

Os Protozoários como Indicadores da Qualidade Biológica das Lamas Activadas

Ana Nicolau¹, Nelson Lima^{1,2}, Manuel Mota¹ e Paolo Madoni³

¹Centro de Engenharia Biológica

²Departamento de Ciências Integradas e Língua Materna
Universidade do Minho
4709 Braga Codex - Portugal

³Dipartimento di Scienze Ambientali
Università degli Studi di Parma
Parma - Itália

1. Considerações Gerais

As estações de tratamento biológico de águas residuais podem ser consideradas como ecossistemas criados pelo Homem, e onde as condições a que os organismos estão sujeitos são extremas. A componente biótica que se desenvolve no tanque de arejamento é, essencialmente, representada pelos decompositores (bactérias e fungos que obtêm energia directamente da matéria orgânica dissolvida) e pelos consumidores (flagelados heterotróficos, ciliados, rizopódios e pequenos metazoários que se alimentam de bactérias e outros organismos). A componente abiótica é representada pela estrutura do tanque.

A importância e o papel da microfauna nos processos de purificação das águas é bem conhecido desde há vários anos (Curds, 1975; Curds & Cockburn, 1970a, b; Curds *et al.*, 1968); estudos realizados nos últimos anos demonstraram, inclusivamente, que a estrutura da comunidade que se desenvolve no tanque de arejamento é um valioso instrumento de diagnóstico e avaliação do desempenho da estação de tratamento (Esteban *et al.*, 1990; Madoni, 1994a, b).

No tanque de arejamento das estações de tratamento por lamas activadas, estabelece-se uma verdadeira rede trófica (Figura 1).

Através da predação da maior parte das bactérias dispersas na fracção líquida, e ainda de parte dos seus agregados, os protozoários melhoram a qualidade da água. De facto, na ausência de protozoários, e sobretudo de protozoários ciliados, os efluentes são caracterizados por elevadas CBO's e grande turbidez.

Os protozoários, e particularmente os ciliados, são muito numerosos em todos os tipos de tratamento aeróbico das águas, alcançando densidades da ordem das 10.000 células por ml no tanque de arejamento e representando cerca de 9% da biomassa em suspensão (Madoni, 1994c). Foram identificadas cerca de 230 espécies de protozoários em estações de

tratamento biológico de águas residuais, das quais 33 de flagelados, 25 de rizopódios, 6 de actinopódios e 160 de ciliados, mas só um número restrito destas espécies ocorre com frequência (Madoni, 1994b).

A maior parte dos ciliados presentes nestas estações alimenta-se de bactérias, mas uma pequena parte preda sobre outros ciliados ou flagelados. No que diz respeito aos ciliados bacteriófagos das lamas activadas, eles são de três tipos, de acordo com o seu comportamento): (1) nadadores ou "free-swimmers", nadando na fracção líquida e permanecendo em suspensão no tanque de sedimentação, (2) móveis de fundo ou "crawlers", habitando a superfície dos flocos; (3) sésseis ou "attached", que estão fixos por um pedúnculo aos flocos, precipitando no tanque de sedimentação.

Os processos de tratamento por lamas activadas baseiam-se na formação de agregados bacterianos aos quais outros organismos se associam. Assim, uma população de organismos com a capacidade de se associar aos flocos têm uma grande vantagem sobre outros que nadem na

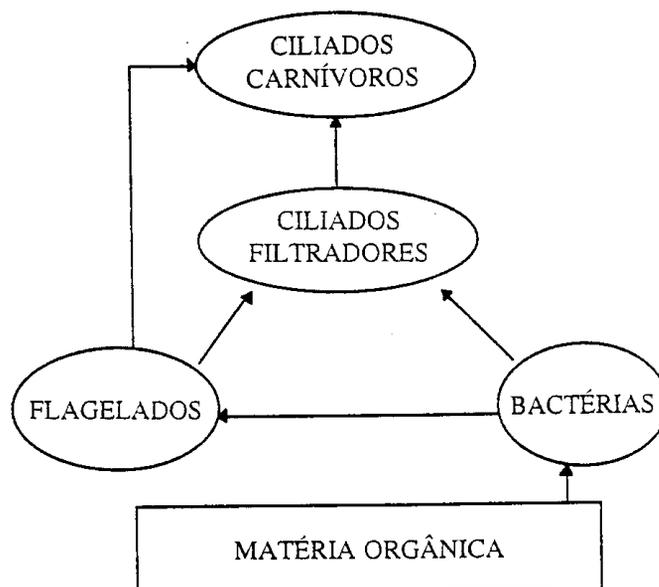


Figura 1. Rede trófica nas lamas activadas.

fracção líquida e que estão, além disso, sujeitos a serem expulsos do sistema através do efluente que drena água continuamente para o exterior. Por outro lado, nadadores e sésseis competem pelo alimento, constituído pelas bactérias dispersas na fracção líquida; os designados móveis de fundo, tendo uma boca ventral com que raspam as bactérias aderentes à superfície dos flocos, ocupam um nicho ecológico exclusivo, com todas as vantagens que daí advêm.

As relações de competição e predação criam oscilações e sucessões das populações no sentido de se alcançar uma estabilidade dinâmica (Figura 2). Podem distinguir-se três fases distintas que se sucedem ao início do funcionamento duma estação, nomeadamente no que diz respeito ao tanque de arejamento:

- (1) a fase inicial é caracterizada por espécies que são típicas no líquido a tratar: flagelados e ciliados nadadores, independentes das lamas activadas e que estão continuamente a entrar;
- (2) a segunda fase surge com a formação das lamas activadas, dando-se o rápido declínio das espécies pioneiras, apresentando a

- comunidade um máximo de riqueza específica; as formas nadadoras são rapidamente substituídas pelas formas sésseis e móveis de fundo;
- (3) finalmente, a terceira fase caracteriza-se por uma microfauna cuja composição e estrutura reflecte as condições estáveis decorrentes do balanço entre carga orgânica e lamas produzidas, removidas e recicladas.

Uma estação de tratamento a funcionar em pleno não deve albergar, em número significativo, espécies características da fase de colonização, mas tal pode acontecer transitoriamente no caso de, falta de oxigenação, carga excessiva ou muito variável no tempo, variações significativas dos tempos de retenção, etc. De um modo geral, as

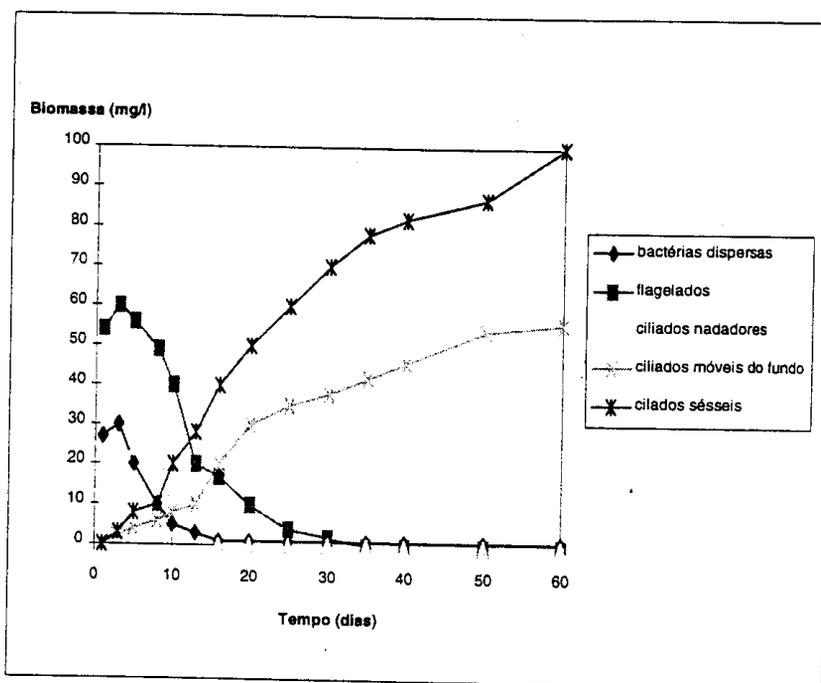


Figura 2. Dinâmica de colonização das lamas activadas em estações de tratamento biológico de águas residuais desde o início do seu funcionamento.

Tabela 1. Algumas situações particulares do funcionamento de estações de tratamento biológico de águas residuais por lamas activadas (segundo Madoni, 1994b).

Grupo dominante	Eficiência	Causa possível
pequenos flagelados	má	lamas pouco oxigenadas, entrada de substâncias em vias de fermentação
pequenas amebas nuas e flageladas	má	carga elevada e/ou dificilmente degradável
pequenos ciliados nadadores (< 50 µm)	medíocre	permanência breve; lamas pouco oxigenadas
grandes ciliados nadadores (> 50 µm)	medíocre	carga demasiado alta
ciliados sésseis	baixa	fenómenos transitórios
ciliados móveis do fundo	boa	
ciliados sésseis + móveis do fundo	boa	
amebas com teca	boa	carga baixa e/ou diluída; boa nitrificação

lamas activadas devem apresentar: (1) densidade elevada da microfauna, isto é, pelo menos 10^6 células por litro; (2) composição específica baseada em formas sésseis e móveis de fundo, estando os flagelados quase ausentes; (3) uma comunidade particularmente diversificada, onde nenhum grupo ou espécie domine numericamente outros(as) em mais do que um factor de 10 (Madoni, 1994b). Quando tal não acontece, a identificação do grupo dominante permite o diagnóstico da situação particular do funcionamento da estação (Tabela 1).

De um modo geral, densidades de protozoários inferiores a 10^4 por litro indicam uma má depuração; neste caso, observam-se elevadas densidades bacterianas, um elevado CBO e uma turbidez também importante. Grande quantidade de ciliados (densidades superiores a 10^6 células por litro) indicam, pelo contrário, uma boa depuração e um óptimo desempenho da estação em causa (Curds, 1975; Madoni, 1984).

Para além da densidade, a diversidade da comunidade de protozoários também tem valor indicador do funcionamento da estação; uma comunidade dominada por uma espécie ou grupo é quase sempre indicadora de uma disfunção trófica ditada pela presença de substâncias tóxicas, carência de oxigénio, perda de lamas devido a remoção exagerada, carga excessiva ou insuficiente. Esteban *et al* (1991) demonstraram, com ajuda de métodos estatísticos, que a densidade e a diversidade da microfauna são influenciadas significativamente pela qualidade do esgoto que entra na estação e pela sua gestão.

O estudo de quarenta e quatro estações de tratamento biológico de águas residuais por lamas activadas, abrangendo uma ampla gama de condições de funcionamento (Madoni, 1994a), confirmou as observações anteriores e permitiu a caracterização de alguns grupos funcionais de ciliados e da sua relação com os factores físico-

químicos prevalentes no tanque de arejamento e com o funcionamento da estação.

2. Os Protozoários nas lamas activadas

2.1. Flagelados

Os pequenos flagelados heterotróficos entram continuamente com o afluente, onde se encontram em grandes quantidades. Alimentam-se de bactérias dispersas na fracção líquida, e com o tempo são substituídos pelos ciliados bacteriófagos, quer devido à competição que estabelecem com aqueles, quer por serem sujeitos a predação pelos ciliados carnívoros.

Nas lamas activadas aparecem em densidades menores do que 5×10^6 por litro (isto é menos do que 10 indivíduos contados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal). A sua presença em elevadas densidades indica um decréscimo da eficiência depurativa, geralmente devida a um deficiente arejamento das lamas, a uma carga demasiado alta ou ainda à entrada de substâncias em vias de fermentação (Tabela 1). Quando atingem números da ordem dos 10^8 indivíduos por litro, são considerados dominantes na amostra em questão.

Os flagelados maiores, como *Euglena* e *Peranema*, são pouco frequentes nas lamas activadas e a sua presença está geralmente associada à entrada de líquido com baixa carga orgânica.

2.2. Ciliados nadadores

Os ciliados nadadores bacteriófagos são muito abundantes na fase inicial do funcionamento da estação, dominando então o tanque de arejamento (Figura 2). Os flocos começam a formar-se e os ciliados sésseis, filtradores muito mais eficientes do que os ciliados

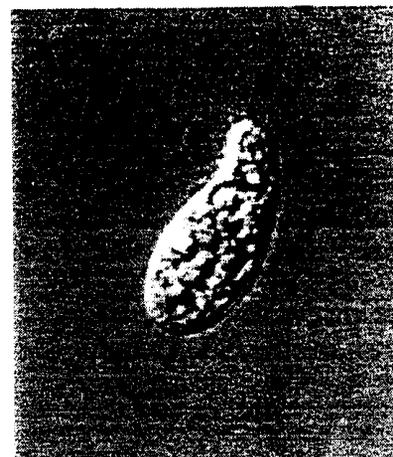


Figura 3. *Colpidium* sp. Ciliado nadador. Observação microscópica com microísmo (ampliação: 200x).

nadadores, ganham a competição pelas bactérias dispersas na fracção líquida, havendo, por isso, uma substituição gradual destes últimos. Quando os ciliados nadadores são dominantes, a qualidade do efluente produzido é, geralmente má; Curds & Cockburn (1970b) associam-nos a cargas elevadas no tanque de arejamento. Os pequenos ciliados, como *Colpidium* (Figura 3), *Cyclidium*, *Tetrahymena* e *Uronema*, dominam a microfauna quando a permanência no tanque de arejamento é muito breve ou quando a oxigenação é deficiente (Tabela 1); estes pequenos ciliados precisam de elevadas densidades bacterianas para sobreviver, mas, por outro lado, apresentam maior resistência à carência de oxigénio ou à introdução de compostos tóxicos do que outros componentes da microfauna.

2.3. Ciliados móveis de fundo e ciliados sésseis

São estes dois grupos que geralmente compartilham a dominância da microfauna nas lamas activadas. Como ocupam diferentes nichos ecológicos, não há entre eles competição e a convivência é possível, apesar da relação entre as suas abundâncias variar com a carga do afluente; os móveis de fundo, de que são exemplos as espécies *Chilodonella uncinata*, *Aspidisca cicada*, *Aspidisca lynceus* (Figura 4), *Euplotes affinis* e *Euplotes moebiusi*

tendem a apresentar uma diminuição das suas densidades na presença de elevada carga orgânica, apresentando os organismos sésseis maior resistência.

2.4. Ciliados sésseis

Quando só os ciliados sésseis são dominantes no tanque de arejamento, a situação é diferente da anterior (Tabela 1), e variável com a espécie ou espécies presentes.

Três espécies do género *Opercularia* são frequentes nas lamas activadas: *O. coarcata*, *O. microdiscus* e *O. minima*, e, se dominam a microfauna, são geralmente indicadoras de elevados CBOs do afluente ou cargas demasiado elevadas no tanque de arejamento (Curds *et al.*, 1968, Curds & Cockburn, 1970b Esteban *et al.*, 1991); *O. coarcata* pode ser a única espécie presente em estações que tratam esgotos contendo sais metálicos. A simples presença destas espécies, só por si, não é contudo indicadora de mau funcionamento da estação ou baixa qualidade do efluente.

Vorticella microstoma (Figura 5) é uma espécie frequente na primeira fase de colonização das lamas activadas sendo geralmente substituída por *V. convallaria* (Figura 6). *Vorticella microstoma* é boa indicadora de carência de oxigénio no tanque de arejamento (Esteban *et*

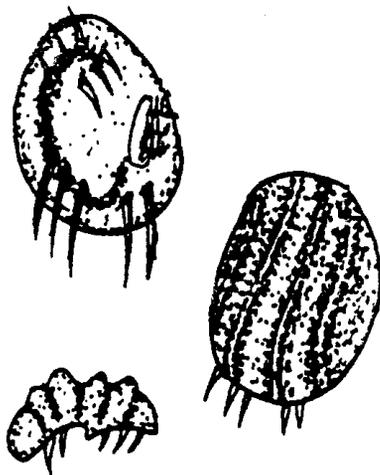


Figura 4. *Aspidisca cicada*, ciliado móvel de fundo.



Figura 5. *Vorticella microstoma*, ciliado sésseil. Observação microscópica em contraste de fase (ampliação: 200x).

al., 1990, 1991; Madoni & Antonietti, 1984) e a alternância entre as duas espécies nas lamas activadas indica geralmente uma drástica e prolongada redução da concentração de Oxigénio no tanque de arejamento. *V. convallaria* é muito menos resistente à depleção em oxigénio.

2.5. Amibas com teca

Três géneros são frequentes nas lamas activadas: *Arcella*, (Figura 7) *Diffugia* e *Euglypha*. Indicadoras de boas condições de nitrificação (Drakides, 1978; Sasahara & Ogawa, 1983, Madoni, 1994a, 1994b), as amibas com teca aparecem sobretudo em lamas com grandes tempos de retenção, pouca matéria orgânica e elevada concentração de oxigénio no tanque de arejamento.

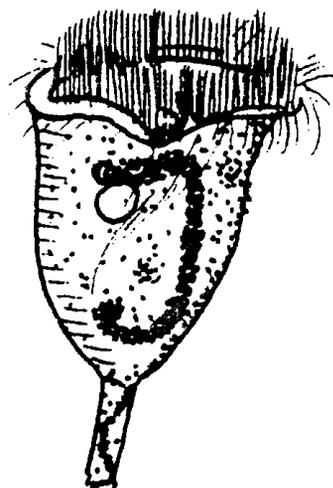


Figura 6. *Vorticella convallaria*, ciliado sésseil.

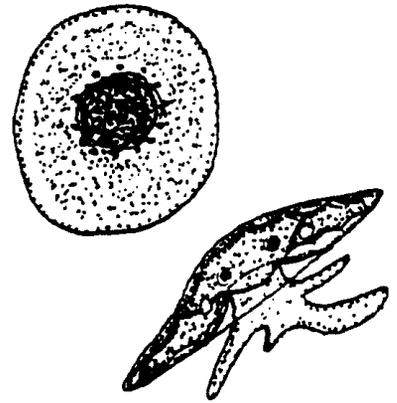


Figura 7. *Arcella*, amiba com teca.

3. Índice Biótico das Lamas

O Índice Biótico das Lamas (SBI, "Sludge Biotic Index") surge com Madoni (Madoni, 1994a), inspirado no "Extended Biotic Index" de Woodiwiss (1980). O método baseia-se na abundância e na diversidade específica da comunidade e nas diferentes sensibilidades reveladas por alguns grupos da microfauna aos factores físico-químicos prevaletentes no sistema. O Índice é calculado com base numa tabela de duas entradas (Tabela 2); o ingresso vertical é feito considerando-se a riqueza específica da amostra e o número de pequenos flagelados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal. Na coluna da direita estão distribuídos os diversos grupos da microfauna associados a uma decrescente qualidade biológica das lamas. Para o ingresso horizontal é tomado em consideração o grupo dominante no tanque de arejamento e, depois, a densidade total da microfauna (maior ou menor do que 10⁶ indivíduos por litro); se dois ou mais grupos compartilham a dominância da amostra, escolhe-se o grupo que ocupa a posição mais baixa na tabela.

O valor do Índice Biótico das Lamas é determinado pela intersecção da coluna e da linha seleccionadas, obtendo-se um valor numérico entre 1 e 10; os valores do Índice Biológico das Lamas são

Tabela 2 Tabela de duas entradas para o cálculo do Índice Biótico das Lamas ("Sludge Biotic Index", SBI). **S** - número de espécies da microfauna (excluindo os flagelados); **F** - número de pequenos flagelados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal; * *Opercularia* spp e *Vorticella microstoma* não dominantes. (segundo Madoni, 1994a)

RUPO DOMINANTE	DENSIDADE (ind./l)	S > 10		8 ≤ S ≤ 10		5 ≤ S ≤ 7		S < 5	
		F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100
CILIADOS MÓVEIS + SÉSSEIS* E/OU AMEBAS COM TECA	≥ 10 ⁶	10	8	9	7	8	6	7	5
	< 10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
CILIADOS SÉSSEIS* > 80%	≥ 10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
	< 10 ⁶	8	6	7	5	6	4	5	3
<i>Opercularia</i> spp	≥ 10 ⁶	7	5	6	4	5	3	4	2
	< 10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella microstoma</i>	≥ 10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
	< 10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
CILIADOS NADADORES	≥ 10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
	< 10 ⁶	4	2	6	1	2	0	1	0
PEQUENOS FLAGELADOS (> 100%)	≥ 10 ⁶	4		3		2		1	
	< 10 ⁶	3		2		1		0	

agrupados em quatro classes de qualidade biológica das lammas que permitem, por sua vez, quatro diferentes graus de eficiência para avaliação do funcionamento do sistema (Tabela 3).

A aplicabilidade do método às estações de tratamento biológico de águas residuais por lammas activadas foi testada, antes da sua apresentação, em 45 estações, durante um ano (Madoni, 1994a). Uma das suas vantagens reside no facto da avaliação ser feita através de valores numéricos, o que permite ao operador comparar a qualidade biológica das lammas no tanque de arejamento ao longo do tempo, e consequentemente as condições operacionais da estação em causa. Não deve esquecer-se, contudo, o facto do Índice Biológico das Lammas

avaliar somente o funcionamento da estação ao nível do tanque de arejamento, não permitindo inferir sobre a qualidade do tratamento ao nível do tanque de sedimentação secundária, por exemplo, mesmo se eventuais problemas a este nível vierem a causar variações na estrutura da microfauna (Madoni, 1994b). A microfauna utilizada neste Índice tem uma distribuição cosmopolita permitindo a sua utilização em estações de tratamento biológico de águas residuais por lammas activadas de diferentes áreas geográficas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da Junta Nacional de Investigação Científica e

Tecnológica (PBIC/C/BIO/2223/95) e a Bolsa Praxis XXI BD/5080/95 para Ana Nicolau.

Bibliografia

- Curds, C. R., 1975. Protozoa. In: *Ecological Aspects Used Water Treatment*, Curds, C.R. & H. A. Hawkes (Eds.), Academic Press, pp: 203 - 268.
- Curds, C. R. & A. Cockburn, 1970a. Protozoa in biological sewage-treatment processes. I. A survey of the protozoan fauna of British percolating filters and activated-sludge plants. *Wat. Res.*, vol. 4, pp:225 - 236.
- Curds, C. R. & A. Cockburn, 1970b. Protozoa in biological sewage-treatment processes. II. Protozoa as indicators in the activated-sludge process. *Wat. Res.*, vol. 4, pp:237 - 249.

Tabela 3. Conversão do valor do Índice Biótico das Lamas ("Sludge Biotic Index", SBI) em classes de qualidade biológica das lammas activadas e avaliação da eficiência depuradora do tratamento.(segundo Madoni, 1994a)

Valor SBI	CLASSE	AVALIAÇÃO
8 - 10	I	lammas bem colonizadas e estáveis; actividade biológica óptima; elevada eficiência depuradora.
6 - 7	II	lammas bem colonizadas e estáveis; actividade sub-óptima; eficiência depuradora suficiente.
4 - 5	III	actividade biológica insuficiente; eficiência depuradora medíocre.
0 - 3	IV	actividade biológica muito baixa; eficiência depuradora baixa

Curds, C. R., A. Cockburn & J. M. Vandyke, 1968. An experimental study of the role of the ciliate protozoa in the activated sludge process. *Wat. Poll. Contr.*, vol. 67, pp: 312 - 329.

Drakides, C., 1978. Líobsrvation microscopique des boues activées appliquée à la surveillance des installations dépuración: technique d'étude et interpretation. *T.S.M. - LiEau*, vol. 73, pp: 85 - 98.

Esteban, G., C. Tellez & L. M. Bautista, 1990. Effects of habitat quality on ciliated protozoa communities in sewage treatment plants. *Environ. Technol.*, vol. 12, pp: 381 - 386.

Esteban, G., C. Tellez & L. M. Bautista, 1991. Dynamics of ciliated protozoa communities in activated-sludge process. *Wat. Res.*, vol. 25, pp: 967 - 972.

Madoni, P., 1984. Estimation of the size of freshwater ciliate populations by a sub-sampling technique. *Hydrobiologia*, vol. 111, pp: 201 - 206.

Madoni, P., 1994a. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge based on the microfauna analysis. *Wat. Res.*, vol. 28, pp: 67 - 75.

Madoni, P., 1994b. *La microfauna nell'analisi di qualità biologica dei fanghi attivi. Indice Biotico del Fango: SBI.* Azienda Gas Acqua Consorziale de Reggio Emilia. Università degli Studi di Parma.

Madoni, P., 1994c. Estimates of ciliated protozoa biomass in activated sludge and biofilm. *Bioresource Technology*, vol. 48, pp: 245 - 249.

Madoni, P. & R. Antonietti, 1984. Colonization dynamics of ciliated protozoa populations in an activated sludge plant. *Atti 4° Simp. Dinam. Popul., Parma*, pp: 105 - 112.

Sasahara, T. & T. Ogawa, 1983. Treatment of brewery effluent. Part VIII: Protozoa and Metazoa found in the activated sludge process for brewery effluent. *Monatsschrift für Brauwissenschaft*, vol. 11, pp: 443 - 448.

Woodiwiss, F. S., 1980. Biological

monitoring of surface water quality. Summary Report E.E.C. ENV/787/80-EN, Bruxelles.

Proposta de sócios colectivos

A Sociedade Portuguesa de Biotecnologia admite sócios colectivos que, além de receberem o boletim da SPBT, podem utiliza-lo para divulgar os seus produtos ou publicar notícias internas, inserir anúncios, inscrever pessoas gratuitamente ou a preços especiais nas realizações da SPBT e auferir de reduções nas exposições de produtos e equipamentos em congressos e simpósios organizados pela sociedade. Podem utilizar a lista de endreços de sócios para comunicações directas. A quota anual é de 20 000\$00.

Declaro que desejo entrar para sócio colectivo da Sociedade Portuguesa de Biotecnologia

Instituição ou Firma _____

Morada para cobrança de quotas _____

Data ____/____/____

(Assinatura)