bluewwater

CONTROL, TRATAMIENTO Y REDUCCIÓN DE MICRO PLÁSTICOS Y CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS RESIDUALES URBANAS Y EN EL MEDIO COSTERO FRONTERIZO

Tecnologias avançadas para a remoção de micropoluentes em águas residuais urbanas

Ana Isabel Gomes – anaisa@fe.up.pt
LSRE-LCM | ALiCE | FEUP

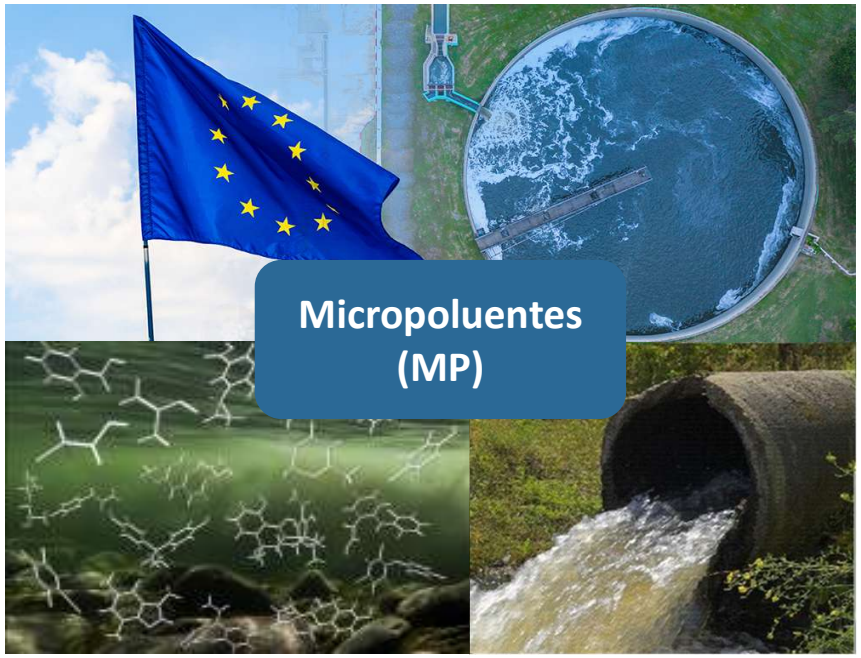
WORKSHOP – 29/10/25, VIGO

Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia

blue wwater

ENQUADRAMENTO

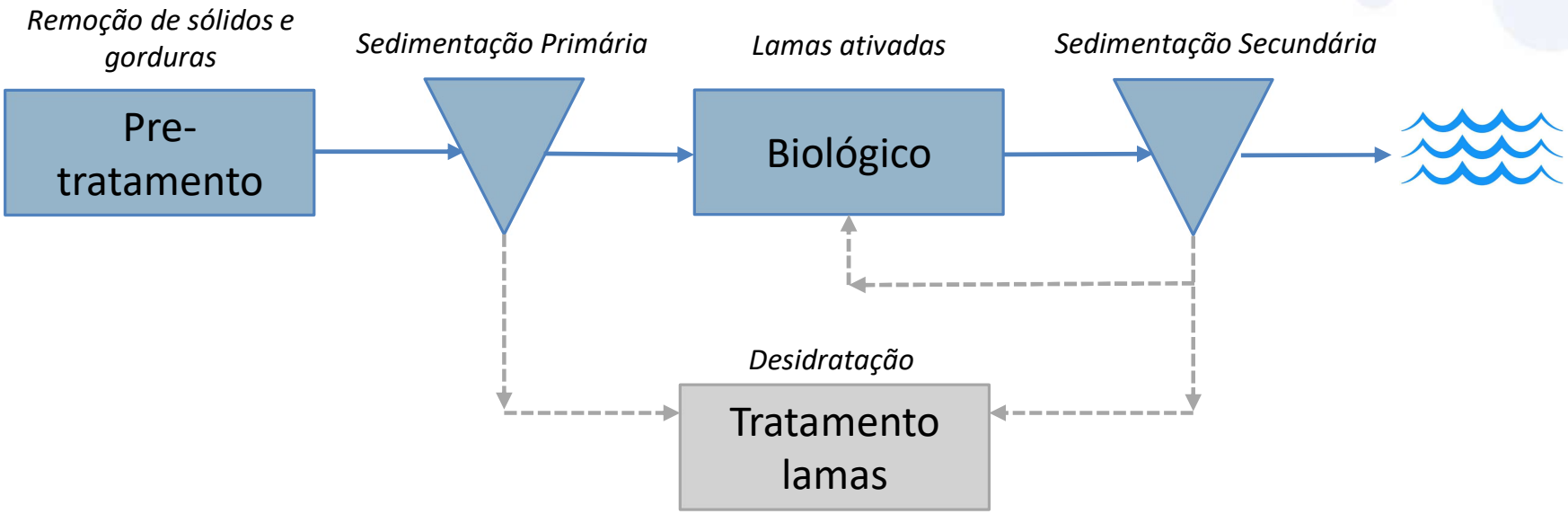
DIRETIVA (EU) 2024/3019



ESCASSEZ

ENQUADRAMENTO

ETAR – Esquema Típico de Tratamento*



Insuficiente para o cumprimento das novas exigências legais!

*Modelo simplificado exigido pela Diretiva 91/271/CEE

MICROPOLUENTES

ETARs MUNICIPAIS

CONTAMINANTE		ETAR 1			ETAR 2		
NOME	GRUPO	ENTRADA (ng/L)	DESCARGA (ng/L)	REMOÇÃO (%)	ENTRADA (ng/L)	DESCARGA (ng/L)	REMOÇÃO (%)
Acesulfame	Aditivo alimentar	38 242	4 459	83	58 276	2 246	96,1
Amantadina	Fármaco	1 741	793	92	525	328	37,6
Amissulprida	Fármaco	403	319	32,5	547	399	27,0
Atenolol	Fármaco	340	155	55	56	44	21,1
Cafeína	Aditivo alimentar	44 645	3 955	91	18 985	91	99,5
DEET	Pesticida	1 926	514	61	519	421	18,9
Diuron	Pesticida	105	114	-	16	24	-
Flecainida	Fármaco	239	579	-	176	127	28,1
Irbesartan	Fármaco	1 985	2 101	-	6 611	3 567	46,0
Lamotrigina	Fármaco	314	271	28	636	613	-
Metformina	Fármaco	15 785	5 322	71	66 821	1 849	97,2
O-Desmetil-venlafaxina	Fármaco (metabolito)	2 306	2 562	-	3 246	2 533	22,0
Sulpirida	Fármaco	81	122	-	227	71	68,9
TCPP	Químico Industrial	2 840	3 213	-	1 600	859	46,3
Terbutrina	Pesticida	219	275	-	112	42	65,0
Tiaprida	Fármaco	1 123	1 881	-	826	656	20,6
Tramadol	Fármaco	868	727	-	565	548	-
Venlafaxina	Fármaco	783	815	-	1 130	711	37,1

MICROPOLUENTES

CONTAMINANTE		ETAR 1 - 40 000 m³/d			ETAR 2 - 40 000 m³/d		
NOME	GRUPO	DESCARGA (ng/L)	CARGA DIÁRIA (g)	CARGA ANUAL (kg)	DESCARGA (ng/L)	CARGA DIÁRIA (g)	CARGA ANUAL (kg)
Acesulfame	Aditivo alimentar	4 459	178,4	65,1	2 246	89,8	32,8
Amantadina	Fármaco	793	31,7	11,6	328	13,1	4,8
Amissulprida	Fármaco	319	12,8	4,7	399	16,0	5,8
Atenolol	Fármaco	155	6,2	2,3	44	1,8	0,6
Cafeína	Aditivo alimentar	3 955	158,2	57,7	91	3,6	1,3
DEET	Pesticida	514	20,6	7,5	421	16,8	6,1
Diuron	Pesticida	114	4,6	1,7	24	1,0	0,4
Flecainida	Fármaco	579	23,2	8,5	127	5,1	1,9
Irbesartan	Fármaco	2 101	84,0	30,7	3 567	142,7	52,1
Lamotrigina	Fármaco	271	10,8	4,0	613	24,5	8,9
Metformina	Fármaco	5 322	212,9	77,7	1 849	74,0	27,0
O-Desmetil-venlafaxina	Fármaco (metabolito)	2 562	102,5	37,4	2 533	101,3	37,0
Sulpirida	Fármaco	122	4,9	1,8	71	2,8	1,0
TCPP	Químico Industrial	3 213	128,5	46,9	859	34,4	12,5
Terbutrina	Pesticida	275	11,0	4,0	42	1,7	0,6
Tiaprida	Fármaco	1 881	75,2	27,5	656	26,2	9,6
Tramadol	Fármaco	727	29,1	10,6	548	21,9	8,0
Venlafaxina	Fármaco	815	32,6	11,9	711	28,4	10,4

∑ = 384 kg - ETAR 1 | ∑ = 221 kg - ETAR 2

TECNOLOGIAS

TRATAMENTO QUATERNÁRIO

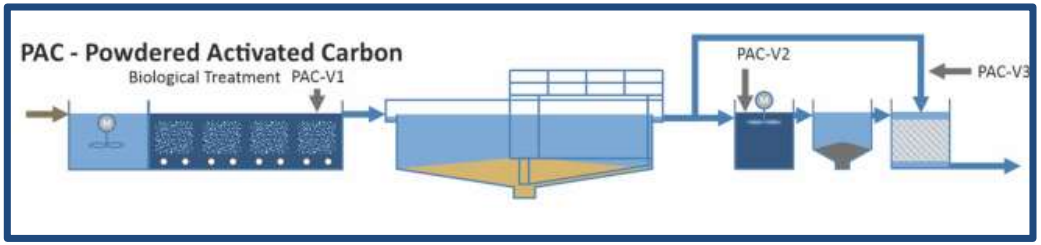
Processos Físicos

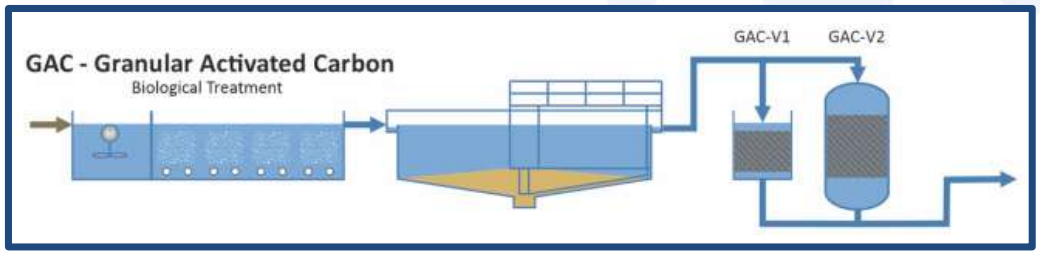
- Adsorção Carvão Ativado
- Filtração por Membrana

Processos Químicos

- Foto-oxidativos
- Ozonização

PROCESSO FÍSICO - Adsorção Carvão Ativado





VANTAGENS

- Baixos custos de investimento e operação

(PAC: ~ 0,05-0,15 €/m^3; GAC: ~ 0,10-0,25 €/m^3).

- Disponível comercialmente

(PAC: ~ 2000-4000 €/ton; GAC: ~ 1200-1700 €/ton).

- Potencial de combinação com outras tecnologias, p.e. adsorção de subprodutos nocivos resultantes de processos oxidativos.

DESVANTAGENS

- Custos na regeneração (GAC: ~ 1000-1500 €/ton) e gestão de resíduos (lama + PAC: ~ 70-150 €/ton).
- Adsorção depende das propriedades físico-químicas dos micropoluentes.
- Limitado na remoção de genes de resistência a antibióticos.

PROCESSO FÍSICO – Filtração por Membrana

- Elevados custos de investimento e operação

(NF: ~ 0,15-0,25 €/m^3; OI: ~ 0,25-0,45 €/m^3)

- Filtração depende do tamanho molecular de micropoluentes

(p.e. anfetamina = 135 Da; metformina = 129 Da)

- Produção de permeado de alta-qualidade e adequado para reutilização.
- Não decompõe os micropoluentes, apenas os concentra.
- Sensível a incrustações/fouling, requer pré-tratamento (p.e. UF)
- O concentrado precisa ser submetido a tratamento adicional (p.e., com Processos de Oxidação Avançada), com respetivos custos.

PROCESSO QUÍMICO – Foto-oxidação

Radiação (UV) + Oxidante

$UV + H_2O_2 \rightarrow 2\ {}^{\bullet}OH$ (1)

$UV + S_2O_8^{2-} \rightarrow 2\ SO_4^{\bullet -}$ (2)

$UV + HOCl \rightarrow {}^{\bullet}OH + {}^{\bullet}Cl$ (3)

$UV + OCl^- \rightarrow {}^{\bullet}O^- + {}^{\bullet}Cl$ (4)

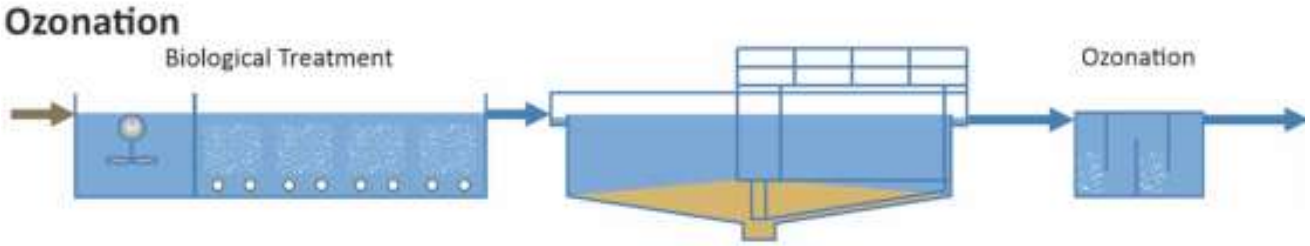
VANTAGENS

- Elevada capacidade oxidante e rápidas taxas de reação promovem inativação microbiana e mineralização dos micropoluentes.
- Potencial facilidade de adopção em ETARs com sistema de desinfeção UV.

DESVANTAGENS

- Geração de subprodutos tóxicos.
- Geralmente custos de investimento e operação elevados.

PROCESSO QUÍMICO – Ozonização



VANTAGENS

- Processo reconhecido pela capacidade de desinfeção e remoção de micropoluentes

(dosagem de 0,5 a 1,0 $gO_3/gCOD$, TRH ~10 a 15 min).

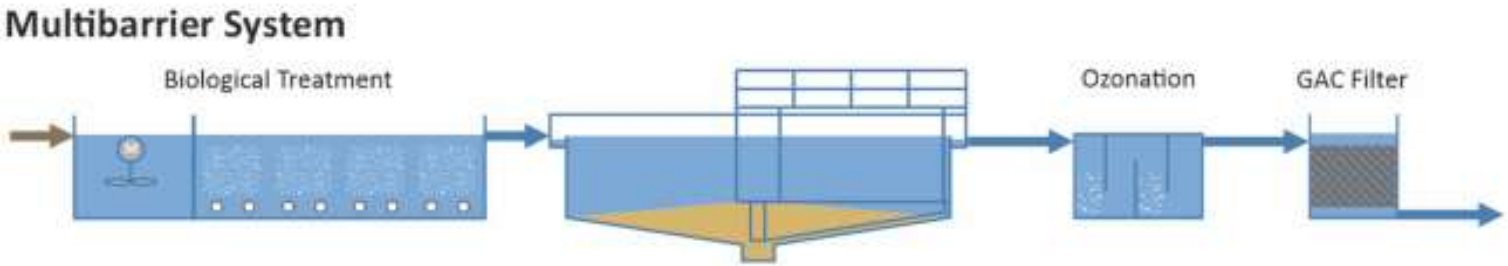
- Oxidação direta (O_3) e/ou indireta (radicais $HO^{\bullet}$)

DESVANTAGENS

- Geração de subprodutos tóxicos.
- Geralmente custos de investimento e operação elevados.
- O gás que sai do reator não deve conter ozono.

SOLUÇÕES?

“Não há ainda uma tecnologia que resolva o problema dos micropoluentes completamente, sem criar uma nova desvantagem ambiental”



AGRADECIMENTOS

APOIOS

Programa de Cooperação INTERREG VI A Espanha – Portugal (POCTEP) 2021-2027, no âmbito do projeto 0048_BLUE_WWATER_1_E.

Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. /MCTES através de fundos nacionais: LSRE-LCM, UID/50020/2025; e ALiCE, LA/P/0045/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0045/2020)