

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ALERTA EM TEMPO REAL DA QUALIDADE DA MASSA DE ÁGUA RECETORA DE ÁGUAS URBANAS

Carla RODRIGUES⁽¹⁾; Luís Mesquita DAVID⁽²⁾; José MENAIA⁽³⁾; Marta RODRIGUES⁽⁴⁾;
Anabela OLIVEIRA⁽⁵⁾; Rita Fernandes de CARVALHO⁽⁶⁾

RESUMO

No âmbito dos sistemas de previsão e alerta em tempo real, a monitorização da qualidade microbiológica das massas de água assume um papel importante para a garantia da qualidade de água nas zonas balneares e de recreio.

O Projeto Prepared Enabling Change, do 7º PQ, visa desenvolver e instalar um sistema piloto de alerta em tempo real no estuário do Tejo, tendo em consideração as aflúências da rede de drenagem da bacia de Alcântara. O sistema engloba a utilização integrada de modelos, desde a bacia de drenagem até ao meio recetor, enquadrada numa plataforma de previsão em tempo real que permite fazer previsões a 48 horas da dinâmica do sistema, devidamente validados de forma automática com dados disponíveis em tempo real.

Nesta comunicação apresentam-se a metodologia e os desenvolvimentos efetuados até ao presente, com ênfase para os sistemas de monitorização e de previsão em tempo real, a sua integração na plataforma e o controlo da qualidade microbiológica de massas de água.

PALAVRAS-CHAVE

alerta em tempo real, drenagem urbana, modelos de previsão, monitorização

1 - INTRODUÇÃO

As águas superficiais e costeiras são cada vez mais usadas para uma variedade de atividades lúdicas e recreativas (banhos, natação, mergulho, canoagem, pesca e vela),

(1) Assistente Convidada, ESA Coimbra/IPC, Bencanta, 3040-316 Coimbra, carlar@esac.pt

(2) Investigador Auxiliar, LNEC (DHA-NES), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, ldavid@lneec.pt

(3) Investigador Principal, LNEC (DHA-NTI), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, jmenaia@lneec.pt

(4) Bolseira de doutoramento, LNEC (DHA-NEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, mfrodrigues@lneec.pt

(5) Investigadora Principal, LNEC (DHA-NES), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, aoliveira@lneec.pt

(6) Professora Auxiliar, IMAR, Dep. Eng. Civil da Universidade de Coimbra, Pólo II, R. Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal, ritalmfc@dec.uc.pt

contribuindo significativamente para as receitas económicas da indústria do turismo (terceira maior indústria do mundo) sendo fundamental a garantia de boa qualidade da água.

A qualidade da água das massas de água pode ser significativamente afetada pelas descargas de águas residuais, pelas descargas de tempestade de sistemas unitários, e pelas afluições pluviais de grandes eventos de precipitação, quer provenientes das zonas ribeirinhas quer das afluições fluviais. O impacto nas massas de água depende da intensidade, volume e duração das descargas, do tipo de poluentes transportados e da capacidade de autodepuração das massas águas recetoras (Chocat *et al.*, 2006).

A problemática das descargas de tempestade de sistemas de drenagem é tida em consideração na Diretiva Europeia 91/271/CEE – Tratamento de águas residuais – de 25 de Maio. A Diretiva Quadro da Água (2000/60/EC, de 23 de Outubro) que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, protagonizou uma nova abordagem na gestão da água, a qual condiciona os Estados-membros ao desenvolvimento concertado de diversas ações tendo em vista atingir o bom estado das águas até final 2015. Esta diretiva define várias etapas no planeamento dos recursos hídricos e na implementação de medidas, que incluem a identificação de pressões, a monitorização das águas e a aplicação de estratégias de controlo da poluição, nomeadamente do controlo das descargas tóxicas e difusas, e que levam à revogação de três diretivas no final de 2007 e de outras quatro até final de 2013. Neste contexto, mantendo-se válidas a Diretiva 91/271/CEE, relativa ao tratamento de águas residuais, e a Diretiva 98/83/CE, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano, surgem dois novos diplomas europeus de grande importância: a Diretiva 2006/7/CE, relativa à gestão das águas balneares, e a Diretiva 2007/60/CE, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. A Diretiva 2006/7/CE prevê a criação e manutenção de sistemas de vigilância e de alerta rápido que permitam identificar incidentes de poluição que possam ter um efeito adverso na qualidade das águas balneares, nomeadamente os resultantes de condições climatéricas extremas. Esta Diretiva restringe-se às águas balneares não abrangendo as águas de recreio, embora os sistemas de alerta possam ser aplicados a outros casos, privilegiando atitudes preventivas de gestão da poluição e permitindo ações atempadas de intervenção e controlo.

A abordagem do controlo da qualidade das águas balneares e de recreio deixou de ser mais do que um controlo analítico de parâmetros para atualmente se apresentar ao nível da gestão da qualidade em tempo real e garantia dessa qualidade (COM, 2000), com o objetivo final de informar o público e proporcionar melhores e mais seguras condições sanitárias. É assim neste contexto que a qualidade das massas de água, nomeadamente a qualidade microbiológica, integra os sistemas de alerta.

Os sistemas de vigilância e alerta precoce requerem a existência de uma rede de monitorização em tempo real assim como instrumentos de previsão que permitam antecipar a ocorrência de eventos de poluição e a tomada de decisões de gestão que permitam minimizar os seus efeitos. Estes sistemas têm vindo a ter um grande desenvolvimento na última década, em particular nas zonas estuarinas e costeiras, para previsão da hidrodinâmica e da propagação da agitação marítima (e.g. Ribeiro *et al.*, 2010). No entanto, quer a monitorização quer a previsão de processos relacionados com a qualidade da água, i.e., fenómenos de poluição e contaminação envolvem ainda um conjunto de desafios para que se possa obter alertas precoces com fiabilidade, em particular quando envolvem um meio recetor de matriz ambiental muito variável como os meios estuarinos.

No contexto do Prepared Enabling Change - Work Area 4: Integrated Real Time Monitoring and Management Systems, está a ser desenvolvido um sistema piloto de alerta de contaminação fecal das águas de recreio, aplicado à frente ribeirinha do estuário do Tejo. O sistema de alerta pretende contribuir para a gestão em tempo real do sistema integrado de drenagem urbana de Lisboa, através da previsão atempada de contaminação no estuário do Tejo.

Este trabalho descreve a metodologia do projeto, os parâmetros e agentes de contaminação, a área de estudo e o sistema de monitorização da qualidade da água em tempo real.

2 - METODOLOGIA

A metodologia envolvida baseia-se fundamentalmente na realização de campanhas de campo, recolha e tratamento dos dados amostrados, análises e técnicas laboratoriais e ainda na utilização de modelos matemáticos de simulação de drenagem urbana e estuarina e de contaminação fecal. O projeto integra de forma explícita os vários meios em jogo, às escalas espaciais e temporais adequadas, desde a bacia de drenagem até ao meio recetor e compreende o desenvolvimento das seguintes atividades principais:

1. seleção de uma área de estudo e recolha de elementos de base;
2. realização de campanhas experimentais exploratórias;
3. modelação matemática - sistema de drenagem e estuário;
4. monitorização de parâmetros hidráulicos e de qualidade da água em tempo real - sistema de drenagem e estuário;
5. integração dos modelos e dos dados de monitorização numa plataforma para controlo em tempo real, com base na plataforma de previsão da hidrodinâmica do estuário (<http://ariel.lnec.pt>);
6. desenvolvimento de um protótipo de sistema de alerta, com base no sistema integrado de monitorização e modelação e na estrutura de previsão em tempo real.

As três primeiras atividades estão praticamente concluídas. As atividades 4 e 5 encontram-se numa fase avançada de planeamento (dispondo-se já da maior parte dos equipamentos), mas que ainda requer a realização de alguns testes e ensaios, para a pormenorização dos sistemas.

3 - PARÂMETROS E AGENTES DE CONTAMINAÇÃO

A avaliação da qualidade das massas de água está prevista num enquadramento legal europeu, com transposição para o normativo de cada estado-membro, e baseia-se num conjunto de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e biológicos. No caso das águas balneares e de recreio, a qualidade microbiológica assume importância acrescida devido aos riscos da exposição dos utilizadores a agentes patogénicos.

Em termos normativos, a avaliação da qualidade microbiológica da água (ou do seu grau de contaminação fecal) é baseada no conceito de indicador de contaminação fecal. O pressuposto básico neste conceito é o de que a sua deteção indica a presença de contaminação fecal e representa o potencial para a presença de agentes patogénicos alvo

que sobrevivem sob condições físico-químicas e nutricionais semelhantes. Os indicadores clássicos habitualmente usados são o grupo dos Coliformes (coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli*); Streptococci (Enterococci; fecal streptococci) e formadores de esporos (*Clostridium perfringens*). Os parâmetros normativos usados na avaliação da qualidade microbiológica das águas balneares, de acordo com o Decreto Lei nº 135/2009 de 3 de Junho, são *E. coli* e enterococos intestinais. Paralelamente a estes dois indicadores alguns autores recomendam a utilização de *C. perfringens* como um indicador útil de contaminação fecal antiga e como um traçador no transporte de patogénicos (Payment e Franco, 1993), que pode ser usado como um indicador da qualidade microbiológica das águas de recreio (WHO, 2000).

O pressuposto de que os indicadores de contaminação fecal apresentam taxas de decaimento semelhantes às dos agentes patogénicos, incluindo bactérias, protozoários e vírus, está ainda sob discussão por várias razões, entre as quais: o comportamento de alguns agentes patogénicos não é bem representado pelos clássicos indicadores devido às diferentes características fisiológicas e físico-química entre eles; as bactérias fecais são capazes de se voltar a multiplicar na coluna de água desde que existam condições para tal; a dificuldade em identificar a fonte de contaminação fecal (pontual.vs.difusa; humana.vs.animal); baixos níveis de correlação com a presença de (alguns) patogénicos e baixa sensibilidade dos métodos de deteção/quantificação (Savichtcheva e Okabe, 2006; Ashbolt *et al.*, 2010).

Acresce que os métodos usados na deteção e quantificação de tais indicadores alternativos não são compatíveis com sistemas de alerta precoce, nomeadamente pelo tempo exigido para a determinação analítica, e pelos recursos (materiais e humanos) envolvidos.

Nos últimos anos tem-se verificado uma grande melhoria na abrangência dos sensores para parâmetros de qualidade da água em ETAR, os quais necessitam agora de ser validados em diferentes matrizes ambientais, tais como de salinidade variável e no conhecimento dos fatores que determinam o decaimento dos contaminantes. A monitorização rápida de parâmetros microbiológicos de contaminação fecal é objeto de investigação de ponta, para o qual ainda não existem no mercado sensores com fiabilidade estabelecida.

Adicionalmente aos parâmetros microbiológicos devem ser também avaliados parâmetros físico-químicos, tais como, temperatura do ar e da água, pH, oxigénio dissolvido, condutividade, associados às fontes de carbono e energia (TOC, CQO, CBO, nutrientes) e turvação (associada a sólidos em suspensão, SST). Incluem-se ainda em medições úteis os parâmetros: precipitação, radiação, direção e velocidade do vento, nível de maré, população de aves (pombos, gaivotas) e características do solo. A vantagem de utilização de parâmetros físico-químicos em relação aos microbiológicos é a sua robustez, facilidade e rapidez de medição, podendo ser avaliados de modo automático em tempo real e colocados on-line por recurso a sensores.

No âmbito deste trabalho a avaliação dos teores de contaminação fecal é baseada na quantificação de *E. coli* por métodos culturais com fluoróferos indicadores de atividade β -glucuronidase.

4 - ÁREA DE ESTUDO

4.1 Bacia de drenagem

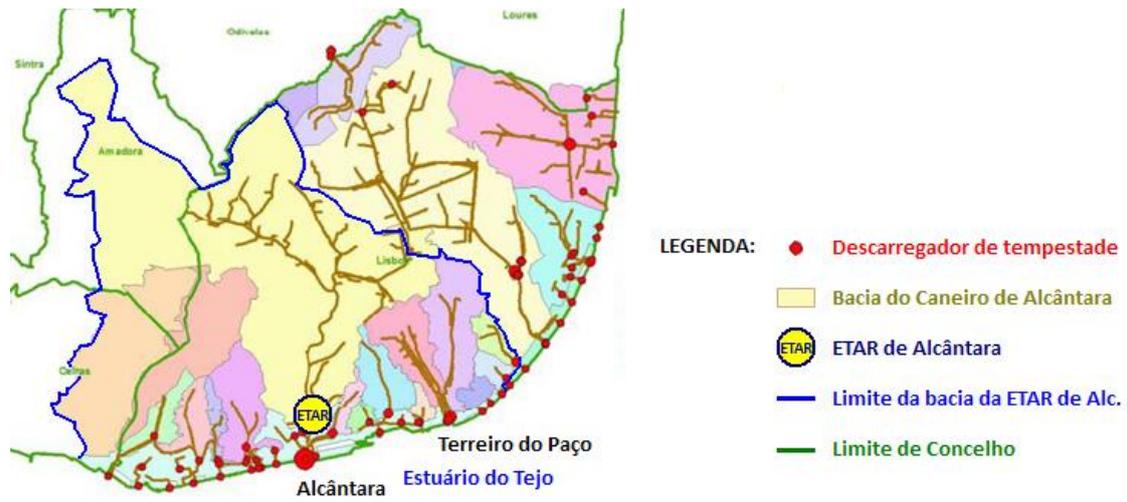
A bacia do caneiro de Alcântara é a maior da cidade de Lisboa, ocupando uma área de cerca 3200 ha, dos quais cerca de 1000 ha pertencem ao Concelho da Amadora, foi a seleccionada para este estudo piloto no âmbito do projeto Prepared (Figura 1).

O sistema de drenagem de Alcântara é maioritariamente unitário ou pseudo-separativo, embora as urbanizações mais recentes disponham de sistemas separativos. Estima-se que a bacia apresente uma ocupação em áreas de pavimentos, telhados e permeáveis de, respetivamente, 23%, 22% e 54%. A bacia inclui uma área do Parque Florestal de Monsanto. A rede de coletores principais totaliza cerca de 250 km de comprimento e apresenta cerca de 10 seções transversais diferentes, com dimensões que variam entre menos de 0.80 m até 8 m de largura. A área ribeirinha está sujeita a inundações devido a diversos fatores, destacando-se os reduzidos declives, a influência do nível de maré do estuário do Tejo e as condições propícias à deposição de matéria orgânica.

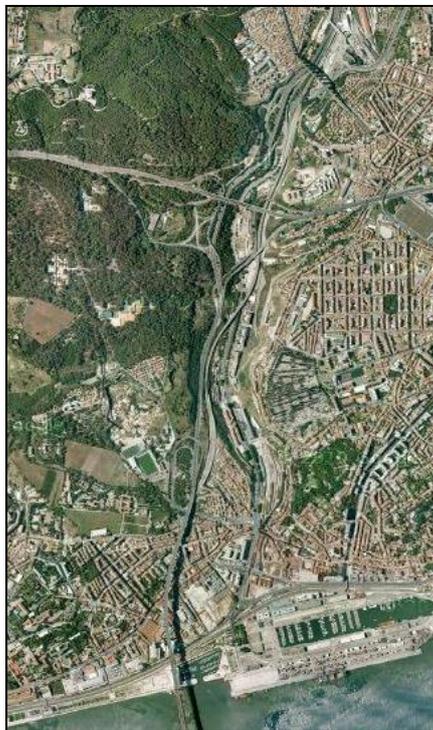
A ETAR de Alcântara serve a área ocidental da cidade de Lisboa, estando dotada com tratamento secundário e desinfecção. A maior parte do escoamento do caneiro de Alcântara aflui à ETAR por gravidade, embora cerca de 40% do caudal atualmente tratado pela ETAR seja gerado em bacias vizinhas e provenha à ETAR a partir do sistema interceptor e elevatório localizado ao longo da frente ribeirinha (Figura 1). A ETAR recebe atualmente um caudal médio diário da ordem de 1.5 m³/s, prevendo-se que aumente para 2.6 m³/s até 2030, como resultado do acréscimo dos caudais bombeados a partir zona baixa da cidade.

No âmbito do projeto de reabilitação, a ETAR de Alcântara foi redimensionada para servir cerca de 700 000 habitantes equivalente (dos Concelhos de Lisboa, Amadora e Oeiras) e foi equipada com um sistema de floculação com balastro de areia micrométrica Actiflo®, para tratamento das aflúncias em tempo de chuva. Atualmente, a ETAR dispõe de uma capacidade de tratamento instalada para um caudal de ponta de 3,3 m³/s em tempo seco (tratamento biológico) e 6,6 m³/s em tempo de chuva (tratamento físico-químico avançado).

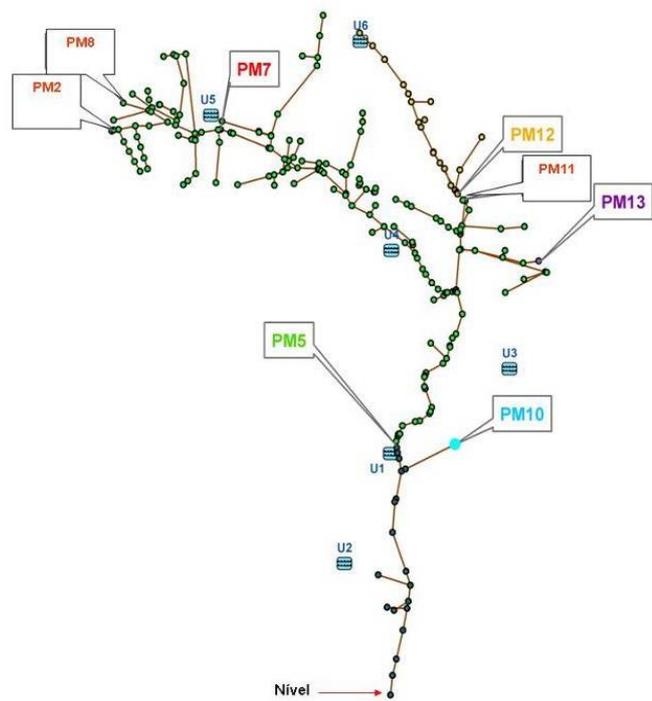
A gestão do ciclo urbano das águas pluviais e residuais na cidade de Lisboa está estreitamente ligada ao estuário do Tejo, enquanto meio recetor para estes efluentes. O efluente da ETAR de Alcântara é encaminhado para o caneiro de Alcântara e descarregado no estuário do Tejo, cerca de 2 km a jusante, junto à Doca de Santos (Figura 1).



a)



b)



c)

Figura 1. Bacia de drenagem do caneiro de Alcântara: a) Localização nas principais bacias de Lisboa; b) Vista aérea da parte jusante; c) Esquemáticação de coletores.

4.2 Modelação do sistema de drenagem

No âmbito do projeto europeu Sprint SP98 (1994-97), o LNEC e a Câmara Municipal de Lisboa desenvolveram um modelo matemático dos principais coletores e respetivas sub-bacias de drenagem da bacia de Alcântara. O modelo foi construído no programa HydroWorks (antecessor do atual InfoWorks, de Wallingford software) e compreendia 219 nós, 219 troços de coletores e 132 sub-bacias (Cardoso *et al*, 1997). A ocupação das bacias foi caracterizada com base na informação de cadastro, tendo sido aferida e complementada com observação *in situ* nos locais sujeitos a recentes intervenções urbanísticas ou rodoviárias, ou onde existiam dúvidas. Posteriormente, os modelos foram atualizados, alargados à frente ribeirinha e reconstruídos no programa SWMM (Ferreira *et al.*, 2004; David *et al.*, 2007b) e no programa de modelação concetual 4S-drainage desenvolvido no LNEC (David *et al.*, 2007a; David *et al.*, 2011). A Figura 1 c) ilustra o modelo da rede de coletores de Alcântara e a localização dos pontos de medição de precipitação (U1 a U6) e de caudal (PM1 a PM13) durante o referido projeto europeu.

4.3 Modelação do meio recetor

O modelo baroclínico hidrodinâmico e de qualidade da água do estuário do Tejo encontra-se em desenvolvimento. Este modelo baseia-se na aplicação barotrópica tridimensional do modelo hidrodinâmico SELFE no estuário do Tejo, conforme descrito em David *et al.* (2012), o qual foi alargado de forma a incluir a representação da zona de descarga do caneiro de Alcântara (Figura 2 a), Costa *et al.*, 2012). A aplicação do modelo hidrodinâmico em modo baroclínico foi validada com base em dados de salinidade e temperatura de 1988 (Figura 2 b), tendo também sido realizada preliminarmente uma análise de cenários com o modelo acoplado hidrodinâmico e de qualidade da água (Costa *et al.*, 2012).

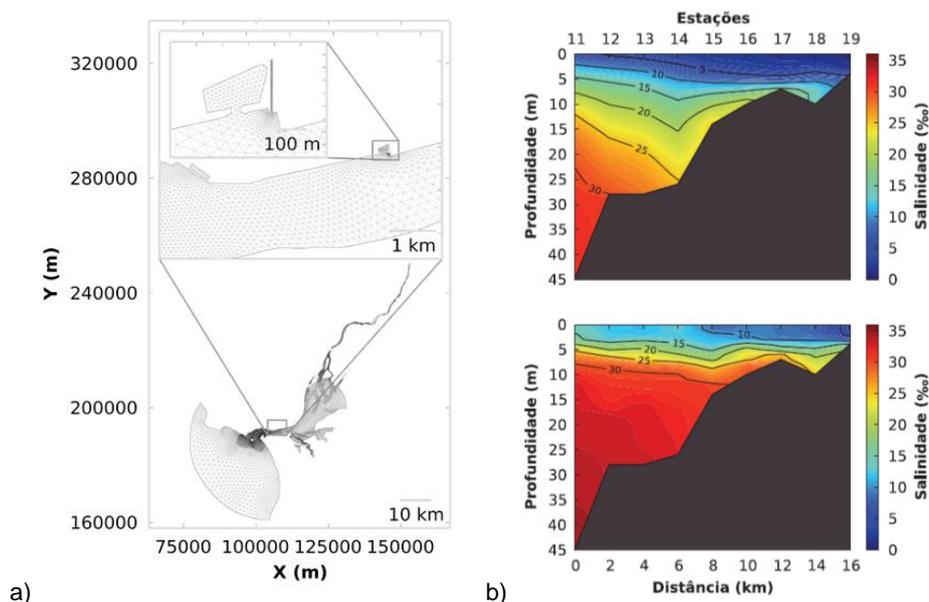


Figura 2. a) Malha de cálculo horizontal do estuário do Tejo e pormenor da zona de descarga do caneiro de Alcântara e b) perfil vertical da salinidade simulado (em cima) e medido (em baixo) numa seção longitudinal do canal do estuário do Tejo durante a vazante (adaptado de Costa *et al.*, 2012).

5 - SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO EM TEMPO REAL

5.1 Considerações

O desempenho esperado dos sistemas de alerta para apoio à gestão depende de modelos de previsão da qualidade da água convenientemente calibrados e validados por dados de campo e de laboratório, que, por sua vez, requerem campanhas devidamente planeadas. A monitorização em tempo real e os métodos de análise expeditos constituem ferramentas de contributo fundamental para a robustez e fiabilidade dos sistemas de alerta em tempo real. Persiste a necessidade de melhorar/desenvolver instrumentos analíticos capazes de produzir resultados num horizonte temporal compatível com estratégias de gestão em tempo real.

Face a isto, pretende-se utilizar sondas para medição de alguns parâmetros físico-químicos medidos por sondas espectrofotométricas UV-Vis (tais como SST, CQO, CBO, nitratos) como parâmetros de base para a modelação em tempo real e controle da propagação da pluma de contaminação no estuário.

Tendo em vista a validação e integração dos modelos do sistema de drenagem e o do meio recetor, previu-se a realização de quatro campanhas experimentais de caracterização de parâmetros hidráulicos e de qualidade da água, com medições sinóticas em sete estações selecionadas da rede de coletores e do estuário do Tejo. Duas campanhas já foram realizadas. As estações de medição e de colheita de amostras compreenderam três pontos no estuário e quatro pontos do sistema de drenagem. Cada campanha teve a duração de 13 horas, para caracterizar um ciclo completo de maré, compreendendo a medição horária e sinótica de parâmetros físico-químicos, com sondas, e a colheita de amostras de 4 em 4 horas, para análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos em laboratório. Em David *et al.* (2012) faz-se uma descrição mais pormenorizada das duas campanhas já realizadas e apresentam-se alguns resultados.

Neste estudo piloto prevê-se instalar duas estações de medição da qualidade da água em tempo real durante um período mínimo de 3 meses, uma no estuário e outra no sistema de drenagem, não obstante se saber à partida que a complexidade do sistema tornaria desejável dispor de um número superior de estações.

5.2 Sistema de monitorização em tempo real

Vão ser consideradas duas fontes de previsão da precipitação na Bacia em estudo: as previsões do modelo da Universidade de Aveiro e as do modelo do Windguru (<http://www.windguru.cz/pt/>). A Figura 3 mostra os pontos de previsão de cada sistema. A Figura 4 mostra a rede udográfica disponível na internet.

Ao longo do projeto irá ser feita a análise da qualidade e robustez da informação disponível em tempo real, tendo em vista avaliar os potenciais benefícios da sua utilização no sistema de monitorização em tempo real. A título de exemplo do tratamento preliminar da informação recolhida, na Figura 5 comparam-se os valores acumulados ao longo do ano de 2012 da precipitação medida pelos vários udómetros disponíveis na internet. A aplicação do método das massas duplas acumuladas permitiu identificar já alguns udómetros com desvios sistemáticos em relação aos restantes, que não deverão ser atribuídos à distribuição espacial da precipitação.

Para a monitorização da qualidade da água em tempo real estão presentemente a ser concebidas duas estações: uma para monitorizar as águas residuais do caneiro de Alcântara, localizada no canal de desvio do caneiro para a ETAR de Alcântara; a outra para monitorizar a água do estuário.

Ambas as estações vão estar equipadas com uma sonda de espectrofotométrica UV-Vis da marca S::SCAN, calibradas para medição de parâmetros tais como: SST, CQO, COD_f, CBO e nitratos. Também foram adquiridas uma sonda para medir a amónia, entre outros parâmetros, outra para medir a condutividade e outra para o oxigénio dissolvido. Estas sondas deverão ficar instaladas na estação estuarina, embora esteja prevista a realização de pelo menos uma campanha de alguns dias em que estas sondas irão ficar na estação do caneiro de Alcântara.

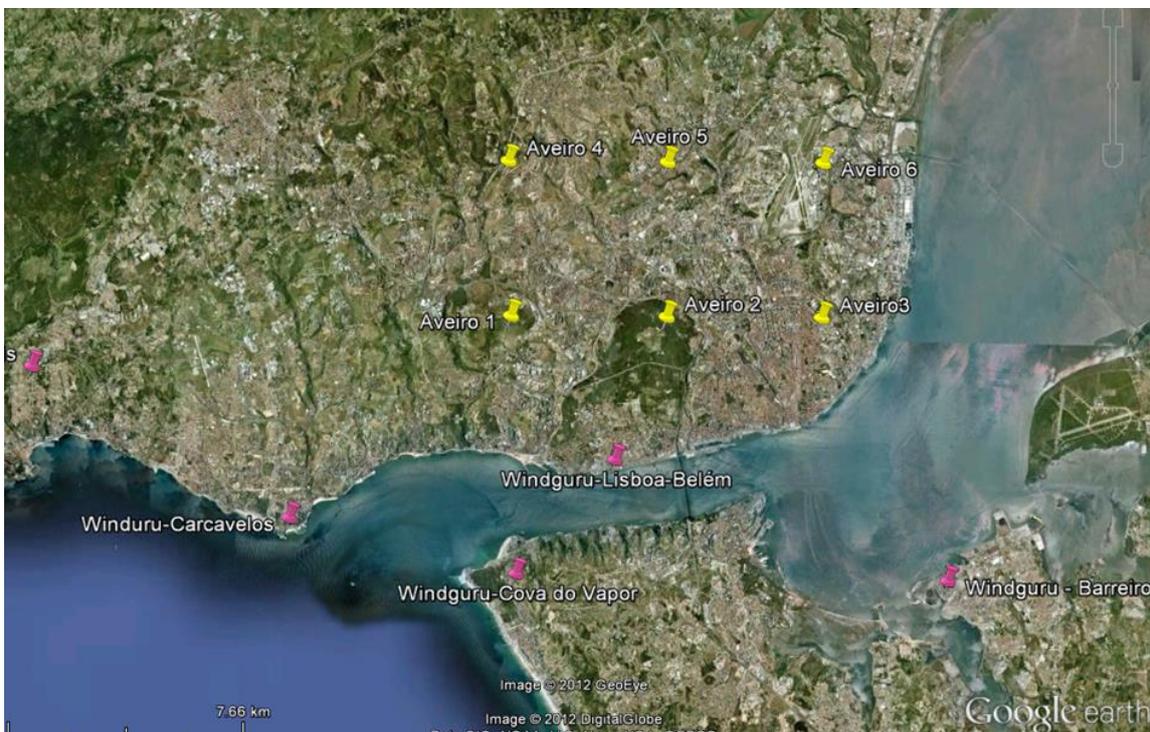


Figura 3. Rede de pontos de previsão da precipitação.

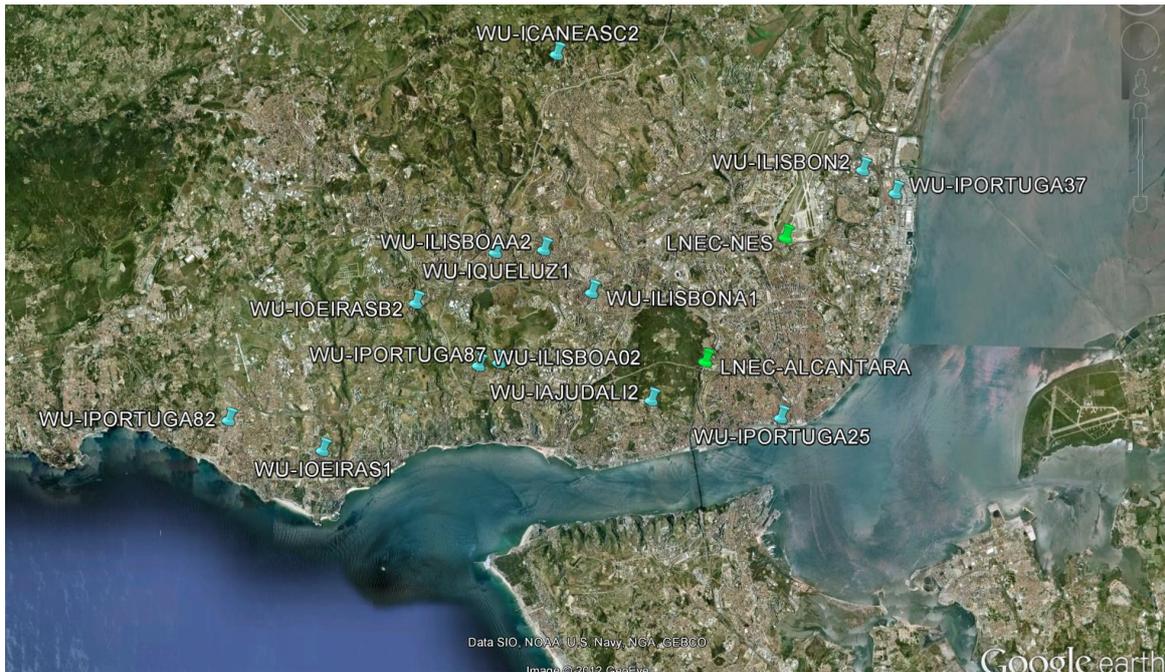


Figura 4. Rede udográfica.

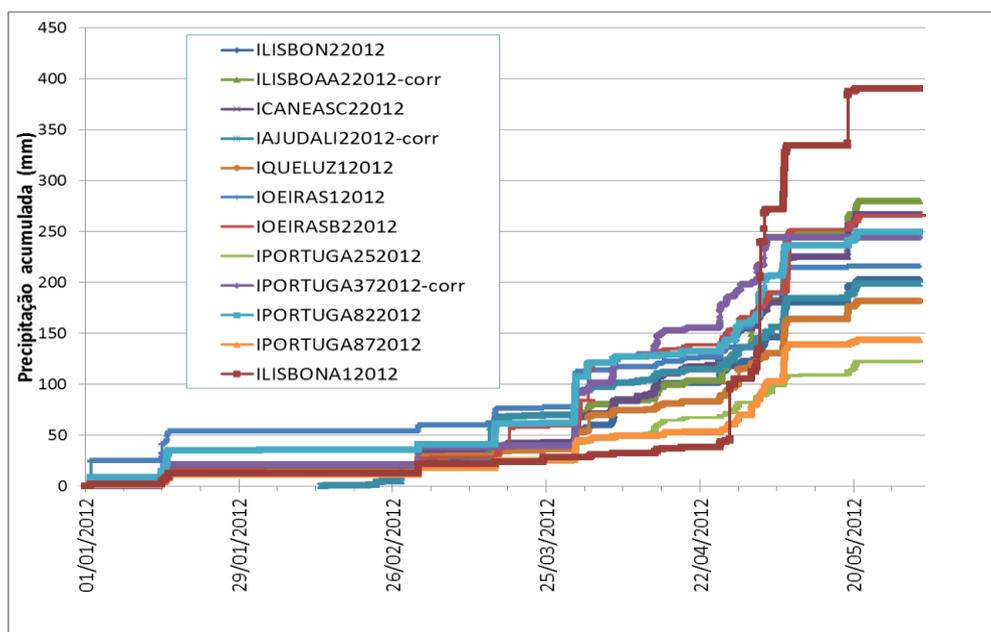


Figura 5. Totalizações das medições dos udómetros no ano de 2012.

Os condicionamentos locais foram determinantes para a seleção dos pontos de instalação das estações de monitorização. Foram escolhidos aqueles que ofereciam melhores condições de proteção das sondas submersas a ondas, inundações, pancadas, acumulação de detritos, roubo e vandalismo; proteção do equipamento à superfície a elevadas temperaturas, intempérie, roubo e vandalismo; garantia de alimentação elétrica; facilidade de acesso para as atividades de manutenção normal ou excecional; e estabilidade das

condições de medição. Presentemente estão a ser ultimados todos os pormenores para a instalação do equipamento.

A validade desta metodologia, como referido no ponto 4, está a ser aferida através da realização de um conjunto de campanhas experimentais adicionais, em que, a par da medição pelas referidas sondas, se procede à análise laboratorial de vários parâmetros da qualidade da água das amostras e onde se encontraram relações entre os parâmetros medidos pelos dois métodos.

A previsão em tempo real do sistema integrado de modelação caneiro-estuário do Tejo irá ser efetuada através da plataforma RDFS-PT (<http://ariel.lnec.pt>), que integra modelos numéricos e de dados de campo, um conjunto de scripts e de programas, e uma interface de visualização (Ribeiro *et al.*, 2012). Atualmente, os modelos utilizados no RDFS-PT permitem prever a variação da elevação da superfície da água, correntes, temperatura, salinidade e da agitação marítima em vários sistemas costeiros (costa Portuguesa, estuário do Tejo e Ria de Aveiro).

No estuário do Tejo, as previsões em tempo real são aferidas diariamente de forma automática com os dados de níveis nos mareógrafos de Cascais e do VTS, cujas medições estão disponíveis on-line em tempo real (Figura 6). A comparação é bastante boa com erros da ordem dos 15 a 20 cm, maioritariamente devidos à não inclusão das sobrelevações de natureza atmosférica. A comparação com a análise harmónica dos dados é muito boa (que retém apenas a componente de maré), inferior a 5 cm.

Está atualmente em curso a integração no sistema de previsão dos modelos de simulação do Caneiro e a integração do modelo de contaminação fecal de Rodrigues *et al.* (2011).

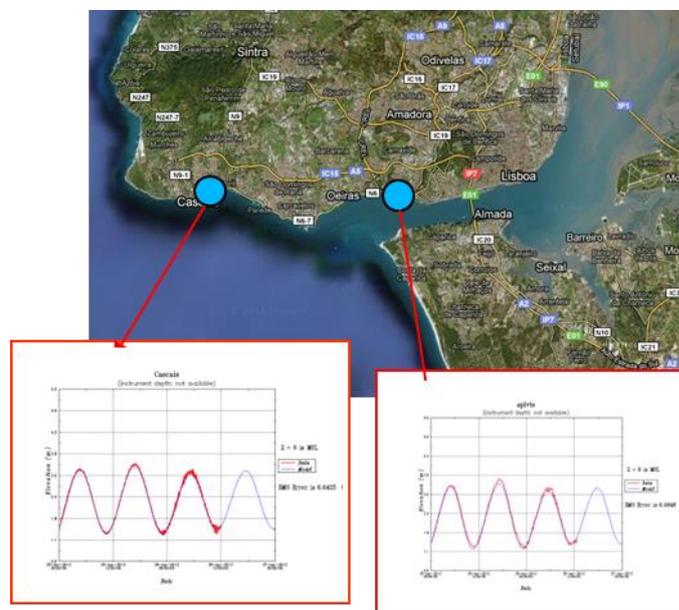


Figura 6. Localização das estações mareográficas de comparação automática com as previsões.

Relativamente aos parâmetros e agentes patogénicos, prevê-se simultaneamente à medição de parâmetros físico-químicos e a avaliação quantitativa do indicador de contaminação fecal *E.coli* por métodos culturais.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação apresentam-se a metodologia e os desenvolvimentos efetuados até ao presente, de um protótipo de sistema de alerta para suporte à gestão de águas estuarinas, enquadrado no projeto europeu PREPARED – Enabling Change e no projeto FCT SIMAI – Sistemas de Monitorização e Aviso em infraestruturas de drenagem urbana.

Este sistema engloba a utilização integrada de modelos desde a bacia de drenagem até ao meio recetor, enquadrada numa plataforma de previsão em tempo real que permite fazer previsões a 48 horas da dinâmica do sistema, devidamente validados de forma automática com dados disponíveis em tempo real. Esta comunicação focou-se nos trabalhos efetuados no âmbito da previsão dos parâmetros microbiológicos e sua integração no sistema completo.

Para além da complexidade de resolver diferentes escalas espaciais e temporais de processos, esta matéria acarreta preocupações adicionais. À semelhança dos modelos de cheias rápidas, o estudo destes sistemas de modelação em cascata implica a análise da transferência de erros entre componentes (do modelo atmosférico para o hidrológico, deste para o da rede de drenagem e finalmente para o modelo do meio recetor). A propagação da incerteza e o seu impacto na previsão final (meio recetor) constitui uma preocupação adicional e deverá ser devidamente considerada com vista à obtenção de alertas robustos e fiáveis.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi co-financiado pelo 7º PQ, através do Projeto PREPARED (FP7-ENV-2009-1 Grant Agreement nº 244232), e pela FCT, através do Projeto SIMAI (PTDC/AAC-AMB/102634/2008).

Os autores agradecem ao Prof. António Melo Baptista e Prof. Joseph Zhang, do CMOP, pelo modelo SELFE, ao Prof. Alfredo Rocha (Univ. de Aveiro e CESAM) pelas previsões atmosféricas, ao Instituto Geográfico Português e à Administração do Porto de Lisboa pela disponibilização dos dados on-line dos marégrafos, e ao INAG pela disponibilização dos dados de níveis on-line do sistema SNIRH. Os autores agradecem também ao Eng. António Frazão, Eng. Pedro Póvoa e Eng.^a Conceição David todo o apoio da Simtejo no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ashbolt J.N., Schoen M.E., Soller J.A., Roser D.J. (2010). Predicting pathogen risks to aid beach management: The real value of quantitative microbial risk assessment (QMRA). *Water Research*, 44, 4692-4703.

Cardoso M.A., Pinheiro I., David L.M., Matos M.R., Almeida M.C. (1997). Projeto SPRINT SP98 - extension: Application of hydraulic Analysis to Sewerage Rehabilitation in Member States. Report on Model Building, Verification and Alternative Solutions. Relatório 88/97 - NHS, LNEC, Lisboa, 187 p.

Chocat B. *et al.* (2006). Urban water cycle processes and interactions. IHP-VI Technical Document in Hydrology N°78. UNESCO, 2006.

Costa R.C., Rodrigues M., Oliveira A., Fortunato A.B., David L.M. (2012). Alerta precoce da contaminação fecal para o estuário do Tejo: implementação preliminar do modelo hidrodinâmico e de contaminação fecal. 2ªs Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 2012, 77-80.

David L.M., Oliveira A., Matos J.S., Póvoa P., Menaia J., Carvalho R.F., Rodrigues M., Jesus G., Fortunato A.B., Rodrigues C., David C., Ferreira F., Matos R.S. (2012). Metodologia de desenvolvimento de sistemas integrados de alerta em tempo real da qualidade de águas estuarinas. 11º Congresso da Água, Porto, APRH, em CD, 13 p.

David L.M., Matos R.S., Matos J.S., Ferreira R, Frazão A., Póvoa P. (2011). Evaluation of the combined effect of increasing storage and treatment capacity in the Alcântara catchment. 12th International Conference on Urban Drainage, 8 p., em CD.

David M.C., Cardoso M.A., Almeida M.C., David L.M. (2007b). Modelação Matemática da Bacia do Caneiro de Alcântara. Relatório Técnico 2. SIMTejo S.A. – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e do Trancão S.A.. Relatório 40/2007 - NES, LNEC, Lisboa, Janeiro de 2007.

David L.M., Almeida M.C., Cardoso M.A., David M.C. (2007a). Modelação Matemática da Bacia do Caneiro de Alcântara. Relatório Técnico 1 – Parte 2. SIMTejo S.A. – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e do Trancão S.A.. Relatório 67/2007 - NES, LNEC, Lisboa, Janeiro de 2007.

Ferreira F., Viegas T., David L.M., Matos J.S. (2004). Sistemas Intercetores de Lisboa – Frentes de Drenagem Algés-Alcântara, Cais do Sodré-Alcântara e Terreiro do Paço-Alcântara. Estudos de Reabilitação Hidráulica e Ambiental de Intercetores de Lisboa – Projeto Rehalis. 3º Relatório de Progresso – Simulação do Comportamento Hidráulico e Ambiental dos Intercetores. Trabalho realizado pelo Instituto Superior Técnico para a SIMTEJO, Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão.

Payment P., Franco E. (1993). Clostridium perfringens and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied Environmental Microbiology*, 59, 2418-2424.

Ribeiro N.A., Rodrigues M., Dodet G., Jesus G., Oliveira A., Fortunato A.B., Azevedo A., Baptista A.M., Turner P. (2011). Sistema de previsão em tempo real da circulação e agitação marítima para as zonas costeiras e estuarinas, Actas do VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 12 pp, em CD-ROM.

Rodrigues, M., Oliveira A., Guerreiro M., Fortunato A.B., Menaia J., David L.M., Cravo A., (2011). Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal). *Ocean Dynamics*, 61/6, 841-856.

Savichtcheva O., Okabe S., (2006). Alternative indicators of fecal pollution: Relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water Research*, 40, 2463-2476.

WHO 2000. Monitoring Bathing Waters. A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes. Edited by Jamie Bartram and Gareth Rees, Published on behalf of WHO by F & FN Spon, London.

http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/monbathwat.pdf (acedido a 30 de Maio de 2012).