



### ÁGUA COM TURVAÇÃO AMARELO-ACASTANHADA NA TORNEIRA DO CONSUMIDOR: CONTROLO E PREVENÇÃO

Ana Poças<sup>1</sup>, José Menaia<sup>2</sup>, Maria João Rosa<sup>3</sup>

1 – Bolseira de pós-doutoramento, Unidade de Qualidade e Tratamento de Água (UQTA), Núcleo de Engenharia Sanitária (NES), Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. Brasil, Lisboa, Portugal.

2 – Investigador Principal Aposentado, Unidade de Qualidade e Tratamento de Água (UQTA), Núcleo de Engenharia Sanitária (NES), Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. Brasil, Lisboa, Portugal.

3 – Investigadora Principal e Chefe de Núcleo, Unidade de Qualidade e Tratamento de Água (UQTA), Núcleo de Engenharia Sanitária (NES), Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. Brasil, Lisboa, Portugal.

#### Resumo

O aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada na torneira do consumidor é um problema com que se defrontam muitas entidades gestoras. É causa de insatisfação e desconfiança na qualidade do serviço prestado, e conseqüentemente de reclamações. O fenómeno é vulgarmente tido como resultado da corrosão de condutas metálicas, dado o aspeto ferruginoso e os elevados teores em ferro das partículas em suspensão na água. Para responder ao problema, é usual investir-se na reabilitação das condutas em ferro fundido, incluindo a substituição destas por outras em materiais plásticos. Contudo, a corrosão não é a única nem a mais frequente causa do aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor.

Nesta comunicação apresentam-se os principais aspetos científicos, técnicos e práticos do estado atual do conhecimento sobre sedimentos dos sistemas de distribuição, particularmente daqueles que resultam em episódios de ocorrência de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor. Apresenta-se a metodologia desenvolvida para amostragem seletiva e caracterização dos sedimentos da água com turvação amarelo-acastanhada e discutem-se os principais resultados daí obtidos.

**Palavras-chave:** sistemas de distribuição de água; qualidade da água; amostragem e caracterização de sedimentos; controlo e prevenção.

**Tema:** Dimensionamento, beneficiação e operação de sistemas de abastecimento, drenagem e tratamento de águas.

### 1. INTRODUÇÃO

O aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada na torneira do consumidor é um problema com que se defrontam muitas entidades gestoras (EG), podendo causar insatisfação e desconfiança na qualidade do serviço prestado, e reclamações (Vreeburg e Boxall, 2007; Poças, 2014). O fenómeno é vulgarmente tido como resultado da corrosão das condutas metálicas nos sistemas de distribuição de água (SDA), dado o aspeto ferruginoso e os elevados teores em ferro das partículas em suspensão. Para responder ao problema, é usual investir-se na reabilitação das condutas em ferro fundido, incluindo a substituição destas por outras em materiais plásticos. Contudo, a corrosão não é a única nem a mais frequente causa do aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor (Vreeburg e Boxall, 2007; Vreeburg, 2007; Poças et al., 2014, 2015).

De entre a diversidade de sedimentos que ocorrem nos SDA, e.g., areias, partículas de erosão e corrosão de condutas, agregados de argila e resíduos de coagulantes, os que, quando ressuspensos, causam a formação de água com turvação amarelo-acastanhada têm características específicas. São hidrogéis cuja estrutura é constituída por fibrilhas de polímeros biogénicos – *extracellular polymeric substances* (EPS) – e ferro (Poças et al., 2013a). Dada a sua tendência para flocular, elevada porosidade e alto teor em água, não têm dimensões constantes, têm uma densidade próxima da água e ressuspendem mais facilmente que os restantes sedimentos que ocorrem nos SDA.

A água amarelo-acastanhada forma-se quando os flocos depositados ressuspendem devido a mudanças rápidas na velocidade da água nas condutas. São múltiplas as possíveis origens deste tipo de sedimentos: i) a estação de tratamento de água - ETA (e.g., produtos da coagulação-floculação, partículas dos meios filtrantes); ii) as paredes das condutas (e.g., biofilme); iii) a aglutinação e pós-precipitação de substâncias presentes na água (e.g., formas oxidadas de ferro, compostos orgânicos) (Sly et al., 1990; Smith et al., 1997; Gauthier et al., 1999; Batté et al., 2003; Vreeburg e Boxall, 2007). Acresce que o potencial de formação/acumulação de sedimentos está relacionado com as características da água e com as suas transformações desde a ETA à torneira do consumidor. Por isso, ao invés de serem exclusivos das redes com condutas metálicas, os sedimentos podem ocorrer e acumular-se em qualquer sistema de distribuição, sejam quais forem os materiais das condutas, as origens de água (e.g., superficial, subterrânea) e as concentrações (ou mesmo a ausência) de desinfetante residual. Por outro lado, a ressuspensão dos sedimentos é determinada pela intensidade de acumulação e pelas alterações das condições hidráulicas na rede (Vreeburg et al., 2009; Poças et al., 2014, 2015).

Assim, o diagnóstico e mitigação do problema vão muito além da simples reabilitação das condutas, havendo fatores que podem variar de sistema para sistema e dentro de um mesmo sistema. Além da aplicação de metodologias adequadas à amostragem e análise da água e dos sedimentos, e da caracterização físico-química destes, é necessário fazer-se o diagnóstico do seus níveis de acumulação e potenciais de ressuspensão, função das condições hidrodinâmicas vigentes (Vreeburg et al., 2009; Poças et al., 2013b, 2015). Esta abordagem deve, portanto, ser necessariamente integrada e compreender uma análise abrangente das condições hidráulicas prevaletentes e das ações praticadas/planeadas (e.g., infraestruturais, de operação e manutenção) para garantia da qualidade do serviço prestado, em situações normais, e.g. picos de consumo e arranque de bombas, ou pontuais, e.g., roturas, reparação e limpeza de condutas.

Nesta comunicação, com base na experiência e conhecimento desenvolvidos no LNEC ao longo de 10 anos de estudo desta problemática a nível nacional e internacional, em particular com a EPAL e a Universidade Técnica de Delft (Holanda), apresentam-se os principais aspetos científicos, técnicos e práticos do estado atual do conhecimento sobre sedimentos dos sistemas de distribuição, particularmente daqueles que resultam em episódios de ocorrência de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor. É dado ênfase ao conhecimento e aos meios e práticas de que as EG dos serviços urbanos de água podem dispor para diagnosticar, mitigar e/ou prevenir o problema da acumulação de sedimentos e, conseqüentemente, do aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor.

## **2. AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**

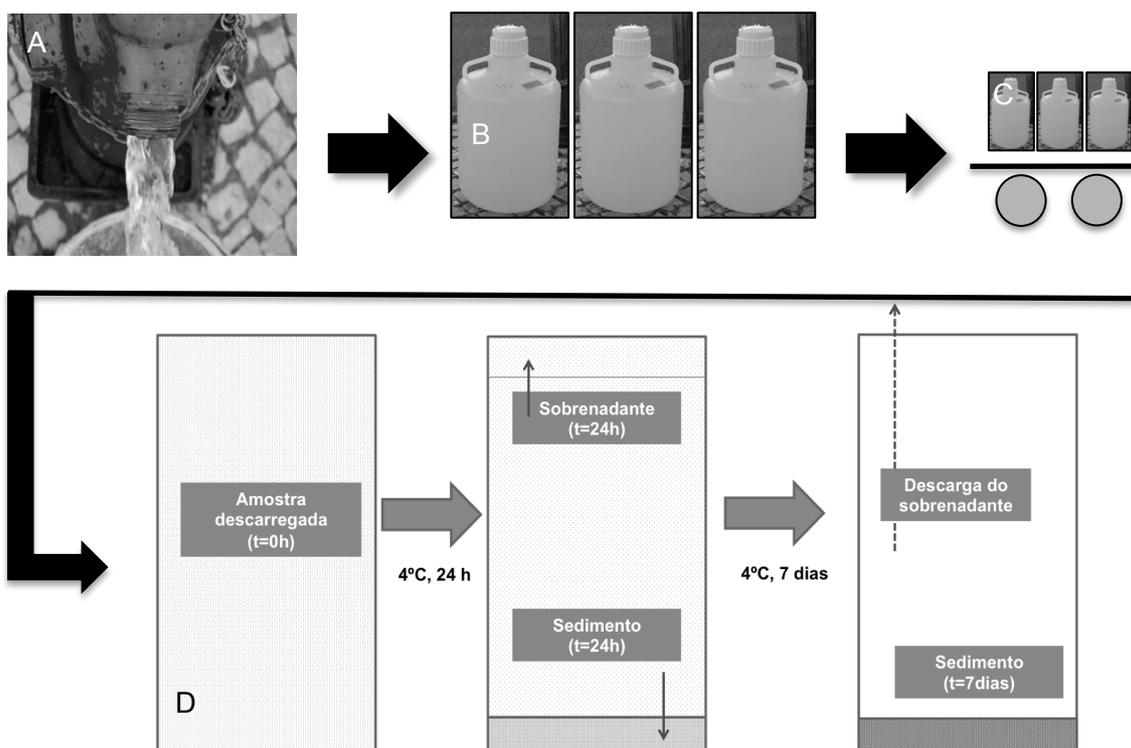
### **2.1 Metodologia de amostragem e ensaios de caracterização**

O desenvolvimento de uma metodologia de amostragem específica para a recolha de sedimentos (Poças et al., 2012, 2013a,b, 2014, 2015) teve por objetivo a recolha representativa de sedimentos dos sistemas de distribuição em quantidade suficiente para a sua caracterização microbiológica, físico-química e análise da sua forma e comportamento. A metodologia baseia-se na colheita de grandes volumes de água (> 30 L) a partir de hidrantes localizados na rede de distribuição, durante as descargas de rotina para manutenção ou limpeza de condutas. As velocidades de amostragem, ao contrário de outras abordagens em que são requeridas velocidades mínimas, devem ser próximas das que dão origem aos fenómenos de acumulação e ressuspensão de sedimentos, i.e., das velocidades normais de operação.

Para a recolha das amostras de água pode ser utilizado um tubo de ligação ao hidrante. Antes de se efetuarem as colheitas, e com a válvula do hidrante o mais aberta possível, devem ser descartados 2-3 vezes os volumes retidos no hidrante e nas ligações à rede (Figura 1-A). A recolha da amostra deve ser feita durante a primeira rotação da válvula, na gama de velocidades da operação (e.g., 0,1-0,4 m/s), sem prejuízo de se colherem amostras a velocidades mais elevadas, por exemplo na gama das utilizadas para limpeza de condutas (e.g., 1,0-1,5 m/s). Para a recolha, podem ser utilizados reservatórios cilíndricos calibrados com capacidade superior a ca. 20 L (Figura 1-B). O diâmetro da conduta e o tempo da colheita devem ser registados para se estimar a velocidade de amostragem. Após a recolha das amostras, os reservatórios devem ser transportados para o laboratório onde serão analisados (Figura 1-C).

A caracterização de cada ponto de colheita envolve a caracterização das amostras de água recolhidas e dos sedimentos concentrados por gravidade a 4°C. O tempo necessário para concentrar os sedimentos varia entre 24h, se forem realizadas análises microbiológicas, até cerca de 7 dias, para a caracterização físico-química (Figura 1-D). Este tempo deve ser ajustado às características das amostras, dado que depende do volume inicial descarregado e da sua concentração em sólidos. O sedimento concentrado obtém-se depois de retirado o sobrenadante, por exemplo com uma bomba peristáltica, e, se necessário, após decantações sucessivas para aumento da concentração da amostra. Nas amostras de água recolhidas, deve analisar-se a turvação, os sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis, e o ferro total. Podem analisar-se também o pH e a condutividade, sempre que possam ser indicativos das origens da água. No sedimento concentrado, deve analisar-se a

turvação, os sólidos totais e sólidos voláteis, o ferro total e o teor em proteína e em açúcares - os constituintes principais das EPS. Para avaliar possíveis riscos associados à turvação amarelo-acastanhada, podem pesquisar-se contaminantes que podem ser adsorvidos pelos sedimentos, e.g., arsénio e microrganismos por contagem de heterotróficos e de patogénicos. Quando as análises microbiológicas são feitas por métodos culturais ou baseadas na determinação de trifosfato de adenosina (ATP), devem ser garantidas as condições que previnem a contaminação das amostras na colheita e no laboratório, e os ensaios devem ser feitos em menos de 24 h após amostragem.



**Figura 1.** Amostragem e tratamento das amostras: 1.º descarte do volume das ligações e do hidrante (fig. A) e recolha da amostra; 2.º armazenamento das amostras em cada ponto de colheita (> 20 L) (fig. B); 3.º transporte das amostras (fig. C); 4.º concentração das amostras por gravidade durante 24 h para caracterização microbiológica e/ou durante 7 dias para caracterização físico-química (fig. D).

### 2.2 Sistema de distribuição em estudo

As amostras de sedimentos foram recolhidas no sistema de distribuição de Lisboa. Este sistema é principalmente abastecido com água de origem superficial e tem condutas em fibrocimento (~ 29 %), ferro dúctil (~ 28 %), ferro fundido (~ 19 %) e polietileno de alta densidade (~ 17 %). Para a caracterização de sedimentos do sistema de distribuição, foram efetuadas mais de 70 colheitas, durante descargas programadas de condutas. Os pontos de amostragem incluíram extremos e a rede, e condutas de diferentes materiais, diâmetros e condição infraestrutural, i.e., idade.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO EM ESTUDO

#### 2.1 Caracterização físico-química e microbiológica da água recolhida e do sedimento

Os volumes de água recolhidos foram de 30 L e 63 L, com velocidades de amostragem entre 0,02 m/s e 0,52 m/s (Poças et al., 2013a,b, 2014, 2015). As amostras tinham valores de turvação entre 1 a 91 UNT, com concentrações em sólidos entre 0,3 mg/L a 51,0 mg/L. Nas amostras de água recolhidas não se observou qualquer correlação entre a intensidade da turvação e o teor em bactérias (número de heterotróficos totais). Além disso, as concentrações bacterianas ( $2 \times 10^2$  a  $5 \times 10^6$  por litro) nas descargas de água com turvação amarelo-acastanhada encontravam-se, em todas as amostras, dentro da gama normal da água de SDA.

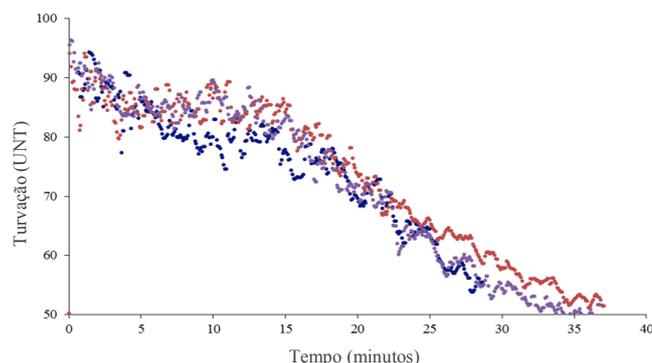
Os volumes de sedimento obtidos foram de 1-3 L, com fatores de concentração de ca. 300 vezes, para tempos de concentração de aproximadamente 7 dias. Estas quantidades de amostra foram suficientes para uma caracterização alargada de parâmetros, incluindo sólidos totais, sólidos voláteis (fração orgânica), metais (Fe, Al, Mn, Ca), constituintes orgânicos (proteína e açúcares). De salientar ter sido possível a caracterização alargada para amostras com níveis de turvação abaixo de 2 UNT, valor inferior ao valor paramétrico para água na torneira do consumidor.

Em todas as amostras, o ferro total (7-93 %) e os sólidos voláteis (3-47 %) foram os principais constituintes dos sedimentos concentrados. Os elevados teores em ferro (> 40 %) foram observados em condutas de todos os materiais presentes no sistema de distribuição (fibrocimento, ferro dúctil, ferro fundido e polietileno de alta densidade), em que apenas 19 % corresponde a condutas em ferro fundido. Em relação a Al, Mn e Ca, os valores máximos encontrados foram de 6 %, 4 % e 3 %, respetivamente. Na fração orgânica foram encontrados teores em açúcares entre 0,3 % e 27 % e em proteína entre 0,1 % e 15 %. Estes teores de açúcares e proteína indicam a presença de EPS como constituinte dos sedimentos.

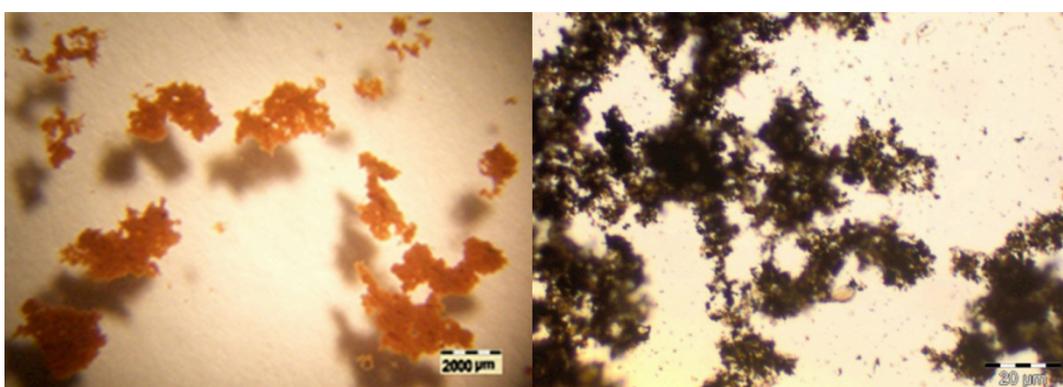
As análises microbiológicas dos sedimentos revelaram teores médios de heterotróficos totais na ordem de  $10^8$ - $10^9$  por grama de peso seco. A análise de sedimentos frescos revelou que, em regra, a água nestes contida perfaz > 85 % do seu peso húmido.

#### 2.1 Análise do comportamento e da forma dos sedimentos

Além da sua perceção visual, a natureza floculenta dos sedimentos típica das EPS, nomeadamente a sua agregação/desagregação em função das condições hidrodinâmicas, foi evidenciada por ensaios de turvação após ressuspensões sucessivas. Constatou-se que a velocidade de sedimentação depende do número de partículas disponíveis para agregação (Figura 2) (Poças et al., 2013b). Em relação à morfologia, os sedimentos invariavelmente apresentaram a estrutura de floco com configuração fractal (Figura 3) (Poças et al., 2013a). À lupa e ao microscópio, as observações a preparações frescas permitiram confirmar a natureza coesiva dos sedimentos, incluindo a sua capacidade de agregação e desagregação. Em todos os ensaios realizados, da ressuspensão das amostras resultou a reconstituição das características típicas da água com turvação amarelo-acastanhada.



**Figura 2.** Ensaio de decaimento da turbidez (Poças et al., 2013b).



**Figura 3.** Amostras de sedimento observadas à lupa (à esquerda) e ao microscópio óptico (à direita) (Poças et al., 2013a).

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida permitiu a amostragem representativa e em quantidade dos sedimentos que se acumulam nos sistemas de distribuição e que podem dar origem ao aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor.

As principais vantagens da metodologia são a possibilidade da sua utilização durante as descargas pontuais ou sistemáticas de condutas efetuadas pelas EG, e a recolha de um grande número de amostras com a quantidade de sedimentos requerida para realizar a sua caracterização alargada. Outra vantagem é a possibilidade da amostragem poder ser feita em condições hidráulicas favoráveis à EG e sem perturbação significativa das condições normais de operação da rede, o que minimiza a possibilidade de existirem reclamações posteriores aos trabalhos efetuados. As desvantagens da metodologia incluem a necessidade de se recolherem grandes volumes de amostra (> 30 L) e o elevado tempo de concentração dos sedimentos, se efetuado apenas por gravidade. Na ausência de estudos de comportamento e de forma dos sedimentos, esta limitação pode ser ultrapassada concentrando o sedimento, por exemplo, por centrifugação.

Como conclusões principais deste trabalho destacam-se a confirmação de que os teores em ferro dos sedimentos são independentes da sua localização na rede, i.e., do material das condutas, e, conseqüentemente, que os sedimentos não provêm exclusiva e maioritariamente de condutas em ferro fundido. Acresce a descoberta de que os sedimentos

são flocos e não partículas com tamanhos definidos, o que se relaciona com uma densidade próxima da água. Em termos práticos, os resultados obtidos explicam a distribuição esparsa deste tipo de sedimentos nos sistemas, não circunscrita a extremos de rede e/ou a condutas em ferro fundido. Por outro lado, enquanto a sua acumulação/ressuspensão depende das condições hidráulicas dos sistemas, a sua formação/composição e taxas de acumulação são sobretudo função das características da água (Vreeburg, 2007; Poças et al., 2014, 2015). A importância da qualidade da água bruta e do nível de tratamento já tinha sido ilustrada por van Dijk e van der Kooij (2005) – com a água produzida numa ETA com capacidade para 5 milhões de m<sup>3</sup> por ano e que tenha uma concentração em ferro residual de 0,05 mg/L, podem ser transportados para o sistema de distribuição cerca de 500 kg Fe(OH)<sub>3</sub> por ano. Tendo em conta que as EPS têm o biofilme como fonte permanente, esta quantidade de ferro pode dar lugar à formação de uma quantidade importante de sedimentos da água amarelo-castanha (Poças et al., 2013a).

Em teoria é possível prevenir o aparecimento de turvação amarelo-castanha num SDA, desde que em todas as condutas ocorram velocidades de escoamento > 0.4 m/s, pelo menos uma vez por dia (Vreeburg et al., 2009; Blokker, 2010; van Thienen et al., 2011). Contudo, na prática, as velocidades são relativamente baixas devido ao sobredimensionamento dos sistemas, por motivos de combate a incêndios, e as medidas para garantir os 0.4 m/s (e.g., redes ramificadas e de diâmetro decrescente) são onerosas e de difícil aplicação em sistemas já existentes (Poças et al., 2014, 2015). Nestas circunstâncias, para a prevenção/mitigação da acumulação de sedimentos que dão origem ao aparecimento da turvação amarelo-acastanhada é essencial:

- a modelação hidráulica para permitir estimar velocidades de escoamento na rede;
- a amostragem e caracterização dos sedimentos acumulados/ressuspensos para fornecerem indicações da sua origem nos sistemas;
- o diagnóstico da taxa de acumulação de sedimentos para identificação de pontos críticos para a acumulação/ressuspensão de sedimentos e de recorrências.

Fruto dos estudos desenvolvidos na última década, a UQTA/NES/LNEC dispõe das competências e meios para a realização destas ações, bem como para a avaliação e planeamento de trabalho de reabilitação de sistemas de distribuição de água.

### 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos estruturais da UE e fundos nacionais do Ministério da Educação, do Ensino Superior e da Ciência através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto PTDC/ECM/108261/2008-LDmicrobiota e da Bolsa SFRH/BD/43715/2008.

São ainda devidos agradecimentos à equipa da EPAL que participou neste trabalho, Maria João Benoliel, Sérgio Rodrigues, Nazaré Rebola, Bruno Cordeiro, Elisabete Ferreira, Célia Neto, João Paiva, André Miranda, Joaquim Rosário e José Osório; a Jan Vreeburg (Wageningen UR) e Luuk Rietveld (TU Delft); a Vítor Napier e João Vale, do LNEC.

### 6. REFERÊNCIAS

- Batté, M., Appenzeller, B., Grandjean, D., Fass, S., Gauthier, V., Jorand, F., (2003). Biofilms in drinking water distribution systems. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* 2, 147–168.
- Blokker, E.J.M., (2010). Stochastic water demand modelling for a better understanding of

## 13.º Congresso da Água

- hydraulics in water distribution networks. Water Manag. Technische Universiteit Delft, Delft.
- Gauthier, V., Geàrard, B., Portal, J.M., Block, J.C., Gatel, D., (1999). Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system. *Water Res.* 33, 1014–1026. doi:10.1016/S0043-1354(98)00300-5
- Poças, A., Monteiro, L., Rebola, N., Cordeiro, B., Paiva, J., Benoliel, M.J., Rodrigues, S., Vreeburg, J., Menaia, J., (2012). Método para amostragem representativa de sedimentos de redes de distribuição. 11º Congresso da Água, Porto.
- Poças, A., Miranda, A., Paiva, J., Benoliel, M.J., Vreeburg, J., Menaia, J., (2013a). Hydrogel floc nature and biogenic constituents of drinking water discolouration deposits. *Water Sci. Technol. water supply* 13, 1486–1494.
- Poças, A., Rebola, N., Cordeiro, B., Rodrigues, S., Benoliel, M.J., Vreeburg, J., Menaia, J., (2013b). Methodology for sampling drinking water loose deposits at low velocities. *Water Sci. Technol. water supply* 13, 1116–1122. doi:10.2166/ws.2013.096
- Poças, A., (2014). Discolouration loose deposits in distribution systems: composition, behaviour and practical aspects. *Civ. Eng. Geosci.* . Delft University of Technology, Delft.
- Poças, A., Benoliel, M.J., Rietveld, L.C., Vreeburg, J., Menaia, J., (2014). Discolouration loose deposits: balancing views and practices. *World Water Congress*, Lisbon, Sept.
- Poças, A., Napier, V., Neto, C., Ferreira, E., Benoliel, M.J., Rietveld, L.C., Vreeburg, J., Menaia, J., (2015). Low affinity of heterotrophic bacteria to loose deposits in drinking water distribution systems. *J. Water Supply Res. Technol.* 64.4. doi:doi:10.2166/aqua.2015.062
- Sly, L., Hodgkinson, M.C., Arunpairojana, V., (1990). Deposition of Manganese in a Drinking Water Distribution System. *Appl. Environ. Microbiol.* 628–639.
- Smith, S.E., Bisset, A., Colbourne, J.S., Holt, D., Lloyd, B.J., (1997). The occurrence and significance of particles and deposits in a drinking water distribution system. . *J. New Engl. Water Work. Assoc* 111, 135–150.
- van Thienen, P., Vreeburg, J.H.G., Blokker, E.J.M., (2011). Radial transport processes as a precursor to particle deposition in drinking water distribution systems. *Water Res.* 45, 1807–1817. doi:10.1016/j.watres.2010.11.034
- Vreeburg, J., (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. *Dep. Water Manag.* Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Vreeburg, J., Boxall, J.B., (2007). Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Res.* 41, 519–529. doi:10.1016/j.watres.2006.09.028
- Vreeburg, J.H.G., Blokker, E.J.M., Horst, P., van Dijk, J.C., (2009). Velocity based self cleaning residential drinking water distribution systems. *Water Sci. Technol.* 9, 635–641.