

II JORNADAS TÉCNICAS DA APRH  
ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E SANEAMENTO  
EM ZONAS COSTEIRAS TURÍSTICAS

DEPURAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS E SEU DESTINO FINAL. PARÂMETROS DE QUALIDADE  
SISTEMAS DE LAGUNAGEM NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS  
E INDUSTRIAIS EM ZONAS LITORAIS

J.F. SANTOS OLIVEIRA (1); M. JENNY DO NASCIMENTO (2); J.M. GOMES DE SOUSA (3)

(1)-Prof. Catedrático da FCT/UNL; (2)-Técnico Superior do CT/DGSB; (3)-Técnico Superior do CT/DGSB e Professor Auxiliar da ENSP, Lisboa, Portugal.

RESUMO

A utilização de sistemas de lagunagem no tratamento de efluentes diversos em zonas litorais é analisada enquanto metodologia de baixo custo energético e ecológicamente adaptada aquelas condições.

As condições climatológicas dessas regiões são analisadas e, recorrendo a modelos teóricos reconhecidos, algumas previsões sobre a eficiência do sistema são avançadas. Essas previsões incidindo sobre a remoção de matéria orgânica e de microorganismos patogênicos são comparados com os resultados experimentais obtidos em Frielas e em Portimão. A aplicabilidade às condições do litoral do País são discutidas, incluindo a localização dos sistemas, qualidade da água dos pontos de vistas de banho, conchicultura e irrigação e susceptibilidade dos ecossistemas afectados.

## 1. Introdução

Um objectivo claramente assumido pelos organizadores deste Simpósio é o da análise da situação actual das infraestruturas do Saneamento Básico na zona litoral. É óbvio que tal objectivo implica a comparação dos vários sistemas de tratamento possíveis de água de beber e de águas residuais no contexto ecológico e social das aquelas regiões. Mas pressupõe também necessariamente a análise das consequências, diríamos a juzante, englobando pois a qualidade das águas do mar e dos seus produtos, a qualidade dos serviços turísticos eventualmente prestados e o equilíbrio dos ecossistemas ribeirinhos, cuja sensibilidade é bem conhecida.

Começaríamos por recordar que as costas do território continental se estendam por 832 Km, ultrapassando-se os 1000 Km se a eles adicionarmos os litorais das ilhas dos arquipélagos dos Açores e da Madeira.

As infraestruturas existentes nessas regiões litorais, são como no conjunto do território, deficientes, quanto se pensa em termos de percentagem da população servida com ligações domiciliárias de abastecimento de água e com ligações domiciliárias de esgotos. Seria aliás necessário estabelecer um critério rigoroso de definição geográfica dessa área, o que não seria, aliás, isento de ambiguidade e/ou motivo de polémica, dada a heterogeneidade de algumas das áreas aí passíveis de inclusão e a definição de critérios de delimitação indiscutíveis.

Se numa análise primária classificássemos os distritos actuais em duas categorias, distritos litorais e distritos interiores, a vantagem dos primeiros seria clara na generalidade dos parâmetros indicadores possíveis. Obter-se-iam a partir de dados publicados em CUNHA et al. (1980) o conjunto de índices sumarizados no Quadro 1, onde a bem conhecidas assimetrias do desenvolvimento regional do País, assumem uma das formas possíveis. Outros dados a outra escala e com outra base regional poderiam obviamente levar a valores diferentes. A realidade básica porém, das desigualdades de infraestruturas disponíveis e da insuficiência destas, mesmo nas regiões mais favorecidas não seria basicamente alterada.

Ind. de cobertura de necessidades da pop.	Valores correspondentes a		
	Litoral (10 Dist.)	Interior (8 Dist.)	Portugal contin.
% População total (1979)	78,4	21,6	100,0
Densidade (hab/Km <sup>2</sup> )	244,7	42,2	110,4
% Pop. servida com lig. domiciliárias de abast. de água (OMS, 1975)	36,1	21,8	40,0
% Pop. servida com lig. domiciliárias de esgotos (OMS, 1975)	15,9	7,8	17,0
Consumo de água per capita (l/hab/dia, 1977)	64,3	38,1	71,0

QUADRO 1 - Alguns índices respeitantes à cobertura de necessidades das populações no sector do Saneamento Básico.

A problemática das zonas litorais pode ser ainda analisada de um ponto de vista complementar, a da sua potencialidade ou realidade nalguns casos já, como zonas turísticas. É óbvio que a qualidade de vida das populações que deverá

ser primeiramente tomada em conta, é a dos habitantes permanentes. Contudo se a região for efectivamente dotada de atributos ecológicos e paisagísticos, que constituam polos de desenvolvimento turístico, importa poder proporcionar aos turistas condições ao nível dos rendimentos suplementares que para a zona canalizam. Recusando a ênfatização exagerada da componente turismo, há que preservar continuamente as necessidades dos habitantes locais. E nesse caso deparamo-nos com a incapacidade que em geral os sistemas de Saneamento Básico existentes apresentam, em satisfazer a pontas sazonais significativas. O ideal será portanto recorrer a sistemas dotados de elasticidade, ou se quisermos, de capacidade de resistência e situações desse tipo. Esse poder amortecedor de pontas será por isso especificamente apreciado.

Nessa perspectiva global e integrada de defesa do património ecológico, importa não esquecer no caso dos sistemas de tratamento de águas residuais os aspectos ligados a odores inconvenientes ligados às ETAR's.

Ainda naquela perspectiva importa realçar a função do mar como receptor final de águas diversas, É aí que os erros tantas vezes têm sido cometidos. O mar tem à escala planetária uma capacidade receptora muito grande, sem qualquer dúvida. Mas ela é contudo limitada. A continuar-se a obra descontrolada de vazamento no mar de todos os resíduos a ruptura será acelerada. É mesmo que à escala planetária ela não pareça ainda iminente já o é nalguns locais do nosso e de outros litorais. Os ecossistemas litorais são de grande sensibilidade e as acções antrópicas pecaram e pecam muitas vezes, pela sua completa irracionalidade...

E o problema não é só de alterações visíveis do litoral, no que à sua qualidade de de respeito. Não basta querer evitar a formação de espumas e aparecimento de objectos flutuantes anómalos, de colorações ou outros.

Importa tomar em conta os aspectos de Saúde Pública ligadas ao uso das zonas litorais para lazer e turismo, nomeadamente a qualidade das águas para banho, para desportos náuticos, para navegação, para pesca ou para conchicultura, por exemplo.

Com a entrada de Portugal nas Comunidades Económicas Europeias o problema assumirá uma forma legislativa rigorosa com as várias directivas já publicadas, de que recordamos, especificamente a Directiva do Conselho de 8/12/1975 relativa à qualidade das águas de banho, a Directiva do Conselho de 30/10/1979 relativa à qualidade necessárias às águas conchícolas, a Directiva relativa à descarga de substâncias perigosas no ambiente aquático da Comunidade de 4/5/1976 e a da prevenção da poluição marinha de origem telúrica de 3/3/1975.

Recordaremos ainda as directivas publicadas pela CEE em 25/7/1977 e também pela OMS/PNUD relativas a descargas no Mediterrâneo e às restrições já adoptadas pelos Estados ribeirinhos daquele mar, sobre poluição de origem telúrica e industrial.

O que se fez já neste País respeitante à defesa da qualidade das nossas águas e dos produtos do mar? Pouco e em geral sob pressões de acidentes vários, tantas vezes vindas da parte de Países cujos nacionais foram de uma forma ou outra afectados. Como se os protestos dos habitantes permanentes fossem para esquecer, continuamos a agir sob pressão e sem elaborar ou executar um programa integrado e atempado de prevenção deste e doutros tipos de acidentes. Cabe aos autores e responsáveis aqui reunidos refletir sobre um aspecto que julgamos indiscutível: as medidas preventivas em política ambiental e sanitária, são as únicas efectivamente eficientes e as menos dispendiosas, a prazo.

## 2. A LAGUNAGEM COMO PROCESSO DE TRATAMENTO ADEQUADO A ZONAS LITORAIS

A lagunagem como tecnologia de baixo custo adaptada às condições ecológicas e de desenvolvimento actual no nosso País, foi já defendida por alguns autores incluindo autores desta comunicação (OLIVEIRA e GANHO (1981), R. SOUSA (1981), OLIVEIRA et al. (1982), G. SOUSA (1984), OLIVEIRA e G. SOUSA (1985), entre outros autores).

### 2.1. Influência de factores climáticos no dimensionamento e no funcionamento de lagoas de estabilização

Ao considerarmos prioritariamente as zonas litorais, algumas considerações específicas devem ser avançadas a nível global. Assim teremos que, do ponto de vista climático, devem ser considerados atentamente a radiação solar e a amplitude térmica.

#### I. Radiação Solar

Do ponto de vista da radiação solar disponível as condições são favoráveis, a exemplo do que se verifica na generalidade do território, assumindo valores abaixo indicados.

No Quadro 2 resumem-se alguns dados disponíveis do valor da radiação solar expressa em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{ano}$ .

Estação	RADIAÇÃO GLOBAL	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO
V. Praia de Âncora	135 475	1941 - 54
V. Castelo	138 845	1941 - 68
	146 504	
Porto/SG	140 054	1931 - 60
	145 325	1941 - 70
Aveiro	138 154	1931 - 60
Figueira da Foz	140 746	1931 - 60
Buarcos	139 363	
M. Grande	135 821	1931 - 60
C. Rainha	139 277	1931 - 60
C. Carvoeiro	138 499	1941 - 70
Sintra/G	146 880	
Cabo da Roca	136 339	1941 - 65
	158 856	
Lisboa/T	150 422	1931 - 60
	155 174	1941 - 70
Estoril	150 165	
M. Estoril	158 630	1931 - 60
Montijo	152 237	
Setubal	150 768	1941 - 70
Tavira	163 814	1941 - 63
	162 086	1941 - 70
Faro	170 260	
Praia da Rocha	161 741	1941 - 70
Sagres	153 965	1941 - 70

QUADRO 2 - Valores da radiação solar global expressos em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{ano}$ .

A título exemplificativo apresentam-se no Quadro 3 os valores obtidos pela aplicação a dados climatológicos disponíveis, dos critérios dimensionais de Oswald e Gotaas para lagoas aeróbias (1957). Admitiram-se as seguintes hipóteses:

- a) O efluente a tratar é doméstico típico, considerando-se que a carga poluente por habitante será de 54 g de CBO<sub>5</sub>/dia e o volume de água residual produzida de 150 litros/hab/dia. Resulta daí que a carga poluente será de 360 mg/litro, valor esse considerado no cálculo do parâmetro F1 de Oswald e Gotaas;
- b) Utilizaram-se os dados climatológicos constantes do Quadro 2, obtidos da publicação do SMN (1970) e do Min. da Agricultura (1967);
- c) Calculado o valor de F determinou-se a carga superficial máxima admissível (Lo), de acordo com a expressão:

$$Lo = 0,197 F.S \quad (1)$$

- d) Área necessária para o tratamento do esgoto produzido por 1000 pessoas, de acordo com a expressão proposta por aqueles autores:

$$A = \frac{C_T L_i QH}{10^7 p E n} \quad (2)$$

Estação	% de ilumin. diurna	Média do mês mais frio	F	S cal.cm <sup>-2</sup> . dia	Lo Kj.hab <sup>-1</sup> . dia	A m <sup>2</sup> /1000 hab. dia
V.Praia de Âncora	52	10,1	2,24	371	164	4807
Viana do Castelo	54	8,7	1,55	380	116	8421
Porto	54	9,0	1,59	394	124	7575
Aveiro	57	9,9	2,08	379	155	5203
Figueira da Foz	59	10,1	2,16	386	165	4792
Caldas da Rainha	55	10,3	2,29	382	172	4487
Cabo Carvoeiro	55	11,4	2,80	379	209	3334
Cabo da Roca	54	11,2	2,72	374	200	3547
Lisboa	68	10,8	2,41	424	201	3669
Monte Estoril	69	11,8	2,84	435	244	2750
Praia da Rocha	70	11,6	2,75	443	240	2846
Faro	71	12,2	2,97	455	266	2410
Tavira	69	11,2	2,58	449	228	3115

QUADRO 3 - Estimativas da eficiência fotosintética (F), da carga máxima admissível em aerobiose (Lo) e da área necessária para tratar o esgoto de 1000 habitantes, de acordo com os critérios de Oswald e Gotaas

sendo:

- A = área em m<sup>2</sup>;
- C<sub>T</sub> = Coef. de temperatura determinado experimentalmente para *Chlorella* spp. ( );
- L<sub>i</sub> = CBO do efluente, mg O<sub>2</sub>/litro;
- Q = Caudal em m<sup>3</sup>/dia;
- H = Calor de combustão das algas, por hipótese igual a 6x10<sup>6</sup> cal/Kg;
- p = Oxigênio produzido pelas algas, igual a 1,64 Kg/
- E = Radiação solar incidente em cal/cm<sup>2</sup>.dia
- n = Eficiência na utilização da energia, para a qual foi adoptado o factor
- $$F = \frac{F1 + F2}{2} F3, \text{ de acordo com o Quadro 3.}$$

Concluiu-se assim que a energia radiante disponível nas zonas litorais é ele-

vada, possibilitando intensa actividade fotosintética e possibilitando a remoção de poluentes nas condições aeróbias assim garantidas.

## II. Amplitude Térmica

Um outro aspecto diz respeito à amplitude térmica anual verificada e, portanto, à discrepância térmica verificada entre as condições mais desfavoráveis desse ponto de vista (Inverno, Janeiro em regra) e as mais favoráveis, correspondentes ao pico do Verão (Julho em regra). Esses dois valores delimitam a capacidade depurativa do sistema, desde as condições mais desfavoráveis até às mais favoráveis. Quanto mais rigoroso for o mínimo Invernal maiores serão as dimensões do projecto. Porém quanto mais baixas forem as condições estivais mais baixos serão os limites de adaptação do sistema a sobrecargas eventuais.

Esta característica moderadora das amplitudes térmicas nos climas marítimos tem sido quantificada de várias maneiras pelos vários climatologistas e ecologistas que sobre o tema se têm debruçado.

Seguindo as propostas de Emberger, ALBUQUERQUE (1954) na sua notável Carta Ecológica de Portugal, classificou as várias regiões do nosso País, recorrendo ao Coeficiente pluviotérmico que aquele autor propusera anteriormente. Esse coeficiente tem a expressão seguinte:

$$K_{pT} = \frac{100 P}{(M+m) - (M-m)} \quad (3)$$

sendo:

- M - média das temp. máximas do mês mais quente ( $^{\circ}\text{C}$ );
- m - média das temp. mínimas do mês mais frio ( $^{\circ}\text{C}$ , e
- P - precipitação total (mm).

No Quadro 4 torna-se evidente que nas zonas marítimas do País haverá que considerar as zonas com dominância do polo atlântico e aquelas em que predomina o polo mediterrânico. Tradicionalmente a lagunagem tem-se desenvolvido mais nos climas quentes, de que os mediterrânicos são um exemplo entre outros. A componente da radiação solar abundante é aí dominante, em termos de explicar a actividade fotossintética intensa, e portanto a remoção de carga poluente que se processa a ritmo acelerado. Contudo nas zonas litorais do nosso País, a componente térmica é importante em termos de cinética da remoção de poluentes e a insolação é ainda suficiente para garantir o êxito do processo. E assim vamos encontrar noutras zonas litorais da Europa intensa proliferação de lagoas de estabilização, como sucede por exemplo na Bretanha onde mais de 600 estações de tratamento deste tipo se encontram em funcionamento. Procuramos por isso quantificar a cinética de remoção dos poluentes tomando em conta os dados climáticos respeitantes à evolução das temperaturas ao longo do ano.

Recorrendo a teoria desenvolvida por Marais (1964), determinaram-se, para um certo número de condições de projecto, a área de uma lagoa facultativa correspondente às condições inverniais (temp. média do mês mais frio) e às condições inverniais (temp. média do mês mais quente). A relação entre aquelas definiria a capacidade de resistência do sistema "a sobrecargas estivais".

Partiram-se das mesmas hipóteses admitidas em I., no que se refere às capacidades de poluição e de volumes de água residual produzidos, pelo que a sua qualidade seria desse ponto de vista idêntida. Tal como no caso anterior recorreram-se a dados climatológicos publicados pelo INMG e em publicações do Min. da Agricultura. Admitiu-se que a profundidade da lagoa seria de 1,5 m. Recorrendo à equação de Marais calculou-se o valor de K nas condições climáticas definidas. Determinou-se depois a população que seria servida por 1 hectare de lagoa. Os resulta

dos resumem-se no Quadro 4, de onde se destacam os valores da Capacidade de resistência e sobrecargas estivais (F).

Estação	K <sub>pT</sub>	Mês mais frio		Mês mais quente		F
		K	Hab./ha	K	Hab./ha	
Vila Praia de Âncora	235	0,157	3148	0,323	6453	2,05
Viana do Castelo	365	0,140	2808	0,320	6401	2,28
Porto/Serra do Pilar	191	0,144	2780	0,347	6945	2,50
Aveiro/Barra	208	0,155	3097	0,310	6196	2,00
Dunas de Mira	181	0,154	3072	0,328	6560	2,14
Figueira da Foz	130	0,157	3148	0,331	6613	2,10
Caldas da Rainha	116	0,160	3200	0,344	6889	2,15
Cabo Carvoeiro	153	0,175	3500	0,312	6246	1,78
Cabo da Roca	127	0,172	3443	0,323	6453	1,87
Lisboa	100	0,167	3333	0,433	8656	2,60
Lisboa/Ajuda	86	0,172	3443	0,451	9017	2,62
Monte Estoril	106	0,181	3616	0,406	8110	2,24
Cabo de S. Vicente	56	0,193	3860	0,331	6613	1,71
Praia da Rocha	59	0,178	3558	0,451	9017	2,53
Faro	63	0,187	3736	0,489	9783	2,62
Tavira	64	0,172	3443	0,489	9783	2,59
Vila Real de St. António	55	0,161	3226	0,466	9316	2,89
Ponta Delgada	176	0,220	4398	0,416	8310	1,89
Angra do Heroísmo	234	0,215	4292	0,416	8310	1,94
Horta	188	0,222	4434	0,444	8871	2,00
St. Cruz das Flores	267	0,224	4471	0,458	9165	2,05
Funchal	117	0,251	5011	0,419	8379	1,67

QUADRO 4 - Valores de K dos meses mais frio e mais quente respectivamente, número de habitantes servidos por 1 hectare de lagoa facultativa, capacidade de resistência do sistema a cargas estivais e coeficiente pluviotérmico de Emberger, para algumas estações litorais.

Este índice permite quantificar uma característica favorável da lagunagem em zonas de variação de densidade populacional marcada de que as zonas litorais são o exemplo neste momento em causa.

E, no sentido de averiguar da aplicabilidade da teoria de Marais às nossas condições compararam-se os valores de K obtidos nas instalações experimentais da DGSB em Frielas, com os valores previstos por aquele autor.

## 2.2. Remoção da matéria orgânica em Lagoas de Estabilização

Admitindo, como é corrente que a degradação da matéria orgânica obedece a uma cinética de 1.<sup>a</sup> ordem, que o regime hidráulico é de mistura completa, e recordando que uma lagoa de estabilização, como qualquer outro tratamento biológico, é um processo de caudal ou de fluxo contínuo, o modelo cinético da remoção da matéria orgânica, expressa em termos de carência bioquímica de oxigénio - CBO - é dado pela expressão seguinte:

$$L_e = \frac{L_a}{1 + K_T t_r} \quad (4)$$

em que:

- $L_e$  =  $CBO_5(20)$  da água residual efluente da lagoa (mg/l);  
 $L_a$  =  $CBO_5(20)$  da água residual afluenta à lagoa (mg/l);  
 $K_T^a$  = constante de velocidade da reação de degradação à temperatura T (em °C), isto é, a velocidade específica na taxa de remoção da  $CBO_5(20)$  da lagoa à temperatura T ( $dia^{-1}$ ), e  
 $t_r$  = tempo de retenção hidráulica na lagoa (dia).

A velocidade específica de remoção da matéria orgânica,  $K_m$ , é uma medida aproximada da actividade dos microorganismos depuradores (em especial as bactérias) e, à semelhança da quase totalidade dos parâmetros que descrevem o processo de crescimento bacteriano, o seu valor depende fortemente da temperatura, sendo a sua variação com a temperatura, normalmente, descrita por uma equação, derivada da equação de von't Hoff-Arrhenius, do tipo:

$$K_{T1} = K_{T2}^{\Theta} (T1-T2) \quad (5)$$

em que:

- $K_{T1}$  = valor de K à temperatura  $T_1$ , expressa em °C, e  
 $\Theta$  = constante de Arrhenius ou coeficiente de temperatura

Embora o parâmetro  $\Theta$  seja conhecido por constante de Arrhenius, o seu valor, que depende da temperatura, varia entre 1,01 e 1,09, em termos gerais, variando entre 1,05 e 1,09 para o caso das lagoas de estabilização. Isto é, o parâmetro  $\Theta$  é, ele próprio, uma função da temperatura, diminuindo com o aumento da temperatura, embora se possa considerar aproximadamente constante para intervalos de temperatura de 10 a 15°C de amplitude.

De acordo com Gloyna (1972), a velocidade específica de degradação,  $K_{T1}$ , encontra-se relacionada com a temperatura pela expressão:

$$K_T = K_{35}^{\Theta} (T-35) \quad (6)$$

em que:

- $K_{35}$  = constante específica de degradação a 35°C ( $dia^{-1}$ ) e  
 $T_{35}$  = temperatura da água na lagoa (°C) e

Com base em dados recolhidos por SUWANNAKAVN e GLOYNA (1964), para uma série de lagoas, à escala laboratorial, em que se processava o tratamento, a diferentes temperaturas, de águas residuais sintéticas não decantáveis, Marais (1966) propôs os valores de 1,20  $dia^{-1}$  para  $K_{35}$  e de 1,085 para  $\Theta$ .

Por seu turno Mara (1975) propõe, com base no funcionamento de lagoas na zona tropical, a seguinte expressão  $K_T$ :

$$K_T = K_{20}^{\Theta} (T-20) \quad (7)$$

em que  $K_{20}$ , igual a 0,30  $dia^{-1}$ , é a velocidade específica de remoção da matéria orgânica a 20°C, propondo para  $\Theta$  o valor 1,05.

De acordo com os valores propostos por Marais (1966), o valor de  $K_{20}$ , determinado a partir da equação (6), é de 0,353  $dia^{-1}$ .

A partir dos resultados de um ano de funcionamento, que brevemente serão tornados públicos, da instalação experimental de lagoas de estabilização de Frielas

projectada, construída e explorada pela Direcção-Geral de Saneamento Básico, através do seu Centro Tecnológico, foram calculados os valores da constante K, para as diversas temperaturas verificadas, a partir da equação seguinte, a qual foi obtida da equação (4):

$$K_T = \frac{L_a - L_e}{L_e \cdot Tr} \quad (8)$$

Apesar de certas aproximações que se tiveram de admitir (valores de 0, propostos por Marais e Mara, bastante diferentes, e de não se saber, ainda exactamente qual(is) o(s) valor(es) de  $\theta$  que deve(m) ser adoptado(s) para as condições nacionais; da diferença existente no valor de  $K_{20}$  consoante se segue Marais ou Mara e de os tempos de retenção hidráulica utilizados ( $t_r$ ) serem as teóricas) converte-ram-se os valores de  $K_T$  atrás indicados nos correspondentes valores de  $K_{20}$ , apresentando-se no Quadro 5 os valores de algumas funções estatísticas daquele parâmetro para alguns dos diferentes tipos de lagoas (anaeróbias, facultativa e de maturação) que existem na instalação experimental. É, ainda, importante recordar que o modelo cinético de degradação de que se partiu é, tradicionalmente, aplicado unicamente a lagoas facultativas, baseando-se os dimensionamentos das lagoas de outros tipos em pressupostos diferentes.

Os resultados obtidos na instalação experimental de Frielas mostram que:

- Os valores propostos por Marais ou por Mara não parecem ser aplicáveis às condições portuguesas, mesmo para lagoas facultativas;
- a velocidade de degradação da matéria orgânica é maior nas lagoas anaeróbias do que nas facultativas e nestas superior à que se processa nas de maturação, como seria de esperar;
- não parece ter significado a análise do problema independentemente do tipo de lagoa em causa devendo, pelo contrário, o estudo ser orientado, considerando isoladamente cada tipo de lagoa de estabilização de utilização mais comum em Portugal, e
- são altamente promissores, pelo menos comparativamente, os resultados obtidos para as lagoas anaeróbias, merecendo, como aliás os restantes tipos de lagoas, o desenvolvimento mais aprofundado deste tipo de estudos.

Estudos esses que, aliás, se encontram em desenvolvimento na instalação experimental de Frielas da DGSB, esperando-se que as conclusões que deles se venham a retirar contribuam decisivamente para um melhor conhecimento científico do processo de degradação da matéria orgânica em lagoas de estabilização, permitindo a fixação de critérios de projecto adequados às condições nacionais, com as inerentes, e de modo algum dispiciendos, vantagens de vária ordem (tecnológica, económica, social, etc.).

Para efeitos de projecto de lagoas facultativas, as únicas para os quais de momento a questão se coloca, e enquanto se não dispõe dos valores de  $K_2$  e de  $\theta$  mais adequados, parece ser de previligiar o emprego dos valores propostos por Mara (1976), ao utilizar a equação de von't Hoff-Arrhenius.

### 2.3. Remoção de Microorganismos em Lagoas de Estabilização

Independentemente dos aspectos dimensionais e uma vez que na zona litoral em causa sejam identificadas as áreas de solos de má qualidade susceptíveis de serem ocupadas pelo sistema de lagunagem, importa ainda analisar o problema da remoção de patógenos que nas zonas litorais assumam especial relevância do ponto de vista da qualidade da água de banho e da qualidade dos produtos do mar, de que destacaremos a conchicultura, dada a sua especial exigência.

A cinética de remoção de patógenos é comumente admitido seguir a lei de Chick,

$$\frac{N^t}{N^o} = e^{-K_b t_r} \quad (9)$$

TIPO DA LAGOA Função estatística de K <sub>20</sub>	ANAEROBIA	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	INDIFERENCIADO
$\eta$ (numero de valores experimentais)	29	31	32	92
$\bar{K}_{20}$ (dia <sup>-1</sup> ) (média aritmética)	1,278	0,204	0,136	0,519
$\bar{K}_{20m}$ (dia <sup>-1</sup> ) (valor mínimo)	0,324	0,0023	0,0066	0,0023
$K_{20m}$ (dia <sup>-1</sup> ) (valor máximo)	3,327	0,496	0,680	3,327
$\sigma_{K20}$ (desvio-padrão)	0,712	0,144	0,164	0,664
CV K <sub>20</sub> (%) (coeficiente de variação)	55,7	70,6	120,6	127,9
$\sigma^2_{K20}$ (variancia)	0,507	0,021	0,027	0,441

QUADRO 5 - Valores de algumas funções estatísticas de K<sub>20</sub> obtidas na instalação experimental da lagoas de estabilização da Direcção-Geral de Saneamento Básico, em Frielas

Determinar a dimensão da população bacteriana é geralmente possível, com um rigor aceitável. O primeiro grande problema que se levanta é o de definir quais os microrganismos a determinar, atendendo às condições existentes, tempo e recursos disponíveis, etc. O recurso aos coliformes fecais como indicadores conhece, do ponto de vista científico uma discussão crescente, sem que tenha sido possível encontrar consenso sobre outra solução alternativa. Aliás a legislação da CEE e as normas da OMS a eles recorrem por isso mesmo. Os dados disponíveis para Frielas e Portimão são também fundamentalmente referentes aos coliformes fecais. O problema que se põe, admitindo o seu significado epidemiológico e a validade da própria Lei de Chick, é pois o de saber qual o valor de K<sub>b</sub> a adoptar. Em primeiro lugar verifica-se que a cinética de remoção se processa com valores de K<sub>b</sub> diferentes de acordo com a temperatura a que o processo decorre e com o tipo de lagoa considerado.

A influência da temperatura levou Marais a propor para lagoas de estabilização em condições aeróbias, que se adoptasse, para os coliformes fecais, o valor de K<sub>b</sub> = 2,6 à temperatura de 20°C e que a conversão do valor da constante para outras temperaturas fosse feita recorrendo à lei de von't Hoff-Arrhenius atrás citada:

$$K_{bT} = K_{b20} \theta_b^{(T-20)} \quad (10)$$

O valor de  $\theta$ , proposto inicialmente foi 1,19, embora posteriormente outros autores tivessem indicado outros.

A utilização destas formulações a outros tipos de lagoas é desde logo discutível e aparentemente incorrecto. Aliás Marais tinha desde logo proposto um carácter específico para o valor de  $K_{b20}$  indicando por exemplo que os valores a usar no cálculo da redução de Salmonella ou de Streptococcus faecalis seriam diferentes das propostas para os coliformes fecais.

A dependência das condições ecológicas do local é obviamente importante. Sauze e Ringelet (1978) propuzeram por isso uma expressão que toma em conta a radiação solar recebida

$$K_b = e^{(1,18 \times 10^{-15} \times E^6 + 0,504)} \quad (11)$$

sendo E a energia solar em cal. cm<sup>-2</sup>.dia

Outros autores franceses concluem que os valores de Marais se aplicam "relativamente bem" às condições desse País, como por exemplo Demillac (1984).

Simplemente os dados de que dispomos para Frielas e Portimão mostram bem que:

- a) Não parecem aplicáveis às nossas condições os valores de Marais
- b) Claramente o problema terá de ser analisado considerando separadamente cada um dos tipos de lagoas utilizados em Portugal
- c) A redução de patogénicos nas lagoas anaeróbias, embora menos rápida que nas lagoas facultativas e de maturação verifica-se também e com efeitos significativos em média.

Dadas as condições reais do meio ambiente português este ponto afigura-se-nos de extrema importância pelas consequências que terá a nível de projecto e de qualidade do efluente.

Nas zonas litorais o interesse é ainda maior assim se poderá dizer, pelas consequências a nível da qualidade da água para banho, da qualidade da água para conchicultura e da qualidade da água para irrigação.

Recordem-se com efeito os parametros microbiológicos a impor para esses fins

#### A) Águas de banho

Coliformes totais/100 ml	G = 500	I = 10000
Coliformes fecais/100 ml	G = 100	I = 2000
<u>Streptococcus fecalis</u> /100 ml	G = 100	
<u>Salmonellas</u> /Litro		I = 0

#### B) Águas para conchicultura

##### 1) Directivas da CEE

Coliformes fecais/100 ml G ≤ 300 na carne e no líquido intervalvular

##### 2) Padrão do Plano de acção da OMS/PNUD no Mediterraneo

Coliformes fecais/100 ml < 10 (80% amostras)  
< 100 (restantes amostras)

##### 3) Padrões USA

Coliformes fecais/100 ml = 1  
Areas de cultura aprovadas < 70  
Areas vedadas à cultura > 700

G e I são, respectivamente, os valores ou níveis guia e os valores imperativos adoptados pela terminologia da CEE, correspondem, no essencial às antigas designações de concentrações máximas aceitável e admissível, respectivamente, utilizadas pela OMS e, porventura, mais familiares.

- C) Águas para rega  
 Utilização restrita < 1000 CF/100 ml  
 Utilização irrestrita < 100 CF/100 ml

Tipos de lagoas	n	Média	Desvio padrão	C.V. %	Val. extremos	
					mínimo	máximo
Indiferenciadas (Frielas)	85	33,06	118,30	357,9	0,002	11001,8
Anaeróbias (F)	28	3,51	3,48	99,0	0,22	18,3
Facultativas (F)	29	63,32	193,56	305,7	0,08	1001,8
Maturação (F)	28	31,26	52,74	168,7	0,002	233,5
Indiferenciadas (Portimão)	22	69,12	92,39	133,7	0,04	330,7
Facultativas (P)	16	86,43	101,62	117,6	0,83	330,7
Maturação (P)	6	23,93	36,21	151,3	0,04	88,72

QUADRO 6 - Valores de  $K_b$  referidos a 20°C, obtidos pela aplicação da Lei de Chick aos dados experimentais disponíveis

Sendo a lagunagem, num certo sentido, uma técnica de redução da poluição microbiológica por excelência, sem recurso a agentes biocidas, de efeitos tantas vezes incontrolados e com consequências muitas vezes imprevisíveis a prazo, importaria pois dispor de valores de  $K_b$  seguros para efeitos de projecto. De qualquer modo 2,6 é um valor certamente seguro, pecando apenas a nosso ver por ser excessivamente cauteloso.

### 3. IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE LAGUNAGEM EM ZONAS LITORAIS E CONCLUSÕES FINAIS

Se do ponto de vista climático e da defesa e preservação da qualidade do Ambiente a solução lagunagem parece tecnicamente viável nas zonas litorais, importa agora refletir para finalizar num outro tipo de viabilidade, a economia. Claro que não importa repetir o que já é de todos sabido no referente a baixos custos de implantação e de manutenção. Não importa sequer realçar o reduzido nível de especialização profissional a exigir aos seus operadores (para além de uma compreensão da responsabilidade da sua tarefa e das possibilidades do sistema). Refirimo-nos ao problema da localização do sistema de tratamento e à superfície envolvida. Como é óbvio nas zonas litorais muitas vezes os terrenos são caros. Mas é também verdade que os sistemas de lagunagem, para além das exigências a impor na permeabilidade, natural ou induzida, dos terrenos, poucos são. O relevo não é em regra problema de montá nas zonas litorais, ou põe-se em relação a quaisquer outras soluções possíveis. O que falta em regra é a existência de um plano de ordenamento das zonas litorais mais ainda quando são também zonas de turismo. As ocupações desordenadas, e tantas vezes selvagens das áreas litorais, mesmo das sujeitas ao regime marítimo, impedem neste como em tantos outros aspectos, uma utilização integrada, racional e sustentada, dos ecossistemas litorais, de tão grande sensibilidade ecológica.

Um projecto com base científica e técnica adequada, garante uma inoquidade do sistema em relação à sua envolvente habitacional. Um ordenamento adequado e atempado, permitirá utilizar áreas com outro valor económico. E se for necessário incluir no custo da instalação uma verba mesmo que significativa para o terreno, haverá que estabelecer uma contabilidade de benefícios e de custos que leve em conta estes, mas sem esquecer a defesa do meio ambiente, da qualidade das águas do mar e dos produtos e de todas as amenidades envolvidas. E nesse caso a lagunagem, numa qualquer das suas variantes (a adequada para o caso concreto em causa) terá sem duvida razões para ser considerada.

## B I B L I O G R A F I A

- ALBUQUERQUE, J.P. Manique - Carta Ecológica de Portugal. Lisboa, DGSA, Ministério da Economia, 1954
- COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE - Décision du Conseil du 3 Mars 1975, portant conclusions de la convention pour la prévention de la pollution marine d'origine tellurique - Décision 75/437/CEE. Jour. Offic. des Communautés Européennes. 25 Juillet 1975
- COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE - Directive du Conseil du 4 Mai 1976. Concernant la pollution causée par certains substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté - Directive 76/464/CEE. Jour. Offic. des Communautés Européennes, 18 Mai 1976
- COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE - Directive du Conseil, du 8 Décembre 1975, concernant la qualité des eaux de baigne - Directive 76/160/CEE. Jour. Offic. des Communautés Européennes, 5 Février 1976.
- COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE - Décision du Conseil, du 25 Juillet 1977, portant conclusions de la convention pour la protection de la mer méditerranée contre la pollution ainsi que du protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs. Jour. Offic. des Communautés Européennes, 19 Septembre 1977.
- COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE - Directive du Conseil du 30 Octobre 1979, relative à la qualité requise des eaux conchylicoles - Directive 79/923/CEE. Jour. Offic. des Communautés Européennes, 10 Novembre 1979.
- CUNHA, L. Veiga; et al - A gestão da Água. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.
- DEMILLIAC, P. - Degradation de la Matière Organique en Bassins de Lagunage Naturel. Possibilités d'Utilisation du Procédé pour la réduction des Concentrations en Bactéries et en Virus. Rennes, ENSP, 1984.
- GLOYNA, E.F. - Bassins de Stabilisation des Eaux Usées. Genève, Organisation Mondiale de la Santé, 1972.
- GOMES DE SOUSA, J.M. - Tratamento de Águas Residuais por Lagoas de Estabilização - Instalação Experimental em Frielas. Lisboa, I Simposio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1984.
- MARA, D.D. - Sewage Treatment in Hot Climates. New York, Wiley - Interscience, 1976.
- MARAIS, G.R. - Faecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds Journ. Env. Eng. Division, EEL, 119 - 139 - 139, 1974.
- MARAIS, G.R. - New Factors in the Design, Operation and Performance of Waste-stabilization Ponds. Bull. WHO, 34, 737-763, 1966.
- OLIVEIRA, J.S.; GOMES DE SOUSA, J.M. - Lagunage au Portugal. Wastes Quat. Bull. 1986 (Em publicação)
- OLIVEIRA, J.S.; GANHO, R.M.B. - Procédes de Traitement à Consommation Énergétique Économique pour l'Assainissement de Base, Lisboa, 61<sup>ème</sup> Congrès de l'AGHTM, 1981.
- OLIVEIRA, J.S.; et al - Saneamento Básico em Meio Rural - Lagunagem. Lisboa. 19 Congresso Nac. das Ind. Agro-Alimentares. 1982.
- OSWALD, W.J.; GOTTAAS, H.B. - Photosynthesis in Sewage Treatment. Transc. ASCE, 122 73 - 105, New York, 1957.

- RIBEIRO DE SOUSA, E.A. - Aplicação da Lagunagem ao tratamento de Águas residuais Comunitárias. Lisboa, LNEC, 1981.
- ROCHA, M.S. - A Radiação Solar Global em Portugal Continental. Lisboa, INMG, 1982.
- ROCHA, M.S. - Potencialidades Climáticas da Região de Entre Douro e Minho. Lisboa, Documentos e Estudos nº7, Junta de Col. Interna, 1967.
- SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL - O Clima de Portugal. Fascículo XIII. 2.<sup>a</sup> ed., Lisboa, O serviço, 1970.
- SILVA, S. A. ; MARA, D.D. - Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização. Rio de Janeiro, ABES, 1979.