

Os sedimentos dos sistemas de distribuição: composição, comportamento e aspetos práticos para monitorização

Ana Poças*, José Menaia

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

RESUMO

Os sedimentos ocorrem em todos os sistemas de distribuição de água. Uma vez acumulados, podem ser ressuspensos e chegar à torneira do consumidor, dando lugar ao aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada. O fenómeno, que pode ser provocado por variações repentinas de velocidade, pode causar alterações de qualidade da água, difíceis de prevenir, e comprometer a qualidade do serviço prestado e originar reclamações. Para gerir os sedimentos nos sistemas de distribuição é necessário conhecer as suas principais origens e compreender os processos que determinam a sua acumulação e ressuspensão. Neste artigo, resume-se o estado do conhecimento do âmbito desta problemática, nomeadamente no que concerne às características e comportamento dos sedimentos específicos do aparecimento da água com turvação amarelo-acastanhada, e às condições hidráulicas para a sua acumulação e ressuspensão. Além de metodologias para amostragem representativa e estudo dos sedimentos, descrevem-se medidas para a sua monitorização. São relevados e discutidos os aspetos práticos para gestão dos sedimentos, nomeadamente ações possíveis (descargas na rede) para prevenção ou remediação do problema.

Palavras Chave – acumulação de sedimentos; água amarelo-acastanhada; gestão da qualidade da água; sistemas de distribuição.

doi: 10.22181/aer.2016.0106

* Autor para correspondência

E-mail: apocas@lnec.pt (Doutora A. Poças)

Loose deposits in distribution systems: composition, behavior and practical aspects for monitoring

Ana Poças, José Menaia*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

ABSTRACT

Loose deposits occur in every drinking water distribution system. When accumulated, they can be resuspended and reach the consumer tap, as discoloured water. The phenomenon can be originated by rapid changes in flow velocity, being a frequent cause of complaints. Moreover, it may cause changes in the water quality, difficult to prevent during routine procedures and, thus, compromise the quality of the service provided by the water utility. To control the loose deposits' budget to the distribution system it is necessary to investigate what are their main causes/origins and comprehend the processes leading to their accumulation. A resume of the main aspects that relate with the accumulation and the characteristics of loose deposits is herein presented, aiming at highlighting the importance of sample collection and characterisation. Unlike routine analysis, loose deposit sampling and characterisation, together with online monitoring, may allow understanding the processes that lead to their development and resuspension. From here, practical implications.

Keywords – accumulation of sediments; discoloured water; distribution systems; water quality management.

doi: 10.22181/aer.2016.0106

* *Corresponding author*

E-mail: apocas@lnec.pt (Dr. A. Poças)

1 INTRODUÇÃO

Os sedimentos ocorrem invariavelmente em todos os sistemas de distribuição (Vreeburg e Boxall 2007, Poças A. 2014). Uma vez acumulados, os sedimentos podem ser ressuspensos e chegar à torneira do consumidor, assim se originando o aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada. O fenómeno, que pode ser ocasionado por variações repentinas da velocidade do escoamento (Vreeburg *et al.* 2009, Poças *et al.* 2014, 2015a) nas condutas ou nas redes prediais, é uma frequente causa de reclamações (Vreeburg e Boxall 2007, Poças A. 2014). O seu impacto visual é tanto maior quanto maior for a acumulação de sedimentos, podendo comprometer a qualidade do serviço prestado pela entidade gestora (EG) e gerar insatisfação do consumidor. Pode ainda causar deterioração da qualidade da água (Zacheus *et al.* 2001, Lehtola *et al.* 2004), que pode ser difícil de detetar e prevenir, dado que a ressuspensão de sedimentos é normalmente ocasional e repentina (Vreeburg *et al.* 2008).

O aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor é vulgarmente tido como resultado da corrosão das condutas metálicas dos sistemas de distribuição (SDA) e das redes prediais. Tal é sugerido pelo aspeto ferruginoso da água e pelos elevados teores em ferro, típicos das partículas em suspensão (Poças *et al.* 2013a,b). A acumulação de sedimentos é também frequentemente relacionada com a idade avançada das condutas, ainda que não existam relações entre as características físicas da rede e os níveis de acumulação de sedimentos. Prova disso é o insucesso dos investimentos em reabilitação, nomeadamente a substituição de condutas em ferro fundido por outras em materiais plásticos, não prevenindo a posterior acumulação/ressuspensão de sedimentos e reclamações consequentes. O mesmo se pode aplicar a aumentos da eficiência de remoção de partículas nas estações de tratamento (ETA), visto que também em redes de distribuição com abastecimento com água tratada por ultrafiltração ocorre acumulação de sedimentos e o aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada (Vreeburg *et al.* 2008).

São múltiplas as origens potenciais dos sedimentos nos SDA. Destas, a corrosão não é a única nem a mais frequente causa da acumulação de sedimentos (Vreeburg e Boxall 2007, Vreeburg 2007, Poças *et al.* 2014, 2015b). Além da corrosão, as partículas em suspensão que podem originar sedimentos podem ter origem em processos que ocorrem na ETA (e.g., coagulação-floculação, filtração rápida) e na rede (e.g., erosão de condutas, desenvolvimento de biofilme, intrusões devido a roturas) (Sly *et al.* 1990, Smith *et al.* 1997, Gauthier *et al.* 1999, Batté *et al.* 2003, Vreeburg e Boxall, 2007). Por outro lado, a acumulação pode ser favorecida pelas baixas velocidades de escoamento (Poças *et al.* 2014), que é devida ao sobredimensionamento dos SDA ou à invariabilidade dos padrões de consumo. Manobras e intervenções na rede (e.g., trabalhos de reabilitação, descargas não controladas) que causem mudanças súbitas na velocidade de escoamento podem também ressuspender sedimentos e, consequentemente, originar o aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada na torneira do consumidor (Vreeburg *et al.* 2009, Poças *et al.* 2013b, 2014, 2015a).

Neste contexto, além do funcionamento hidráulico dos SDA, importa conhecer a composição, as características físicas e o comportamento reológico dos sedimentos da água com turvação amarelo-acastanhada. Este conhecimento é útil para avaliar os riscos para o consumidor, inferir a origem

dos sedimentos e delinear estratégias para controlo da sua acumulação nos SDA. Estas estratégias incluem a diminuição do aporte de sedimentos para os sistemas através do aumento da eficiência na ETA, a realização de descargas programadas para limpeza de condutas e a reconfiguração da rede, e.g., ao nível das zonas de medição e controlo. Não obstante a sua utilidade no controlo da qualidade da água nos sistemas, a amostragem de sedimentos para caracterização físico-química e microbiológica não é prática comum nas EG. Isto pode decorrer do facto de não existirem métodos padrão para recolha e caracterização de sedimentos; da ideia pouco realista de que as descargas podem representar consumos de água muito significativos (Vreeburg 2007); e da ausência de inconformidades nas análises de rotina, que podem ser explicadas pela dificuldade da deteção de picos de turvação ocasionais e repentinos. Acresce referir que, normalmente, os consumidores apenas percebem turvação em águas com ca. 10 UNT ou mais (Vreeburg 2007). Porém, águas com turvações inferiores a este valor, e ao valor paramétrico de 2 UNT, podem também conter sedimentos (Poças *et al.* 2015b).

Neste artigo apresentam-se os principais conhecimentos, métodos e experiência obtidos do desenvolvimento de uma tese de doutoramento (Poças A. 2014), na perspetiva da sua aplicação prática. Trata-se de trabalho desenvolvido no LNEC, em colaboração com a EPAL e a Universidade Técnica de Delft (Holanda), que, no essencial, visou estudar o comportamento e as características dos sedimentos que podem dar origem ao aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada na torneira do consumidor.

2 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS

A metodologia desenvolvida (Poças *et al.* 2013a,b, 2016) para recolha representativa de sedimentos que causam a turvação amarelo-acastanhada na água baseia-se na colheita de grandes volumes de água (> 20-30 L) para posterior caracterização. Isto justifica-se pela necessidade de se obterem amostras com sedimentos em quantidade suficiente para análise físico-química e microbiológica, nomeadamente em amostras com turvações baixas (< 2 UNT). Para a caracterização é ainda necessário concentrar a amostra, por gravidade, no caso de se pretender também estudar o comportamento dos sedimentos, ou por outros métodos, e.g., centrifugação, filtração.

As colheitas podem ser efetuadas a partir de hidrantes localizados na rede de distribuição, se necessário usando um tubo de ligação, durante as descargas para limpeza de condutas. Durante estas descargas, as condições hidráulicas devem ser suficientes para que ocorra uma remoção efetiva dos sedimentos acumulados e, por isso, a velocidade-alvo é de 1,0-1,5 m/s. Contudo, além dos sedimentos da água amarelo-acastanhada os sedimentos ressuspensos poderão também incluir materiais que, em circunstâncias normais, dificilmente chegam à torneira do consumidor, por exemplo, areias. Em alternativa, podem fazer-se descargas específicas para recolha de amostras, tendo presente que a velocidade de amostragem pode ser insuficiente para a remoção total (limpeza) dos sedimentos acumulados. Nas descargas que se destinam especificamente à colheita de sedimentos da turvação amarelo-acastanhada, a velocidade de amostragem poderá ser próxima daquela que dá origem à ressuspensão, i.e. 0,40 m/s (autolimpeza), ou a velocidade máxima atingível com a abertura do hidrante.

A metodologia de amostragem a seguir descrita é específica para os sedimentos que dão origem ao aparecimento de água amarela-acastanhada na torneira do consumidor, visto que a velocidade de amostragem está próxima daquela a que ocorrem normalmente as perturbações hidráulicas que dão origem a reclamações. Nas condições testadas, as velocidades de amostragem aplicadas variaram entre 0,02 e 0,52 m/s. A colheita de água deve ser feita durante a primeira rotação da válvula. Para uma caracterização representativa, o volume mínimo de água colhida ronda 20-30 L, valor que deve ser ajustado às velocidades de amostragem impostas pela rotação da válvula e à concentração em sólidos suspensos, expetável para cada amostra. Nas descargas que se destinam a limpeza de condutas, o caudal deve ser medido para garantir que se atingem os valores-alvo. Nas descargas que se destinam a um diagnóstico prévio da acumulação de sedimentos, na ausência de equipamento mais adequado, o volume de água colhida, o tempo de colheita e o diâmetro da conduta devem ser registados para cálculo da velocidade de amostragem.

A metodologia específica desenvolvida para recolha e caracterização de amostras de sedimentos da turvação amarelo-acastanhada (Poças *et al.* 2013a,b, 2016) compreende (Figura 1):

1. O descarte de 2-3 vezes os volumes retidos no hidrante e nas ligações à rede (Figura 1-A), antes da colheita, com a válvula do hidrante aberta o suficiente para se atingir a velocidade-alvo;
2. A utilização de reservatórios calibrados com capacidade superior a ca. 20 L (Figura 1-B) para recolha das amostras;
3. O transporte das amostras para análise em laboratório (Figura 1-C), após recolha e armazenamento a 4°C;
4. A concentração das amostras por gravidade durante 24 h para análise microbiológica ou durante cerca de 7 dias para caracterização físico-química e, eventualmente, reológica (Figura 1-D).

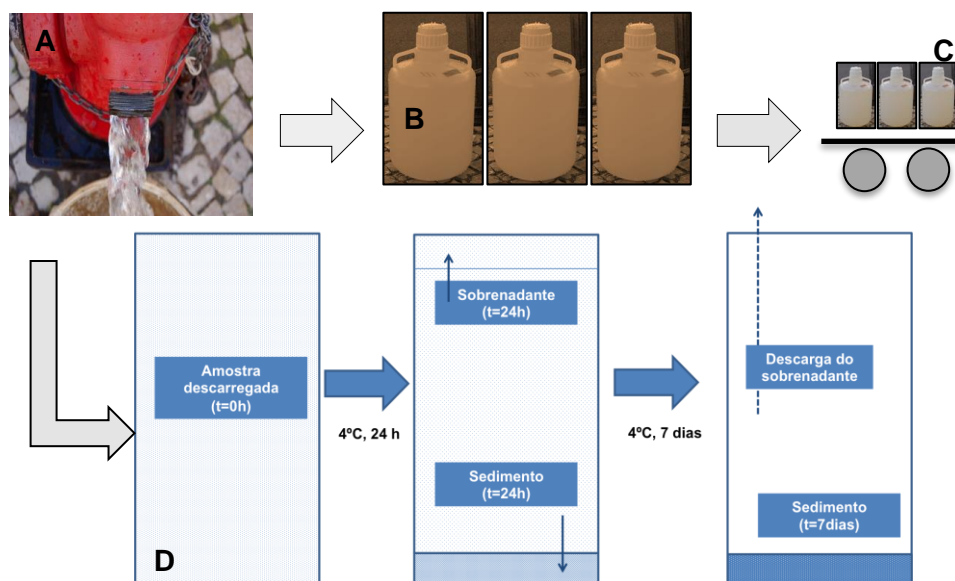


Figura 1. Recolha e separação das amostras:

1.º descarte dos volumes retidos (fig. A); 2.º recolha em reservatórios cilíndricos (> 20 L) (fig. B); 3.º transporte das amostras (fig. C); 4.º concentração das amostras por gravidade caracterização microbiológica (24 h) ou físico-química (7 dias) (fig. D) (adaptado de Poças *et al.* 2016)

O tempo necessário para concentração dos sedimentos deve ser ajustado às características das amostras, em função do volume inicial descarregado e da sua concentração em sólidos. O sedimento concentrado obtém-se por remoção do sobrenadante (e.g., com bomba peristáltica) e, se necessário, de posteriores decantações sucessivas para concentração da amostra.

O desenvolvimento da metodologia de amostragem e a sua validação foi feita pelo LNEC, em colaboração com a EPAL e a Universidade Técnica de Delft (Holanda). Durante este estudo (2010-2013) foram efetuadas mais de 70 colheitas de amostras, durante descargas programadas pela EPAL. Os pontos de amostragem incluíram extremos e condutas distribuidoras, de diferentes materiais, diâmetros e condição infraestrutural, i.e., idade. As amostras de sedimentos foram todas recolhidas na rede de distribuição de Lisboa. Na água colhida analisou-se a turvação, os sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e o teor em heterotróficos totais. No sedimento concentrado, analisaram-se sólidos totais e sólidos voláteis, ferro total, alumínio, manganês e cálcio. O estudo da fração orgânica incluiu a análise dos teores em açúcares e proteína. A caracterização da estrutura e morfologia dos sedimentos foi feita através de observações ao microscópio, que mostraram as suas características floculentas e adesivas. A tendência reversível dos sedimentos para formar agregados foi ainda evidenciada pelo estudo nefelométrico da variação da turvação em suspensões concentradas de sedimentos.

3 CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Foram estudados sedimentos que, dado o número de amostras (> 70) e a diversidade da localização das colheitas na rede de distribuição, são representativos de muitas das condições que ocorrem em SDA, nomeadamente no que se refere a tempos de residência da água, condições hidráulicas e material das condutas. A representatividade dos sedimentos estudados foi corroborada pelo facto destes apresentarem características comuns aos colhidos noutros SDA, designadamente os teores em ferro e sólidos voláteis, e as propriedades adesivas (Poças *et al.* 2013a,b). Além disso, foi demonstrada a possibilidade de serem amostrados a velocidades inferiores, que são muitas vezes as máximas possíveis de atingir nas redes existentes, para amostragem ou para diagnóstico prévio dos níveis de acumulação deste tipo de sedimentos (Poças *et al.* 2013a,b).

A metodologia desenvolvida permitiu a amostragem representativa, e em quantidade, dos sedimentos que se acumulam nos SDA e que podem dar origem ao aparecimento de água amarelo-acastanhada na torneira do consumidor. Para o efeito foram colhidos 30 L e 63 L de água, às velocidades de amostragem entre 0,02 m/s e 0,52 m/s (Poças *et al.* 2013a,b, 2015b), obtendo-se, após decantação prolongada (Figura 1), 1-3 L de amostras com sedimentos. Estas amostras apresentavam uma concentração ca. 300 vezes superior em relação à água colhida, com concentrações em sólidos entre 0,3 mg/L a 51,0 mg/L e turvações entre 1 e 91 UNT. Em consonância com o que se encontra publicado (Gauthier *et al.* 1999, Zacheus *et al.* 2001, Vreeburg 2007), os sedimentos estudados (em peso seco) apresentaram ferro (ca. 500 mg/g) e sólidos voláteis como constituintes principais (ca. 160 mg/g), e teores inferiores de manganês (<4%) e cálcio (<3%) (Poças *et al.* 2013a). Apesar do coagulante utilizado na ETA do SDA em estudo conter alumínio,

este elemento foi encontrado a teores ($< 6\%$) consideravelmente inferiores aos de ferro e sólidos voláteis.

Em relação à localização na rede, não foram encontradas relações entre as concentrações (mg/L) de sedimento da água e o local de colheita. Contrariamente à percepção comum, as concentrações de sedimentos nas condutas em extremo apresentaram valores semelhantes às das condutas distribuidoras. O mesmo se aplica às condutas de ferro fundido, em que a concentração de sedimentos não era invariavelmente maior que a observada em condutas de fibrocimento, ferro dúctil ou polietileno de alta densidade, observando-se teores elevados ($> 40\%$) de ferro, independentemente do material das condutas amostradas. Relativamente à fração orgânica, foram sistematicamente encontrados teores (em peso seco) relevantes de açúcares (até 27%) e proteína (até 15%), o que demonstra a presença significativa de polímeros biogênicos (Poças *et al.* 2013a, 2015b). Estes, que são genericamente designados *extracellular polymeric substances* (EPS), são também o principal constituinte dos biofilmes que colonizam a parede interna das condutas. Apesar disso, as concentrações de bactérias nas águas colhidas eram da ordem das que são normalmente encontradas na água de SDA, não tendo sido encontradas relações entre aquela concentração e a de sedimentos (Poças *et al.* 2015b).

Mais do que relacionado com o desenvolvimento bacteriano nos sedimentos, o EPS poderá ser responsável pelo comportamento, propriedades de agregação e floculação, retenção de água e potencial para adsorver contaminantes (Poças *et al.* 2014). Por outro lado, os sedimentos com maiores concentrações em EPS tendem a ficar em suspensão ou a decantar mais lentamente (Poças *et al.* 2015b), possivelmente por serem mais hidratados e, portanto, terem densidade próxima da água. Por isso, tendem a ser transportados e a permanecer nos SDA por muito menos tempo do que os sedimentos com menores concentrações em EPS, que podem ter tempos de residência de meses ou anos, durante os quais podem adsorver o ferro da água. Ao microscópio, os sedimentos da turvação amarelo-acastanhada apresentaram-se invariavelmente com uma estrutura fractal de fibrilhas de EPS e ferro que, a par da sua natureza adesiva-coesiva (Vreeburg e Boxall 2007, Poças A. 2014), os distingue de outros tipos de sedimentos dos SDA (Figura 2). Estas características e o seu elevado teor em água ($> 85\%$) denotam a sua natureza de hidrogel (Poças *et al.* 2013a), apresentando-se como flocos de elevada porosidade. Estas propriedades, diferentes das “partículas verdadeiras” (e.g., areias), explicam o seu comportamento reológico, designadamente as condições e modo como se depositam e são facilmente ressuspensos e transportados até outros pontos da rede, incluindo a torneira do consumidor. Estas propriedades de agregação-desagregação podem ainda explicar a sua distribuição esparsa nos sistemas e como as baixas velocidades de amostragem podem ressuspender-los, podendo dar origem a águas com elevadas concentrações de sedimentos (e.g., 91 NTU).

Para conhecer e localizar zonas e pontos críticos de formação e acumulação de sedimentos, além de amostragens programadas, deve ser feita a monitorização *online* de alguns parâmetros de qualidade da água, como a turvação, o cloro, o pH e a condutividade. Um aumento repentino de turvação e um abaixamento de cloro poderão indicar a acumulação de sedimentos ou, por exemplo, a existência de uma rotura. As características da água (pH, condutividade), medidas na rede de distribuição e na origem, poderão ajudar a relacionar a qualidade da água da rede com as suas diferentes origens (e.g., superficial, subterrânea) e estimar tempos de residência nos sistemas.

Por outro lado, as entradas de ferro e sólidos voláteis poderão ser estimadas para avaliar o potencial de uma água para a formação de sedimentos, bem como para o desenvolvimento exacerbado de biofilme na parede das condutas. Também os teores em água, ferro e EPS dos sedimentos poderão dar indicações sobre a sua permanência nos sistemas. É expectável que os sedimentos que apresentem maiores proporções de EPS/sólidos voláteis ressuspendam mais facilmente e tenham, portanto, menores tempos de residência (Poças *et al.* 2014, 2015b). Os níveis de EPS poderão ainda ser utilizados como indicador do desenvolvimento de biofilme das condutas.

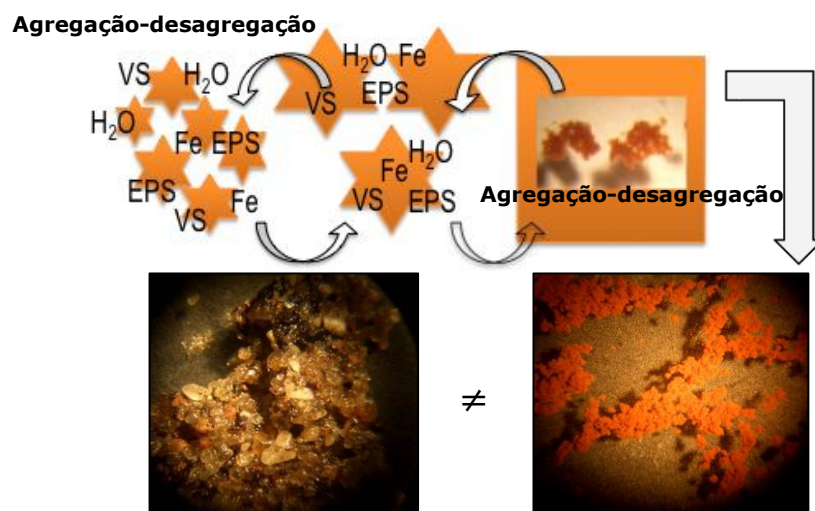


Figura 2. Em cima: estrutura em floco e capacidade de agregação-desagregação dos sedimentos, resultado da sua riqueza em água, ferro (Fe) e sólidos voláteis (VS), incluindo EPS. Em baixo: sedimentos colhidos de um reservatório (à esquerda) e sedimentos colhidos de uma conduta do sistema de distribuição (à direita)

À parte os fatores que determinam o aparecimento dos sedimentos na água dos SDA (e.g., baixa retenção de sólidos suspensos na ETA, crescimento exacerbado de biofilme), a sua acumulação é fortemente influenciada pelas condições hidráulicas que prevalecem. Por isso, alguns autores (Vreeburg *et al.* 2009) sugerem a imposição de velocidades de escoamento acima das máximas diárias, e.g., uma vez por dia e durante alguns minutos, para prevenir a acumulação de sedimentos. Contudo, tal imposição é difícil de garantir, nomeadamente na maioria das redes existentes, que se encontram sobredimensionadas e pouco ramificadas. Por outro lado, como os resultados obtidos por Poças *et al.* (2014) sugerem, a acumulação pode ser facilitada por velocidades dentro duma determinada gama, por exemplo entre 0,01 m/s e 0,30 m/s, dado o compromisso entre o aporte de sedimentos e as circunstâncias hidráulicas da rede propícias à acumulação. Acresce que, dadas as propriedades adesivas-coesivas dos sedimentos, uma vez iniciado o processo de acumulação, esta tende a crescer exponencialmente (Poças *et al.* 2014).

O modelo conceptual desenvolvido (ilustrado na Figura 3; Poças 2014) pretende ilustrar os processos de acumulação, captura e ressuspensão de sedimentos, para três gamas de velocidades (baixa: < 0,01 m/s; média: 0,01-0,30 m/s; alta: > 0,30 m/s). Na figura é evidenciada a velocidade a que os sedimentos podem acumular-se mais intensamente nos sistemas, e.g., entre 0,01-0,30 m/s.

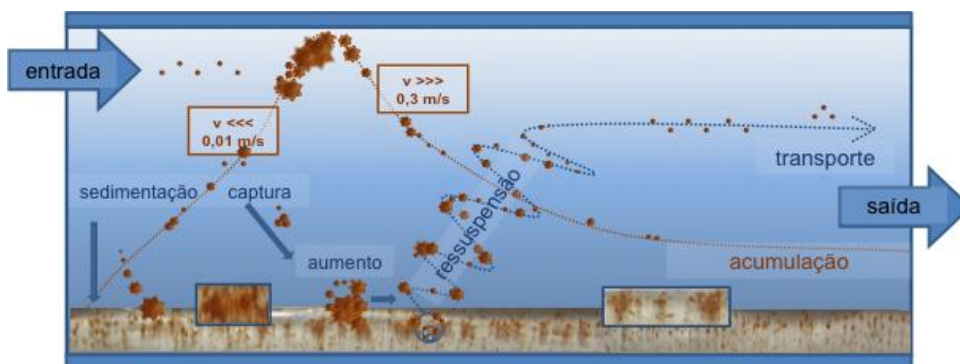


Figura 3. Modelo conceitual da acumulação, captura e ressuspensão de sedimentos, para três gamas de velocidades (baixa: $< 0,01$ m/s; média: $0,01-0,30$ m/s; alta: $> 0,30$ m/s). A linha castanha mostra a acumulação nas diferentes gamas de velocidade; a linha azul mostra o dominante (sedimentação, captura e aumento, ressuspensão e transporte); a linha azul a tracejado mostra a ressuspensão de sedimentos (adaptado de Poças *et al.* 2014)

4 CONCLUSÕES

A conceção, implementação e reavaliação/otimização de ações para controlo da acumulação e ressuspensão de sedimentos tem benefícios para a gestão da qualidade da água nos SDA. Para tal contribuem: o conhecimento detalhado do funcionamento hidráulico e da evolução de parâmetros (e.g., turvação, ferro, cloro) de qualidade da água na rede; o histórico da ocorrência, localização e frequência de episódios de aparecimento de água com turvação amarelo-acastanhada; e a execução de descargas programadas ou pontuais para limpeza de condutas, acompanhadas com monitorização da acumulação e recolha de amostras de sedimentos para caracterização. Estes procedimentos, efetuados de uma forma sistemática pelas EG, podem ajudar a priorizar zonas de medição e controlo e a otimizar os programas de limpeza de condutas, com benefícios para o controlo da qualidade da água fornecida aos consumidores e para a garantia da qualidade do serviço.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos estruturais da UE e por 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, João Vale e Maria João Rosa, do LNEC.

REFERÊNCIAS

- Batté M., Appenzeller B., Grandjean D., Fass S., Gauthier V., Jorand F. (2003). Biofilms in drinking water distribution systems. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol* 2, 147–168
- 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

- Lehtola M., Nissinen T., Miettinen I., Martikainen P., Vartiainen T. (2004). Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality. *Water Res.* 38, 601–610. doi:10.1016/j.watres.2003.10.054
- 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. doi: 10.2166/ws.2013.157
- 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*. Tese de Doutoramento. Civ. Eng. Geosci. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- Poças A., Benoliel M.J., Rietveld L.C., Vreeburg J., Menaia J. (2014). Discolouration loose deposits: balancing views and practices. *World Water Congress*, Lisbon, setembro
- Poças A., Rebola N., Rodrigues S., Benoliel M.J., Rietveld L.C., Vreeburg J., Menaia J. (2015a). Pilot studies on the build-up of discolouration causing loose deposits. *Urban Water Journal* 12(8) 631–638. doi: 10.1080/1573062X.2014.938762
- Poças A., Napier V., Neto C., Ferreira E., Benoliel M.J., Rietveld L.C., Vreeburg J., Menaia J. (2015b). Low affinity of heterotrophic bacteria to loose deposits in drinking water distribution systems. *J. Water Supply Res. Technol.* 64(4) 442–449. doi: 10.2166/aqua.2015.062
- Poças A., Menaia J., Rosa M.J. (2016). Água com turvação amarelo-acastanhada na torneira do consumidor: controlo e prevenção. *13.º Congresso da Água*, Lisboa, março
- Sly L., Hodgkinson M.C., Arunpairojana V. (1990). Deposition of Manganese in a Drinking Water Distribution System. *Appl. Environ. Microbiol.* 56(3) 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. of the New England Water Works Association* 111(2) 135–150
- Vreeburg J. (2007). *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Tese de Doutoramento. Civ. Eng. Geosci. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- Vreeburg J., Boxall J.B. (2007). Discolouration in potable water distribution systems: a review. *Water Res.* 41(3) 519–529. doi: 10.1016/j.watres.2006.09.028
- Vreeburg J., 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. doi: 10.2166/ws.2009.689
- Zacheus O. M., Lehtola M. J., Korhonen L. K., Martikainen P. J. (2001). Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks. *Water Res.* 35, 1757–1765