

COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL

Vânia SERRÃO SOUSA

Eng.ª do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Edifício 7, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro,

+351 289 800 900 Ext.7462, vssousa@ualg.pt

Helena LUCAS

Eng.ª do Ambiente, Águas do Algarve, Rua do Repouso nº10, 8000-302 Faro, +351 289 899 070, h.lucas@aguasdoalgarve.pt

Margarida RIBAU TEIXEIRA

Doutorada em Tecnologias Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro,

+351 289 800 900 Ext.7235, mribau@ualg.pt

RESUMO

Os trihalometanos são compostos de elevada toxicidade e potencialmente carcinogénicos que se formam através da oxidação da matéria orgânica natural (NOM) durante a etapa da desinfecção. A sua presença em águas para consumo humano tem sido alvo de regulamentação cada vez mais rigorosa, tanto a nível nacional como comunitário. Desta forma, é necessário minimizar a sua formação nestas águas através da remoção de NOM antes da etapa de desinfecção. A NOM contém fracções hidrofóbicas de elevado peso molecular, e hidrofílicas de baixo peso molecular, sendo a remoção da fracção hidrofílica mais difícil do que a hidrofóbica. O objectivo deste trabalho é assim determinar a eficiência de remoção de NOM por coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (C/F/DAF), em águas hidrofílicas e hidrofóbicas e comparar a eficiência deste processo face ao tratamento coagulação, floculação e sedimentação (C/F/S) existente na Estação de Tratamento de Água de Alcantarilha. De modo a avaliar a influência da NOM durante o processo C/F/DAF, esta foi caracterizada por cromatografia de exclusão molecular (HPSEC). Os resultados indicam que ambos os processos, C/F/S e C/F/DAF, contribuem para a redução da NOM presente na água e desta forma para a redução do potencial de formação de DBP. Contudo a C/F/DAF demonstrou uma maior eficiência na remoção da NOM para as condições estudadas. Verificou-se ainda que a pré-ozonização da água favorece o aumento da remoção da matéria orgânica nos tratamentos posteriores (C/F/S ou C/F/DAF).

Palavras-chave: Matéria orgânica natural, águas naturais, coagulação/floculação/sedimentação, coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido, HPSEC.

▪ 1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica natural (NOM) é uma matriz complexa de compostos orgânicos presentes nas águas naturais. Desta forma, afecta significativamente o tratamento de água, incluindo o desempenho dos processos unitários (i.e. oxidação, coagulação e adsorção), a aplicação de desinfectantes na água e a estabilidade biológica da água. Como resultado, a NOM actua na qualidade da água para abastecimento através da sua contribuição para os subprodutos da desinfecção (DBP), crescimento do biofilme nas condutas de distribuição, cor, sabor e odor (OWEN *et al.*, 1995). Os DBP formam-se durante a cloragem das águas por reacções químicas entre o cloro e alguns compostos orgânicos presentes na NOM de águas naturais. Compostos tais como os ácidos húmicos e fúlvicos são denominados precursores de trihalometanos (THM), uma vez que têm a capacidade de promover a formação de trihalometanos (clorofórmio, bromodiodometano, dibromodiodometano e o bromofórmio), os DBP mais comuns e com maior toxicidade encontrados em águas cloradas (CHAI DOU *et al.*, 1999; THACKER *et al.*, 2002; LIN *et al.*, 2007; HRUDEY, 2009; LEE *et al.*, 2009). Segundo a Agência Americana do Ambiente, as estações de tratamento de águas devem remover concentrações predeterminadas de carbono orgânico total como forma de reduzir os precursores dos DBP e identifica a “enhanced coagulation” como a melhor tecnologia disponível para o fazer (USEPA, 1999).

Os vários processos de tratamento de água podem directa ou indirectamente remover a NOM presente na água bruta. A eficiência dos processos de tratamento vai depender das condições operacionais e das características específicas da NOM como o peso molecular (PM), a acidez carboxílica e as substâncias húmicas presentes (COLLINS *et al.*, 1985). A NOM de elevado peso molecular é mais fácil de remover do que a de baixo peso molecular. Nas águas com compostos de elevado peso molecular 5000 a 10 000 Da (fracção hidrofóbica), estes são removidos com relativa facilidade através de coagulação, enquanto a NOM de baixo peso molecular, em particular a de peso molecular inferior a 500 Da, é mais difícil de remover pelos tratamentos convencionais (COLLINS *et al.*, 1986; AMY *et al.*, 1992; ATES *et al.*, 2007). Segundo EDZWALD (2007), águas de baixo (2-4 mg C/l) a elevado (10-20 mg C/l) teor em carbono orgânico total, e que apresentem cor natural e turvação não mineral causada por algas ou outro tipo de matéria orgânica particulada são boas candidatas à flotação por ar dissolvido (DAF). A DAF é mais eficiente do que a sedimentação na remoção de partículas de densidade em suspensão na água, microrganismos de dimensões reduzidas, flocos, turvação, como é o caso do fitoplâncton (EDZWALD e WALSH, 1991).

A cromatografia de exclusão molecular de alta precisão (HPSEC) tem sido utilizada por diversos autores para determinar a distribuição dos pesos moleculares da NOM presente na água (PELEKANI *et al.*, 1999; NISSINEN *et al.*, 2001; CHOW *et al.*, 2008). Na cromatografia de exclusão molecular, as substâncias húmicas são separadas, primeiramente, com base no seu peso molecular (POTSCHKA, 1993). Assim, as moléculas maiores que os poros do gel da coluna de eluição movem-se rapidamente pela coluna com o eluente, sendo eluídas em primeiro lugar, enquanto as moléculas de menor peso molecular penetram nos poros, consoante o seu tamanho, forma e a distribuição do tamanho dos poros no gel, retardando a sua eluição (NISSINEN *et al.*, 2001). Para além do peso molecular, factores como carga, estrutura molecular e hidrofobicidade também influenciam o resultado das análises de HPSEC. De acordo com PELEKANI *et al.* (1999), a HPSEC fornece informação útil acerca do tamanho molecular das substâncias húmicas e é uma técnica relativamente simples e pouco dispendiosa, que permite uma análise rápida da água em diferentes estágios do tratamento.

O objectivo deste estudo é comparar a eficiência da sequência de tratamento convencional normalmente presente nas estações de tratamento de águas – coagulação /floculação /sedimentação (C/F/S) – com uma sequência de tratamento alternativo – coagulação /floculação /flotação por ar dissolvido (C/F/DAF) – na remoção de matéria orgânica de águas naturais com

elevada turvação e baixo carbono orgânico dissolvido e avaliar a qualidade da água com HPSEC, i.e. monitorizar o desempenho dos diferentes processos de tratamento através dos tamanhos moleculares da NOM.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Sequências estudadas

No presente trabalho foram comparadas duas sequências de tratamento distintas. Uma sequência de tratamento convencional da Estação de Tratamento de Águas (ETA) de Alcantarilha, composta por pré-ozonização (O_3) e coagulação, floculação e sedimentação (C/F/S) e outra alternativa composta por O_3 e coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (C/F/DAF). Em ambas as sequências foi estudada a opção de retirar a etapa da pré-ozonização. Estas sequências encontram-se representadas na figura 1.

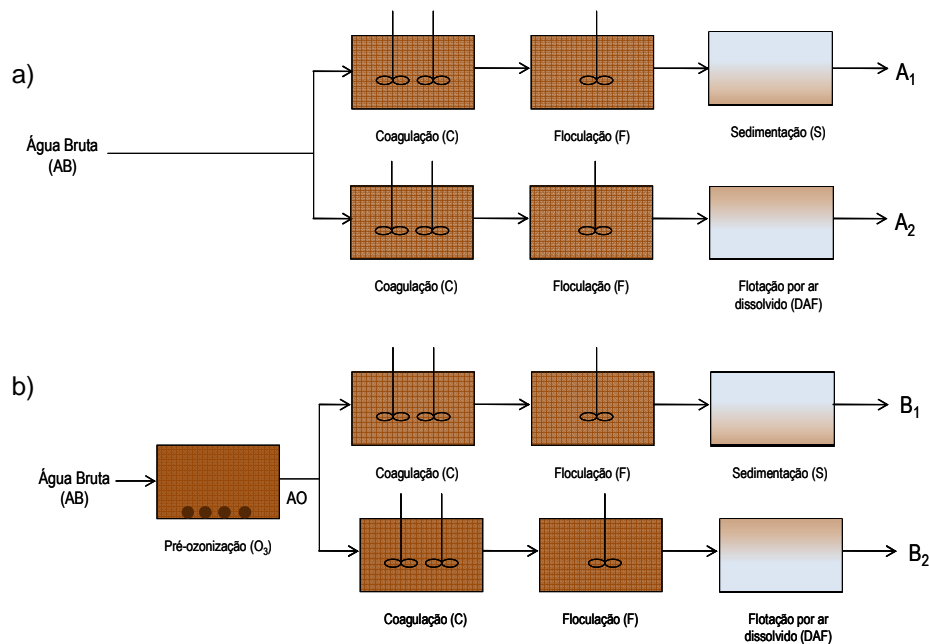


Figura 1 Esquema das sequências de tratamento de água estudadas.

A ETA de Alcantarilha, localizada na região algarvia, é abastecida de água superficial pela barragem do Funcho (2 km² e 43,4 hm³) e a sua capacidade máxima de tratamento de água é 259 200 m³/dia.

2.2 Ensaios de C/F/DAF

O processo C/F/DAF foi realizado numa unidade de flotação à escala laboratorial adaptada DE PINHO *et al.* (2000), utilizando água bruta (AB) e água ozonizada (AO) provenientes da linha de tratamento da ETA de Alcantarilha. Esta unidade é composta por uma câmara de pressurização de 2 l e uma coluna de flotação cilíndrica, calibrada, com capacidade de 3 l, na qual pode ser instalado um conjunto de pás rotativas utilizado na C/F. A unidade de flotação, o procedimento experimental e as condições de operação já foram apresentadas em RIBAU TEIXEIRA e ROSA (2006).

O tempo de operação da coagulação foi 2 minutos a um gradiente de velocidade de 380 s⁻¹ (368 rpm), enquanto a floculação foi realizada durante 8 minutos a 70 s⁻¹ (119 rpm). O tempo de

operação da DAF foi de 10 minutos com uma razão de recirculação de 0,08 e pressão relativa de 5 bar. A dose de coagulante utilizada, designadamente de coagulante polihidroxiclorosulfatado de alumínio com 60-70% de relativa basicidade da Elf Atochem, foi de 40 mg/l Al_2O_3 . Esta dose foi determinada a partir de ensaios *jar-test* e optimizada para a remoção de NOM. As experiências foram realizadas à temperatura ambiente (20 ± 2 °C).

2.3 Ensaios de C/F/S

Os ensaios C/F/S foram realizados numa unidade de *jar-test* constituída por 4 pás e usando 500 ml de amostra (AB e AO). As condições operatórias foram as seguintes: a) gradiente de velocidade da coagulação de 743 s^{-1} (200 rpm) durante 2 minutos com o mesmo coagulante e dose utilizada nos ensaios C/F/DAF; b) gradiente de velocidade da floculação 24 s^{-1} (20 rpm) durante 15 minutos; e c) sedimentação durante 20 minutos. As experiências foram realizadas à temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Estas são as condições típicas de C/F/S para o tratamento de águas para consumo humano (AWWA, 2000).

2.4 Métodos Analíticos

Foram utilizados diversos métodos analíticos para caracterizar a NOM presente nas águas em estudo, nomeadamente o carbono orgânico dissolvido (DOC), a absorvência no UV a 254 nm ($\text{UV}_{254\text{nm}}$) e SUVA. O SUVA (= $\text{DOC} / \text{UV}_{254\text{nm}}$) indica a aromaticidade da NOM presente na água. A concentração de DOC foi medida instrumentalmente num medidor de carbono com combustão elevada (Shimadzu TOC-5000A), calibrado a partir de uma solução-padrão de ftalato de potássio hidrogenado (1 a 10 mg C/l). A absorvência no UV foi determinada a 254 nm com um espectrofotómetro (Beckman DU 640B) utilizando uma célula de quartzo de 1 cm. Todas estas amostras foram filtradas através de um filtro de policarbonato de 45 μm (Aquatron CA, 30 mm) e analisadas no próprio dia em que foram recolhidas.

As águas resultantes das sequências estudadas foram analisadas quanto à concentração de alumínio. Esta determinação foi efectuada através do método de espectrofotometria de absorção atómica em câmara de grafite num espectrofotómetro de absorção atómica (PERKIN ELMER AA 800), calibrado a partir de soluções-padrão de alumínio (Merck) (5 a 50 $\mu\text{g/l}$).

As amostras também foram analisadas quanto à sua condutividade (Crison GLP 32), pH (Crison Basic 20+) e turvação (HACH 2100N de elevada resolução, 0,001 NTU).

Todos estes parâmetros foram analisados segundo os métodos de análise standard (CLESCERI *et al.*, 1998).

2.5 Análises de HPSEC

O sistema de HPSEC é composto por uma bomba (Dionex Summit), um amostrador automático (ASI-100), um módulo em coluna com termóstato (STH-585), um detector de fotodíodo (PDA-100) e uma interface (UCI-100). Para a separação da NOM por peso molecular foi utilizada uma coluna de gel de sílica modificada TSK G3000SW_{XL} (30 cm x 7,8 mm ID), uma pré-coluna, para protecção da coluna, TSK SW_{XL} (4,0 cm x 6,0 mm ID) (Tosoh Biosciences, GmbH).

A fase móvel utilizada foi acetato de sódio (Merck) a 0,01 M (pH ajustado a 7 a partir de uma solução de ácido acético da Merck, a 5%). Esta solução foi filtrada a vácuo utilizando um filtro de polipropileno (Pall Corporation) e em seguida colocada em ultra-sons de modo a ser desgaseificada. O fluxo de eluição utilizado foi de 1 ml/min, o volume de amostra injectado 100 μl e o tempo de análise 17 minutos. A recta de calibração foi efectuada a partir da injeção de padrões de sulfonato de sódio com 17000, 6800 e 4300 Da (Fluka) e acetona (58 Da, Merck). Os pesos moleculares foram determinados pela recta de calibração obtida ($r^2 > 0,99$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características das águas estudadas

No quadro 1 encontram-se representadas as características das duas águas naturais provenientes da ETA de Alcantarilha utilizadas nos diferentes ensaios.

Quadro 1 Qualidade das águas bruta (AB) e ozonizada (AO) utilizadas nos ensaios realizados.

Amostra	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	pH (a 20°C)	Turvação (NTU)	DOC (mg C/l)	UV _{254nm} (cm^{-1})	SUVA (l/(mgC.m))
Água Bruta	364	7,59	161	2,87	0,083	2,89
Água Ozonizada	365	7,57	179	3,24	0,044	1,36

Através do quadro 1 verifica-se que as águas bruta e ozonizada utilizadas apresentam uma turvação muito elevada. No entanto, estes valores de turvação são atípicos para estas águas. Em outros trabalhos realizados em 2005-06 (RIBAU TEIXEIRA e ROSA, 2007) e em 2008-09 (dados ainda não publicados), a turvação variou entre 0,4 e 14 NTU. Este aumento significativo deve-se ao facto das águas terem sido recolhidas durante a primeira semana de Janeiro de 2010, período no qual se verificou na região do Algarve, assim como no restante território português, intensa precipitação.

Em relação à hidrófilia das águas, a AB apresenta compostos mais hidrofóbicos que a AO, já que os valores de SUVA são mais elevados para a AB. Águas que apresentam elevado SUVA são, normalmente, ricas em NOM com carácter hidrofóbico (LEENHEER *et al.*, 2003). No entanto, a AB não pode ser considerada uma água tipicamente hidrofóbica, uma vez que o SUVA é aproximadamente 3 l/(mgC.m) e segundo a classificação de EDZWALD (1993), uma água é hidrofóbica para valores de SUVA entre 4 e 6,5 l/(mgC.m). Por outro lado a AO é claramente uma água hidrofílica pois, segundo o mesmo autor, estas águas apresentam SUVA inferior a 3 l/(mgC.m). Assim sendo, a NOM presente na AB deverá ser composta por substâncias de maior peso molecular com maior aromaticidade e hidrofobicidade relativamente à AO. À partida ambas as águas serão difíceis de tratar por coagulação, uma vez que a coagulação remove preferencialmente compostos hidrofóbicos (NISSINEN *et al.*, 2001; FABRIS *et al.*, 2008; ATES *et al.*, 2009).

Na análise por HPSEC de ambas as águas (figura 2) observa-se que as fracções que constituem a NOM apresentam compostos com pesos moleculares muito semelhantes (entre 4672 e 252 Da, aproximadamente). No entanto, os compostos presentes na AB apresentam maior absorvência no UV (maior altura dos picos) do que os da AO, o que comprova a sua maior quantidade, aromaticidade e hidrófilia. De acordo com REBHUN e LURIE (1993) e MATILAINEN *et al.* (2002), a NOM presente nestas duas águas é composta por fracções de peso molecular intermédio (500 – 5000 Da) e baixo (< 500 Da) e é maioritariamente composta por ácidos fúlvicos, uma vez que os autores consideram que o peso molecular dos ácidos húmicos varia entre 5000 e 50000 Da e o dos ácidos fúlvicos entre 500 e 5000 Da. Os ácidos fúlvicos constituem a fracção orgânica que é solúvel em água a todos os valores de pH e são os componentes maioritários na matéria orgânica dissolvida (JUCKER e CLARK, 1994).

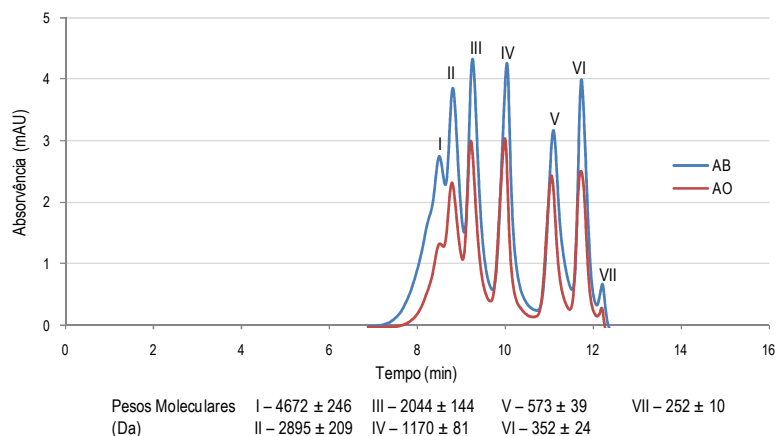


Figura 2 Cromatogramas das águas bruta (AB) e ozonizada (AO) provenientes da ETA de Alcantarilha utilizadas nos ensaios experimentais.

3.2 C/F/DAF versus C/F/S

O quadro 2 resume a qualidade da água obtida após as sequências de tratamento em estudo (figura 1), assim como as respectivas percentagens de remoção.

Quadro 2 Qualidade da água obtida e percentagens de remoção após tratamento convencional C/F/S e tratamento alternativo C/F/DAF.

Amostra	Condutividade (µS/cm)	pH (a 20°C)	Turvação		DOC		UV _{254nm}	
			NTU	% remoção	mg C/l	% remoção	cm ⁻¹	% remoção
A ₁	465	7,15	2,56	98	1,89	34	0,023	72
A ₂	442	6,99	7,38	95	1,56	46	0,014	84
B ₁	435	7,17	3,74	98	1,63	43	0,009	89
B ₂	431	7,02	6,01	96	1,45	49	0,009	89

NOTA: A₁ e B₁ sequências C/F/S; A₂ e B₂ sequências C/F/DAF.

Ambos os tratamentos reduziram o conteúdo em matéria orgânica da água a tratar, apresentando remoções semelhantes para os parâmetros referentes à NOM. A turvação foi o parâmetro que apresentou remoções mais elevadas, acima dos 95%, nas duas sequências de tratamento estudadas. Contudo, em termos de turvação, as águas tratadas por C/F/S apresentaram maior qualidade do que as tratadas por C/F/DAF (2,56 e 3,74 NTU por C/F/S vs. 7,38 e 6,01 NTU por C/F/DAF, quadro 2). Para a matéria orgânica dissolvida (DOC e UV_{254nm}), o tratamento C/F/DAF foi o que apresentou melhores resultados para o DOC (34 e 43% por C/F/S vs. 46 e 49% por C/F/DAF, quadro 2), tendo esta sequência obtido remoções superiores a 80% para os compostos aromáticos presentes na água (UV_{254nm}, quadro 2). A água A₁ (AB tratada por C/F/S) embora tenha sido a que apresentou piores resultados de qualidade em termos de NOM, matéria orgânica dissolvida, foi a que apresentou melhores resultados em termos de turvação (quadro 2). Este facto não é de estranhar já que a dose de coagulante utilizada foi otimizada para a remoção da NOM (e não da turvação) com o objectivo de diminuir o potencial de formação de DBP.

Em relação à pré-ozonização (sequências B), verifica-se que os ensaios em que se utilizou esta etapa de tratamento apresentam melhores resultados de qualidade quando comparados com os resultados da sequência sem pré-ozonização (sequências A). Estes resultados devem-se à

conversão pela ozonização dos constituintes da NOM, que absorvem no UV_{254nm}, em compostos mais simples, hidrófilos e biodegradáveis, que são conseqüentemente mais facilmente removidos.

Comparando os cromatogramas das águas finais com os das águas iniciais (AB e AO, figura 2 vs figuras 3 e 4), verifica-se que o pico I foi eliminado em ambas as sequências estudadas, tanto para a AB como para a AO. Desta forma, tanto a C/F/S como a C/F/DAF removeram por completo a fracção orgânica correspondente aos compostos de maior peso molecular (aproximadamente 4672 Da) presentes nestas águas. Remover esta fracção por completo é de extrema importância, uma vez que corresponde aos compostos orgânicos de maior peso molecular, mais hidrofóbicos, com maior absorvência no UV₂₅₄ e maior SUVA, que segundo USEPA (1999), é a fracção que na generalidade apresenta maior potencial de formação de DBP, designadamente THM.

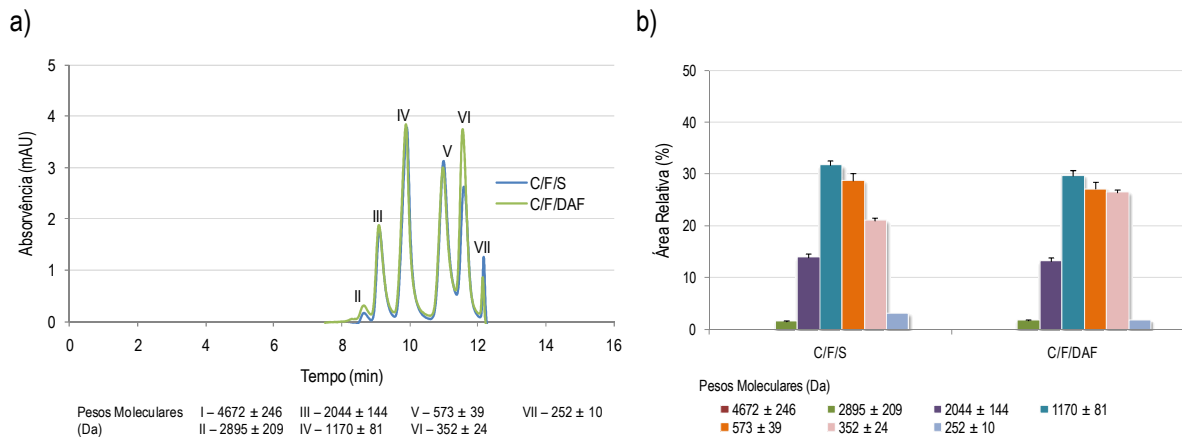


Figura 3 a) Cromatogramas da água bruta após tratamentos por C/F/S e C/F/DAF, e b) respectivas áreas relativas.

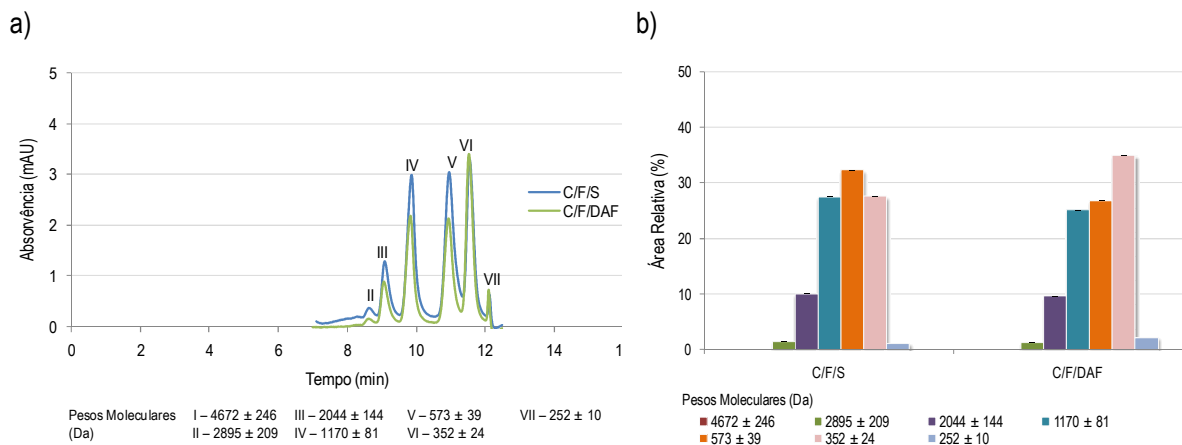


Figura 4 a) Cromatogramas da água ozonizada após tratamentos por C/F/S e C/F/DAF, e b) respectivas áreas relativas.

Observa-se ainda através das figuras 3a) e 4a) que a altura dos picos das águas após tratamento é muito semelhante no caso da AB (figura 3a)), mas ligeiramente menor para a C/F/DAF quando é utilizada a AO (figura 4a)). Em relação às áreas relativas, não existem diferenças significativas entre a C/F/S e a C/F/DAF, apesar de se observar um ligeiro aumento das áreas relativas dos picos com menor peso molecular na água tratada por C/F/DAF (figuras 3b) e 4b)). A altura do pico no cromatograma obtido por HPSEC refere-se à quantidade de NOM numa determinada fracção de peso molecular. A soma de todas as alturas dos picos no cromatograma representa a quantidade total de NOM numa amostra (VUORIO *et al.*, 1998). Desta forma, verifica-

se que a altura dos picos, i.e. a quantidade total de NOM, foi reduzida em 58 e 60% nas sequências com DAF, respectivamente A₂ e B₂, e em 43 e 55% nas sequências com sedimentação, respectivamente A₁ e B₁ (quadro 3). Os picos onde há maior remoção na DAF face à sedimentação são os picos III a V (quadro 3). Resultados semelhantes foram encontrados por MATILAINEN *et al.* (2002) onde a flotação também foi mais eficiente do que a sedimentação na remoção de compostos orgânicos especialmente na fracção de maior peso molecular. O potencial de formação de DBP será assim menor nas sequências com maior remoção de NOM. As remoções de DOC indicam diminuições de apenas 34 a 48% (quadro 2). Estes resultados estão de acordo com VUORIO *et al.* (1998), NISSINEN *et al.* (2001) e MATILAINEN *et al.* (2002), que também obtiveram reduções menores em termos do total do carbono orgânico em comparação com a soma dos picos por HPSEC.

Quadro 3 Eficiência de remoção (%) para as diferentes fracções da NOM.

Picos	Amostras			
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
I	100	100	100	100
II	94	95	95	97
III	58	71	75	80
IV	10	38	34	50
V	0	25	10	34
VI	33	30	22	16
Total	43	58	55	60

Mais uma vez observa-se que as sequências (A₂ e B₂) com ozonização apresentam maiores remoções de NOM (quadro 3). Tal deve-se ao ozono quebrar os compostos de maior peso molecular e alterar o peso molecular dos compostos mais pequenos (AMY *et al.*, 1992; OWEN *et al.*, 1995). Além disso, o ozono diminui a absorvência no UV das diferentes fracções e consequentemente a quantidade (quadro 2, figura 2).

Relativamente à concentração de alumínio, este parâmetro foi apenas monitorizado no final dos ensaios, para avaliar se com a concentração de coagulante utilizada a concentração residual de alumínio se encontrava dentro dos limites estipulados na legislação. As águas tratadas com C/F/DAF apresentaram concentrações mais elevadas do que as tratadas com C/F/S. Com C/F/S a AB apresentou uma concentração de 38,9 µg/l e a AO de 40,6 µg/l de residual de alumínio e com C/F/DAF 48,5 µg/l e 46,6 µg/l, respectivamente para a AB e AO. Contudo todos os valores obtidos no final das duas sequências apresentam-se bastante inferiores ao valor paramétrico para controlo da qualidade da água distribuída para consumo humano (200 µg/l de alumínio) presente no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto.

▪ 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através dos ensaios realizados demonstram que ambas as sequências estudadas (C/F/S e C/F/DAF) são eficientes na remoção de compostos orgânicos de maior peso molecular constituintes da NOM. No entanto, e apesar dos elevados valores de turvação apresentados pelas águas em estudo, a DAF revelou-se eficiente na remoção de NOM, chegando mesmo a apresentar remoções mais elevadas do que a sedimentação para os compostos da NOM estudados.

Verificou-se também que a pré-ozonização é uma etapa importante na linha de tratamento de uma ETA, uma vez que a pré-ozonização da água bruta favorece o aumento da remoção da matéria orgânica nos tratamentos posteriores.

Desta forma, conclui-se que ambas as sequências de tratamento estudadas, em águas com elevada turvação e baixo teor em carbono orgânico dissolvido, contribuem para a redução do potencial de formação de DBP aquando da etapa de desinfecção por cloro, tendo a sequência C/F/DAF demonstrado uma maior capacidade de remoção de NOM quando comparada com a C/F/S, para as condições estudadas.

AGRADECIMENTOS

Este projecto foi financiado pela Fundação para a Ciências e Tecnologia (FCT), projecto nº PTDC/ECM/68323/2006.

BIBLIOGRAFIA

- ATES, N.; YILMAZ, L.; KITIS, M.; YETIS, U. - "Removal of disinfection by-products precursors by UF and NF membranes in low SUVA waters". *Journal of Membrane Science*, **328**, 2009, pp. 104 - 112.
- AMY, G.L.; SIERKA, R.A.; BEDESSEM, J.; PRICE, D.; TAN, L. - "Molecular size distributions of dissolved organic matter". *Journal of American Water Works Association*, **84**, 1992, pp. 67 - 75.
- AWWA - *Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies*. American Water Works Association 5th ed. McGraw-Hill, USA, 2000.
- CHAIKIDOU C.I.; GEORGAKILAS V.I.; STALIKAS C.; SARAÇI M.; LAHANIATIS E.S. - "Formation of chloroform by aqueous chlorination of organic compounds". *Chemosphere*, **39**, 1999, pp. 587 - 594.
- CHOW, C.W.K.; FABRIS, R.; VAN LEEUWEN, J.; WANG, D.; DRIKAS, M. - "Assessing natural organic matter treatability using high performance size exclusion chromatography". *Environmental Science and Technology*, **42**, pp. 6683 - 6689.
- CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC.
- COLLINS, M.R.; AMY, G.L.; KING, P.H. - "Removal of organic matter in water treatment". *Journal of Environmental Engineering*, **11**, 1985, pp. 850 - 864.
- COLLINS, M.R.; AMY, G.L.; STEELINK, C. - "Molecular weight distribution, carboxylic acidity and humic substances content of aquatic organic matter: implications for removal during water treatment". *Environmental Science and Technology*, **20**, 1986, pp. 1028 - 1032.
- EDZWALD J.K. - "Fundamentals of dissolved air flotation". *Journal NEWWA*, **121** (2), 2007, 89 - 112.
- EDZWALD J.K. - "Algae, bubbles, coagulants and dissolved air flotation". *Water Science and Technology*, **27**, 10, 1993, pp. 67 - 81.
- HRUDEY, S.E. - "Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me". *Water Research*, **43**, 2009, pp. 2057 - 2092.
- JUCKER, C.; CLARK, M.M. - "Adsorption of aquatic humic substances on hydrophobic ultrafiltration membranes". *Journal of Membrane Science*, **97**, 1994, pp. 37-52.
- LEE J.; HA K.T.; ZOH K.D. - "Characteristics of trihalomethane (THM) producing and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods". *Science of the Total Environment*, **407**, 2009, pp. 1990 - 1997.
- LEENHER, J.A.; CROUÉ, J.P. - "Characterizing aquatic dissolved organic matter". *Environmental Science and Technology*, **37**, 1, 2003, pp. 18A - 26A.

- LIN, Y.; CHIANG, P.; CHANG E.E. - "Removal of small trihalomethanes precursors from aqueous solution by nanofiltration". *Journal of Hazardous Materials*, **146**, 2007, pp. 20 - 29.
- MATILAINEN, A.; LINDQVIST, N.; KORHONEN, S.; TUHKANEN, T. - "Removal of NOM in the different stages of the water treatment process". *Environment International*, **28**, 2002, pp. 457 - 465.
- NISSINEN, T.K.; MIETTINEN, I.T.; MARTIKAINEN, P.J.; VARTIAINEN, T. - "Molecular size distribution of natural organic matter in raw and drinking waters". *Chemosphere*, **45**, 2001, pp. 865 - 873.
- OWEN, D.M.; AMY, G.L.; CHOWDHURY, Z.K.; PAODE, R.; MCCOY, G.; VISCOSIL, K. - "NOM characterization and treatability". *Journal of American Water Works Association*, **87**, 1995, pp. 46 - 63.
- PELEKANI, C.; NEWCOMBE, G.; SNOEYINK, V.; HEPPLWHITE, C.; ASSEMI, S.; BECKETT, R. - "Characterization of natural organic matter using high performance size exclusion chromatography". *Environmental Science and Technology*, **33**, 1999, pp. 2807 - 2813.
- DE PINHO, M.N.; MINHALMA, M.; ROSA, M.J.; TABORDA, F. - "Integration of flotation/ultrafiltration for treatment of bleached pulp effluent". *Pulp & Paper Canada*, **101**, 4, 2000, pp. 50-54.
- POTSCHKA, M. - "Mechanism of size-exclusion chromatography". *Journal of Chromatography*, **648**, 1993, pp. 46 - 63.
- REBHUN, M.; LURIE, M. - "Control of organic matter by coagulation and floc separation". *Water Science and Technology*, **27**, 11, 1993, pp. 1 - 20.
- RIBAU TEIXEIRA, M.; ROSA, M.J. - "Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part I: The key operating conditions". *Separation and Purification Technology*, **52**, 1, 2006, pp. 84 - 94.
- RIBAU TEIXEIRA, M.; ROSA, M.J. - "Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part II: The effect of water background organics". *Separation and Purification Technology*, **53**, 1, 2007, pp. 126 - 134.
- THACKER, N.P.; KAUR, P.; RUDRA, A. - "Trihalomethane formation potential and concentration changes during water treatment at Mumbai (India)". *Environmental Monitoring and Assessment*, **73**, 2002, pp. 253 - 262.