



Emerging contaminants in water/wastewater.

Advanced oxidation processes.

What are “**emerging** contaminants (ECs)”?

Chemicals that are being discovered in water/wastewater, that previously had not been detected or that are being detected at levels that may be significantly different than the expected.



What are “**emerging** contaminants (ECs)”?

Emerging contaminants include:

- ▶ Pharmaceuticals
- ▶ Personal Care Products
- ▶ Endocrine Disrupting Compounds



Pharmaceuticals

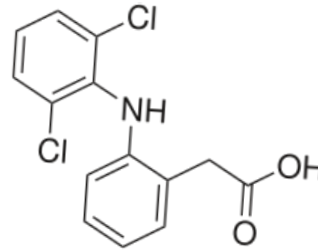
- ▶ Human and veterinary substances taken in response to disease/maladies.
 - ▶ Cure disease
 - ▶ Alleviate disease associated symptoms
 - ▶ Prevent disease



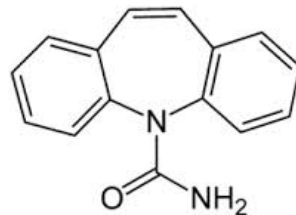
Pharmaceuticals

Examples:

- Diclofenac (antirheumatic)



- Carbamazepine (antiepileptic)



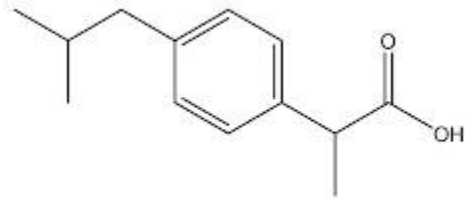
- Chloramphenicol (antibiotic)



Pharmaceuticals

Examples:

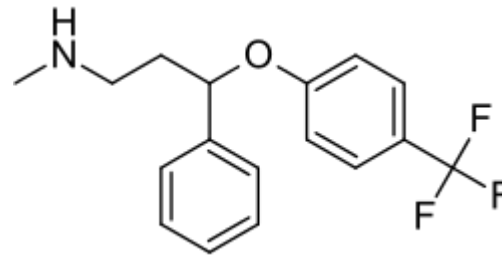
- Ibuprofen (anti-inflammatory)



Molécula de ibuprofeno



- Fluoxetine (antidepressant)



Personal Care Products

- ▶ Compounds used in our daily lives
 - ▶ Detergents, soaps, perfumes, aftershaves
 - ▶ Cleaning agents, disinfectants, sprays, deodorants
 - ▶ Bug sprays, sunscreens
 - ▶ Products are typically associated with hygiene



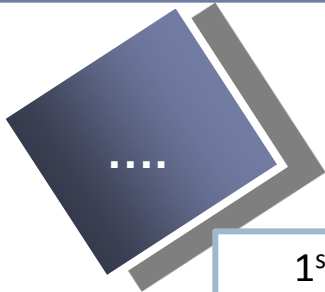
Endocrine Disrupting Compounds

- ▶ Disrupt normal function of the endocrine system
- ▶ Mimic hormones;
- ▶ Active at very low levels;
- ▶ Concern about additive or synergistic effects caused by mixtures of EDCs;



Endocrine disrupting compounds timeline

Several studies pointed out that persistent, man-made chemicals were being transferred in the environment



1st time the term “endocrine disruption” was used

1991

Wingspread Consensus Statement

International scientists from different research areas shared their research on the nature and possible causes of these problems.

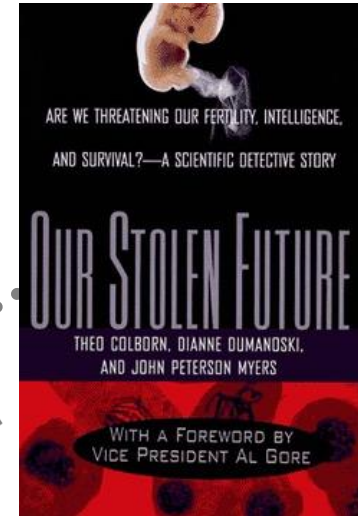
1992

“Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development: The Wildlife/Human Connection”.

Turning point

1996

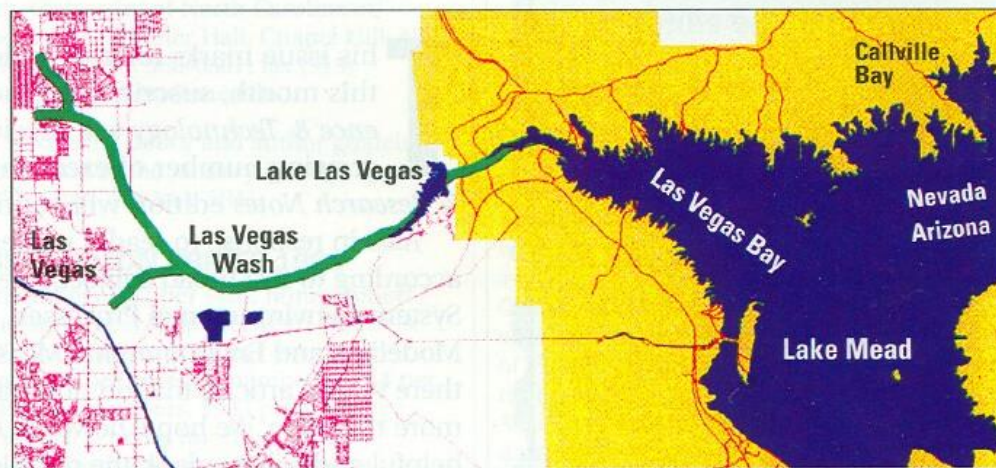
“Our stolen future” was published



Human estrogens linked to endocrine disruption

For the first time in North America, high levels of natural and synthetic hormones in municipal wastewater treatment plant effluent have been linked with endocrine disruption in fish. The study by researchers at Michigan State University's Department of Zoology indicates that human hormones, not industrial chemicals, in the effluent caused male fish to produce vitellogenin, a well-accepted indicator of endocrine disruption.

"This is a significant, if not a surprising, result," commented Gary Ankley, an EPA toxicologist who studies endocrine disruptors. The results were similar to findings published last year by U.K. researchers that identified hormones secreted in women's urine as the cause of vitellogenesis in caged fish exposed to sewage effluent in U.K. waters.

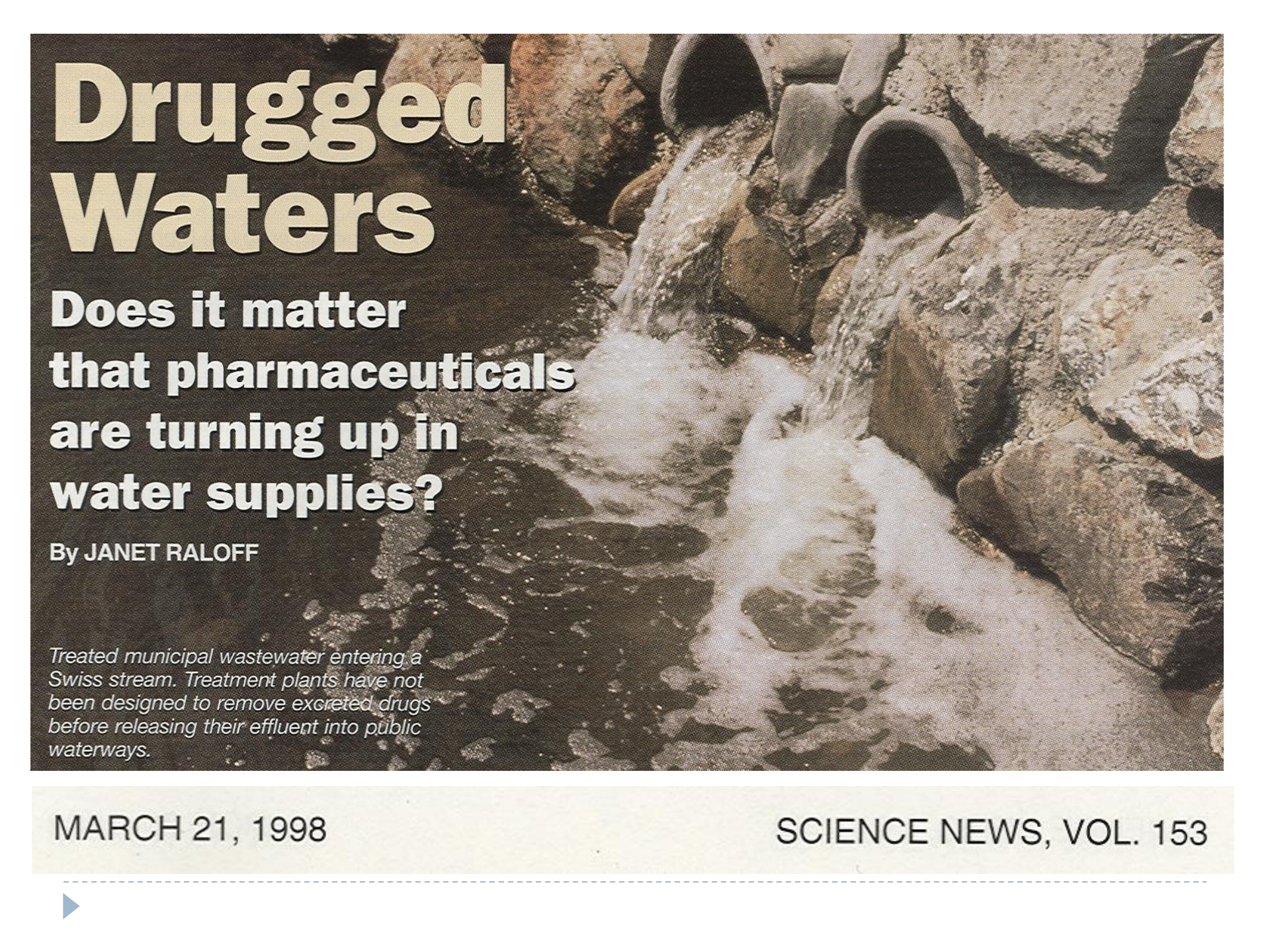


High levels of a female protein in male fish found in Lake Mead, Nev., led to a search for the cause in the effluent-dominated waters of the Las Vegas Wash. (Courtesy Shane Snyder, Michigan State University)

the compounds that were likely to act like estrogens in the fish. They also used an innovative method that involves solid-phase extraction and in vitro cellular bioassays to detect endocrine-modulating compounds in complex aqueous mixtures. Of the

the highest level of estrogenic activity in effluent downstream from a small plant (55,000 gal/day) with relatively few treatment processes.

Results from a companion Michigan State study, in which caged fish were exposed to Michigan wastewater effluent, suggest



Drugged Waters

Does it matter that pharmaceuticals are turning up in water supplies?

By JANET RALOFF

Treated municipal wastewater entering a Swiss stream. Treatment plants have not been designed to remove excreted drugs before releasing their effluent into public waterways.

MARCH 21, 1998

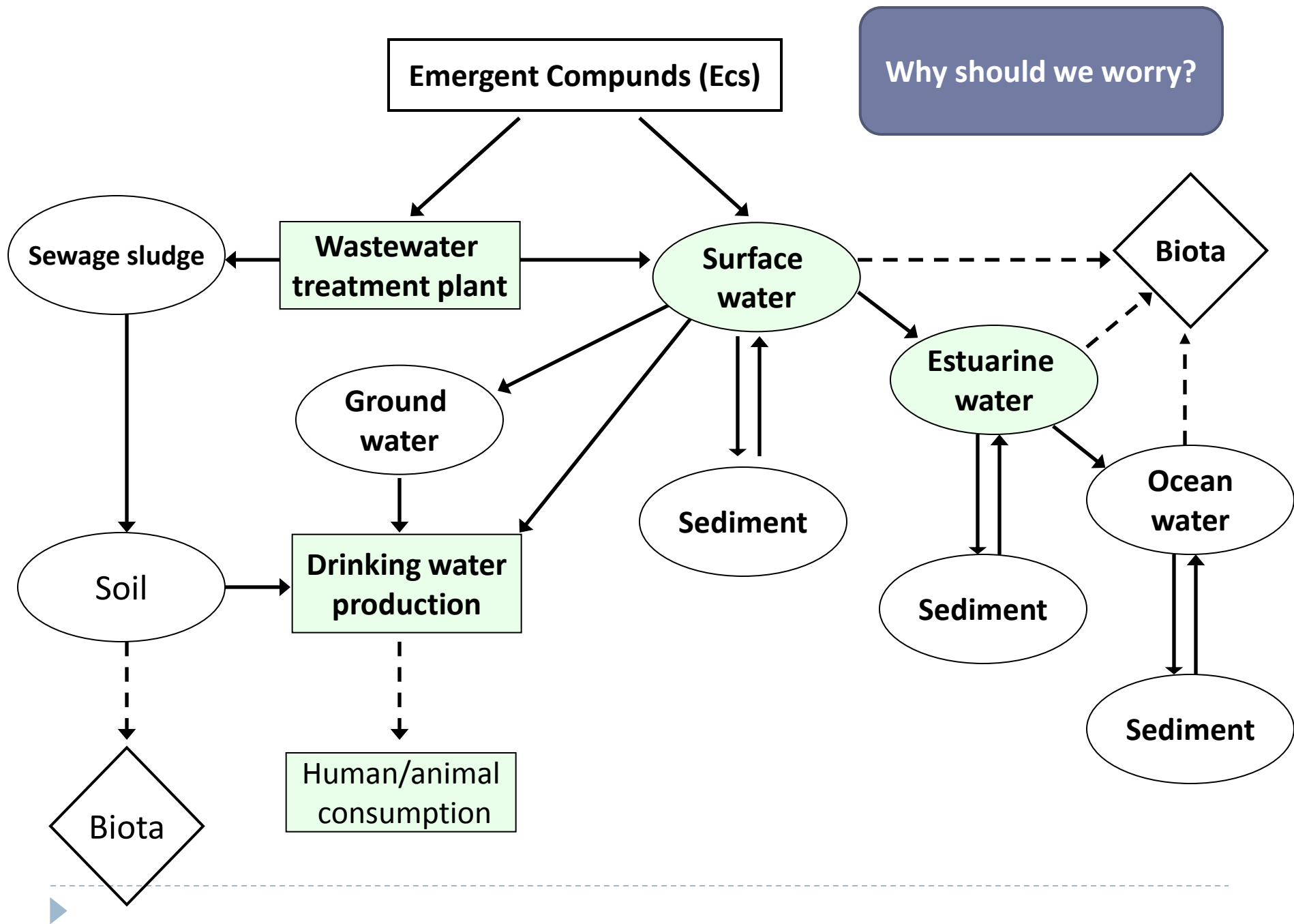
SCIENCE NEWS, VOL. 153



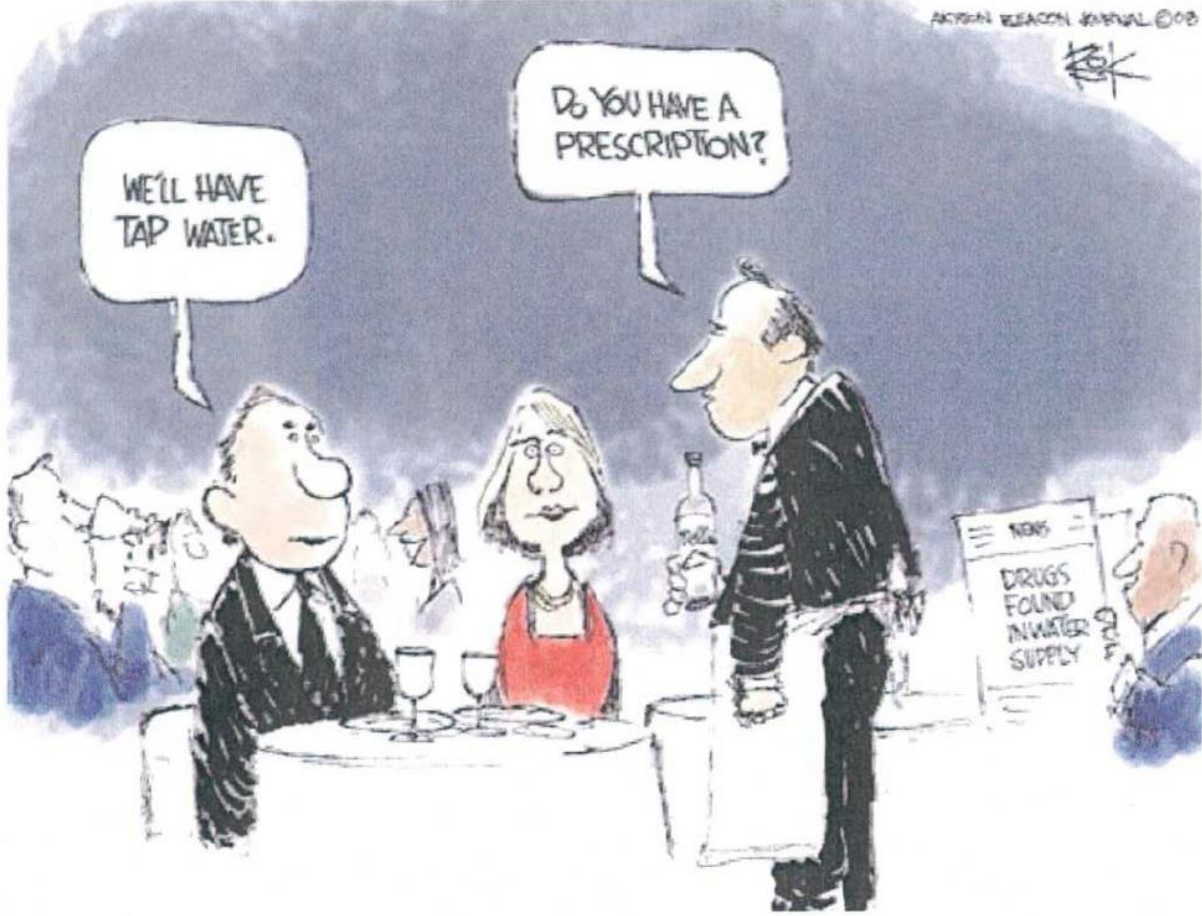
Target Compounds

Pharmaceuticals (20)	Potential EDCs (26)	Steroid Hormones (5)	Phytoestrogens (11)
Atenolol	Atrazine	Estradiol	Apigenin
Atorvastatin	Benzophenone	Estrone	Biochanin A
<i>o</i> -Hydroxy atorvastatin	BHA	Ethinylestradiol	Chrysin
<i>p</i> -Hydroxy atorvastatin	BHT	Progesterone	Coumestrol
Carbamazepine	a-BHC	Testosterone	Daidzein
Diazepam	b-BHC		Equol
Diclofenac	g-BHC		Formononetin
Dilantin	d-BHC		Genistein
Enalapril	Bisphenol A		Glycitein
Fluoxetine	Butylbenzyl phthalate		Matairesinol
<i>Norfluoxetine</i>	DEET		Naringenin
Gemfibrozil	Diazinon		
Meprobamate	Diethyl phthalate		
Naproxen	Galaxolide		
Risperidone	Linuron		
Simvastatin	Methoxychlor		
<i>Simvastatin hydroxy acid</i>	Metolachlor		
Sulfamethoxazole	Musk ketone		
Triclosan	Nonylphenol		
Trimethoprim		





Relevance to Human Health



And now?...

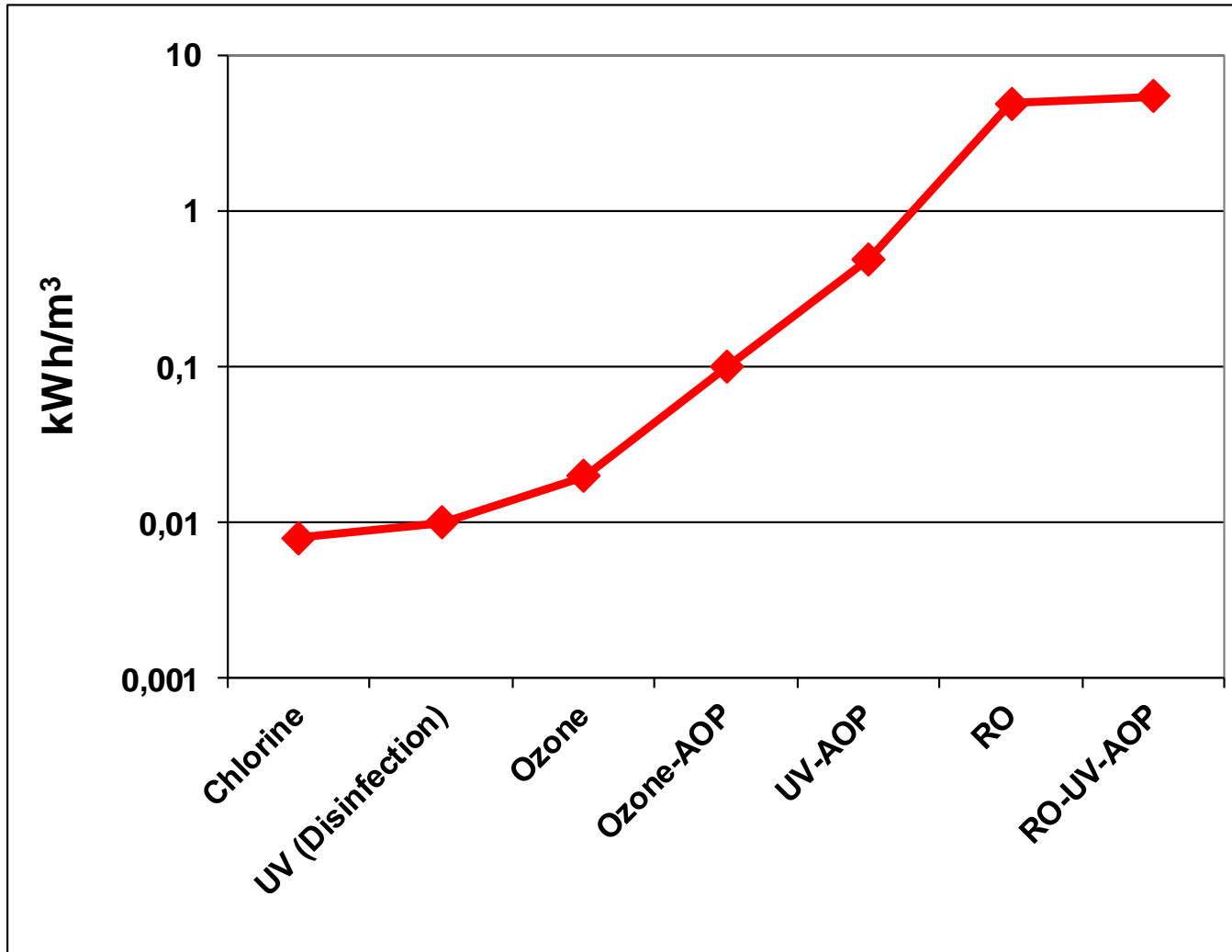
- How can we remove ECs?

Any chemical can be removed from water/wastewater using highly sophisticated technology, but...

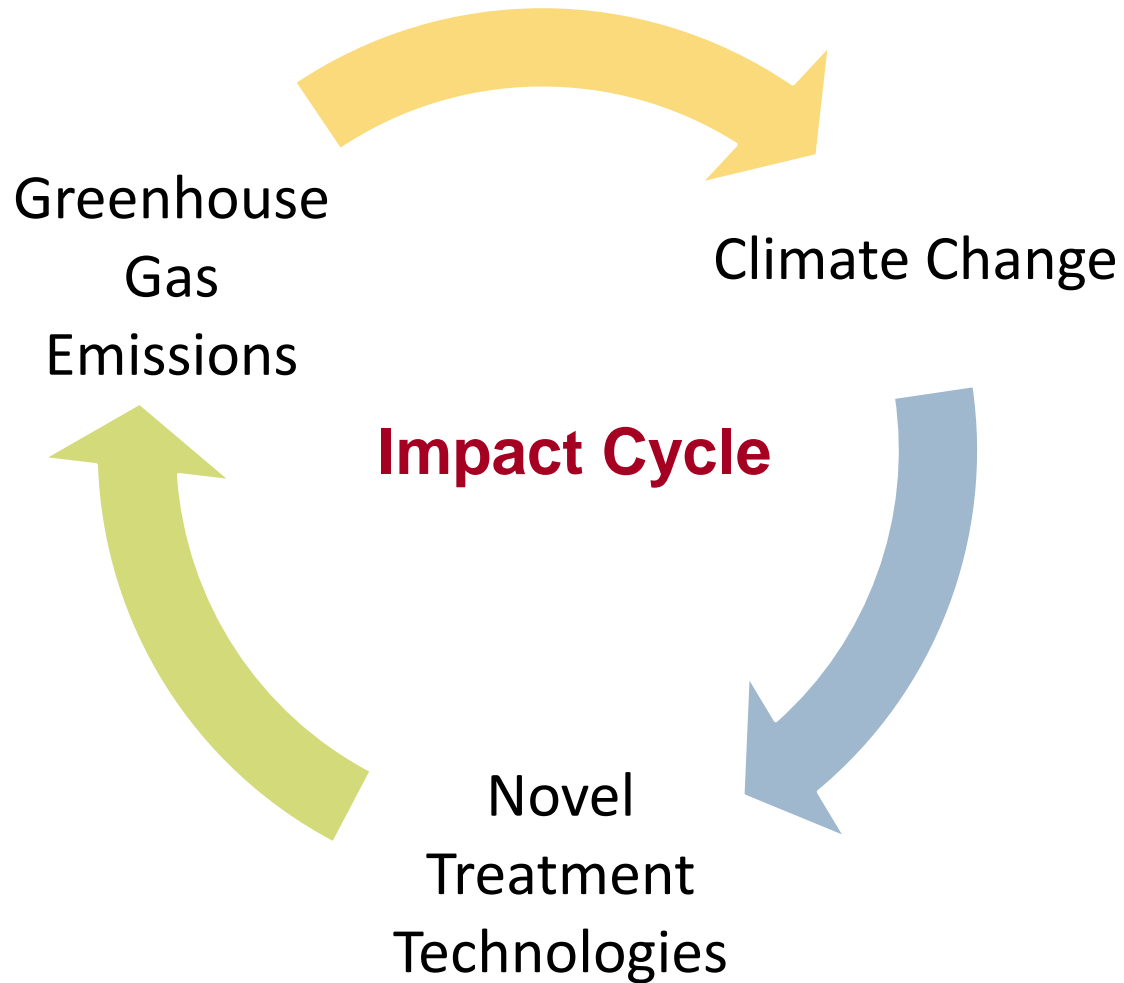
...its important to assess the operational costs associated and environmental aspects involved



Energy per m³ of Water treated and type of Process



Nexus Water-Energy



Processos químicos de tratamento de compostos orgânicos. Casos de Estudo.

- O que são compostos emergentes
- Qual a sua origem
- Porque são problemáticos
- Dar o exemplo da ocorrência ao longo da linha líquida e sólida de uma ETAR (pode ser o caso dos farmacêuticos)
- Como se tratam: caso dos POA

Xenos = estranho

Tipo de Poluentes Xenobióticos

Xenobióticos são compostos químicos estranhos a um organismo ou sistema biológico. Podem ser encontrados num organismo mas não são normalmente produzidos ou esperados existir nesse organismo.



Medicamentos tais como **antibióticos** são compostos xenobióticos em humanos porque o corpo humano não os produz nem fazem parte da dieta humana.

Tipo de Poluentes - Disruptores endócrinos

São compostos que desregulam o sistema endócrino

- Dioxinas
- Alguns fenóis
- Alguns policlorobifenilos
- Alguns pesticidas organoclorados



For more information go to:
www.potomacwaterwatch.org

Causam perda de fertilidade, alterações na razão machos/fêmeas, problemas comportamentais e cerebrais, funções imunitárias afectadas e vários tipos de cancro

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

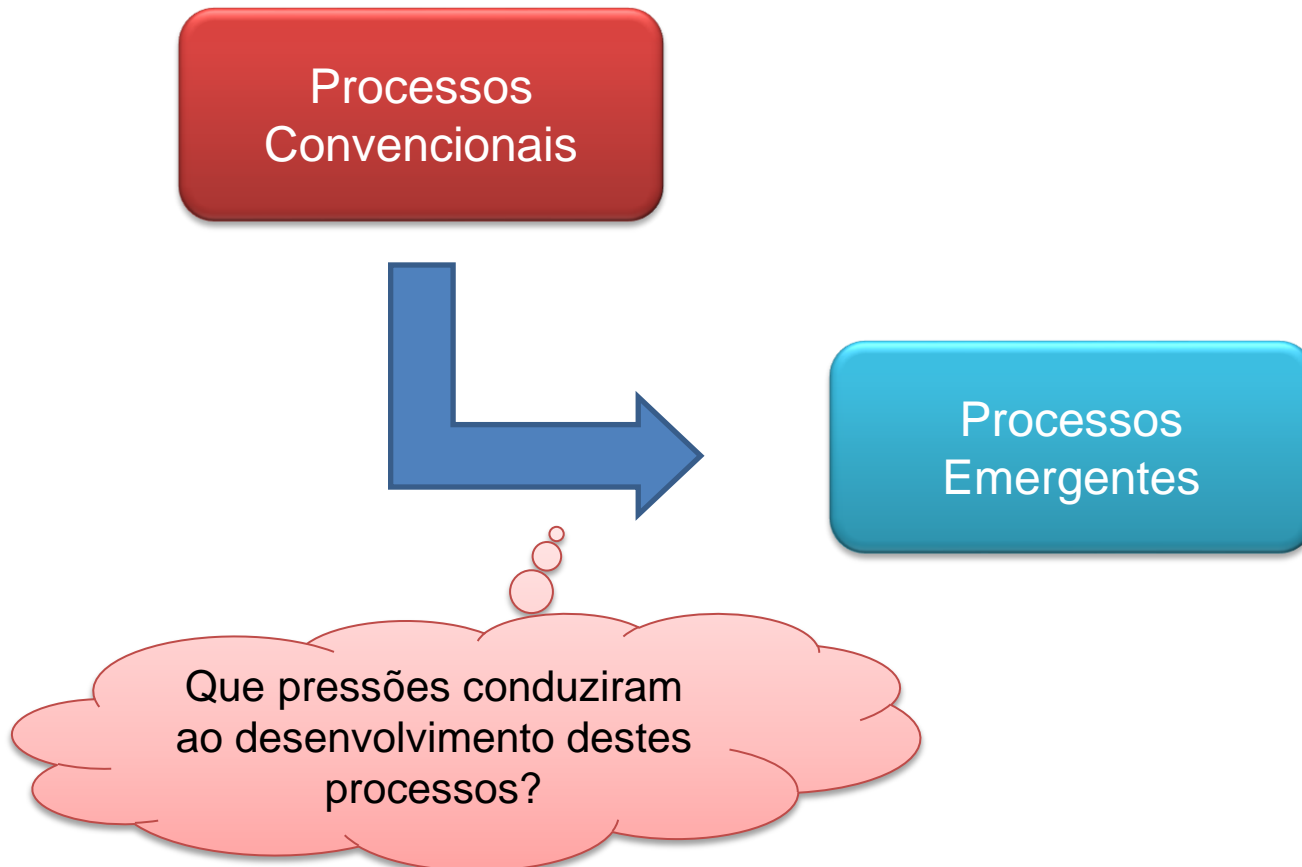
1.1 Considerações gerais

Nas últimas décadas muitos trabalhos de investigação têm sido dedicados ao desenvolvimento de uma classe particular de tecnologias que se designam por: **Processos de Oxidação Avançados** (em inglês, *Advanced Oxidation Processes*)

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais



Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

- Os Processos de Oxidação Avançados (POA) são uma **metodologia emergente e promissora** para a degradação de **poluentes orgânicos fortemente persistentes, refractários** a outros tratamentos de **remediação/descontaminação ambiental**

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Exemplos de compostos persistentes:

- Compostos farmacêuticos
- Desreguladores endócrinos
- Pesticidas
- Odor, cor e sabor
- Microrganismos Patogénicos
- Compostos orgânicos persistentes
- ...

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.2 Processos de Oxidação Avançados

O que são Processos de Oxidação Avançada (POA)?

- O conceito foi inicialmente estabelecido, em 1987, por Glaze
- Processos de tratamento de água conduzidos à temperatura ambiente e à pressão próxima da normal
- Envolvem a geração de espécies radicalares muito reactivas e com elevada capacidade oxidante, principalmente radicais hidroxilo (HO^*)

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.2 Processos de Oxidação Avançados

O que são Processos de Oxidação Avançados (POA)?

- O radical OH^* é um **oxidante extremamente potente (potencial de redução padrão de 2,80 V)**, é um oxidante não selectivo em que o tempo de reacção é um milhão, a um bilião de vezes mais rápido do que o ozono e o peróxido de hidrogénio



Diminuição dos custos de tratamento e das dimensões dos sistemas de tratamento

Processos de Oxidação Avançados

Potenciais de redução padrão de alguns agentes oxidantes, Legrini *et al* (1993)

Espécie	E ⁰ (V, 25°C)
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxigénio atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de hidrogénio	1,78
Radical hidroperoxilo	1,70
Permanganato	1,68
Ácido hipobromoso	1,59
Dióxido de cloro	1,57
Ácido hipocloroso	1,49
Ácido hipoiodoso	1,45
Cloro	1,36
Bromo	1,09
Iodo	0,54

Processos de Oxidação Avançados

Constantes de velocidade de reacção (k, em $M^{-1} s^{-1}$) para algumas famílias de compostos orgânicos com ozono e radicais hidroxilo

Compostos	O ₃	HO*
Alquenos clorados	$10^{-1} - 10^3$	$10^9 - 10^{11}$
Fenóis	10^3	$10^9 - 10^{10}$
Compostos orgânicos azotados	$10 - 10^2$	$10^8 - 10^{11}$
Aromáticos	$1 - 10^2$	$10^8 - 10^{10}$
Cetonas	1	$10^9 - 10^{10}$
Álcoois	$10^{-2} - 1$	$10^8 - 10^9$
Alcanos	10^{-2}	$10^6 - 10^9$

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

- Os radicais hidroxilo uma vez gerados, em solução ou na superfície de fotocatalisadores, atacam virtualmente todos os compostos orgânicos.
- São possíveis quatro mecanismos principais de ataque:
 - a) **Remoção de hidrogénio** (como no caso dos alcanos ou álcoois)
 - b) **Adição (ou substituição) electrofílica** de HO* a ligações insaturadas carbono – carbono (compostos aromáticos) ou a substâncias contendo insaturações e anéis aromáticos
 - c) **Transferência de electrões**
 - d) **Interacção entre radicais**

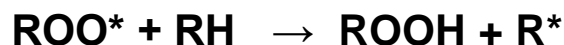
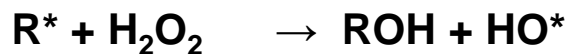
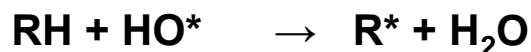
Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reação dos radicais hidroxilo

Para iniciar uma oxidação em cadeia por radicais uma reacção comum é a remoção de um átomo de hidrogénio

a) Remoção de um átomo de hidrogénio



Por exemplo:

Compostos orgânicos clorados são oxidados primeiro em intermediários, como aldeídos e ácido carboxílicos, e finalmente em CO_2 , H_2O e iões cloreto. O azoto em compostos orgânicos é oxidado em nitrato ou azoto livre (N_2) o enxofre é oxidado em sulfato. O cianeto em cianato, que é depois oxidado em CO_2 e NO_3^-

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

b) Adição electrofílica

A adição electrofílica de radicais hidroxilo a compostos orgânicos que contêm ligações π resulta na formação de radicais orgânicos (ocorre com hidrocarbonetos insaturados ou compostos aromáticos):



c) Transferência de electrões

Ocorrem reacções de transferência de electrões quando não são favorecidas a adição electrofílica e a remoção de hidrogénio, como no caso de hidrocarbonetos clorados:



Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

d) Interação entre radicais

Esta situação ocorre quando um radical reage com outro radical hidroxilo, ou com outro radical não necessariamente igual, combinando-se para formar um produto estável



Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

- Em termos gerais pode afirmar-se que os POA são métodos viáveis de degradação de contaminantes orgânicos dissolvidos em água como hidrocarbonetos halogenados (tricloroetano, tricloroetileno), compostos aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno), pentaclorofenol (PCP), nitrofenóis, detergentes, pesticidas, etc. Os POA podem também ser usados para oxidar contaminantes inorgânicos como cianeto, sulfureto e nitrito.
- O objectivo final dos POA é a mineralização dos compostos orgânicos presentes na água em dióxido de carbono, água e aniões inorgânicos, através de reacções de degradação que envolvem espécies fortemente oxidantes.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

Em alguns casos , é suficiente uma oxidação parcial do poluente, tornando-o menos refractário e possibilitando, por exemplo, a sua posterior degradação por oxidação biológica.

A oxidação de compostos orgânicos pode ser caracterizada pela extensão da degradação dos produtos finais de degradação do seguinte modo:

- **Degradação primária** – alteração da estrutura do composto inicial;
- **Degradação aceitável** – alteração da estrutura do composto inicial até ao ponto de redução de toxicidade;
- **Degradação definitiva** – conversão do carbono orgânico a CO_2 ;
- **Degradação inaceitável** - alteração da estrutura do composto inicial resultando num aumento de toxicidade.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.3 Mecanismos de reacção dos radicais hidroxilo

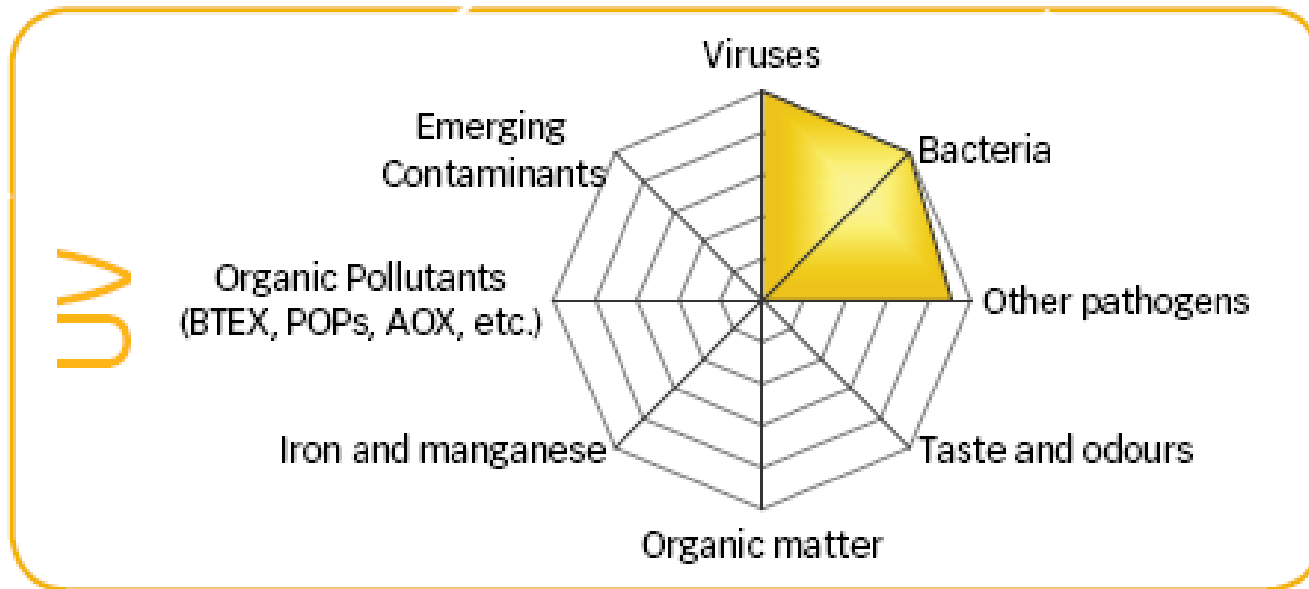
Os POA quando aplicados de uma forma correcta, constituem uma boa oportunidade de reduzir a concentração de contaminantes de várias centenas de ppm para valores inferiores a 5 ppb.

**Os POA são denominados como os
“processos de tratamento de água/água residual do século 21”**

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

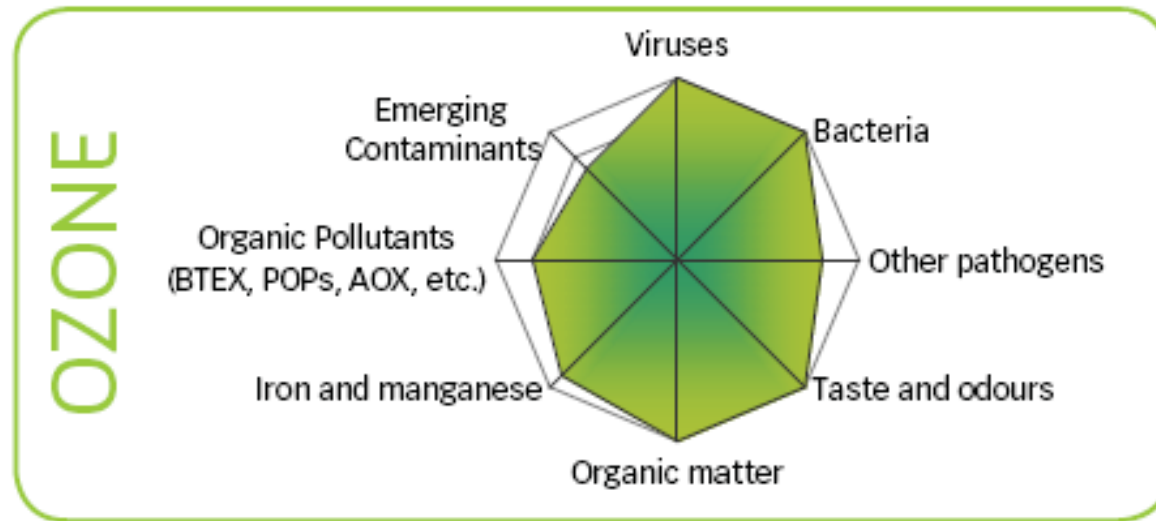


© 2011 Degremont Technologies Ltd.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

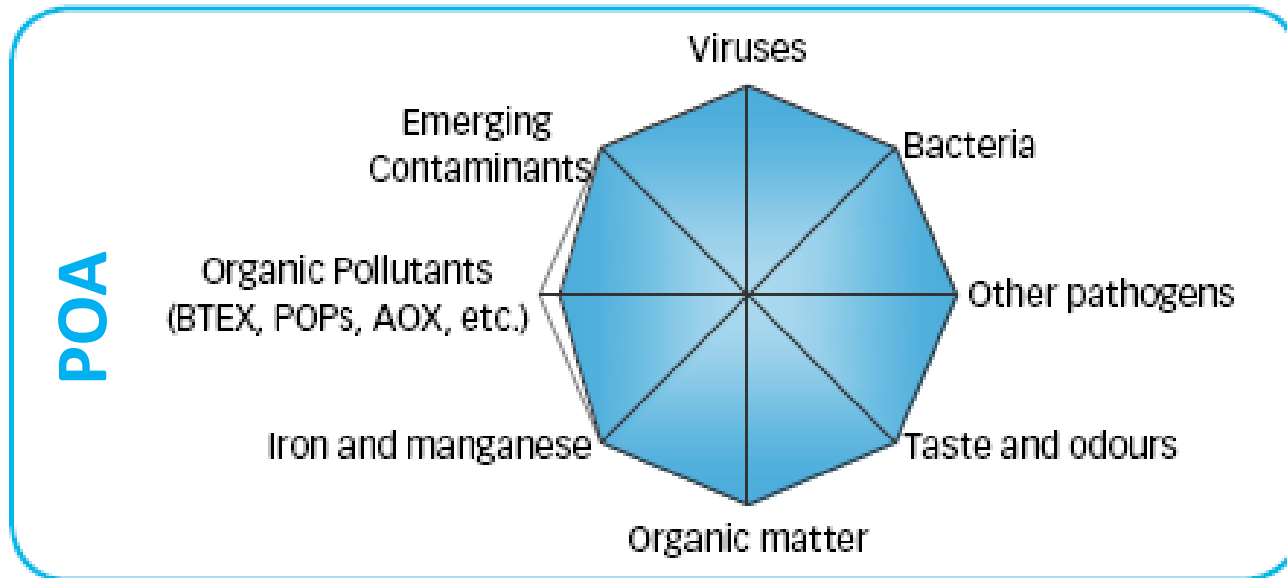


© 2011 Degrémont Technologies Ltd.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA



© 2011 Degrémont Technologies Ltd.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

Exemplos de Processos de Oxidação Avançados usados no tratamento de águas e águas residuais

Fotoquímicos	Não Fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none">• Radiação ultravioleta (UV)• Fotólise no UV-vácuo• UV/H₂O₂• UV/O₃• UV/H₂O₂/O₃• Foto Fenton e processos relacionados• Fotocatálise heterogénea (TiO₂/UV)• UV/ periodato	<ul style="list-style-type: none">• Ozonização em meio alcalino• O₃/H₂O₂• Reagente de Fenton• Oxidação electroquímica• Radiólise γ• Ultrassons

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

- Um grande número destes POA encontram-se já disponíveis comercialmente e em alguns casos amplamente usados
- Existem na Europa mais de 3 000 instalações de radiação ultravioleta como processo de desinfecção
- Os processos UV/H₂O₂, O₃/UV, O₃/UV/H₂O₂, Fenton, Fenton/UV e TiO₂/UV são já comercializados

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

Áreas de Aplicação

Água

Tratamento de:

- Águas subterrâneas
- Água superficial



Destinos:

- Consumo humano
- Industria
- Piscinas

Objectivos:

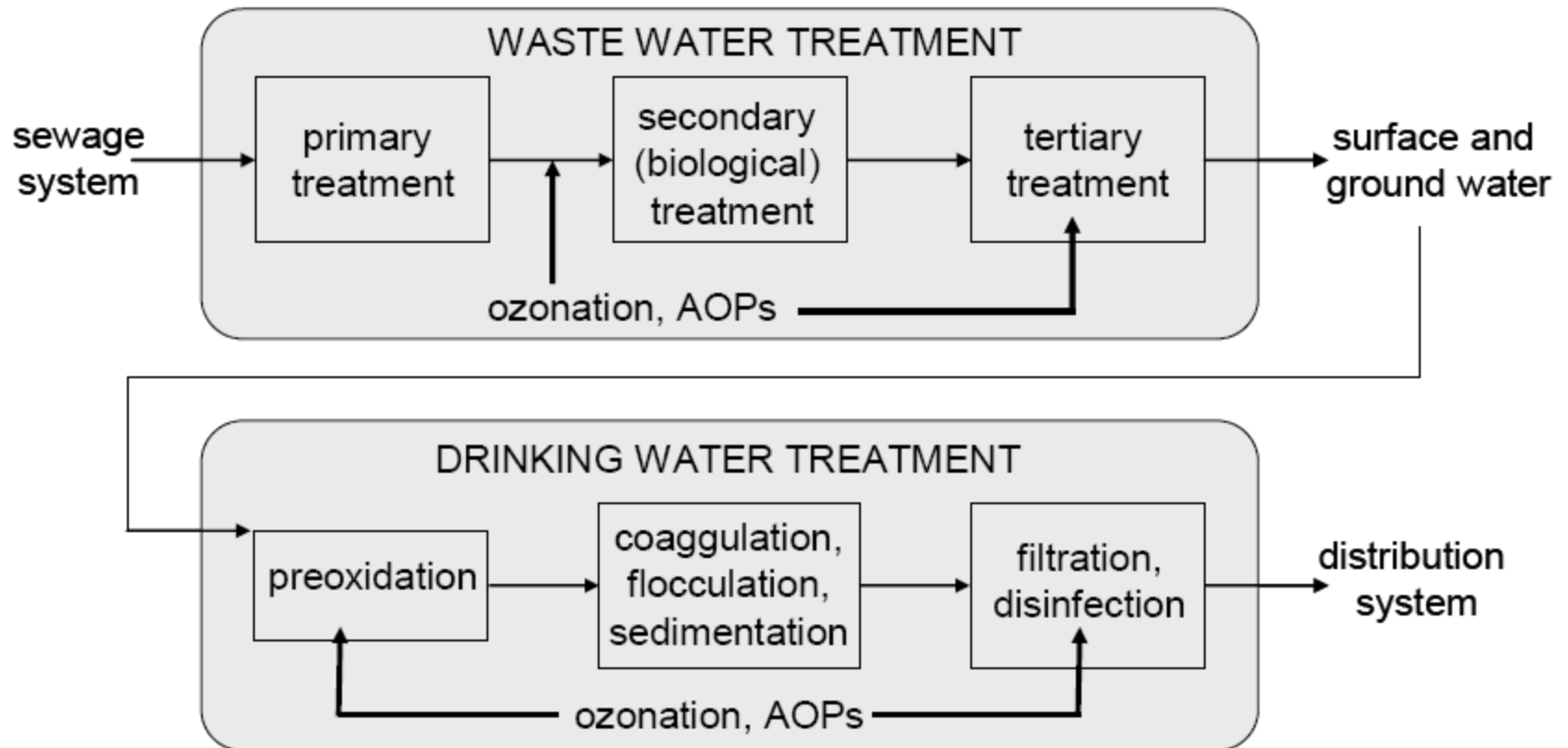
- Desinfecção
- Remoção de compostos refractários

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

Áreas de Aplicação



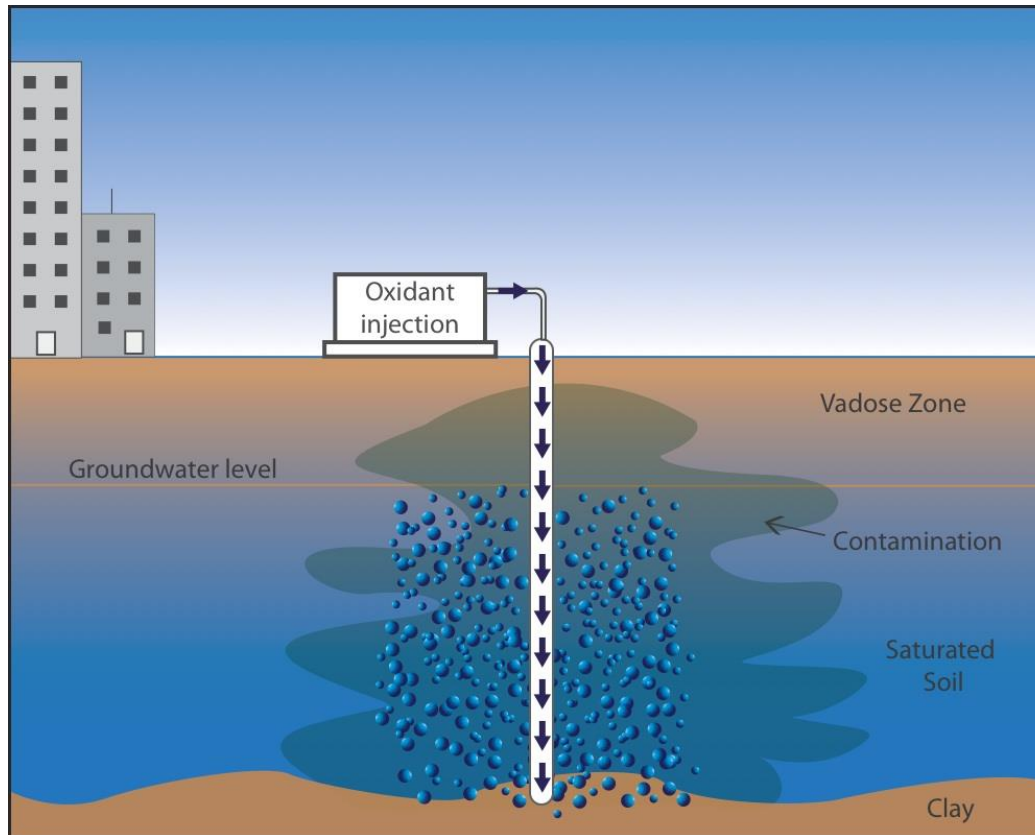
Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

Áreas de Aplicação

Água



Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA Áreas de Aplicação

Águas Residuais

Tratamento de:

- Águas residuais domésticas
- Águas residuais industriais



Destinos:

- Reutilização/reciclagem
- Recarga de aquíferos
- Descarga em meio receptor natural ou coletor

Objectivos:

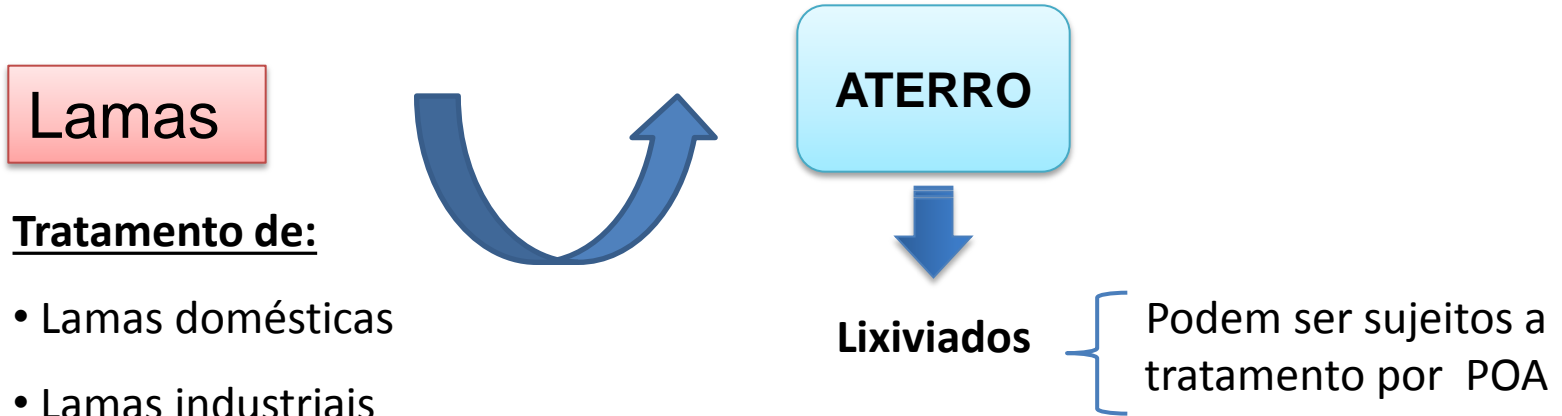
- Desinfecção
- Remoção de compostos refractários

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos Práticos dos POA

Áreas de Aplicação



Lamas

Tratamento de:

- Lamas domésticas
- Lamas industriais

ATERRO

Lixiviados

Podem ser sujeitos a tratamento por POA

Objectivos:

- Desinfecção
- Remoção de compostos refractários

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos práticos dos POA

Os POA apresentam diversas **vantagens** em relação aos métodos de tratamento convencionais.

- Os poluentes não são meramente transferidos de uma fase para outra, sendo antes transformados quimicamente, conduzindo, em muitos casos, à degradação do poluente;
- São muito úteis para o tratamento de poluentes refractários resistentes a outros tratamentos, como processos biológicos;
- São muito úteis para melhorar as propriedades organolépticas da água, ou para remover a cor efluentes industriais de cor escura.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos práticos dos POA

Os POA apresentam diversas **vantagens** em relação aos métodos de tratamento convencionais.

- A versatilidade dos POA é também fortalecida pelo facto de existirem diferentes maneiras de produzir radicais hidroxilo.

Processos de Oxidação Avançados

1. INTRODUÇÃO

1.4 Aspectos práticos dos POA

É preciso ter em conta que resíduos com valores relativamente elevados de CQO (>5 000 mg/l) não devem ser tratados integralmente por POA porque necessitam de grandes quantidades de reagentes relativamente caros ou de energia eléctrica para a radiação

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.1 Ozono, Peróxido de hidrogénio

- O tempo de vida média do ozono numa água residual industrial pode variar desde menos de um minuto a cerca de 30 minutos, dependendo do tipo de poluente, da reactividade ozono-poluente e do pH;
- Quando o pH sobe, a taxa de decomposição do ozono na água aumenta. Por exemplo, a pH=10, o tempo de vida média do ozono na água residual pode ser inferior a 1 minuto.

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

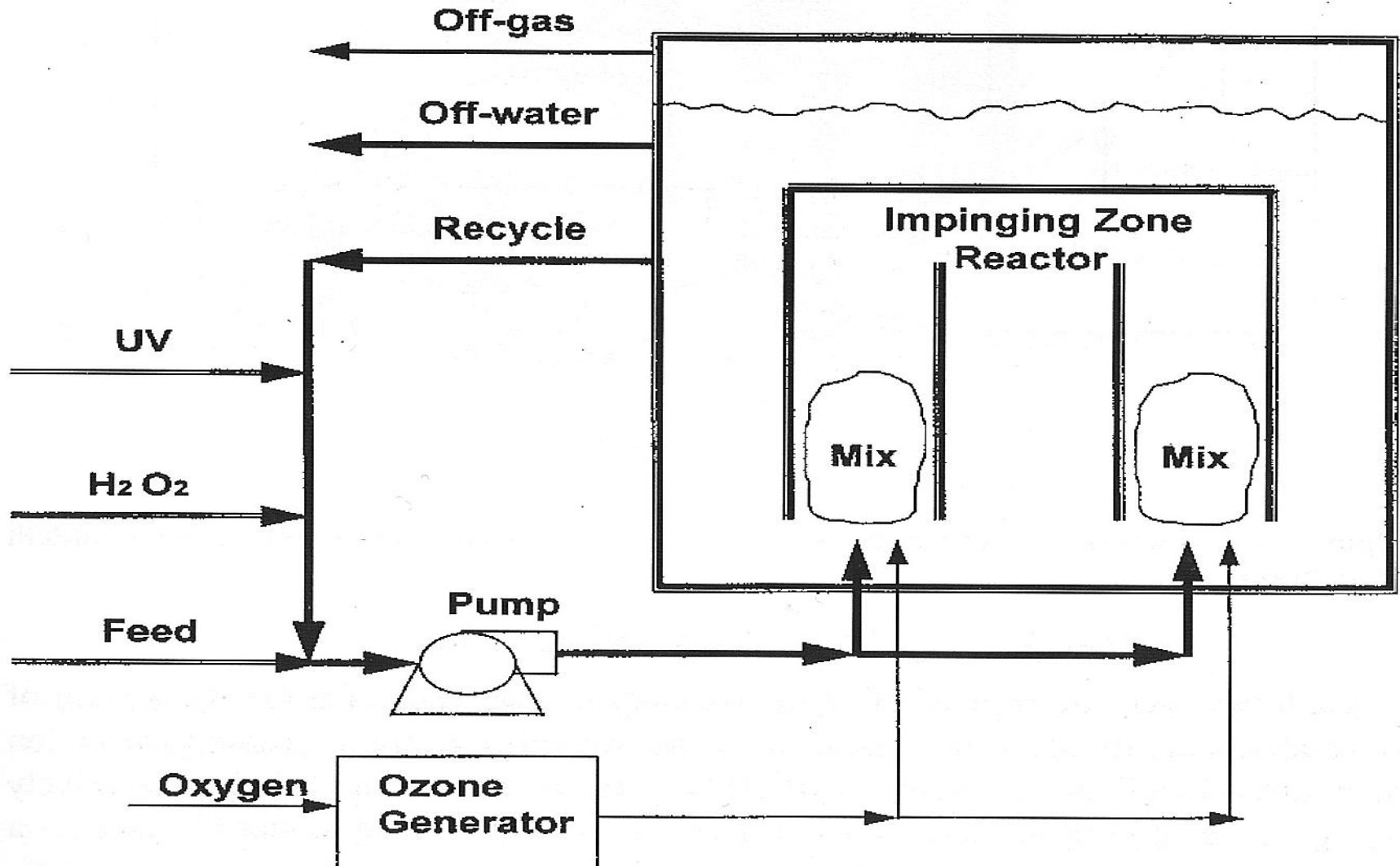
2.1 Ozono, Peróxido de hidrogénio

O ozono pode reagir com os compostos orgânicos, **directamente** ou **indirectamente** (através da decomposição e formação de radicais OH*)

Em complemento, a oxidação das espécies orgânicas pode ocorrer, devido à combinação de reacções com ozono molecular e reacções com OH*.

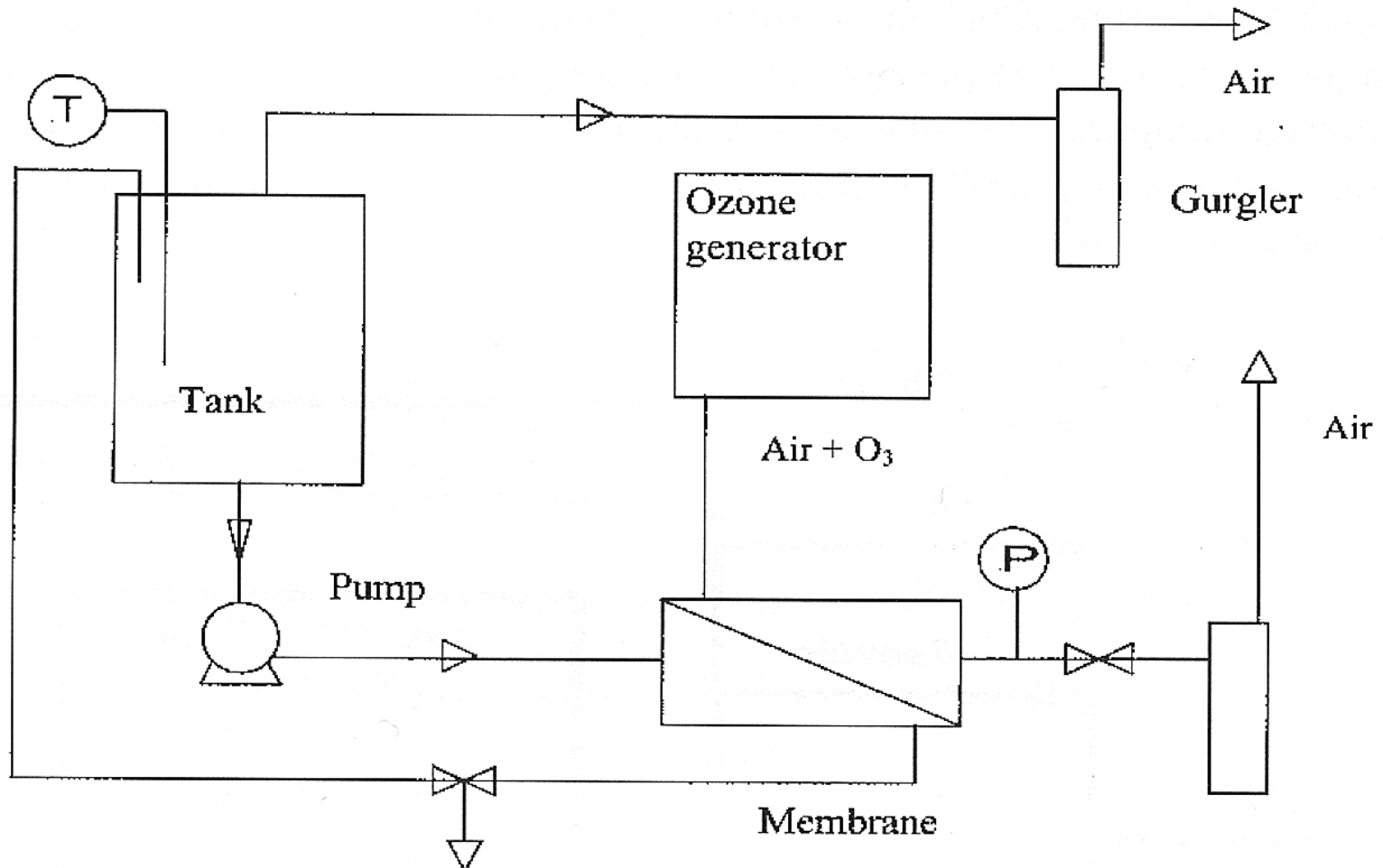
Ozono, Peróxido de hidrogénio

Fluxograma do processo CHEMOX



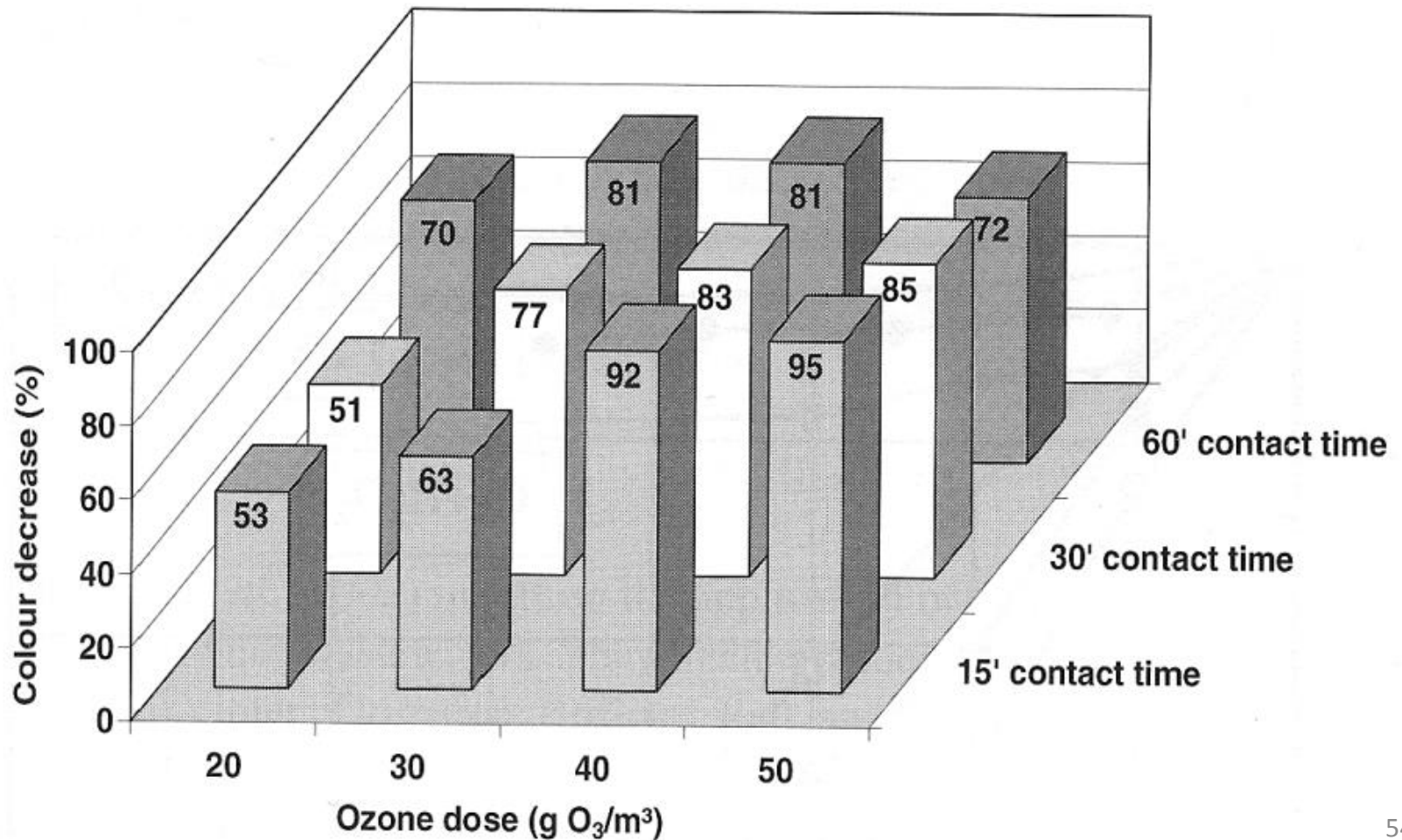
Ozono, Peróxido de hidrogénio

Processo de ozonização numa ETAR de uma indústria têxtil



Ozono, Peróxido de hidrogénio

Redução de cor vs dose de ozono e tempo de contacto



Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.1 Ozono, Peróxido de hidrogénio

- O processo de oxidação de compostos orgânicos com ozono ou com peróxido de hidrogénio conduz, na maioria dos casos, a uma oxidação completa a CO_2 e H_2O
- Em algumas reacções, os produtos remanescentes da oxidação intermédia, permanecem em solução, podendo ser ainda mais tóxicos do que os compostos iniciais.

Processos de Oxidação Avançados

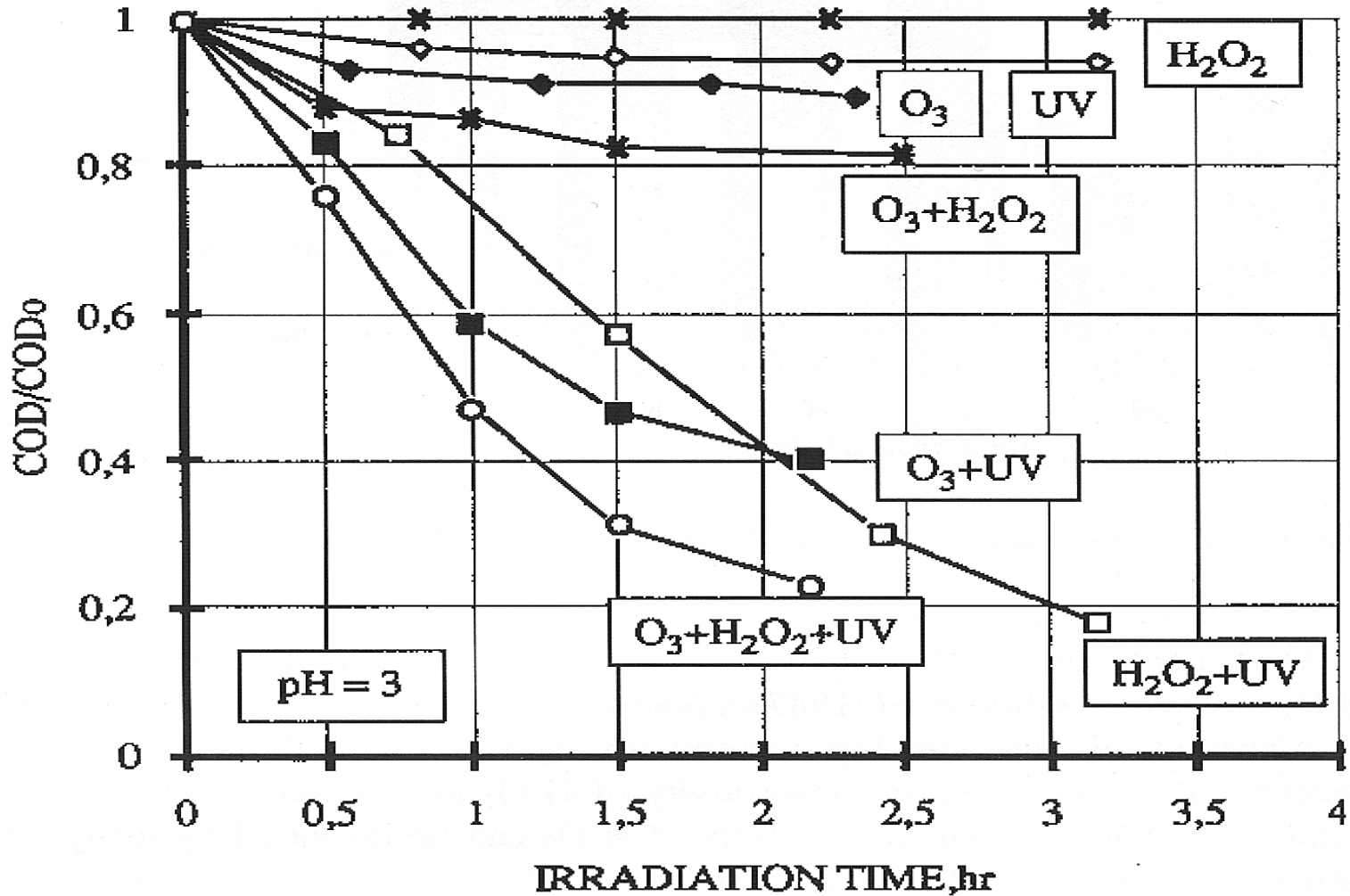
2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.1 Ozono, Peróxido de hidrogénio

- A radiação ultravioleta (UV) pode ser utilizada para tornar as reacções de oxidação completas, bem como para permitir a destruição oxidativa de compostos imunes ao ozono ou ao peróxido de hidrogénio individualmente
- Muitos contaminantes orgânicos absorvem energia ultravioleta e decompõem-se directamente, devido à fotólise, ou passam a um estado excitado pela radiação UV, e tornam-se mais reactivos na presença dos oxidantes químicos

Ozono, Peróxido de hidrogénio

Degradação relativa da CQO Vs tempo de irradiação



Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.2 Reação de Fenton, processo Foto-Fenton

- Como o peróxido de hidrogénio não absorve significativamente além de 300 nm, o processo UV/H₂O₂ por vezes não é adequado para o tratamento de águas residuais com uma elevada absorvância na gama UV (exemplo: águas residuais com coloração elevada) e/ou uma elevada concentração de carbono orgânico total
- A foto-oxidação mediada por quelatos de iões ferrosos e/ou iões férricos parece ser um tratamento alternativo adequado
- Na reação de Fenton as espécies oxidantes são, novamente, os radicais OH* formados de acordo com a seguinte reação:



Processos de Oxidação Avançados

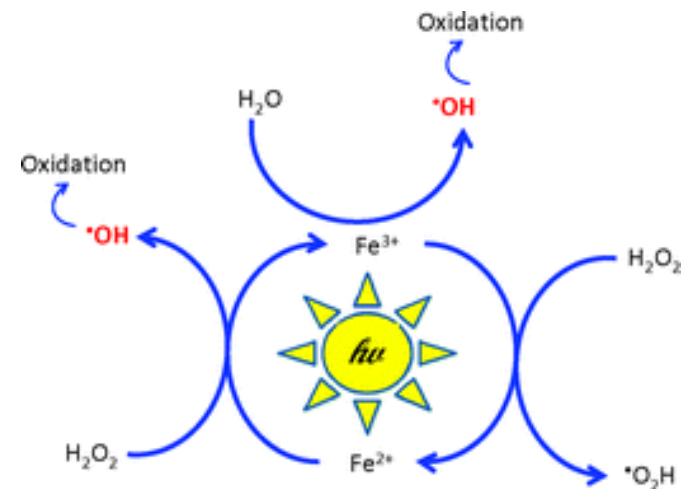
2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.2 Reação de Fenton, processo Foto-Fenton

Reação de Fenton:



Reação de Foto-Fenton:



Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

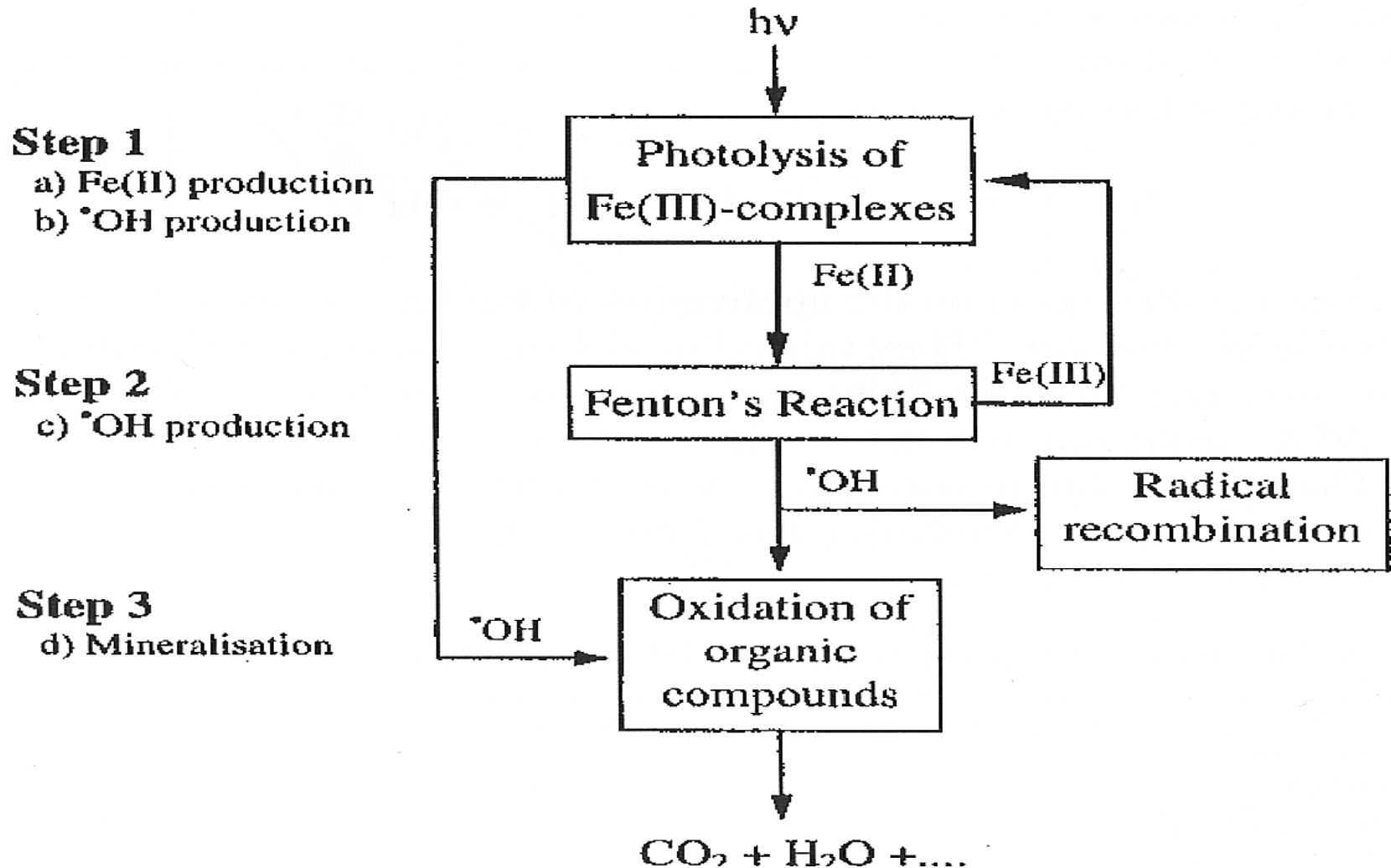
2.2 Reação de Fenton, processo Foto-Fenton

Tratamento de efluente da indústria têxtil pelo reagente de Fenton

Corante	Remoção de CQO	Remoção de AOX	Remoção de cor
Drimaren Violet	80%	nd	> 99%
Drimaren Brilliant Red	77%	96%	88%
Drimaren Black	92%	94%	> 99%

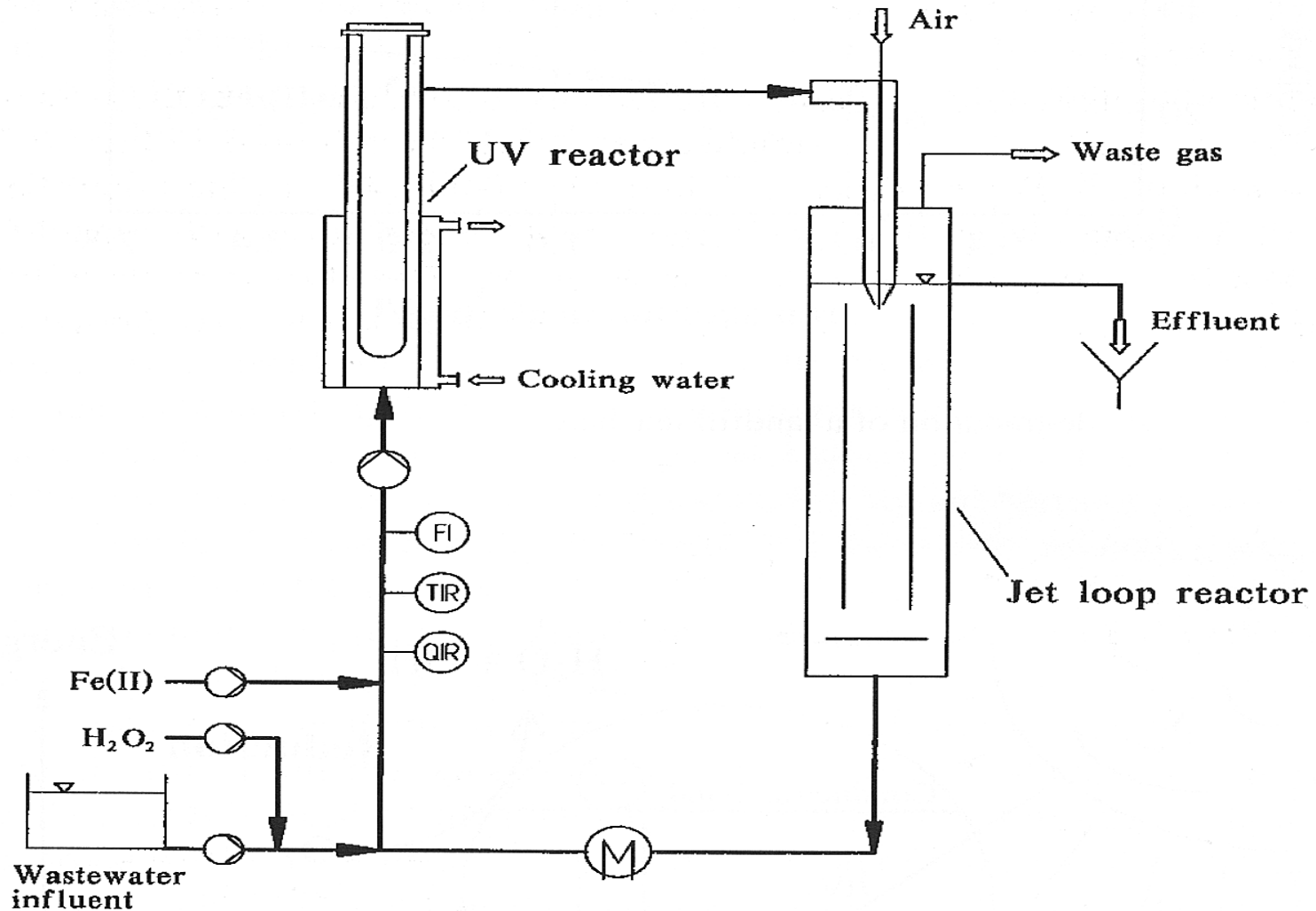
Reacção de Fenton, processo Foto-Fenton

Processo de Foto-Fenton



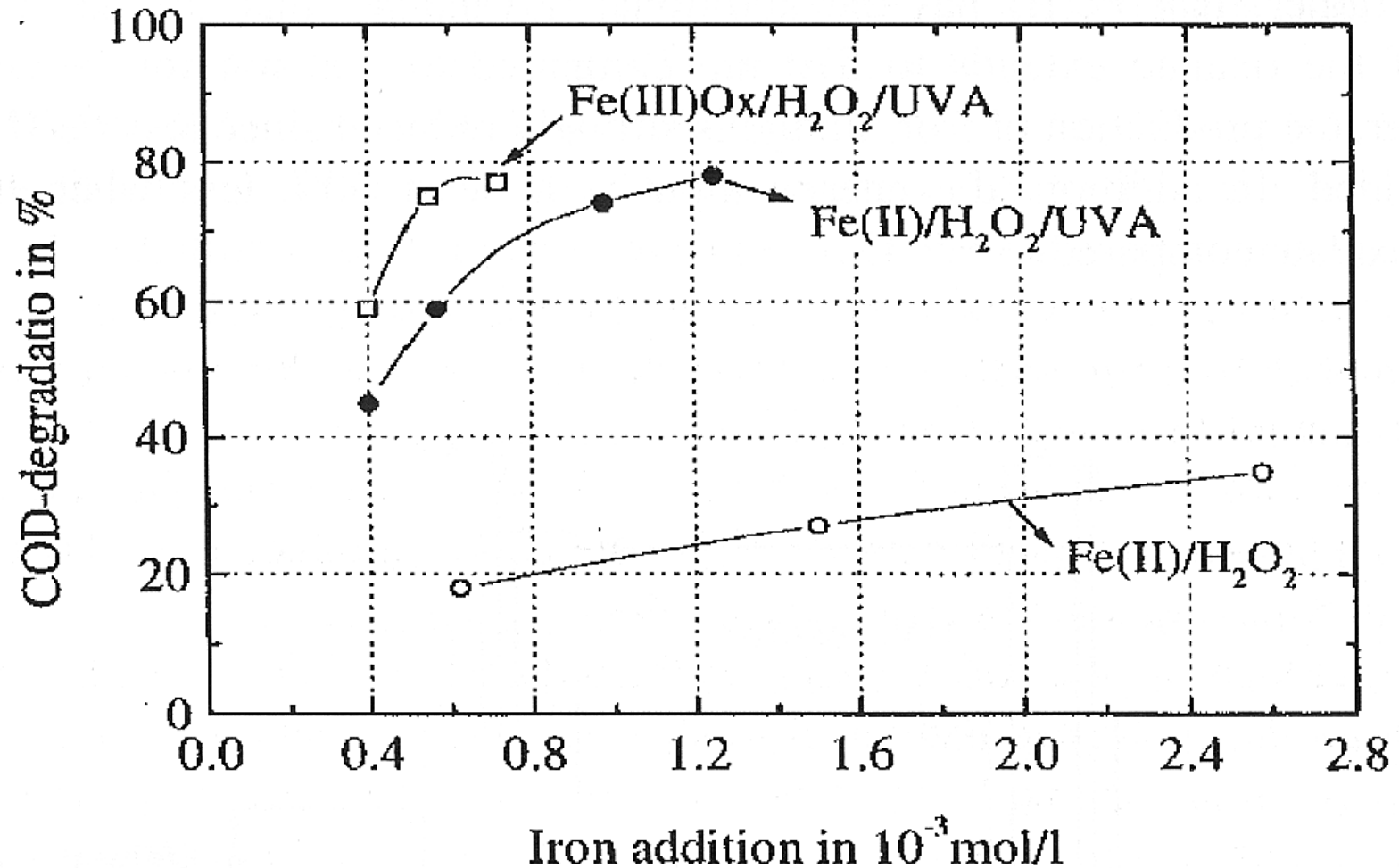
Reacção de Fenton, processo Foto-Fenton

Lay-out de uma estação de tratamento



Reacção de Fenton, processo Foto-Fenton

Degradação da CQO de um lixiviado de um aterro



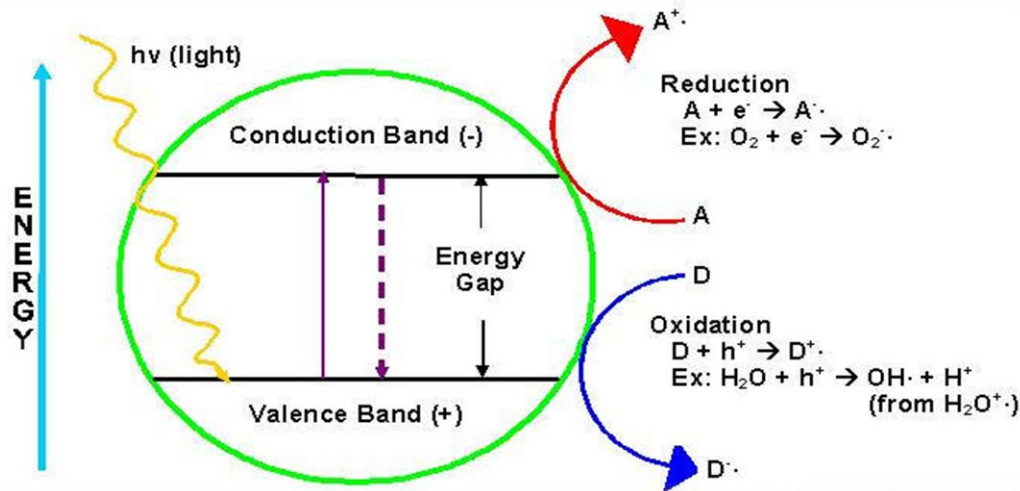
Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

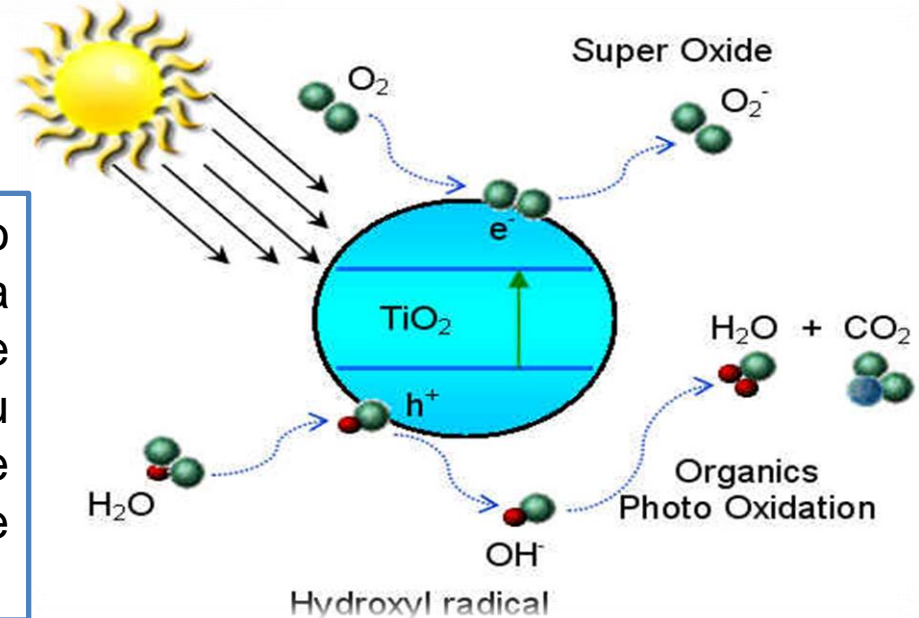
2.2 Fotocatálise

- A radiação UV é usada para excitar um **catalisador metálico** no estado sólido, criando cargas positivas e negativas na superfície do catalisador.
- As cargas positivas e negativas promovem reacções redox, como por exemplo, oxidação de compostos orgânicos na solução, através da fotogeração de cargas positivas e da redução dos iões metálicos do oxigénio pela fotogeração de cargas negativas.

O processo de fotocatalise

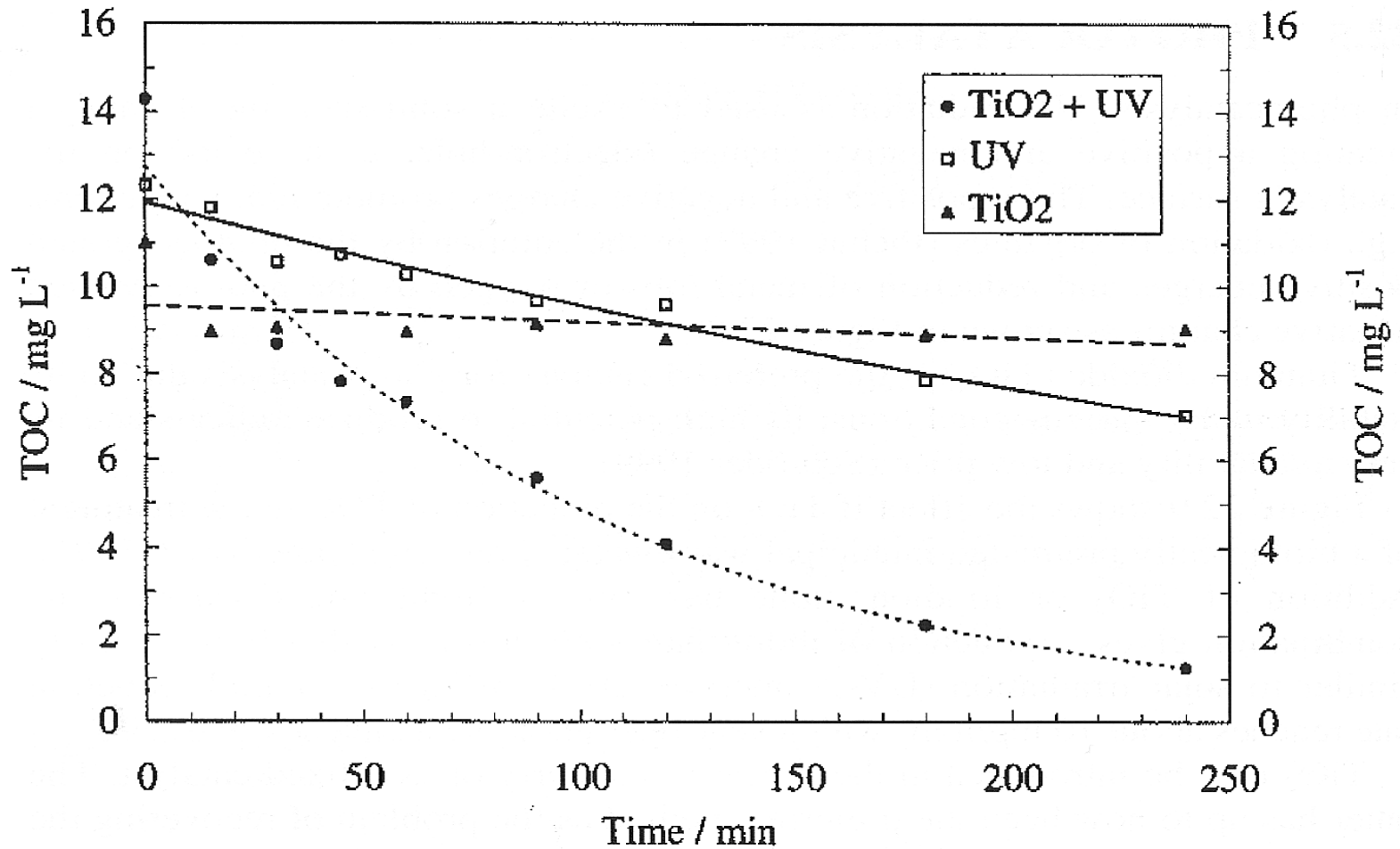


O dióxido de titânio (TiO₂) é o catalisador recomendado para a fotocatalise, devido à sua estabilidade em diferentes condições, ao seu elevado potencial na produção de radicais e da sua fácil disponibilidade e baixo custo

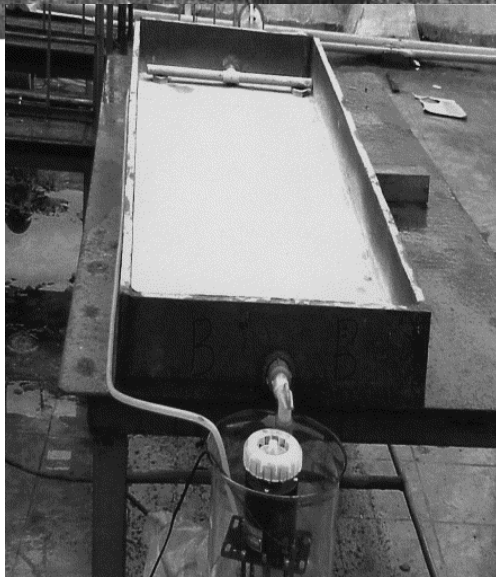


Fotocatálise

Redução do COT de efluente doméstico pré-tratado

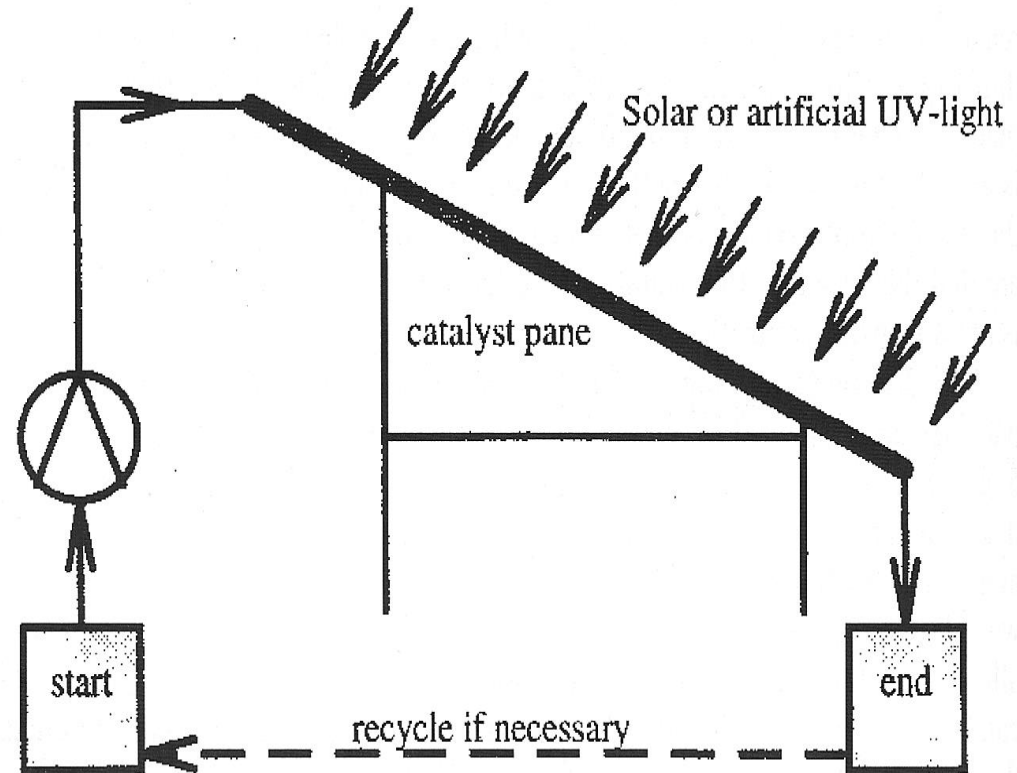


Fotocatálise



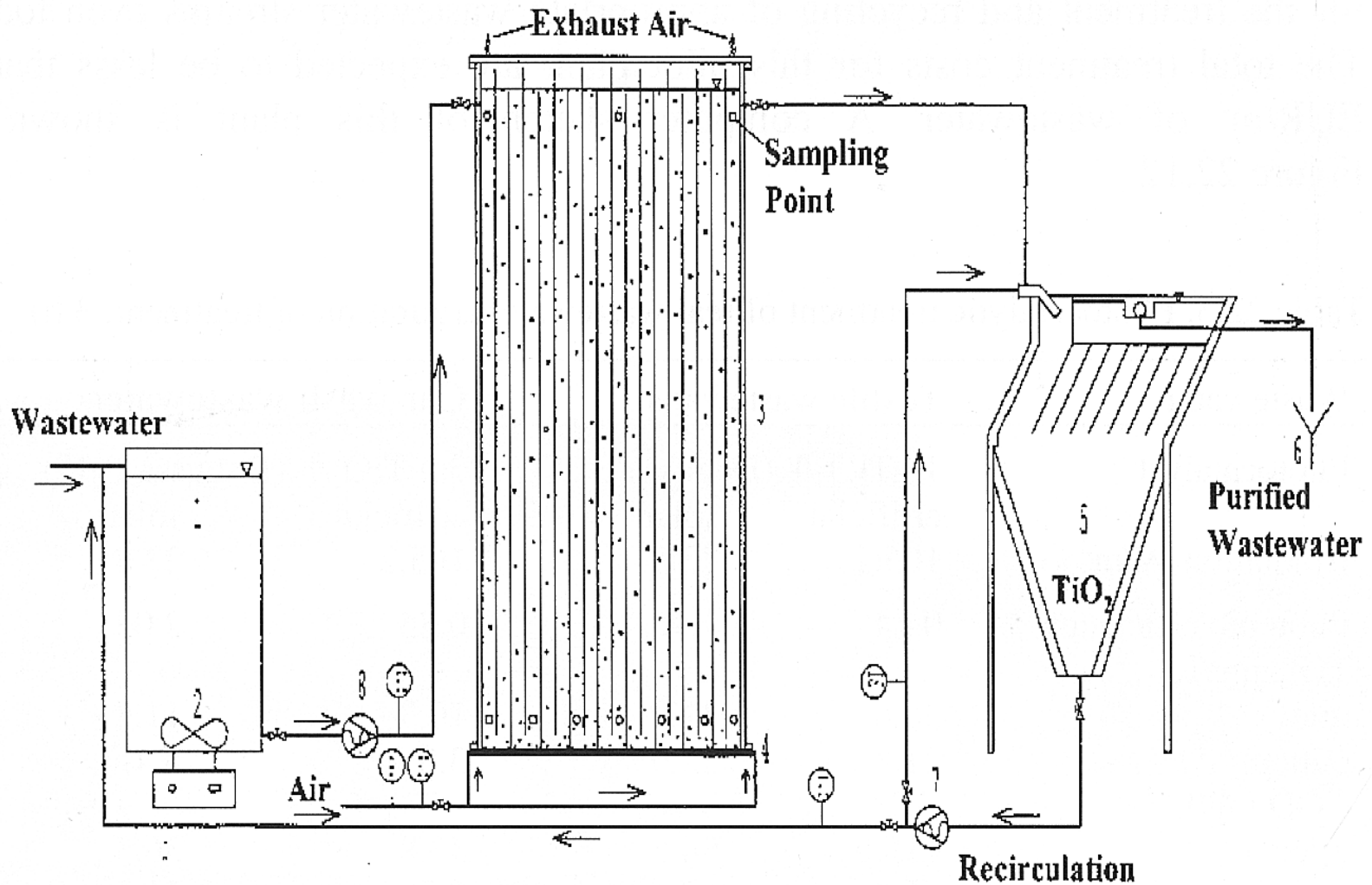
TiO₂ TFFBR. Size: 144 cm×52 cm×10 cm; solution flow rate: 750 ml min⁻¹; batch size: 5 l.

TFFBR (Thin Film Fixed Bed Reactor)



Fotocatálise

ACP (Aerated Cascaded Photoreactor)



Fotocatálise

Tratamento fotocatalítico de uma água residual

Wastewater	Textile wastewater		Car-wash wastewater	
Photocatalyst	1 gTiO ₂ /L (Degussa P 25)		3 g TiO ₂ /L (Degussa P 25)	
	artificial	solar	artificial	solar
Irradiation W/m ²	105.2	23.8	105.2	23.8
Photonic efficiency %	0.64	1.90	0.85	2.03
TOC mg/L				
inlet	36.6	31.9	10.3	11.2
outlet	21.8	22.9	3.0	5.4
COD mg/L				
inlet	115.9	94.8	33.8	36.3
outlet	66.4	69.4	6.7	21.2

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.4 Radiação por feixe de electrões

- A irradiação de soluções aquosas com electrões de elevada energia resulta na formação rápida de espécies excitadas e de radicais.
- Os radicais livres gerados, oxidam ou reduzem os compostos orgânicos ou inorgânicos presentes na água, resultando na formação de CO_2 , H_2O e de sais orgânicos como produtos finais

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.4 Radiação por feixe de electrões

- A maior parte das espécies transitórias formadas são os radicais oxidantes OH^* , os electrões redutores em solução aquosa $e^- (\text{aq})$ e o radical hidrogénio (H^*)
- A produção dos $e^- (\text{aq})$ e de radicais H^* , fortemente reactivos, distingue a radiação por feixes de electrões de outros processos de oxidação avançados.

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.5 Sonólise (radiação por ultra-sons)

- Consiste na introdução de energia com frequências na gama de 15 kHz a 1 MHz (radiação ultra sónica) em misturas de líquidos, induz uma cavitação electrohidráulica, que é um processo durante o qual as cavidades de gás pré-existentes no líquido oscilam de um modo periódico, devido ao campo criado por variações de pressão causadas pelas ondas de ultra sons.

Processos de Oxidação Avançados

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

2.5 Sonólise (radiação por ultra-sons)

As moléculas de H_2O sofrem dissociação térmica durante a fase de vapor, conduzindo à formação de radicais (OH^*) e de radicais de hidrogénio (H^*)

Devido aos efeitos secundários da produção de OH^* e de H^* , os substratos, tais como hidrocarbonetos clorados, pesticidas, fenóis, explosivos como o TNT, e ésteres são transformados em ácidos orgânicos de cadeia curta, CO_2 e iões inorgânicos como produtos finais

Conclusões

Os processos de oxidação avançada são os mais adequados para destruir solutos orgânicos tóxicos em soluções com baixo teor em sólidos suspensos e baixas concentrações de contaminantes orgânicos.

Os processos de oxidação avançados podem ser usados por si só como tratamento, como pós-tratamento, ou como pré-tratamento, ou, ainda, introduzidos como etapas dos processos convencionais de um sistema integrado de tratamento.