabilizado.

Os valores relativos aos consumos médios de reagentes com o tratamento de odores são os seguintes:  $H_2SO_4$  = 3 toneladas /ano; NaOCl = 348 toneladas /ano; NaOH = 516 toneladas /ano.

No total, o consumo de reagentes representa um custo médio de cerca de 8000 €/mês o que, por sua vez equivale a cerca de 3 a 4 % dos custos totais com reagentes da ETAR.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR de Gaia Litoral, elaborado por ENGIL / ONDEO DEGREMONT para ÁGUAS DE GAIA, EM, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento do Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Fernanda Ribeiro.

## **Caso de Estudo N.º 19 – ETAR de Febros**

### **DESODORIZAÇÃO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ACTIVADO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Febros, sob a exploração de ÁGUAS DE GAIA, EM, localizada na freguesia de Oliveira do Douro, em Vila Nova de Gaia, na margem esquerda do rio Febros, próximo da sua confluência com o rio Douro, foi construída em 2002 e iniciou o seu funcionamento em Maio de 2003, tendo a visita sido efectuada a 22 de Outubro de 2004, pelas 16h00. O dia apresentava-se ligeiramente nublado e a temperatura amena.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada, tratamento preliminar, que inclui gradagem grosseira e tamisação, desarenação e desengorduramento, tratamento secundário por lamas activadas em regime de baixa carga em valas de oxidação e decantação secundária. As areias removidas são conduzidas a um lavador de areias e os flutuantes a um concentrador.

A afluência à ETAR é gravítica e com grande influência de pluviais.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico, para as lamas biológicas e flutuantes da decantação secundária, por homogeneização de lamas e desidratação em centrífugas. As lamas desidratadas são armazenadas em tremonha metálica. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a obra de entrada através de poço de bombagem dedicado.

Existe um único edifício de processo que encerra as operações de gradagem e tamisação, a desidratação e o tanque de homogeneização de lamas, bem como o equipamento de desodorização. O espessador existente no exterior possui cobertura e extracção de ar.

A ETAR possui uma linha de tratamento da fase gasosa para os odores captados no espessador gravítico e no interior do edifício de processo, nomeadamente nas zonas da obra de entrada, gradagem e tamisação, desidratação e tanque de homogeneização de lamas e que se socorre de tratamento por adsorção em carvão activado em leito único.

## 2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO

A ETAR Febros foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 80 000 habitantes, estimando-se actualmente uma afluência de 25 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 14 000 m<sup>3</sup>/dia e 1385 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 4155 m<sup>3</sup>/dia e de 1000 m<sup>3</sup>/h (grande influência de chuvas).

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

Parâmetro	de projecto	actual
pH	-	7,7
Temperatura (°C)	-	17
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	520	320
CQO (mg/L)	868	823
SST (mg/L)	618	325
Nt (mg/L)	91	74
Pt (mg/L)	23	96

## 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do espessador gravítico, da sala de desidratação, do tanque de homogeneização de lama espessada, da sala da obra de entrada e de gradagem, onde também se encontram os equipamentos de lavagem das areias e de concentração dos flutuantes.

A extracção de ar é assegurada, nas salas, por uma rede de tubagens equipadas com grelhas simples enquanto que no espessador e no tanque de homogeneização a tomada de ar é simples, possuindo válvula de seccionamento. O sistema de ventilação inclui apenas a extracção através de um único ventilador com capacidade para 6400 Nm<sup>3</sup>/h.

As grelhas de extracção de ar localizam-se junto ao tecto das salas, enquanto que o ponto de chegada das águas residuais brutas e as operações de gradagem e tamisagem encontram-se a meia altura do edifício, possuindo por cima acesso pedonal para as operações de manutenção.

A linha de tratamento de odores é constituída por uma torre de filtração com um único leito de carvão activado fabricado à base de casca de côco e impregnado com hidróxido de sódio para adsorção química de  $H_2S$  e  $SO_2$ , mercaptanos e outros compostos gasosos ácidos.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção do ar, através de um ventilador com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	
Número	1
Caudal unitário ( $Nm^3/h$ )	6400
Pressão (mmca)	-
Potência total instalada (kW)	7,5

A instalação de desodorização é composta por uma torre de filtração leito de carvão activado, com um único leito. No quadro seguinte apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Sistema de tratamento de odores por adsorção em carvão activado.

<i>Torre de filtração</i>	
Número de leitos filtrantes	1
Tipo de funcionamento	fluxo ascendente
Diâmetro (mm)	2500
Meio filtrante	
Tipo	à base de casca de côco
Impregnação	com NaOH
Altura (mm)	-
Volume ( $m^3$ )	-
Quantidade (kg)	2280
Peso específico ( $kg/m^3$ )	≈ 590
Área específica ( $m^2/g$ )	≈ 1150
Dureza (%)	> 97
Tamanho do grão (mm)	5% > 4,75 mm

<i>Torre de filtração</i>	
	90% 4,75 – 2,38 mm 5% < 2,38 mm
Teor em humidade (%)	10 – 15

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem, não sendo efectuada monitorização, mas apenas vigilância pontual sem medição da composição do ar afluente ou efluente da torre de filtração. Não ocorrem queixas de odores por parte da vizinhança.

Dentro do recinto da ETAR, quem explora sente mais odor quando o tempo está mais quente, quando se deixa ficar lama no chão por debaixo da tremonha de armazenamento de lama desidratada ou quando há inadvertidamente acumulação de águas residuais ou de matéria orgânica no chão.

Não são identificados nenhuns problemas de exploração do sistema de desodorização.

O edifício do processo é mantido aberto e com bastante circulação de ar (janelas e portões abertos) para garantia da segurança dos operadores.

#### 5 – CUSTOS

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de 21 557 €, no ano 2002, que inclui apenas o custo da torre de filtração, uma vez que não foi possível parcializar os restantes custos de coberturas, edifício e tubagens.

#### 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR de Febros, elaborado por CONSTRUTORA ABRANTINA / CABRAL&FILHOS, SA para ÁGUAS DE GAIA, EM, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Raquel Silva.

## **Caso de Estudo N.º 20 – ETAR da Guia**

### **DESODORIZAÇÃO ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR da Guia, sob a exploração da SANEST, localizada em Guia, em Cascais, foi construída entre 1974 e 1988 e iniciou o seu funcionamento em Maio de 1994, tendo a visita sido efectuada a 25 de Outubro de 2004, pelas 16h30. O dia apresentava-se limpo e a temperatura amena.

A linha de tratamento é unicamente constituída por obra de entrada, tamisagem e desarenação. Esta ETAR possui várias particularidades, entre as quais se destaca uma afluência gravítica através de interceptor com 2200 mm de diâmetro, completamente enterrada junto à costa marítima. O emissário final de descarga, com 2 740 metros de comprimento, atinge uma profundidade de 45 metros.

Em termos processuais, a água residual que afluí graviticamente, é dividida em três canais equipados com tamisadores, seguidos de dois desarenadores de planta circular e equipados com ponte raspadora de fundo. Após este pré-tratamento, o efluente entra numa câmara de carga que alimenta o emissário final. Os resíduos removidos na tamisagem são prensados e elevados para a superfície. O mesmo acontece às areias removidas.

Todas as zonas enterradas da ETAR são sujeitas a insuflação e extracção de ar, cuja rede de tubagens culmina num processo de tratamento por absorção e oxidação química.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR da Guia foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 920 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente afluí à ETAR seja de cerca de 720 000 habitantes. O caudal de projecto para o ano horizonte de projecto é de 19 200 m<sup>3</sup>/h (5,33m<sup>3</sup>/s), sendo actualmente de cerca de 18 m<sup>3</sup>/dia e 21 600 m<sup>3</sup>/h (6 m<sup>3</sup>/s) com chuvadas fortes e 7 200 m<sup>3</sup>/h (2 m<sup>3</sup>/s) em tempo seco.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as apresentadas no quadro seguinte, salientando-se que o projecto da ETAR da Guia não estima qualquer caracterização da água residual afluente em termos qualitativos,

provavelmente justificado por não se prever redução da poluição em termos de carga orgânica ou de sólidos suspensos.

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

<i>Parâmetro</i>	<i>actual</i>
pH	7,0 - 7,5
Temperatura (°C)	17 - 23
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	180 - 400
CQO (mg/L)	600 - 760
SST (mg/L)	140 - 250

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de desodorização inclui o ar extraído das galerias onde estão instalados os equipamentos de gradagem (obra de entrada e tamisagem), de desarenação e de prensagem de resíduos.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens e dois ventiladores com capacidade total para 75 000 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam alternadamente, 24 horas por dia. A capacidade da ventilação de extracção de ar foi estimada com base no volume a ventilar e no estabelecimento de taxas de renovação, contabilizando o ar introduzido nas galerias como “ar fresco” e mantendo as zonas em ligeira depressão.

A rede de tubagens garante a extracção de ar geral das galerias, junto do chão, através de derivações de tubagem, sendo complementada com extracção de ar específica sobre cada órgão ou equipamento de tratamento.

A ventilação das galerias que encerram os órgãos e equipamentos de tratamento inclui para além da extracção, a insuflação de ar. As tomadas de ar de extracção de ar localizam-se geralmente junto ao pavimento e as grelhas de insuflação de ar novo localizam-se junto ao tecto.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, num estágio único, através de torre de lavagem com meio de enchimento e recirculação do líquido de lavagem. A lavagem é efectuada com uma solução oxidante e básica. O oxidante utilizado é o hipoclorito de sódio, estando também dotada de equipamento para utilizar ozono (O<sub>3</sub>) como oxidante. O reagente básico utilizado é o hidróxido de sódio.

O ozono, previsto inicialmente como o reagente oxidante a utilizar na torre de lavagem, seria produzido a partir do ar na própria ETAR através de instalação própria. Entretanto, esta opção foi preterida em função da utilização de um reagente comercial de hipoclorito de sódio.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção e a insuflação de ar, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.1 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	<i>Extracção</i>	<i>Insuflação 1</i>	<i>Insuflação 2</i>
Número	1 + 1	3	1
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	75 000	30 000	40 000
Pressão (mmca)	-	-	-
Potência total instalada (kW)	90	1,65	4,5

A instalação de desodorização é composta por uma torre de absorção com meio de enchimento e de funcionamento em contracorrente, que incorpora o reservatório do líquido de lavagem, bombas de recirculação do líquido de lavagem, reservatórios dos regentes e respectivas bombas doseadoras. O controlo do funcionamento do sistema de desodorização é efectuado através da sonda de pH (que ronda os 11,5) e da sonda de potencial redox (que ronda 400 mV). Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.2 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	
Número	1
Diâmetro (mm)	3000
Altura total (mm)	12000
Volume do reservatório (L)	7000
<i>Meio de enchimento</i>	
Tipo	anéis plásticos
Altura (m)	1000
<i>Bombas para recirculação</i>	

<i>Torres de lavagem</i>	
Número	1 + 1
Tipo	centrifuga horiz
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	350
Potência instalada (kW)	90

Quadro 3.3 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	Hipoclorito de sódio	Hidróxido de sódio
Concentração	14	50
Número de reservatórios	1	2
Capacidade (L)	500	10000
Bombas doseadoras		
Número	1+1	1+1
Tipo	membrana	membrana
Caudal unitário (L/h)	3,79 / 7	20
Pressão (bar)	16 / 16	59
Potência instalada (W)	-	250
Accionamento	manual	manual

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Segundo a entidade exploradora o sistema de desodorização funciona bem, não sendo efectuada qualquer monitorização analítica, apenas um controlo recorrendo ao nariz dos operadores, uma vez que qualquer deficiência no funcionamento dos ventiladores de extracção ou de insuflação provoca alterações no ambiente das galerias, sendo no Verão e em condições normais de ventilação a altura do ano em que se sente mais odor na ETAR da Guia.

Por outro lado não há queixas de odores na população vizinha, pelo que a entidade exploradora deduz ser suficiente o tratamento de odores efectuado.

Em termos de problemas de exploração do sistema de desodorização, foram identificados como principais os seguintes:

- aprovisionamento de NaOCl, que no Verão é insuficiente e por vezes o fornecimento não é suficientemente rápido, ocorrendo situações de falta de reagente;

- a não duplicação da tubagem nos circuitos de extracção e na própria instalação desodorização dá origem à ocorrência de paragens em secções ou do tratamento até que as reparações sejam executadas.

## 5 – CUSTOS

Os custos de investimento na ETAR da Guia foram de cerca de 15 milhões de euros (3 milhões de contos) à data de construção de 1992, não tendo sido possível apurar a componente dos custos relativos à construção do sistema de desodorização (extracção e tratamento do ar). No entanto, dada a grande contribuição das fundações e estruturas no valor global da construção da ETAR, admite-se pouco significativo os valores relativos aos equipamentos instalados.

Os custos de exploração do sistema de desodorização (extracção e tratamento) representam cerca de 80% em termos energéticos, 100% em termos de reagentes e 70% em termos de água, relativamente aos custos totais de exploração da ETAR da Guia.

A ETAR consome um total, médio anual do ano de 2002, de 1 448 223 kWh, correspondente a uma potência total instalada de cerca de 400 kW, dos quais cerca de 360 kW dizem respeito ao sistema de ventilação e tratamento do ar.

O consumo médio anual de água na ETAR da Guia é de cerca de 11 400 m<sup>3</sup>, dos quais mais de 8 000 m<sup>3</sup> correspondem a consumos na torres de lavagem química.

Em termos de consumos médios anuais de reagentes, conseguiu-se apurar o seguinte:

- 80 ton/ano de hidróxido de sódio, adquirido a 0,15 €/kg;
- 40 ton/ano de hipoclorito de sódios, adquirido a 8,39 €/kg.

## 6 – REFERÊNCIAS

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR da Guia, elaborado pela DRENA para o Gabinete de Saneamento Básico da Costa do Estoril, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr. Eng.º João Silva e do Sr. Jorge Gomes, ambos da SANEST.

## **Caso de Estudo N.º 21 – ETAR de Ribeira dos Moinhos**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR de Ribeira dos Moinhos, sob a exploração da Águas de Santo André, S.A., localizada na margem direita da Ribeira dos Moinhos, a Norte da cidade de Sines, foi construída em 1981 e iniciou o seu funcionamento em 1982, tendo a visita sido efectuada a 25 de Outubro de 2004, pelas 11 horas. O dia apresentava-se ligeiramente nublado.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (gradagem, desarenação, tamisação, remoção de óleos e gorduras com insuflação de ar), tanque de homogeneização, decantação primária, tratamento secundário por lamas activadas e decantação secundária. A descarga do efluente tratado é efectuada para o mar através de emissário submarino.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessador gravítico e por desidratação em centrífuga, actualmente fora de serviço, sendo as lamas acumuladas em sacos. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para o tanque de remoção de óleos.

A linha de tratamento da fase gasosa, construída durante o ano de 2004 e em funcionamento desde Setembro de 2004, inclui a extracção do ar da obra de entrada e do tanque de remoção de óleos, equipada com um ventilador e uma torre de absorção e oxidação com ozono.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR de Ribeira dos Moinhos foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 180 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 38 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta são actualmente de 11 500 m<sup>3</sup>/dia e de 475 m<sup>3</sup>/h.

Dada a grande contribuição industrial, a afluência à ETAR é muito variável em termos de caudal e de concentrações ao nível horário, diário e mensal, devido à grande influência das contribuições industriais.

### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

#### **3.1 – Instalação de desodorização**

A instalação de tratamento de odores da ETAR de Ribeira dos Moinhos inclui o ar extraído da obra de entrada e do tanque de remoção de óleos. Ambas as operações foram cobertas, a primeira com uma estrutura metálica e a segunda com uma estrutura de suporte às telas.

A linha de tratamento é constituída por absorção e oxidação química por ozono e inclui um ventilador, um reservatório de oxigénio puro, utilizado para a produção de ozono e para o fornecimento de oxigénio ao tanque de remoção de óleos, um ozonizador, e uma torre de contacto com meio de enchimento.

Não foi possível consultar elementos do projecto da instalação de tratamento de odores.

### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

Salienta-se que a manutenção, exploração e controlo da ETAR de Ribeira dos Moinhos está a cargo do consórcio SISAQUA / CONSULGAL, por concessão da ÁGUAS DE SANTO ANDRÉ, e não foi possível aceder a elementos de exploração.

Durante a visita efectuada, foi transmitido que, apesar da sua recente instalação, o ventilador encontra-se permanentemente fora de serviço e que não foi possível aferir sobre a adequação do sistema de tratamento instalado. Não é efectuada qualquer monitorização do sistema.

Por outro lado, é permanente a ocorrência de odores na ETAR, sendo a sua intensidade variável com as descargas efectuadas e com as condições climatéricas. Por vezes ocorrem queixas de odores na cidade de Sines, nomeadamente, quando a direcção do vento é no sentido da cidade.

Foi possível observar a saída de ar da cobertura do tanque de remoção de óleos, e a visualização da evaporação de compostos a partir dos tanques de arejamento e dos decantadores secundários, sentindo-se por toda a ETAR odores bastante ofensivos.

### **5 - CUSTOS**

Os custos de investimento para a instalação de tratamento de odores foram de 300 000 euros e incluíram o fornecimento de um tamisador (em substituição do triturador da ETAR original, no valor aproximado de 35 000 euros), o fornecimento e a instalação das coberturas na obra de entrada e sobre o tanque de remoção de óleos, o fornecimento dos injectores de ar e das bombas, do ventilador e da torre de contacto, bem como dos restantes equipamentos acessórios.

Não possível apurar os custos da construção da ETAR nem os custos de exploração gerais e da ITO.

### **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da visita à ETAR de Ribeira dos Moinhos e da reunião tida com o Sr. Eng. Luís Guira e a Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Ângela Romão.

## **Caso de Estudo N.º 22 – ETAR do Portinho da Costa**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR do Portinho da Costa, sob a exploração dos SMAS de Almada, localizada em Trafaria, Almada, foi construída em 2001-2003 e iniciou o seu funcionamento em Fevereiro de 2004, tendo a visita sido efectuada a 26 de Outubro de 2004, pelas 10h00. O dia apresentava-se muito nublado.

A afluência à ETAR é gravítica em túnel, sendo a linha de tratamento da fase líquida constituída por obra de entrada, gradagem, elevação, tratamento preliminar e primário em órgão patenteado “DENSEG 4D” para coagulação - floculação, desarenação e desengorduramento e decantação primária lamelar, tratamento secundário por biomassa fixa em biofiltros, desinfecção por radiação ultravioleta para a rede de água de serviço interna da ETAR.

A água de lavagem dos biofiltros é reencaminhada, por elevação, para o tratamento preliminar e primário. A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias, digestão anaeróbia, desidratação por centrifugação, estabilização química alternativa com cal e armazenamento temporário das lamas em silo. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para a estação elevatória a jusante da gradagem.

Todas as operações e processos de tratamento que compõem a ETAR do Portinho da Costa são cobertas ou encerradas em espaços confinados e sujeitos à extracção de ar. A ETAR possui uma linha de tratamento da fase gasosa que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química em dois estágios.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR do Portinho da Costa foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 140 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 65 000 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 22 400 m<sup>3</sup>/dia e 1 400 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 7 000 m<sup>3</sup>/dia.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente.

Parâmetro	de projecto
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	375
CQO (mg/L)	845
SST (mg/L)	560
Nt (mg/L)	75
Pt (mg/L)	17,5

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído do edifício da obra de entrada, que encerra a câmara de chegada das águas residuais brutas, a gradagem, a elevação, o classificador de areias e o separador de flutuantes, bem como os contentores para o armazenamento temporário destes resíduos, da sala que encerra o tratamento preliminar e primário, dos espessadores, do edifício de desidratação e do silo de lamas. No edifício de apoio à digestão e cogeração existem pontos para a extracção de ar.

A extracção de ar é assegurada por uma rede de tubagens equipadas com grelhas e com tomadas simples de ar ligadas a dois ventiladores com capacidade unitária para 17 400 Nm<sup>3</sup>/h e que funcionam, alternativamente, 24 horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual locais como o poço de bombagem de águas residuais brutas, o interior dos espessadores, a saída das escorrências das centrífugas e o silo de lamas e de forma geral o interior dos edifícios da obra de entrada, do tratamento preliminar / primário e da desidratação. Na generalidade, a extracção do ar do interior dos edifícios é assegurada por tubagens com grelhas localizadas junto ao tecto dos pisos ou por cima das operações odoríficas como é o caso do classificador de areias e o separador de flutuantes.

A ventilação dos espaços confinados visitáveis, como o edifício da obra de entrada, o edifício do tratamento preliminar e primário e o da desidratação, incluem para além da extracção, a insuflação de ar através de dois ventiladores que captam o ar no exterior e o introduzem no interior dos edifícios através de uma rede de tubagens com grelhas localizadas em oposição às de extracção e normalmente por cima dos locais de passagem.

No edifício da obra de entrada existe dispositivo de medição e alarme relativo ao H<sub>2</sub>S atmosférico que acciona o alarme.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química com dois estágios, através de torres de absorção com meio de enchimento, em série. No primeiro estágio, a lavagem é efectuada com uma solução ácida, com ácido sulfúrico para remoção do amoníaco e das aminas. No segundo estágio, a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e alcalina, com hipoclorito de sódio e com hidróxido de sódio, para remoção do sulfureto de hidrogénio, dos sulfuretos orgânicos e dos mercaptanos.

As torres de absorção com meio de enchimento, são do tipo vertical com escoamento em contracorrente, onde o ar a tratar é admitido pela parte inferior enquanto que a solução de lavagem é dispersa pela parte superior sobre o meio de enchimento. Quaisquer das torres possuem um reservatório para armazenamento do líquido de lavagem a partir do qual é efectuada a recirculação em contínuo e um filtro à saída para retenção das gotas em suspensão no ar.

O nível de líquido nos reservatórios é mantido automaticamente através da admissão de água da rede.

O doseamento de reagentes é controlada automaticamente através de medidores de pH para o ácido e para a base (último estágio) e de potencial redox para o hipoclorito. Os reagentes são armazenados em cubas de material sintético colocadas em bacias de retenção.

### 3.2 – Características dos principais equipamentos

O sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar inclui a extracção e a insuflação de ar, através de ventiladores com as seguintes características principais.

Quadro 3.2 – Sistema de ventilação dos espaços confinados a desodorizar.

<i>Ventiladores</i>	extracção	insuflação
Número	1 + 1	2
Caudal unitário (Nm <sup>3</sup> /h)	17400	2400
Pressão (mmca)	180	-
Potência total instalada (kW)	18,5	-

## Inquéritos efectuados

A instalação de desodorização é composta por duas torres de absorção com meio de enchimento e recirculação do líquido de lavagem, que no primeiro estágio é de natureza ácida, através da adição de ácido sulfúrico, e no segundo estágio de natureza oxidante e básica, através da adição de hipoclorito de sódio e de hidróxido de sódio. Nos quadros seguintes apresentam-se as principais características dos principais equipamentos.

Quadro 3.3 – Equipamentos da desodorização por absorção e oxidação química

<i>Torres de lavagem</i>	
Número	2
Diâmetro (mm)	1900
Altura total (mm)	-
Volume do reservatório (L)	-
<i>Meio de enchimento</i>	
Tipo	anéis
Altura (m)	2,5
Velocidade de passagem (m/s)	1,9
<i>Bombas para recirculação</i>	
Número	2 + 2
Tipo	centrifuga horiz.
Caudal unitário (m <sup>3</sup> /h)	43
Pressão (mca)	17
Potência instalada (kW)	5,5

Quadro 3.4 – Armazenamento e doseamento dos reagentes utilizados na oxidação química.

<i>Reagente</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>NaOCl</i>	<i>NaOH</i>
Designação	ácido sulfúrico	hipoclorito de sódio	hidróxido de sódio
Concentração	98%	150 g Cl /L	30%
Número de reservatórios	1	1	1
Capacidade (L)	500	4000	2000
<i>Bombas doseadoras</i>			
Número	1 + 1	1 + 1	1 + 1
Caudal unitário (L/h)	0 – 5	0 – 25	0 – 10
Pressão (bar)	-	12	10
Potência instalada (W)	-	90	90
Accionamento	automático, sonda de pH	automático, sonda de rH	automático, sonda de pH

#### 4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES

O sistema de desodorização funciona bem. Pontualmente é efectuada a monitorização da qualidade do ar nos espaços confinados através de equipamento portátil com 4 entradas, para medição das concentrações gasosas de sulfureto de hidrogénio, amoníaco, mercaptanos e metano. Os resultados desta monitorização são sistematizados no seguinte quadro.

Quadro 4.1 – Sistematização de alguns dos resultados da monitorização de compostos odoríficos.

<i>Local da medição</i>	Concentração (ppmv)			
	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	Mercaptanos	CH <sub>4</sub>
à entrada da ITO	5	10	2	-
à saída da ITO	0,1	0,1	< 0,05	-

A ETAR localiza-se afastada de núcleos urbanos pelo que não há queixas de odores por parte da população.

Por outro lado, quem explora a ETAR sente mais odor ou odores mais intensos, na época de Verão.

Os principais problemas identificados relacionados com a exploração do sistema de desodorização incluem a ocorrência de fugas nas tubagens de reagentes, associadas à deterioração da cola utilizada para vedar as ligações entre as tubagens e os acessórios.

#### 5 – CUSTOS

O valor de investimento no sistema de desodorização foi de 115 800 euros, no ano 2003, e inclui a rede de tubagens, a ventilação de extracção e de insuflação e os equipamentos de tratamento de odores.

O valor de investimento total na ETAR foi de 11 320 000 euros, no ano 2003, representando o sistema de desodorização um investimento da ordem dos 1 % do investimento global.

Não foi possível recolher elementos sobre os custos de exploração.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto da ETAR do Portinho da Costa, elaborado pelo consórcio ENSUL / SOMAGUE / DEGREMONT para a CÂMARA MUNICIPAL DE ALMADA e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Delfina Caraça, da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Alexandra Sousa, do Sr. Eng. Tiago Meirinhos.

## **Caso de Estudo N.º 23 – ETAR do Freixo**

### **DESODORIZAÇÃO POR ABSORÇÃO E OXIDAÇÃO QUÍMICA**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR do Freixo, sob a exploração dos SMAS do Porto, localizada em Freixo, Campanhã, Porto, foi construída em 1999 e iniciou o seu funcionamento em 2000, tendo a visita sido efectuada a 27 de Outubro de 2004, pelas 12h00. O dia apresentava-se limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (que inclui gradagem, remoção de areias e gorduras, tratamento das gorduras em reactor biológico), tratamento primário (condicionamento químico e decantação), tratamento secundário por lamas activadas (remoção de matéria carbonácea e azotada) e decantação secundária e tratamento terciário por radiação ultravioleta.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias, espessamento por centrifugação das lamas biológicas, mistura de lamas, digestão em dois estágios com cogeração de energia, desidratação das lamas em centrífugas, estabilização química com cal e armazenamento em silo. As escorrências e sobrenadantes são encaminhados para o órgão de remoção de areias e de gorduras.

A ETAR possui uma linha de tratamento da fase gasosa que se socorre de tratamento por absorção e oxidação química em três estágios e que abrange o ar extraído dos edifícios e salas que confinam as operações e processos de tratamento de obra de entrada, gradagem e remoção de areias e gorduras, espessamento e desidratação em centrífugas e os órgãos cobertos de espessamento gravítico e de mistura de lamas.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR do Freixo foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 170 000 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional que actualmente aflui à ETAR seja de cerca de 76 500 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta para o ano horizonte de projecto são, respectivamente, de 35 900 m<sup>3</sup>/dia e 3024 m<sup>3</sup>/h, sendo actualmente de cerca de 16 000 m<sup>3</sup>/dia e 1300 m<sup>3</sup>/h.

As características médias do afluente à ETAR, previstas em projecto e actuais, são as seguintes:

Quadro 2.1 – Características médias do afluente

Parâmetro	de projecto	actual (de 2003)
pH	-	≈ 7
Temperatura (°C)	-	≤ 20
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	307	400
CQO (mg/L)	626	630
SST (mg/L)	403	280
Nt (mg/L)	71	54
Pt (mg/L)	14	8

### 3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO

#### 3.1 – Instalação de desodorização

A instalação de tratamento de odores inclui o ar extraído da obra de entrada, do edifício que confina o tratamento preliminar e primário, do espessamento e do tanque de mistura de lamas e da sala de desidratação através de um sistema de ventilação com capacidade total para 15 000 Nm<sup>3</sup>/h, um ventilador, e que funciona 24 horas por dia.

A rede de tubagens abrange de forma pontual os órgãos cobertos de espessamento e de mistura de lamas, das centrífugas e um ponto de extracção de ar junto à saída de lamas do silo de armazenamento. Por outro lado, abrange de forma geral o ar viciado dos edifícios e salas que encerram os processos de tratamento. Neste último caso, a extracção é assegurada por uma rede de tubagens, genericamente localizadas junto ao tecto, equipadas com grelhas simples e com derivações pontuais responsáveis pela captação de ar junto ao chão, possuindo, a maioria destas últimas válvulas de seccionamento.

A linha de tratamento de odores é constituída por absorção e oxidação química, com três estágios, através de torres de absorção com meio de enchimento. No primeiro estágio, a lavagem é efectuada com uma solução ácida, com ácido sulfúrico para remoção de amoníaco e aminas. No segundo estágio, a lavagem é efectuada com uma solução oxidante e alcalina, com hipoclorito de sódio e com hidróxido de sódio para remoção de mercaptanos, no terceiro e último estágio, a lavagem é efectuada apenas com uma solução alcalina para remoção de sulfureto de hidrogénio.

As torres de absorção com meio de enchimento, são do tipo vertical com escoamento em contracorrente, onde o ar a tratar é admitido pela parte inferior enquanto que a solução de lavagem é dispersa pela parte superior sobre o meio de enchimento. Quaisquer das torres possuem um reservatório para armazenamento do líquido de lavagem a partir do qual é efectuada a recirculação em contínuo.

Os reagentes são armazenados, dentro do edifício de desodorização em conjunto com as torres de absorção, em cubas de planta circular instalados sobre cubas individuais para retenção de eventuais fugas.

### **3.2 – Características dos principais equipamentos**

Não foi possível caracterizar os principais equipamentos por indisponibilidade de elementos.

## **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

O sistema de desodorização ainda não foi testado em completo, pelo que não foi possível avaliar o seu desempenho global, não sendo também efectuada monitorização da afluência e do efluente do sistema.

Não ocorrem queixas de odores, por parte da vizinhança e é no Verão que se detecta mais odor no edifício do tratamento preliminar ou quando chove. Normalmente, é junto do espessador o local mais odorífico da ETAR.

Os principais problemas de exploração do sistema de desodorização, relacionam-se com fugas no próprio sistema de tratamento, nomeadamente no circuito de recirculação do líquido de lavagem e nas tubagens de ligação entre torres.

Outra dificuldade na gestão do sistema relaciona-se com a execução das purgas de humidade do interior das tubagens de extracção de ar motivada por grandes troços enterrados.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível apurar o valor de investimento no sistema de desodorização. O valor de investimento total na ETAR 21 500 000 euros, no ano 1999. Não foi possível obter elementos que permitam quantificar os custos de exploração do sistema de desodorização.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Elsa Ferraz. A ETAR do Freixo foi construída pelo consórcio ENGIL / SOGEA / HLC / OTV.

## **Caso de Estudo N.º 24 – ETAR da Luz**

### **DESODORIZAÇÃO POR BIOFILTRAÇÃO**

#### **1 – DESCRIÇÃO GERAL DA ETAR**

A ETAR da Luz, sob a exploração da Águas do Centro Alentejo, S.A., localizada na aldeia da Luz, Mourão, foi construída em 2002 e iniciou o seu funcionamento em 2003, tendo a visita sido efectuada a 28 de Outubro de 2004, pelas 11h. O dia apresentava-se limpo.

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por obra de entrada e tratamento preliminar (tamisação), tratamento secundário por lamas activadas, com arejamento por insuflação de ar, e decantação secundária, afinação por floculação com cloreto férrico e lagoa.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por espessamento gravítico das lamas biológicas e físico químicas e por desidratação em sacos filtro, sendo as escorrências e sobrenadantes encaminhados para a obra de entrada.

A linha de tratamento de fase gasosa abrange o ar extraído do edifício que encerra a obra de entrada, o tratamento preliminar e a desidratação, e inclui a ventilação e tratamento em biofiltro.

#### **2 – DADOS DE BASE DE PROJECTO**

A ETAR da Luz foi dimensionada para tratar um equivalente populacional de 900 habitantes, estimando-se que o equivalente populacional actualmente afluente à ETAR seja de cerca de 350 habitantes. O caudal médio e o caudal de ponta de dimensionamento da instalação foram de, respectivamente, 70 m<sup>3</sup>/dia e 4,5 m<sup>3</sup>/h. Estes caudais são actualmente praticamente atingidos nos períodos de Inverno.

#### **3 – DESCRIÇÃO GERAL E DIMENSIONAMENTO**

A instalação de tratamento de odores da ETAR da Luz inclui um ventilador instalado no interior do edifício junto ao tecto deste. O ar é captado em duas grelhas, também

instaladas junto ao tecto, por de cima da obra de entrada e dos sacos filtro, e introduzido no fundo da torre de biofiltração localizada no exterior do edifício.

O dimensionamento da instalação foi efectuado considerando uma taxa horária de 10 renovações do volume do edifício, justificando uma capacidade de ventilação de 1750 Nm<sup>3</sup>/h.

O ventilador é do tipo fluxo radial accionado por um motor de 0,37 kW a 2800 rpm para uma pressão máxima de 400 N/m<sup>2</sup>, sendo a conduta de ar em chapa de ferro zincado com 0,5 mm de espessura e com um diâmetro de 250 mm.

A torre de biofiltração é construída em chapa de aço inoxidável, com diâmetro de 3 000 mm e uma altura total de 4 000 mm, e inclui um fundo falso de 300 mm para distribuição do ar afluente, e um espaço livre acima do meio de enchimento de 700 mm. O meio de enchimento, com cerca de 2600 mm, é constituído por uma mistura de material florestal, incluindo ramos e cascas de pinheiro e matagal, que serve de suporte para o bifilme. A humedificação do biofiltro é assegurada pela distribuição de água residual tratada sobre a superfície do biofiltro. As escorrências do fundo do biofiltro são encaminhadas para o tanque de arejamento.

A humedificação do meio filtrante é efectuada de meia em meia hora e durante 3 segundos. A alimentação é assegurada pela rede de água de serviço, alimentada pela água residual tratada, através de bombagem. A água de serviço é utilizada, não só para a humedificação do biofiltro mas também para rega dos espaços verdes na ETAR e para lavagens.

#### **4 – RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE ODORES**

O sistema de ventilação é frequentemente posto fora de serviço, durante os períodos de manutenção e de limpeza das instalações por causa do barulho dentro do edifício, mantendo-se nesses períodos o edifício aberto. Nos períodos da noite e da hora de almoço dos operadores o sistema de ventilação é posto a funcionar.

No que respeita à instalação de tratamento de odores não é efectuada monitorização nem controlo do funcionamento do sistema porque, por um lado, não é sentida a necessidade de o fazer e, por outro lado, o acesso ao biofiltro é difícil e não há instrumentação que indique o estado de funcionamento do biofiltro.

No que respeita à ocorrência de odores, não há registo da sua ocorrência junto das populações vizinhas, e na ETAR a ocorrência de odores é mais intensa no Verão, na zona da obra de entrada dentro do edifício, mas no exterior não se sentem esses efeitos.

## **5 – CUSTOS**

Não foi possível aceder aos custos globais da construção e exploração da ETAR nem dos parciais relativos à instalação de desodorização.

## **6 – REFERÊNCIAS**

A informação apresentada foi obtida a partir da consulta de elementos do projecto de execução da ETAR da Luz, elaborado pela empresa ETAS – Empresa de Tratamentos e Serviços de Águas, Lda para a EDIA, e da visita efectuada ao local com o acompanhamento da Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Sandra Quaresma, da ÁGUAS DO CENTRO ALENTEJO.