

ULTRAFILTRAÇÃO DIRECTA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS TURVAS NA ETA DE ALCANTARILHA

Margarida RIBAU TEIXEIRA¹; Helena LUCAS²; Maria João ROSA³

¹ Eng.ª do Ambiente, Assistente, FCMA, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-117 Faro, +351.289.800900, ext. 7462, mribau@ualg.pt

² Eng.ª do Ambiente, Directora de Exploração da Águas do Algarve, SA, R. do Repouso nº 10, 8000-302 Faro, +351.282.440000,

h.lucas@aguasdoalgarve.pt

³ Eng.ª Química, Professora Auxiliar, FCMA, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-117 Faro, +351.289.800900, ext. 7387, mjrosa@ualg.pt

RESUMO

Efectuou-se a ultrafiltração (UF), à escala laboratorial, de águas bruta e decantada da ETA de Alcantarilha para avaliar se, para águas turvas, o ajuste de pH pode substituir o pré-tratamento convencional (pré-ozonização/clarificação) à UF, na produção de água para consumo humano. A água bruta (30-40NTU, UV_{254nm} (indicador de substâncias húmicas) $0.30-0.32cm^{-1}$ e COT $2.78-8.02mgC/l$) foi permeada a diferentes valores de pH: 4.13, 7.60 (pH natural da água) e 8.33. A água decantada (2.9-5.1NTU, UV_{254nm} $0.03-0.05cm^{-1}$ e COT $< 3.5mgC/l$) foi permeada a 7.48 (pH natural da água). Os resultados mostram que o ajuste de pH aumenta o desempenho da UF directa de águas turvas: os fluxos da UF directa, particularmente a pH básico, aproximam-se dos fluxos de água decantada e a turvação residual da água é equivalente à da UF com pré-tratamento convencional. Relativamente à MON, por acção da pré-ozonização, a presente na água decantada tem um peso molecular inferior e é mais hidrofílica. Assim, a UF directa produz uma água com maior concentração em substâncias húmicas (apesar das rejeições serem maiores), enquanto que em termos de COT a qualidade da água ultrafiltrada a pH ácido é semelhante à produzida por UF de água decantada. Em conclusão, o ajuste de pH parece viabilizar a UF directa de águas superficiais turvas. O efeito do pH é justificado por alteração da carga e tamanho da MON e das interacções membrana – matéria colmatante.

PALAVRAS-CHAVE: Ultrafiltração; Pré-tratamento; Ajuste de pH; Águas para consumo humano; Matéria orgânica natural

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade da ultrafiltração (UF) na produção de água para consumo humano na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Alcantarilha já foi anteriormente avaliada à escala laboratorial com membranas comerciais de polissulfona (RIBAU TEIXEIRA *et al.* (2000)). Nesse trabalho concluiu-se que o desempenho da UF depende da qualidade da água da origem, sendo possível a UF directa das águas quando apresentem boa qualidade (turvação < 5.6 NTU, $UV_{254nm} < 0.08 \text{ cm}^{-1}$ e carbono orgânico total (COT) < 3.7 mg/l). Para águas turvas (turvação entre 30-40 NTU, $UV_{254nm} > 0.28 \text{ cm}^{-1}$ e COT > 4.5 mg/l), seria necessário estudar mais aprofundadamente a remoção de substâncias húmicas por UF, nomeadamente testando membranas com *cut-off* moleculares inferiores a 47 kDa (RIBAU TEIXEIRA *et al.* (2001)) ou estudando diferentes pré-tratamentos.

Desta forma, com este trabalho pretende-se avaliar se o ajuste de pH de águas turvas pode substituir o pré-tratamento convencional instalado na ETA, designadamente pré-ozonização/coagulação/ floculação/ decantação. Para além de dispensar estas operações unitárias, a sequência ajuste de pH, UF directa e cloragem não necessita da etapa de filtração e minimiza as dosagens de cloro, produção de lamas e problemas de saúde pública relacionados com residuais de alumínio (doença de Alzheimer), vírus e protozoários (*Giardia*, *Cryptosporidium*).

Pensou-se no ajuste do pH, uma vez que a configuração das substâncias húmicas é muito dependente do pH e da força iónica e influencia a adsorção/colmatação da membrana (HONG & ELIMELECH (1997); RUOHOMÄKI *et al.* (1998); YUAN & ZYDNEY (1999)). A pH neutros a elevados, em solução aquosa, as substâncias húmicas estão geralmente carregadas negativamente, devido à presença de numerosos grupos carboxílicos e grupos fenólicos. A redução do pH promove a neutralização dos ácidos húmicos e, como resultado, verifica-se o decréscimo de solubilidade destes compostos (ELIMELECH *et al.* (1994)).

RUOHOMÄKI *et al.* (1998) referem que a baixos valores de pH, inferiores ao pH de dissociação dos ácidos carboxílicos, as substâncias húmicas estão numa forma compacta, enquanto que a valores neutros de pH, a molécula de ácidos húmicos tem uma forma mais linear. Isto deve-se, segundo KABSCH-KORBUTOWICZ & WINNICKI (1996), à agregação molecular de ácidos húmicos que diminuiu com o aumento de pH devido ao aumento da repulsão iónica entre moléculas de ácidos húmicos. Valores de pH superiores a 10 correspondem ao máximo de polidispersividade dos ácidos húmicos.

Os tamanhos característicos das substâncias húmicas são o seu raio hidrodinâmico, quando em solução, e a espessura da camada adsorvida, quando adsorvidas a uma superfície. A baixos valores de pH e elevada força iónica as substâncias húmicas têm um pequeno raio hidrodinâmico em solução e uma camada de adsorção espessa quando adsorvidas a uma superfície. Por sua vez, a baixa força iónica e elevado pH, as substâncias húmicas têm um maior raio hidrodinâmico e uma camada de adsorção de menor espessura (ELIMELECH *et al.* (1994)).

CHILDRESS & ELIMELECH (1996) explicaram estes fenómenos referindo que a dependência entre o pH e a carga da membrana condiciona as interacções ácidos húmicos-membrana. Abaixo do ponto isoeléctrico da membrana, quando a membrana e os ácidos húmicos estão opostamente carregados, a adsorção dos ácidos húmicos é favorável devido a interacções electrostáticas e hidrofóbicas. Mesmo acima do ponto isoeléctrico, onde os ácidos húmicos e a membrana estão aproximadamente com a mesma carga, a adsorção é dominada por interacções hidrofóbicas. A pH elevado apenas ocorre uma adsorção mínima devido à repulsão electrostática entre ácidos húmicos e a superfície da membrana, e o aumento da hidrofília dos ácidos húmicos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Instalação de UF

No presente trabalho foi utilizada uma instalação comercial de pratos planos, Lab-unit M10 da DSS, Danish Separation Systems (Dinamarca), cujo esquema se apresenta na Figura 1. Esta unidade opera em MF ou UF, permite testar dois tipos de membranas em simultâneo e tem uma área total de filtração de 336 cm². A configuração plana simula a hidrodinâmica dos módulos enrolados em espiral, mais utilizados à escala industrial.

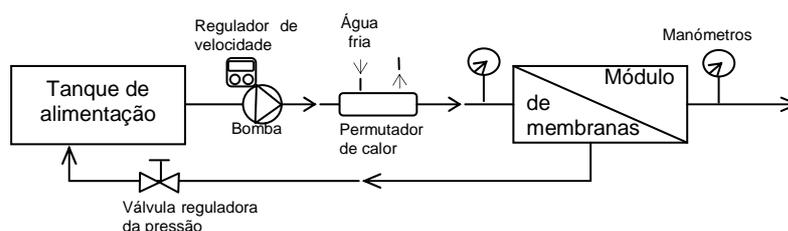


Figura 1. Esquema da instalação

Os ensaios de permeação foram efectuados com membranas compósitas comerciais planas, hidrofílicas, de polissulfona (GR40PP), cedidas pela DSS, a 2 bar, 1.3 m/s (velocidade máxima recomendada) e 25°C.

2.2 Caracterização das Membranas

As membranas foram compactadas a 4 bar durante 3.5 h através da permeação de água pura (< 1 µS/cm). Depois de compactadas, a permeabilidade das membranas à água pura era de 105.4 kg/(h.m².bar).

O *cut-off* molecular da membrana foi determinado através da permeação de polietilenoglicóis (PEG), reagente p.a., Merck, e dextrans (DT), reagente p.a., Aldrich, de peso molecular crescente (PEG 6000, 10000, 20000 e 35000 Da, e DT 40000, 70000 e 110000 Da). A rejeição aparente do soluto, *f*, é definida pela seguinte expressão:

$$f = \frac{C_b - C_p}{C_b} \quad (1)$$

em que:

C_b - concentração na alimentação (mg/l);

C_p - concentração no permeado (mg/l).

As amostras da alimentação eram retiradas antes e após cada ensaio, sendo a média considerada, a concentração na alimentação.

A curva $\log(f/(1-f))$ versus peso molecular do soluto, interceptada pela linha de 90% de rejeição (MICHAELS, 1993; ROSA & DE PINHO (1995); MULDER (1997)), permite determinar o *cut-off* molecular (MWCO) da membrana de 47 kDa, conforme a Figura 2.

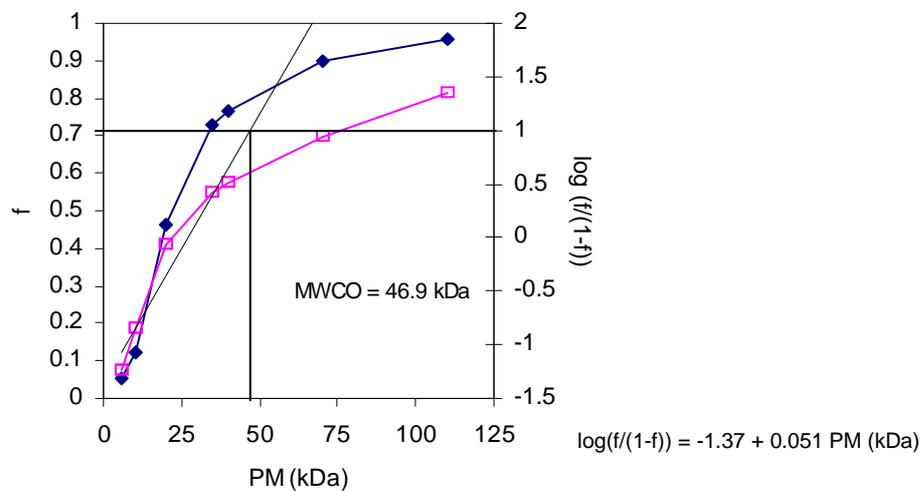


Figura 2. Determinação do *cut-off* molecular da membrana GR40PP; ◆ representa a rejeição f e o valor de $\log(f/(1-f))$ (25°C, 2 bar, 1.3 m/s, 0.3 g/l)

Foi ainda determinado o carácter ácido/básico da membrana através de ensaios de permeação de água pura a diferentes valores de pH, entre 3 – 9. Estes resultados mostraram um abaixamento dos fluxos e, portanto, da hidrofília da membrana com o pH, o que evidencia o carácter básico da membrana. Este resultado está conforme KESTING (1985) que refere que membranas de polissulfona são básicas.

O tempo de estabilização em cada ensaio foi de 10 minutos.

Após cada ensaio, as membranas foram lavadas com água desionizada até o fluxo da água atingir 90% do fluxo inicial medido depois da compactação.

2.3 Permeação da Água da ETA

A água utilizada nos ensaios de permeação foi recolhida na ETA de Alcantarilha, à entrada da ETA (água bruta) e após a etapa de decantação (água decantada). As amostras de água eram compostas (amostradas entre as 9 h e as 15 h, de 2 em 2 h) e recolhidas semanalmente.

A qualidade das águas em estudo foi caracterizada em termos dos seguintes parâmetros: pH, turvação, carbono orgânico total (COT) e substâncias húmicas, medidas através da absorvância ao UV_{254nm} (EDZWALD (1993); NAKATSUKA *et al.* (1996)).

Foram realizados ensaios de concentração, ou seja, de recuperação. Nestes, o permeado não é recirculado ao tanque de alimentação; quando se atinge um volume de permeado correspondente a uma taxa de recuperação, estabiliza-se o caudal de permeado, recolhe-se uma amostra da alimentação e uma do permeado, e deixa-se o ensaio prosseguir até à taxa de recuperação seguinte. O objectivo destes ensaios é simular, tão próximo quando possível, o processo de separação por

membranas à escala industrial, processo contínuo a operar a uma dada taxa de recuperação de permeado.

Nos ensaios de concentração, a água bruta foi permeada a diferentes valores de pH: 4.13, 7.60 (pH natural da água) e 8.33. A água decantada foi permeada apenas a pH 7.48 (pH natural da água).

Em cada ensaio foram medidos os fluxos de permeado (J) e recolhidas amostras da alimentação e permeado para análise da turvação, absorvância ao UV_{254nm} e COT, e cálculo da rejeição f.

2.4 Materiais e Métodos Analíticos

O pH da água foi alterado através da adição de volume suficiente de soluções de H₂SO₄ 0.02M e NaOH 0.1M. O pH foi medido a 20°C através de um medidor de pH Crison, modelo 2001 (sistema de referência Ag/AgCl, electrólito de referência KCl 3M + Ag/Cl). O aparelho foi calibrado antes de cada utilização com padrões 7.02 e 4.00, a 20°C.

O método analítico para a determinação quantitativa de solutos foi o COT. Este foi efectuado utilizando um analisador de carbono da Dohrmann, modelo DC-85A, que permite determinações superiores a 4 mg/l com uma precisão de ± 2 mg/l ou ± 2%.

Os parâmetros COT e UV_{245nm} foram analisados para quantificar a MON, sendo o COT geral para toda a MON e a absorvância no UV_{254nm} mais específica da matéria húmica (RIBAU TEIXEIRA *et al.* (2001)). Para a medição do COT na caracterização da água foi utilizado um analisador de carbono da marca Shimadzu, modelo 5050A, com gama 50 ppb – 4000 ppm e precisão de 1%. Em ambos os analisadores, a determinação de COT é por combustão e método de análise de CO₂ por infravermelhos não dispersivos. A absorvância ao UV_{254nm} foi medida utilizando um espectrofotómetro na gama de UV-VIS, marca Hitachi, modelo U-1100 com comprimentos de onda entre 200 e 1100 nm e precisão fotométrica 0.2%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 apresentam-se as características das águas utilizadas nos ensaios de permeação.

Quadro 1. Características das águas utilizadas nos ensaios de permeação

Data da recolha:	Tipo de água	pH (a 20°C)	Turvação (NTU)	UV _{254nm} (1/cm)	COT (mg/l)
17-mai-00	Ág. Bruta	7.65	34.50	0.32	3.54
	Ág. Decantada	7.44	4.68	0.05	2.49
29-mai-00	Ág. Bruta	7.83	34.57	0.30	3.98
	Ág. Decantada	7.45	4.50	0.05	3.47
01-jun-00	Ág. Bruta	7.98	33.40	0.19	8.02
	Ág. Decantada	7.45	2.96	0.04	3.47
05-jun-00	Ág. Bruta	7.60	33.70	0.29	3.48
	Ág. Decantada	7.48	5.11	0.05	1.78
19-jun-00	Ág. Bruta	7.32	35.45	0.19	3.31
	Ág. Decantada	7.20	3.88	0.04	2.63

Os resultados do Quadro 1 permitem verificar que, segundo os valores guia da bibliografia (AMIRSADARI *et al.*, 1997; BECKER e O'MELIA, 2000; CAMPINAS e ROSA, 2000) a água bruta apresentou elevada turvação (33–36 NTU) e moderado a elevado teor em MON (UV_{254nm} entre 0.19–0.32 1/cm e COT entre 3.31–8.02 mg C/l), enquanto que a água decantada, devido ao tratamento a que já foi sujeita, designadamente pré-ozonização/ coagulação/ floculação/ decantação, apresentava menor turvação (2.96–5.11 NTU) e baixo a moderado conteúdo em MON, particularmente de material húmico (UV_{254nm} entre 0.04–0.05 1/cm e COT entre 1.78–3.47 mg C/l, UV_{254nm} mais baixo que COT).

Na Figura 3 apresentam-se os resultados de fluxo com a taxa de recuperação para a água bruta, a diferentes valores de pH, e para a água decantada.

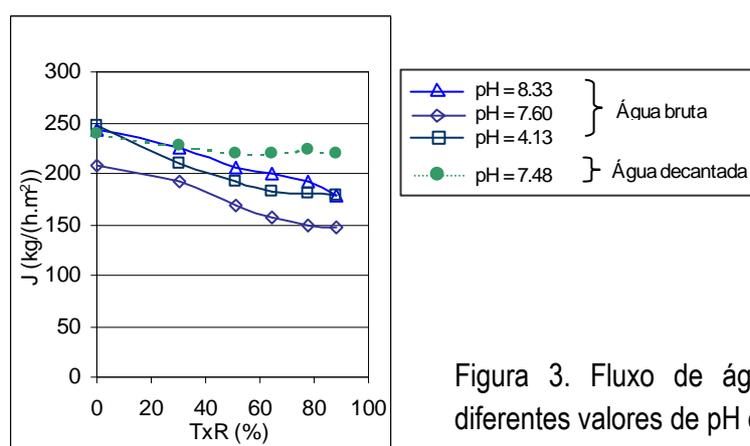


Figura 3. Fluxo de águas bruta e decantada, a diferentes valores de pH e TxR (25°C, 2 bar, 1.3 m/s)

Os resultados mostram que o pH tem grande influência no fluxo de permeação. Resultados semelhantes foram obtidos por (RUOHOMÄKI *et al.* (1998), YUAN & ZYDNEY (1999) e SCHÄFER *et al.* (2000)). De facto, o ajuste de pH particularmente para valores básicos, aumenta o desempenho da UF directa com águas turvas: a 76% TxR a diferença relativa entre o fluxo de água bruta e decantada diminuiu de 33% a pH 7.60 para 14% a pH 8.33 e 19% a pH 4.33 (Figura 3). Apesar disto, o fluxo de água decantada é mais elevado do que os fluxos de água bruta a qualquer pH e os decréscimos de fluxo com a taxa de recuperação são menores (Figura 3).

Estes resultados evidenciam o efeito do pH não só na hidrofília da membrana, mas principalmente na intensidade das interacções membrana–matéria colmatante. A hidrofília da membrana diminui com o pH, *i.e.*, a membrana torna-se menos positiva com o pH (secção 2.2). A matéria colmatante da membrana é constituída essencialmente por substâncias húmicas que, pela sua natureza ácida, se apresentam carregadas negativamente na gama de pH neutro–alcalino, estando neutras a pH ácido, ou seja, a sua hidrofília aumenta com o pH. Assim, para águas mais turvas, o aumento do pH de 7.60 para 8.33 reflecte-se em maiores fluxos, uma vez que o facto da carga da membrana diminuir (*i.e.*, tornar-se menos positiva) para pH alcalino atenua a interacção membrana–matéria colmatante (negativa).

Por outro lado, a adição de cargas positivas (pH ácido) a águas turvas reduz parcialmente a carga da matéria colmatante, tornando-a menos negativa, e aumenta a carga positiva da membrana. Desta forma, a interacção membrana–matéria colmatante é atenuada e o fluxo aumenta relativamente ao fluxo a pH natural. O que se constata é que este aumento de fluxo observado a pH ácido é inferior ao verificado a pH 8.33 (Figura 3), e está de acordo com o facto das interacções membrana positiva–matéria colmatante negativa ou neutra (a pH 4.13) serem mais fortes do que as interacções

membrana neutra–matéria colmatante negativa (a pH 8.33). A interacção é máxima quando a membrana e a matéria – colmatante têm carga oposta, ou seja, a pH neutro.

Na Figura 4 apresentam-se os resultados de rejeição à turvação, UV_{254nm} e COT para a água bruta, a diferentes pH, e para a água decantada.

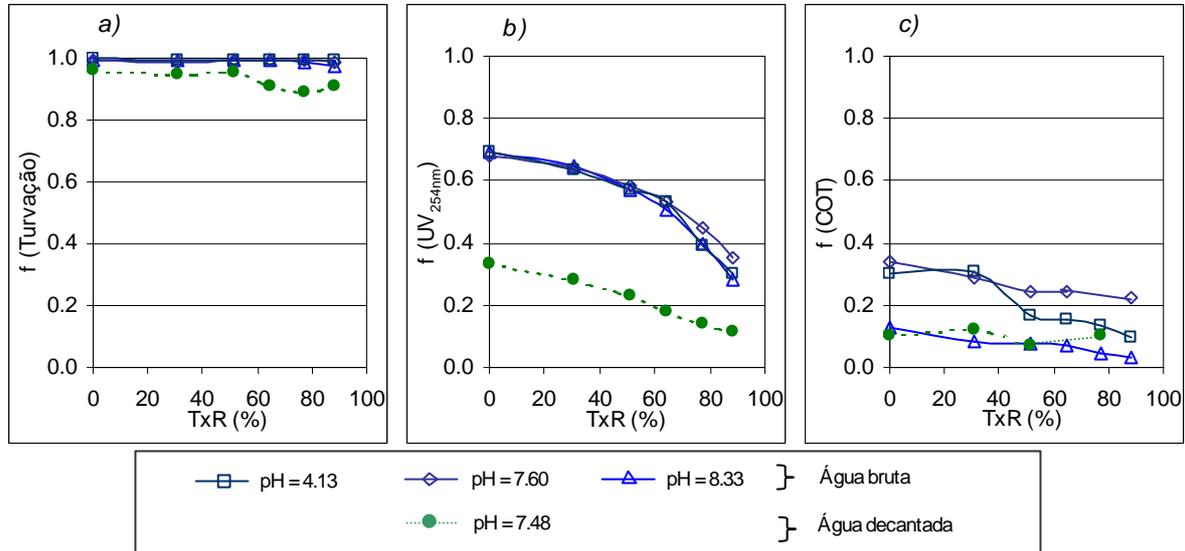


Figura 4. Rejeição à: a) turvação, b) UV_{254nm} e c) COT, das águas bruta e decantada, a diferentes valores de pH e TxR (25°C, 2 bar, 1.3 m/s)

Pela análise da Figura 4 constata-se que as variações da rejeição à turvação com a taxa de recuperação são independentes do pH em análise (Figura 4a). Para os parâmetros relativos à MON há uma ligeira variação: as maiores rejeições são a pH 7.60 e as menores rejeições a pH 8.33 (Figura 4b) e c).

A rejeição tem, assim, uma variação com o pH inversa da observada com o fluxo de permeado, J (Figura 3). Para águas turvas (água bruta) quando as interações membrana – matéria colmatante são menores (a pH alcalino), a membrana é mais permeável à água (maior fluxo) e à matéria orgânica, muito hidrofílica a pH alcalino (menor rejeição); a pH ácido a interacção é intermédia, assim como o fluxo e a rejeição; a pH natural a interacção membrana (positiva) – matéria colmatante (negativa) é máxima, o fluxo de água é mínimo e a rejeição máxima.

Esta variação seria de esperar, uma vez que com o tipo de membrana estudada (de carácter básico) e o tipo de material colmatante (de carácter ácido), as interações membrana – matéria colmatante são sempre atractivas e nunca repulsivas. A intensidade de atracção é função do pH, podendo mesmo ocorrer adsorção de material colmatante à superfície da membrana quando a atracção for máxima (a pH neutro).

Por outro lado, a água bruta contém matéria húmica em quantidade suficiente para se agregar quando ocorre neutralização parcial a pH ácido, aumentando de tamanho e sendo, portanto, mais rejeitada do que quando se encontra a pH alcalino. A pH alcalino, a matéria húmica encontra-se estabilizada (negativa, raio hidrodinâmico elevado), não tendo tendência a agregar-se e, portanto, é menos rejeitada.

O facto de prevalecerem impedimentos de ordem estereoquímica, relacionados com o tamanho do material a remover, ou interações electrostáticas depende do constituinte e da sua concentração

(ELIMELECH *et al.* (1994); CHILDRESS & ELIMELECH (1996)). No entanto, este assunto necessitaria de estudos mais aprofundados, que envolvem equipamento de medição do potencial zeta e do tamanho das partículas, inexistente no laboratório à data de realização deste trabalho.

Os resultados relativos à qualidade de permeado apresentam-se na Figura 5, para a água bruta e decantada.

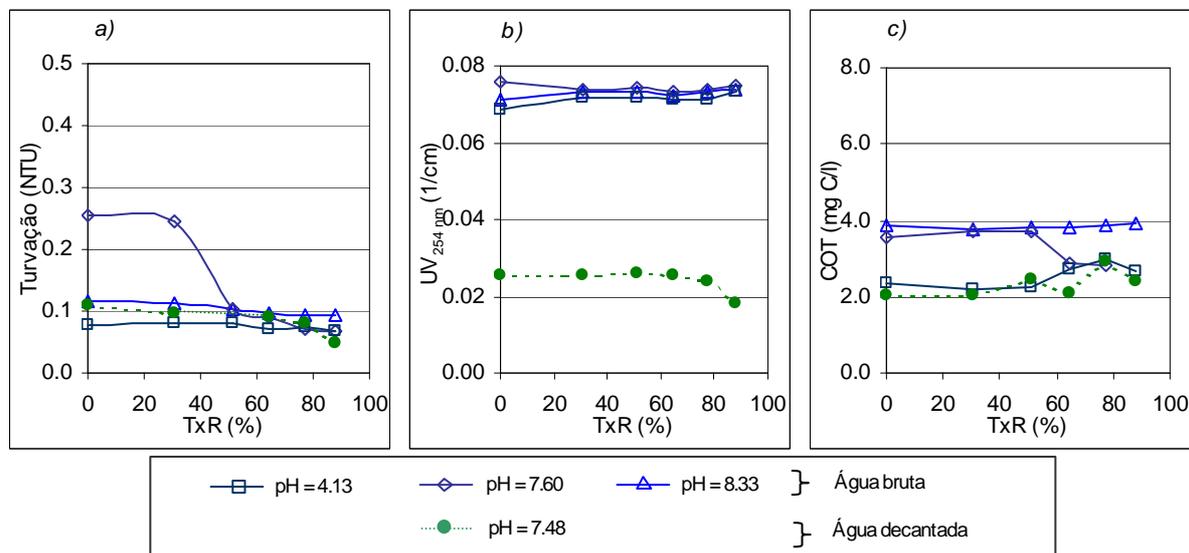


Figura 5. Qualidade do permeado: a) turvação, b) UV_{254nm} e c) COT, das águas bruta e decantada, a diferentes valores de pH e TxR (25°C, 2 bar, 1.3 m/s)

As diferenças observadas na qualidade do permeado aos valores de pH estudados são pouco significativas (a cerca de 1-2%), excepto para a turvação e COT de água bruta em que o pH ácido é o mais favorável até 50% de taxa de recuperação.

Em termos de turvação, a qualidade do permeado é comparável para ambas as águas, bruta a diferentes pH e decantada (Figura 5a), uma vez que o tamanho dos constituintes da turvação é sempre superior aos poros da membrana de ultrafiltração. Relativamente à MON, por acção da pré-ozonização, a presente na água decantada tem um peso molecular inferior e é mais hidrofílica, verificando-se uma maior diminuição de UV_{254nm} do que de COT. Assim, a UF directa produz uma água de pior qualidade em substâncias húmicas (Figura 5b) (apesar das rejeições serem maiores, Figura 4b), enquanto que em termos de COT, a pH ácido, a qualidade é semelhante à produzida com água decantada (Figura 5c).

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem verificar que o ajuste de pH originou melhorias no fluxo e nas rejeições de turvação e MON. Em termos de qualidade de permeado, para a turvação não há diferenças significativas a assinalar com o pré-tratamento à UF, uma vez que o tamanho dos constituintes da turvação é sempre muito superior aos poros da membrana de ultrafiltração. Relativamente à MON, por acção da pré-ozonização, a presente na água decantada tem um peso molecular inferior e é mais hidrofílica, verificando-se uma maior diminuição de UV_{254nm} do que de COT. Assim, a UF directa produz uma água de pior qualidade em substâncias húmicas (apesar das rejeições

serem maiores), enquanto que em termos de COT, a pH ácido, a qualidade é semelhante à produzida com água decantada.

Desta forma, pode-se concluir que o ajuste de pH parece viabilizar a UF directa de águas superficiais turvas. Problemas relacionados com a formação de sub-produtos da desinfecção deverão ser avaliados por forma a decidir qual pH é mais vantajoso o básico ou o ácido (menor conteúdo em COT, mas fluxos ligeiramente inferiores e necessidade de pós-ajuste de pH para correcção da agressividade da água).

SIMBOLOGIA

C_b – concentração na alimentação

C_p – concentração no permeado

DT – dextrans

ETA – Estação de tratamento de águas

J – fluxo de permeado

f – rejeição aparente

MF – microfiltração

MWCO – *cut-off* molecular da membrana

PEG – polietilenoglicóis

PM – peso molecular

COT – carbono orgânico total

UF – ultrafiltração

UV_{254nm} – absorvância ao ultra-violeta no comprimento de onda 254 nm

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela empresa Águas do Algarve, S.A., no âmbito do Acordo Específico de Cooperação AdA/UAlg sobre “Optimização do Sistema de Tratamento da ETA de Alcantarilha”.

BIBLIOGRAFIA

AMIRSADARI, Y. E WILLIAMS, Q.Y. – Effects of ozonation and coagulation on turbidity and TOC removal by simulated direct filtration for potable water treatment. *Environmental Technology*, 18, 1997, pp. 1143-1150.

BECKER, W.C. e O'MELIA, C.R. – Ozone: its effect on coagulation and filtration. Artigo apresentado no 1st World Water Congress of the International Water Association, Julho 2000.

CAMPINAS, M. e ROSA, M.J. – Relatório de caracterização da qualidade da água da Barragem do Funcho. Acordo Específico de Cooperação entre a Águas do Barlavento Algarvio e a Universidade do Algarve sobre a Optimização do Sistema de Tratamento da ETA de Alcantarilha, Dezembro 2000.

CHILDRESS, A.E. e ELIMELECH, M. - Effect of solution chemistry on the surface charge of polymeric reverse osmosis and nano filtration membranes. *Journal of Membrane Science*, **119**, 1996, pp. 253-268.

EDZWALD, J.K. Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants. *Water Science and Technology*, **27**, 11, 1993, pp. 21-35.

ELIMELECH, M., CHEN, W.H. e WAYPA, J.J. - Measuring the zeta (electrokinetic) potential of reverse osmosis membranes by a streaming potencial analyzer. *Desalination*, **95**, 1994, pp. 269-286.

HONG, S. e ELIMELECH, M. - Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, **132**, 1997, pp. 159-181.

KABSCH-KORBUTOWICZ, M. e WINNICKI T. - Application of modified polysulfone membranes to treatment of water solutions containing humic substances and metal ions. *Desalination*, **105**, 1996, pp. 41-49.

KESTING, R.E. - *Synthetic Polymeric Membranes. A Structural Perspective* . 2nd ed. California, John Wiley & Sons. Irvine, 1985.

MICHAELS, A.S. - Comunicação Pessoal. ICOM'93. Heidelberg, Alemanha, 1993.

MULDER, M. - *Basic Principles of Membrane Technology*. Second Edition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1997.

NAKATSUKA, S., NAKATE, I. e MIYANO, T. - Drinking water treatment by using ultrafiltration hollow fiber membranes. *Desalination*, **106**, 1996, pp. 55-61.

RIBAU TEIXEIRA, M., LUCAS, H. e ROSA, M.J. - Viabilidade da ultrafiltração para produção de água na ETA de Alcantarilha. *Recursos Hídricos*, **21**, 3, 2000, pp. 13-19.

RIBAU TEIXEIRA M., LUCAS H. e ROSA M.J. - Remoção de Matéria Orgânica Natural por Ultrafiltração. Caso de Estudo: ETA de Alcantarilha, in *Anais do Encontro Nacional De Entidades Gestoras De Água e Saneamento, ENEG 2001*, Lisboa, 9,10 e 11 Outubro 2001.

ROSA, M.J. e de PINHO, M.N. - The role of ultrafiltration and nanofiltration on the minimisation of the environmental impact of bleached pulp effluents. *Journal of Membrane Science*, **102**, 1995, pp. 155-161.

RUOHOMÄKI, K., VÄISÄNEN, P., METSÄMUURONEN, S., KULOVAARA, M. e NYSTRÖM, M. – Characterization and removal of humic substances in ultra- and nanofiltration. *Desalination*, **118**, 1998, pp. 273-283.

SCHÄFER, A.I., FANE, A.G. e WAITE, T.D. - Direct coagulation pre-treatment in nanofiltration of waters rich in organic matter and calcium, in *Anais do 1st World Water Congress of the International Water Association*. Paris, França, 2000.

YUAN, W. e ZYDNEY, A.L. - Humic acid fouling during microfiltration. *Journal of Membrane Science*, **157**, 1, 1999, pp. 1-12.