

Tratamento de efluentes vitivinícolas: uma caso de estudo na região dos vinhos verdes

A.C. RODRIGUES

Universidade do Minho, Centro de Engenharia Biológica

J.M. OLIVEIRA

Universidade do Minho, Centro de Engenharia Biológica

J.A. OLIVEIRA

Adega Cooperativa de Ponte da Barca

J. PEIXOTO

Universidade do Minho, Centro de Engenharia Biológica

R. NOGUEIRA

Universidade do Minho, Centro de Engenharia Biológica

A.G. BRITO

Universidade do Minho, Centro de Engenharia Biológica



Um sistema de tratamento tem como objectivo remover os compostos presentes nos efluentes industriais que, se não forem eliminados, exercerão impactes negativos nos meios aquáticos, excedendo a resiliência dos ecossistemas. Nessa perspectiva, a presente comunicação foca as principais características dos efluentes da indústria vitivinícola e apresenta o caso de estudo de uma unidade de tratamento de águas residuais instalado numa unidade dedicada à produção de Vinho Verde. Assim, indicam-se os resultados da operação do sistema de tratamento, cuja concepção assentou na tecnologia de reactores descontínuos sequenciais (SBR). Os resultados obtidos procuram evidenciar a estratégia de operação e a capacidade de adaptação do sistema de tratamento aos diferentes caudais e cargas orgânicas afluentes, aspecto bastante importante neste tipo de sector industrial, caracterizado por uma acentuada sazonalidade.



1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais são elementos essenciais para a competitividade da indústria alimentar. Alterações nos processos, recuperação de sub-produtos e reutilização de efluentes, são algumas das medidas possíveis que as empresas deste sector podem implementar tendo em vista uma política de eco-eficiência. Uma peça essencial dessa estratégia é uma estação de tratamento de águas residuais que maximize a eficiência e minimize os custos de investimento e operação. Esta problemática assume especial relevo na indústria vitivinícola, dado rejeitar efluentes que, mercê da composição e das cargas orgânicas associadas, representam um sério problema ambiental não apenas em Portugal mas, também, em muitos outros países produtores de vinho [1].

Neste quadro, o objectivo do presente trabalho é o de apresentar alguns pontos-chave sobre o tratamento de efluentes da indústria vitivinícola. Assim, efectua-se uma introdução aos processos industriais potenciadores de efluentes neste sector, incluindo uma caracterização das águas residuais e, por último, com base numa experiência real de um sistema de tratamento, apresentam-se os resultados de uma colaboração entre a Universidade do Minho e a Adega Cooperativa de Ponte da Barca (ACPB), produtora renome na região demarcada dos Vinhos Verdes. Em concreto, discute-se a experiência do arranque e operação de um sistema de tratamento de águas residuais baseado em reactores descontínuos sequenciais, designadamente as diferentes estratégias de operação adoptadas face à variabilidade das cargas afluentes.

2. A PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE VINHO E A REJEIÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

O vinho é o produto obtido por fermentação alcoólica total ou parcial de uvas frescas, esmagadas ou não, ou de mosto de uva. Assim, o vinho branco é produzido, em regra, pela fermentação dum mosto clarificado, obtido depois do desengace, seguida do esmagamento dos bagos resultantes e posterior clarificação, enquanto a produção dos vinhos tintos resulta, usualmente, de mostos não-clarificados, preparados a partir de vindimas desengaçadas e esmagadas. A Figura 1 mostra o esquema da produção de Vinho Verde, aplicado na ACPB.

As cargas poluentes da indústria vitivinícola dependem do período de trabalho (vindima, trasfegas, engarrafamento) e das tecnologias usadas (e. g., produção de vinho tinto, branco ou vinhos especiais). As fontes principais de efluentes são as operações de lavagem, que ocorrem durante o esmagamento e a prensagem dos cachos, bem como na limpeza dos tanques de fermentação, dos barris e de outros equipamentos e superfícies. As águas residuais contêm resíduos de subprodutos (engalhos, graminhas, películas, borras, lamas, tartaratos), perdas de produtos brutos (perdas de mostos e de vinhos ocorridos por acidente ou durante as lavagens), produtos usados para o tratamento do vinho (colas, terras de filtração) e produtos de limpeza e de desinfecção, usados para lavar materiais e solos.

Os constituintes dos mostos e dos vinhos estão presentes nas águas residuais em proporções variáveis: açúcares, etanol, ésteres, glicerol, ácidos orgânicos (e. g., cítrico, tartárico, málico, láctico, acético), compostos fenólicos e uma população numerosa de bactérias e de leveduras, elementos facilmente biodegradáveis, excepto os polifenóis. A matéria orgânica encontra-se, essencialmente, na forma solúvel, ainda que uma fracção importante seja facilmente sedimentável

FIGURA 1 - Processo tecnológico adoptado na ACPB.

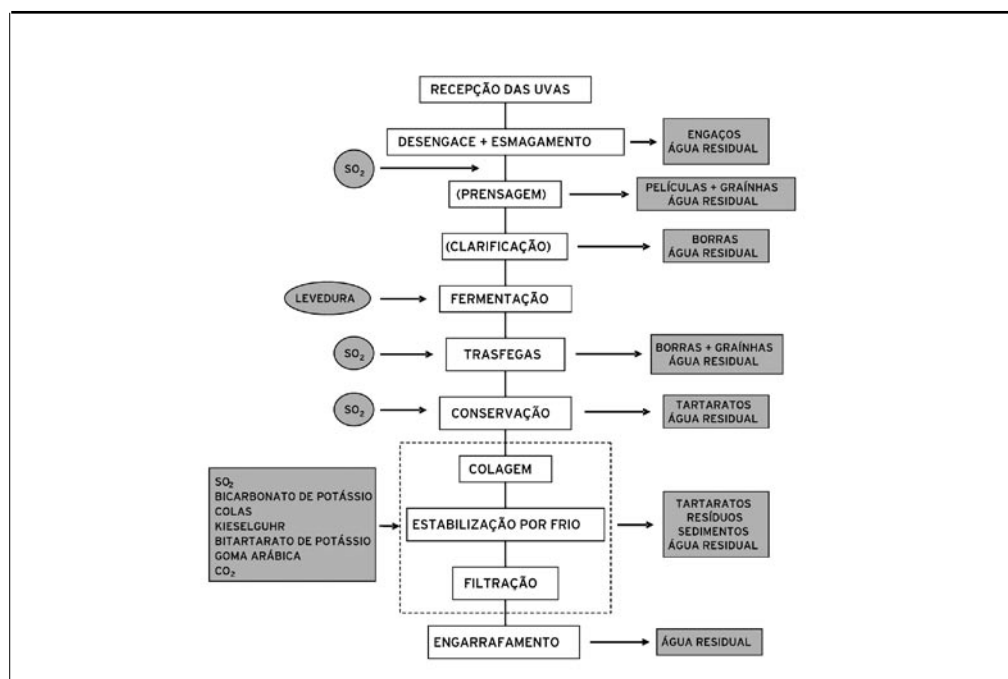


TABELA 1 - Exemplos da composição de águas residuais da indústria vitivinícola, incluindo a ACPB.

	ACPB	Adega [3]		
		A ^b	B ^b	C ^c
Produção / (m ³ /ano)	250	730	3000	6000
pH	5,7	4,9	4,7	4,0 a 4,3
CQO ^d (mg/L)	1.200 a 10.266	5.200	14.150	9.240 a 17.900
CBO ^d (mg/L)	130 a 5.320	2.500	8.100	5.540 a 11.340
SST ^d (mg/L)	385 a 5.200	522 ^a	1.060	1.960 a 5.800
SVT ^d (mg/L)	----	---	742	81% a 86% dos SST
N total (kjeldahl) / (mg/L)	12 a 93	61	48,2	74 a 260
P Total (mg/L)	23	25	5,5	16 a 68

^a Após sedimentação primária. ^b Período de vindima, valor médio após 24 h. ^c Valores extremos.

^d CQO - Carência Química de Oxigênio. CBO - Carência Bioquímica de Oxigênio.

SST - Sólidos Suspensos Voláteis. SVT - Sólidos Voláteis Totais.

(grainhas, sais tartáricos, terras de filtração), sendo que os volumes de efluentes rejeitados, relativamente ao volume de vinhos produzidos, variam entre 0,1 m³/m³ e 2,4 m³/m³. Por outro lado, importa notar que os subprodutos da vinificação (borras, bagaços) podem ser objecto de valorização, sendo

que o composto obtido com resíduos da vinificação apresenta características adequadas para a disposição em terrenos de cultivo. A mistura dos bagaços pouco frescos com resíduos da criação de animais e restos de vegetais favorece a compostagem da fracção menos biodegradável dos bagaços e contribui para a

diluição de alguns componentes que, eventualmente, se possam encontrar em excesso, como é o caso do cobre [2]. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos das principais características dos efluentes vinícolas.

3. TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS DA INDÚSTRIA VITIVINÍCOLA

No procedimento de selecção do sistema de tratamento devem ser identificados os objectivos de qualidade para os meios receptores e, de entre as diferentes tecnologias disponíveis e de menores custos de investimento e exploração, deverá ser seleccionada a mais robusta para lidar com as pronunciadas variações sazonais da indústria vitivinícola. Em geral, entre os processos biológicos, a opção começa por ser tomada tendo por base o valor da concentração de matéria orgânica a tratar. Na verdade, os processos aeróbios constituem a grande maioria dos sistemas desenhados para o tratamento de efluentes com teores de matéria orgânica na gama classificada como "pouco concentrados" (valores de CQO inferiores a 2000 mg/L), bem como para a eliminação de nutrientes dos efluentes já pré-tratados por processos anaeróbios. Em contrapartida, os efluentes "concentrados" em matéria orgânica (valores de CQO superiores a 2000 mg/L) são especialmente adequados para serem sujeitos a tratamento anaeróbio. Esta regra deve ser, obviamente, entendida como destinada a simplificar a questão, havendo bastantes excepções.

Os processos anaeróbios demonstram uma boa capacidade para o tratamento de efluentes vitivinícolas. A opção pelos processos anaeróbios assenta no seu adequado desempenho e na economia de exploração do sistema de tratamento. Conforme é sabido, os custos de arejamento nos sistemas aeróbios são proporcionais aos valores de matéria orgânica a eliminar, pelo que os custos de operação podem ser bastante significativos. Os processos anaeróbios, contrariamente aos aeróbios, não requerem fornecimento de ar, pelo que apresentam um balanço energético nulo ou, desde que seja aproveitado o gás metano decorrente da degradação anaeróbia, positivo. Em contra-

GESTÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS

TABELA 2 - Esquema de operação do SBR com 1 e 2 ciclos por dia.

	Enchimento arejado	Reacção	Sedimentação	Descarga
1 ciclo por dia	0,5 h	21 h	2 h	0,5 h
2 ciclos por dia	0,5 h	10 h	1 h	0,5 h

TABELA 3 - Condições gerais de operação do SBR (1 ciclo por dia).

Parâmetro	Valor
Volume de trabalho / m ³	150
Substituição volumétrica / %	17
Tempo de retenção hidráulica, TRH / d	5,7
Sólidos, SSV / (g/L)	2,5 a 4,5
Carga orgânica volumétrica, B _v [kg/ m ³ d]	0,5 a 2,5
Carga orgânica específica (como SSV) / [kg/(kg d)]	0,26 a 0,57

partida, o reduzido crescimento da biomassa anaeróbia (inferior ao da biomassa aeróbia) aconselha a um processo de retenção baseado no desenvolvimento de biofilmes [4]. Assim, um pré-tratamento por processos anaeróbios afigurar-se-á sempre apropriado porque potenciará menores gastos de energia e os custos de gestão de lamas serão menores. Não obstante, quanto o efluente é descarregado em águas superficiais, pode ser necessário um tratamento de afina-

ção aeróbia para eliminação de matéria orgânica remanescente, azoto ou fósforo [5]. Apesar desta regra, em indústrias vitivinícolas de pequena dimensão, onde a minimização do custo de investimento é o ponto central e em que, por razões de simplicidade de operação, apenas se considera um processo biológico, é usual adoptarem-se os processos aeróbios, em especial no caso do grau de qualidade do efluente final ser elevado. Obviamente, no caso de indústrias com uma

menor produção de efluentes, o encargo financeiro resultante de uma operação aeróbia não será tão significativo até porque, durante parte significativa do ano, as águas residuais serão do tipo pouco concentrado.

Um outro aspecto importante no domínio dos efluentes vitivinícolas, nem sempre equacionado da forma mais apropriada, é a remoção de sólidos suspensos inorgânicos, os quais podem afectar, por abrasão, os equipamentos mecânicos (bombas,

arejadores tipo *venturi*). Além disso, como os processos biológicos não são muito adequados para efluentes não solúveis, este tratamento preliminar é sempre desejável por também retirar sólidos orgânicos suspensos. No caso de pequenas produções de efluentes, desde que os sólidos em suspensão sejam previamente removidos e que as condições edafo-climáticas locais sejam favoráveis, constituem hipóteses interessantes os sistemas simplificados de baixa consumo energético - zonas húmidas construídas e lagunagem - ou, caso possível, a infiltração lenta e irrigação de culturas [6].

Entre as tecnologias que se entendem mais adequados para o tratamento de efluentes da indústria vitivinícola encontra-se, claramente, os reactores descontínuos sequenciais (designados por SBR, acrónimo de Sequencing Batch Reactors). Estes sistemas são caracterizados por apresentarem uma operação faseada, sequencial, em que, periodicamente, se repete o ciclo de operação. Cada fase de operação decorre em estado não estacionário, sendo o processo de retenção de biomassa no interior do sistema efectuado através da introdução de uma fase de sedimentação em condições totalmente quiescentes, que permite agrupar diversos componentes que, em processos contínuos, requerem diferentes órgãos (e. g., decantador, linha de recirculação de lamas). Aparte o sector vinícola, os reactores aeróbios do tipo SBR têm sido testados pelo presente grupo de autores da Universidade do Minho na indústria química [7], petroquímica [8], cervejeira [9] e, na variante anaeróbia, em efluentes pouco concentrados [10].

FIGURA 2 - Eficiência de remoção de CQO em função da carga volumétrica aplicada.

Legenda: —◇— Eficiência de remoção de CQO —■— B_v.

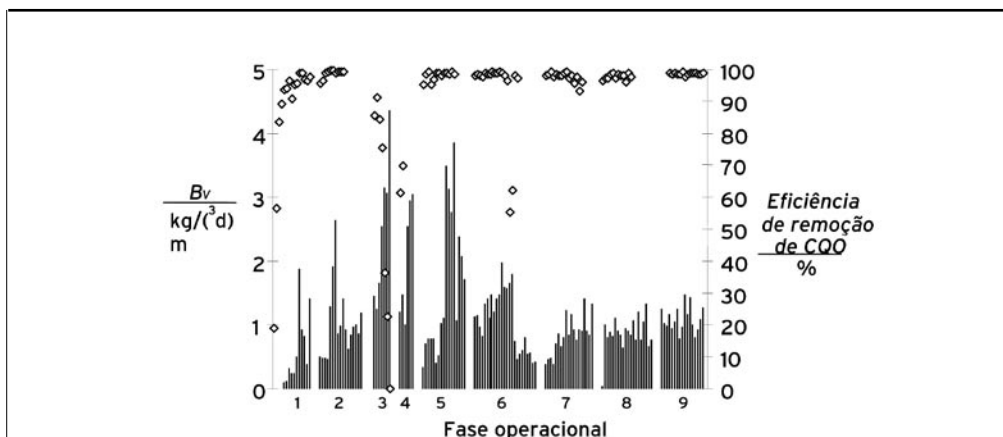
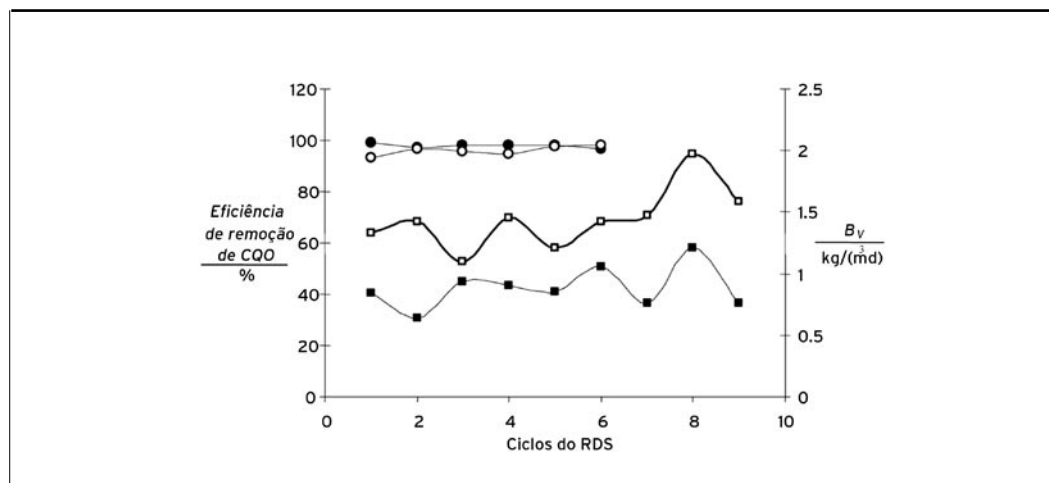


FIGURA 3 - Eficiência de remoção de CQO em função da carga orgânica aplicada, para as diferentes estratégias operacionais (1 e 2 ciclos por dia).

Legenda: ●- Eficiência (1 ciclo) ○- Eficiência (2 ciclos) ■- B_V (1 ciclo) □- B_V (2 ciclos)



4. CASO DE ESTUDO: TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL DA ACPB

A Adega Cooperativa de Ponte de Barca (ACPB) instalou o sistema conjunto de tratamento de águas residuais industriais e domésticas em 1999, tendo a Universidade do Minho participado na concepção do mesmo e apoiado a respectiva monitorização, através da diversos estágios curriculares da licenciatura em Engenharia Biológica levados a efeito na ACPB. A primeira etapa do sistema de tratamento consta de um desarenador - para remoção de materiais sólidos, incluindo terras de diatomáceas -, um tanque de equalização com 300 m³ de capacidade, o reactor biológico do tipo RDS, e um espessador de lamas. Os resultados de operação indicaram valores de pH do efluente na gama 7 a 8 mas, durante o período de vinificação, foram detectados valores de pH = 3, no tanque de equalização, tendo sido efectuado o necessário ajuste pela adição de CaCO₃. O tratamento conjunto do efluente industrial e doméstico conferiu uma relação média de CBO₅/N/P de 100/10/0,4, situando-se a temperatura do efluente entre 15°C e 25°C. Dependendo das condições de trabalho, identificaram-se nove fases operacionais durante o primeiro ano de ope-

ração do SBR, cada uma delas relacionada ou com o período de trabalho da indústria (com uma composição característica do efluente), ou com as alterações das condições de operação do SBR, tendo em vista o aumento da eficiência do tratamento. No caso de ser necessário responder aos elevados volumes de efluente gerados durante os períodos de vinificação e trasfegas, alimentou-se o SBR duas vezes por dia. O esquema horário do SBR é apresentado na Tabela 2, onde se descreve a operação com 1 ou 2 ciclos por dia. A Tabela 3 resume as condições operatórias, considerando 1 ciclo por dia.

A Figura 2 apresenta os resultados de operação do SBR, designadamente as cargas orgânicas aplicadas e a remoção de matéria orgânica durante as diferentes fases de operação no período de arranque de operação do SBR.

Os resultados apresentados indicam que, genericamente, se verificaram elevadas eficiências de remoção de CQO, apesar das variações de carga orgânica volumétrica, B_V , (Figura 2). Porém, note-se que durante os períodos de vinificação e trasfega, o aumento de B_V provocou uma quebra significativa na eficiência, devida a limitações de oxigénio. De facto, o valor de B_V , que se situava usualmente

no intervalo entre 0,5 kg/(m³ d) e 1,5 kg/(m³ d), atingia, neste período, o valor médio de 2,5 kg/(m³ d). Por consequência, a concentração da biomassa aumentou significativamente e o fornecimento de oxigénio deixou de ser adequado para as exigências do bioprocessamento. O resultado indesejado foi o aparecimento de descargas com CQO total, tCQO, a atingir 5000 mg/L, apesar das taxas de remoção de CQO serem mais elevadas. A lavagem da biomassa era observada para valores de SSV acima de cerca de 4,5 g/L, levando a um aumento na tCQO e nos SST do efluente final. Para SSV > 4,5 g/L, a biomassa apresentava uma baixa sedimentabilidade, devida à elevada idade das lamas (45 d), que proporcionava valores do índice volumétrico de lamas, IVL, acima de 120 mL/g. Os resultados obtidos apontavam para valores de IVL abaixo de 80 mL/g, para manter um bom desempenho do reactor biológico.

No sentido de melhorar o desempenho do SBR durante a vinificação e períodos de trasfega e, de forma a atender às descargas extremas de caudal e cargas orgânicas, duas estratégias de operação foram testadas (Figura 3). A primeira estratégia, baseada numa operação com dois ciclos por dia (resultando numa diminuição do tempo de retenção em 50 %

e na concomitante duplicação da B_V) foi testada durante o período de engarrafamento (com uma média de tCOD no tanque de equalização de 4000 mg/L). Nesse período, o efluente industrial provinha maioritariamente das operações de lavagem e dos processos de arrefecimento, apresentando valores de caudal muito elevados. A segunda estratégia, aplicada quando a carga orgânica era elevada [superior a 1,5 kg/(m³ d)], consistiu na recirculação da biomassa para o tanque de equalização e na aplicação de um processo adicional de oxigenação nessa fase, assim induzindo uma biodegradação preliminar e reduzindo a carga orgânica para o SBR.

Os resultados indicados na Figura 3 demonstram a adequação das estratégias adoptadas na ACPB para adequar o SBR às diferentes períodos de laboração industrial. Com efeito, o aumento da capacidade de oxigenação em períodos de ponta orgânica melhorou o desempenho do sistema em termos de eliminação de matéria orgânica, permitindo a operação com dois ciclos assegurar suficiente capacidade de tratamento para os períodos de maior afluência de caudal, com uma redução de CQO superior a 90%.

5. CONCLUSÕES

A indústria vitivinícola nacional está a procurar uma política de elevada segurança ambiental, incluindo a procura da respectiva certificação. Nessa perspectiva, a experiência obtida neste sector e apresentada nesta comunicação, demonstra que os reactores sequenciais descontínuos (SBR) têm um desempenho adequado para efectuar o tratamento das águas residuais desta fileira industrial. No entanto, importa notar que a selecção do processo tecnológico e o modo de operação do sistema de tratamento são decisões que devem ser tomadas numa base singular, sem excessivas generalizações. Na verdade, o bom desempenho de um sistema de tratamento é, em muito, o resultado de um esforço de melhoria contínua.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a preciosa colaboração do Engenheiro Gerd Teunissen e da Engenheira Patrícia Moreira no projecto e controlo analítico do sistema de tratamento de efluentes da ACPB.

7. REFERÊNCIAS

- [1] PÉVOST, M., GOUZENES, E., "Le traitement des effluents vinicoles du bassin adour garonne, Adour Garonne. Revue de l'Agence de l'Eau", 86:1, 2003.
- [2] PEIXOTO, J., FERNANDES, A., MOTA, M., "Compostagem de resíduos de vinificação", relatório de estágio da licenciatura em Engenharia Biológica, Universidade do Minho, 1993.
- [3] TORRIJOS, M., MOLETTA, R., "Effluents vinicoles et filières de traitement" in: Œnologie - Fondements Scientifiques et Technologiques, Flanzly C. (Coordonnateur), Éditions Tec & Doc, Paris, pp. 1263-1284, 1998.
- [4] BRITO, A. G., RODRIGUES, A. C., MELO, L. F., "Granulation during the start-up of a UASB reactor used in the treatment of low strength wastewaters", Biotechnol. Letters. 19(4):363, 1997a.
- [5] RODRIGUES, A. C., BRITO, A. G., AND MELO, L. F., "Fate of phosphorus concentration in a SBR designed for nitrogen removal", in: 2nd European Symposium on Biochemical Engineering Science, Porto, Portugal, September 16-19, pp. 343. 1998.
- [6] RIBEIRO D., MARTINS G., NOGUEIRA R., BRITO A.G., "Land irrigation and soil contamination modeling with Aquasim", poster-presentation in: Int. Seminar DEPURANAT, 16-18 October, Limoges, France, 2005.
- [7] BRITO A.G., MOTA J.M., MENDES J., TEUNISSEN G., MACHADO P., "Treatment of a complex chemical wastewater using a sequencing batch reactor: From lab to full scale. In: 2nd Int. Conference on Sequencing Batch Reactors Technology, Narbonne (França), 10-12 July, Vol. II, 47-50, 2000.
- [8] RODRIGUES A. C., BRITO A. G., MELO L. F., "Biological treatment of hydrocarbon slurries by a sequencing batch biofilm reactor (SBBR)". Leading-edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies, Praga. August 24-28, 2004.
- [9] RODRIGUES, A. C., BRITO, A. G., MELO, L. F., "Post-treatment of a brewery wastewater using a Sequencing Batch Reactor", Water Environ. Res. 73:45. 2001.
- [10] BRITO, A. G., RODRIGUES, A. C., MELO, L. F., "Feasibility of a pulsed sequencing batch reactor with anaerobic aggregated biomass for the treatment of low strength wastewaters", Water Sci. Technol. 35(1):193. 1997b.



Ana C. Rodrigues
Universidade do Minho
Centro de Engenharia Biológica
Gualtar
4710-057 Braga

CURRICULUM VITAE:

Licenciada em Engenharia Biológica com Mestrado em Tecnologias do Ambiente e Doutoramento em Engenharia Química e Biológica pela Universidade do Minho. Actualmente, desenvolve um post-doutoramento na Universidade do Minho e é docente convidada na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, sendo sócia fundadora da Simbiente - Engenharia e Gestão Ambiental, empresa constituída como spin-off dos trabalhos de I&D que tem desenvolvido.



José Maria Oliveira
Universidade do Minho
Centro de Engenharia Biológica
Gualtar
4710-057 Braga

CURRICULUM VITAE:

Licenciado em Engenharia Biológica (Universidade do Minho, 1995) e Doutoramento em Engenharia Química e Biológica (Universidade do Minho, 2002). A sua actividade profissional tem sido exercida na área da Enologia. Os seus principais interesses nesta área incidem sobre o processo de fermentação e a componente de aromas que lhe está associada.



José Antas Oliveira
Adega Cooperativa de Ponte da Barca
Agrelos
4980-601 Ponte da Barca

CURRICULUM VITAE:

Licenciado em Engenharia Biológica (Universidade do Minho, 1996) é, desde 1997, o responsável pelo Controlo de Qualidade e pela Gestão Ambiental na Adega Cooperativa de Ponte da Barca. É, ainda, desde 2002, membro da equipa de HACCP e desempenha, desde 2004, a função de enólogo na mesma adega..



João Monteiro Peixoto
Universidade do Minho
Centro de Engenharia Biológica
Gualtar
4710-057 Braga

CURRICULUM VITAE:

Licenciado em Engenharia Biológica (1993), obteve o grau de mestre em Tecnologia do Ambiente (1996) e doutorou-se em Engenharia Química e Biológica (2003), pela Universidade do Minho. A sua investigação centra-se em biorreactores para o tratamento de ar poluído, nomeadamente com odores e COVs.



Regina Nogueira
Universidade do Minho
Centro de Engenharia Biológica
Gualtar
4710-057 Braga

CURRICULUM VITAE:

Licenciada em Engenharia Biológica e Doutorado em Engenharia Química e Biológica (Universidade do Minho, 2002). A sua actividade de investigação centra-se na área dos biofilmes em sistemas naturais e construídos e na monitorização da dinâmica das populações com ferramentas de genética molecular, assim como no tratamento de águas residuais.



António Guerreiro de Brito
Universidade do Minho
Centro de Engenharia Biológica
Gualtar
4710-057 Braga

CURRICULUM VITAE:

Licenciado em Engenharia do Ambiente pela UNL (1984) e doutorado em Engenharia Química e Biológica pela Universidade do Minho (1987), onde exerce sua actividade profissional na área da tecnologia e gestão ambiental. Exerceu o cargo de Director Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos entre 2000-2002 e é secretário-geral do Conselho Regional da Água da Região Autónoma dos Açores sendo, actualmente, Presidente do Conselho Nacional do Colégio de Engenharia do Ambiente da Ordem dos Engenheiros.