

MELHORAR O CONHECIMENTO E A GESTÃO DA INFILTRAÇÃO E DA EXFILTRAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA: O PROJECTO APUSS^(*)

M. Adriana CARDOSO⁽¹⁾; Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI⁽²⁾; J. Bryan ELLIS⁽³⁾; Torsten FREHMANN⁽⁴⁾; Mario GIULIANELLI⁽⁵⁾; Willi GUJER⁽⁶⁾; Peter KREBS⁽⁷⁾; Zdenek PLISKA⁽⁸⁾; Jaroslav POLLERT⁽⁹⁾; Karel PRYL⁽¹⁰⁾

RESUMO

Os sistemas de drenagem urbana constituem um património muito significativo das cidades Europeias. A sua qualidade estrutural e eficiência funcional são parâmetros chave para garantir a transferência das águas residuais domésticas para as ETAR sem ocorrência quer de infiltração quer de exfiltração (I/E). A infiltração das águas subterrâneas é particularmente prejudicial à eficiência das ETAR, enquanto que a exfiltração de águas residuais pode conduzir à contaminação das águas subterrâneas. Entre 2001-2004 decorreu o projecto de investigação europeu APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems), dedicado ao estudo das questões relacionadas com a infiltração e a exfiltração. Este projecto foi estruturado em três áreas de trabalho principais: i) desenvolvimento de novos métodos de medição baseados em traçadores, ii) implementação de modelos e ferramentas computacionais para integração dos dados estruturais e experimentais, iii) integração de questões económicas e operacionais, considerando a estimativa de custos, valoração económica, indicadores de desempenho e métodos multicritério aplicados às estratégias de investimento e reabilitação. Esta comunicação descreve de forma sintética os objectivos, métodos e principais resultados de cada área de trabalho.

Palavras-chave: Exfiltração, infiltração, métodos de medição, modelação, indicadores de desempenho, sistemas de drenagem urbana

* Comunicação apresentada em língua inglesa na 10 ICUD - *International Conference on Urban Drainage*, Copenhaga, Dinamarca, 21-26 Agosto 2005 [8 p.] – “Towards a better knowledge and management of infiltration and exfiltration in sewer systems: the APUSS project”

¹ Assistente de Investigação no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Núcleo de Engenharia Sanitária (NES).

² Professor, URGC, INSA de Lyon, França.

³ Professor, Middlesex University, Londres, Reino Unido.

⁴ Dr.-Ing. Strategisches Flussgebietsmanagement, Emschergenossenschaft, Essen, Alemanha.

⁵ Investigador, IRSA-CNR, Roma, Itália.

⁶ Professor, EAWAG, Dübendorf, Suíça.

⁷ Professor, Dresden University of Technology, Dresden, Alemanha.

⁸ Engenheiro, Hydroprojekt, Praga, República Checa.

⁹ Professor, Czech Technical University, Praga, República Checa.

¹⁰ Engenheiro, DHI-Hydroinform, Praga, República Checa.

1 - INTRODUÇÃO

Os sistemas de drenagem urbana constituem um património muito significativo das cidades Europeias. A sua qualidade estrutural e eficiência funcional são parâmetros chave para garantir a transferência das águas residuais domésticas para as ETAR sem ocorrência quer infiltração quer exfiltração (I/E). A infiltração das águas subterrâneas é particularmente prejudicial à eficiência das ETAR (sobrecarga hidráulica devida ao volume de água infiltrada, podendo atingir cerca de 100% do volume de águas residuais domésticas em algumas cidades, diluição da concentração de poluentes provocando uma redução na eficiência de remoção dos poluentes) enquanto que a exfiltração de águas residuais pode conduzir à contaminação das águas subterrâneas (especialmente grave em locais onde as águas subterrâneas são também origem de água para abastecimento).

Numa gestão sustentável das águas urbanas a longo prazo, ambos os problemas são críticos e acarretam consequências económicas importantes para as cidades e para os operadores dos sistemas, em toda a União Europeia. A norma Europeia EN 752-2 (CEN, 1996) indica os critérios básicos de desempenho dos sistemas públicos de drenagem das águas residuais, sendo especialmente importantes os dois seguintes: i) os meios hídricos receptores devem ser protegidos da poluição; ii) a integridade estrutural dos sistemas de drenagem urbana, incluindo a estanquidade, deve ser garantida. Para avaliar correctamente o desempenho dos sistemas, os operadores públicos e privados necessitam de métodos e técnicas apropriados.

Entre 2001-2004, decorreu o projecto APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) financiado pela Comissão Europeia, no âmbito do 5º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento, que associou universidades, PMEs (Pequenas e Médias Empresas) e municípios em sete países Europeus. Este projecto foi dedicado às questões da infiltração e exfiltração e foi estruturado em três áreas de trabalho principais, nomeadamente: i) desenvolvimento de novos métodos de medição, ii) modelos e ferramentas computacionais associados, iii) aspectos socio-económicos relacionados com a infiltração e exfiltração (I/E). Após uma breve introdução dos parceiros do projecto APUSS, os parágrafos seguintes pretendem dar uma ideia geral e sintética das três áreas de trabalho, nomeadamente no que diz respeito aos respectivos objectivos, métodos e principais resultados obtidos. Não sendo possível fornecer todos os detalhes científicos e técnicos, no âmbito da presente comunicação, apresentam-se referências a outros artigos e comunicações, onde são apresentados os resultados obtidos, e da página da Internet onde todos os relatórios finais e publicações estão publicamente disponíveis.

2 - PARCEIROS E UTILIZADORES FINAIS DO PROJECTO APUSS

O projecto APUSS foi definido e desenvolvido por dez parceiros científicos de sete países europeus. Alguns destes parceiros estavam associados a utilizadores finais (operadores dos sistemas de drenagem urbana) com interesse nas questões ligadas à I/E, e que contribuíram para o projecto providenciando assistência, acesso aos sistemas experimentais, dados operacionais e financiamento adicional (Tabela 1). O projecto APUSS fez também parte integrante do *cluster* CityNet do 5º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento da Comissão Europeia, que incluiu seis projectos independentes relacionados com os sistemas integrados de água em meio urbano (Schilling *et al.*, 2002).

Tabela 1 – Parceiros científicos e utilizadores finais associados do projecto APUSS

Parceiro Científico	Utilizador Final Associado
INSA de Lyon (França, coordenador)	Great Lyon
EAWAG (Suíça)	Município de Zurique
Dresden University of Technology (Alemanha)	Município de Dresden, Município de Berlim
Czech Technical University in Prague (República Checa)	Município de Praga
DHI Hydroinform a.s. (República Checa)	Município de Praga
Hydroprojekt a.s. (República Checa)	Município de Praga
Middlesex University (Reino Unido)	Thames Water
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal)	
Emschergenossenschaft (Alemanha)	Município de Bottrop e Gladbeck
IRSA-CNR (Itália)	Município de Rome

3 - ÁREA DE TRABALHO 1: NOVOS MÉTODOS DE MEDIÇÃO

3.1 - Descrição geral

Tradicionalmente, a medição de I/E nos sistemas de drenagem urbana tem sido baseada em métodos pouco precisos de medição de caudal, análise de variações diurnas de caudal ou de cargas e balanço dos volumes de água entrados e saídos dos sistemas (De Bénédittis e Bertrand-Krajewski, 2004).

Um dos objectivos chave do projecto APUSS consistiu no desenvolvimento de novos métodos de medição que permitissem diferenciar zonas do sistema de colectores com ocorrência de infiltração e de exfiltração, baseados num esforço analítico limitado e com um baixo risco ambiental. Através da concepção otimizada da campanha experimental e de uma análise detalhada dos resultados e das incertezas associadas, previa-se a obtenção de um maior nível de precisão e uma melhor

qualidade do conhecimento do que aqueles obtidos através dos métodos tradicionais.

A Área de Trabalho 1 incluiu o desenvolvimento, teste e validação de métodos por forma a quantificar com precisão:

- a exfiltração em troços de colector;
- a infiltração nos sistemas de drenagem urbana;
- a infiltração e a exfiltração em ligações domésticas.

Os métodos são baseados, principalmente, na utilização de traçadores químicos e isótopos naturais e seleccionados, tendo sido testados e validados sob diferentes condições operacionais em tempo seco, em diferentes escalas espaciais (desde a escala do colector a toda a bacia) e sob diferentes condições (variações permanentes e dinâmicas dos níveis freáticos, efeitos sazonais, etc.). Estes métodos foram aplicados em diferentes bacias de drenagem, seleccionadas nos municípios associados, e foram comparados com as abordagens tradicionais baseadas, por exemplo, apenas na medição de caudais ou em balanços de massa de água em grandes escalas. Foram especificamente estabelecidos protocolos normalizados de operação e rotinas de processamento de dados e de análise detalhada das incertezas.

3.2 - Exfiltração de colectores

Foram desenvolvidos dois métodos de traçadores para medir a exfiltração ao longo de um troço de colector com um comprimento de, aproximadamente, 1-2 km. O primeiro método é baseado num conjunto de pulsos de traçador (Rieckermann e Gujer, 2002).

O princípio, representado na Figura 1, consiste na injeção da massa M1 de traçador (sinal indicador) na extremidade de montante, P1, do troço de colector e medir o seu transporte à saída do troço, P3. A massa M2 de traçador (sinal de referência) é injectada em P2, a uma curta distância a montante da saída, e o seu transporte é medido em P3. Assumindo que não existe exfiltração entre P2 e P3, a exfiltração entre P1 e P2 é calculada com base nos balanços de massa: a exfiltração é proporcional à fracção de massa M1 que foi perdida entre P1 e P2.

Para reduzir as incertezas das medições e dos resultados, vários pulsos, indicadores e de referência, são usados na mesma medição. O traçador mais frequentemente utilizado é o Cloreto de Sódio (NaCl), uma vez que é pouco dispendioso, seguro e fácil de medir continuamente, através de sensores de condutividade instalados directamente no colector. No entanto, existe uma quantidade natural de

concentração de NaCl nas águas residuais, cujas flutuações durante a medição podem aumentar os erros e incertezas. Como alternativa, pode ser utilizado como traçador a Rodamina, uma vez que a concentração de Rodamina nas águas residuais é geralmente nula, e a medição contínua pode ser feita através de sensores instalados *in situ* no colector. O maior inconveniente da utilização da Rodamina é a possibilidade de ser adsorvida por sólidos e partículas existentes nos colectores, mas a sua adsorção é muito limitada quando os tempos de transporte são inferiores a cerca de dez minutos.

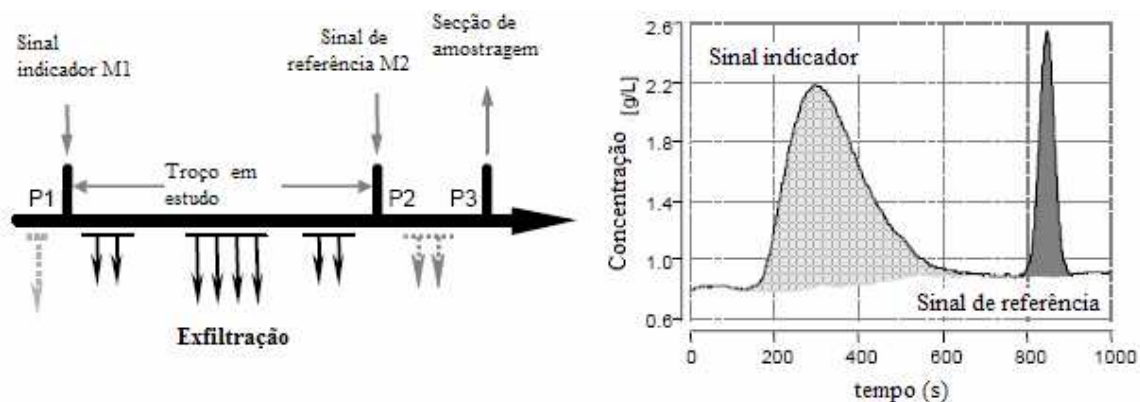


Figura 1 – Princípio da medição da exfiltração (adaptado de Rieckermann e Gujer, 2002)

O segundo método é baseado numa injeção contínua de traçador (Rieckermann *et al.*, 2003). São injectados dois traçadores (Cloreto de Lítio como traçador indicador e Brometo de Sódio como traçador de referência), respectivamente em P1 e P2, com taxas constantes, durante um período de tempo suficiente para se observar em P3 concentrações estáveis de ambos os traçadores (patamar de concentração). Este segundo método resolve algumas das dificuldades relacionadas com o método dos pulsos de traçador, mas requer mais equipamento e preparação, e os resultados somente são conhecidos após análises de laboratório das amostras, uma vez que ainda não existem disponíveis sensores fiáveis de Lítio e Brómio para colocação *in situ* nos colectores.

Qualquer que seja o traçador e o método utilizados, os protocolos de processamento dos dados e a análise de incertezas foram estabelecidos e implementados em códigos R-script®, que permitem medir taxas de exfiltração com incertezas relativas de, aproximadamente, 2% (Rieckermann *et al.*, 2005). Ambos os métodos de traçadores foram testados em vários locais experimentais, durante o projecto APUSS (De Bénédittis, 2004; Prigiobbe e Giulianelli, 2004; Rutsch *et al.* 2005). Adicionalmente, foram realizados testes de laboratório para avaliar:

- i) a adsorção e a interacção dos traçadores, especialmente a Rodamina, com os sólidos dos colectores;
- ii) o efeito dos sólidos e sedimentos dos colectores na exfiltração.

Em relação ao último aspecto, foi observado que os sedimentos dos colectores contribuem para colmatar os defeitos dos colectores e, conseqüentemente, para uma redução significativa das taxas de exfiltração (Ellis *et al.*, 2003).

3.3 - Infiltração nos sistemas de drenagem urbana

Foram desenvolvidos dois métodos para medição da infiltração à escala da sub-bacia. O primeiro método é baseado nos isótopos naturais e estáveis de oxigénio ^{16}O e ^{18}O (Kracht *et al.*, 2003). Se as águas de consumo e as águas subterrâneas têm duas razões isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ distintas, e assumindo que a água de infiltração provém das águas subterrâneas e que as águas residuais resultam da utilização das águas de consumo, a medição da razão $\delta^{18}\text{O}$ à saída de uma dada sub-bacia, conjugada com a equação de balanço de massa, permite estimar a razão de infiltração. O método é de aplicação muito simples e pouco dispendioso, mas a utilização está limitada a sub-bacias onde quer as águas de consumo quer as águas subterrâneas tenham características isotópicas homogéneas, e onde apenas duas componentes (uma origem de água de abastecimento e uma origem de água subterrânea) interagem. Estas fortes limitações constituem as maiores desvantagens deste método que foi testado em vários locais durante o projecto APUSS (De Bénédittis, 2004).

O segundo método, que contrariamente ao anterior pode ser utilizado à saída de qualquer sub-bacia onde as águas residuais têm maioritariamente origem doméstica, é baseado na medição simultânea e contínua do caudal e da concentração da Carência Química de Oxigénio (CQO). A medição de caudal é feita através dos melhores medidores de caudal disponíveis e a concentração de CQO é obtida através de medição óptica utilizando um espectro-fotómetro de radiação UV/visível de comprimento de onda múltiplo. Assumindo que a água de infiltração tem uma concentração de COD negligenciável, comparada com a da água residual doméstica, e ajustando modelos de padrões diários de caudal e de concentração, as equações de balanço de massa permitem calcular a razão de infiltração (Kracht e Gujer, 2004). Tal como para a exfiltração, a análise detalhada das incertezas faz parte dos protocolos de medição da infiltração.

3.4 - Infiltração e exfiltração nas ligações domésticas

Os métodos atrás descritos são aplicáveis à infiltração e exfiltração nos colectores dos sistemas públicos de drenagem urbana. O entanto, é bem conhecido que as ligações domésticas constituem, também, uma componente chave dos fenómenos

de I/E. Os métodos volumétricos foram testados e aplicados em locais experimentais para medir a I/E nas ligações domésticas. Para a infiltração, a monitorização de caudal, durante dois dias, nas câmaras de visita que recebem as várias ligações domésticas aos colectores públicos, permitem estimar a taxa de infiltração como a equivalente ao caudal mínimo nocturno. Para a exfiltração, foram testados dois métodos. O método de pressão consiste em bloquear o tubo da ligação doméstica com balões de selagem, encher o tubo com água e medir a redução do nível de água ao longo do tempo, determinando a taxa de exfiltração. O método de superfície livre consiste em descarregar um dado volume de água no tubo da ligação, recolher o volume a jusante da ligação doméstica e calcular a taxa de exfiltração por comparação dos volumes.

O primeiro método sobrestima a exfiltração devido à pressão, enquanto que o segundo método requer a existência de um acesso fácil ao colector público a jusante da ligação doméstica, o que raramente é possível. Finalmente, uma vez que o número de ligações domésticas numa cidade é, geralmente, muito elevado é impossível medir I/E em todas elas. Por esta razão, foi definido um procedimento para extrapolar as medições para uma bacia de grandes dimensões, utilizando uma matriz que define características semelhantes das ligações domésticas, baseada em registos de inspecções CCTV (*Closed Circuit Television*) e deficiências das ligações domésticas (Princ e Kohout, 2003).

4 - ÁREA DE TRABALHO 2: MODELOS E FERRAMENTAS ASSOCIADOS

4.1 - Descrição geral

As medições de infiltração e de exfiltração nos colectores e nas ligações domésticas fornecem dados e resultados que necessitam de ser integrados e visualizados adequadamente por forma a dar aos utilizadores finais uma representação e compreensão dos fenómenos que afectam os seus sistemas de drenagem urbana. Para além disso, os dados experimentais obtidos por aplicação dos métodos desenvolvidos na Área de Trabalho 1 devem ser utilizados em estreita relação com os modelos, para fins de calibração e comparação dos resultados de simulação com as medições de campo. Para esse fim, modelos complementares e ferramentas computacionais foram desenvolvidos na Área de Trabalho 2.

4.2 - Modelos

A exfiltração é medida à escala do colector, enquanto que a infiltração é medida à escala da sub-bacia. Da mesma forma, foram propostos modelos conceptuais de exfiltração e de infiltração à escala do colector e da sub-bacia, respectivamente. As variáveis de estado chave envolvidas são os níveis de água nos colectores (h_w), os níveis freáticos circundantes (h_{GWL}) e os perímetros molhados para I/E (P_w) (Figura 2). Os parâmetros do modelo à escala do colector e da sub-bacia reflectem o estado

estrutural dos colectores e necessitam de ser calibrados através de medições e resultados experimentais. Adicionalmente, as séries de dados experimentais de campo foram utilizadas para estabelecer e testar a abordagem do modelo das perdas tanto para a infiltração como para a exfiltração, que foram reproduzidas com as respectivas variações temporais (Karpf e Krebs, 2004a; Karpf e Krebs 2004b; Karpf e Krebs, 2005). Como as medições de I/E não podem, em geral, ser aplicadas a todos os colectores de uma cidade, foi proposto um método estatístico baseado na abordagem de semelhança, por forma a identificar sub-bacias e grupos de colectores com características semelhantes e que, potencialmente, se espera que tenham magnitudes semelhantes de taxas de I/E (Franz e Krebs, 2005).

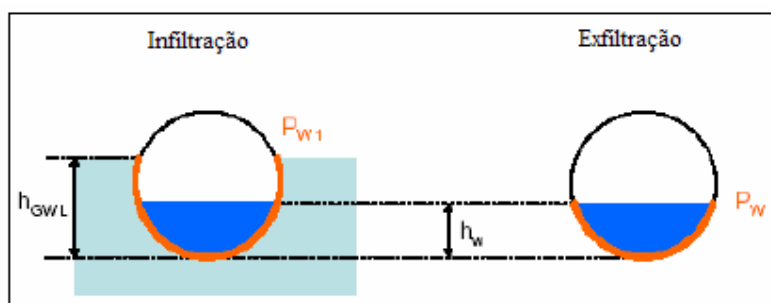


Figura 2 – Variáveis de estado chave utilizadas nos modelos I/E

4.3 - Software de gestão de dados

Foi desenvolvida uma ferramenta integrada, no âmbito do software AquaBase®, que representa o mapa do sistema de drenagem, os caudais de tempo seco, os níveis freáticos obtidos por interpolação, e que inclui dados e séries temporais contendo os resultados experimentais de I/E. Foram, também, desenvolvidas e implementadas rotinas de calibração automática para calibrar os parâmetros dos modelos, de acordo com os dados e as séries temporais. Foram estabelecidos e testados modelos e ferramentas no âmbito de um exemplo de grande escala para aplicação geral dos métodos e modelos, na perspectiva de aplicação por um utilizador final.

5 - ÁREA DE TRABALHO 3: ASPECTOS ECONÓMICOS E OPERACIONAIS

5.1 - Descrição geral

Os municípios e os operadores dos sistemas de drenagem urbana têm que decidir sobre estratégias de investimento para reabilitar e melhorar a eficiência e a qualidade dos seus sistemas. Frequentemente, estas decisões são baseadas em informação limitada e não consideram em simultâneo os colectores, as estações de tratamento e o ambiente, especialmente as águas subterrâneas. Com o objectivo de fornecer elementos para apoiar os operadores na tomada de decisão, a Área de Trabalho 3 inclui três tópicos:

- i) custos da estrutura dos sistemas de águas residuais e os custos de novos métodos,
- ii) um conjunto de indicadores de desempenho específicos para I/E,
- iii) uma metodologia genérica para comparar estratégias de investimento.

5.2 - Estrutura de custos e custos dos métodos APUSS

Um questionário enviado para todos os utilizadores finais do projecto APUSS demonstrou que não é possível a transferência de informação técnica e financeira entre diferentes cidades, porque existe uma larga diversidade de abordagens e de organizações. No entanto, foi desenvolvida uma nova estrutura de custos para os sistemas de drenagem urbana, utilizando seis grupos de custos (material, salários, diversos custos operacionais, deposição de resíduos, depreciação e juros calculados), que constituem a base para a análise custo-benefício e para estudos de *benchmarking*. A aplicação da análise custo-benefício foi ilustrada através de quatro exemplos (reabilitação vs. substituição para diferentes profundidades de instalação). Para a comparação, foram calculados custos anuais de operação e investimento, que revelaram que o tempo de amortização das medidas planeadas é um dos aspectos principais na tomada de decisão.

Para todos os métodos de medição desenvolvidos na Área de Trabalho 1, foram avaliadas gamas detalhadas de custos (custos de pessoal, custo do equipamento de medição e custos de consumíveis). Estes custos devem ser considerados como custos para uma medição “protótipo”, que podem ser reduzidos quando as medições passam a ser feitas numa base de rotina. Focando apenas os aspectos económicos, as medições de caudal “clássicas” parecem ser mais vantajosas. No entanto, os novos métodos de medição fornecem valores de infiltração e de exfiltração com uma melhor avaliação das incertezas. Os resultados obtidos utilizando estes novos métodos são mais fiáveis do que os obtidos com os métodos “clássicos”.

5.3 - Indicadores de desempenho de I/E

Um conjunto específico de indicadores de desempenho (ID) foi desenvolvido para avaliar o impacto da I/E nos sistemas de drenagem urbana e foi aplicado a três casos de estudo, como forma de agregar a informação das características dos sistemas e os dados experimentais provenientes da monitorização ou da modelação, traduzindo-os para valores de desempenho. Os ID foram calculados para sistemas de drenagem urbana de diferentes características e diferentes valores das taxas de I/E medidas, utilizando os métodos de medição desenvolvidos na Área de Trabalho 1. Uma vez calculados, os ID são classificados em valores de bom ou mau desempenho, permitindo uma comparação normalizada e objectiva de diferentes sistemas de drenagem e constituindo um meio de, tecnicamente, apoiar o estabelecimento de prioridades de investimento de reabilitação e/ou construção,

tendo em conta os impactos da infiltração e exfiltração (Cardoso *et al.*, 2002, Cardoso *et al.*, 2005). Foram, também, estabelecidas ligações entre a plataforma AquaBase® e o software de cálculo dos indicadores de desempenho.

5.4 - Metodologia genérica de comparação de estratégias de investimento

Quando os problemas de I/E são detectados e avaliados, os utilizadores finais têm, geralmente, várias estratégias de investimento e de reabilitação para os resolver (reabilitar o sistema de drenagem, adaptar a ETAR, utilizar tanques de armazenamento, ou qualquer combinação destas soluções). Foi estabelecida uma metodologia genérica, que inclui a modelação do sistema de drenagem urbana e da ETAR, para comparar estas estratégias de investimento, tendo em conta diferentes critérios (ambientais, operacionais, financeiros, etc.), no que respeita aos aspectos de I/E. Foi utilizado o método multicritério Electre III (Roy, 1996) para comparar e ordenar as várias estratégias. Foi desenvolvido um exemplo de aplicação da metodologia proposta, para fins de demonstração. A disponibilidade de dados é um factor chave para uma aplicação adequada da metodologia. Dependendo do critério considerado, a estratégia de investimento mais favorável pode mudar completamente. Por este motivo as análises devem ser realizadas caso a caso.

6 - CONCLUSÃO

Entre 2001-2004 decorreu o projecto de investigação europeu APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems), dedicado ao estudo das questões relacionadas com a infiltração e a exfiltração.

Foram desenvolvidos novos métodos de medição baseados em traçadores para medir a infiltração e a exfiltração nos sistemas de drenagem urbana: à escala da sub-bacia, para a infiltração, e à escala do colector, para a exfiltração. Foram estabelecidos e disponibilizados, para todos os métodos, protocolos, análise de incertezas e códigos e processamento de dados. Os métodos foram aplicados em vários locais experimentais, com diferentes contextos, onde foram observadas variações das taxas de I/E sazonais e após eventos de precipitação. Os métodos volumétricos foram também testados para medir I/E nas ligações domésticas.

Foram testados e aplicados modelos conceptuais para simular a infiltração e a exfiltração em diferentes escalas temporais. Foi desenvolvido um método estatístico baseado numa abordagem de semelhança, para facilitar a identificação de bacias representativas e a extrapolação de valores experimentais, para um bacia de maiores dimensões, à escala de uma cidade. Como um complemento natural, foi implementada uma plataforma computacional que permite incluir os dados de descrição dos sistemas de drenagem urbana, armazenar dados experimentais, séries dos níveis freáticos e da taxas de I/E, calibrar os modelos e visualizar os

resultados. Foram disponibilizados um manual de utilizador e um caso de estudo para aplicação.

Foi analisada a estrutura de custos dos sistemas de drenagem urbana e foi realizada uma análise custo-benefício para substituição e reabilitação de colectores. Foi estimada uma gama de custos dos novos métodos de medição. Foram estabelecidos indicadores de desempenho específicos para I/E e aplicados a vários casos de estudo, e foi elaborada uma metodologia multicritério para comparar e ordenar estratégias de investimento e reabilitação.

Toda a informação atrás descrita se encontra disponível para os utilizadores finais e poderá contribuir para os ajudar a obter um melhor conhecimento dos fenómenos de infiltração e exfiltração e a tomar decisões baseadas numa informação mais precisa. Todos os relatórios finais, documentos e comunicações publicadas se encontram publicamente disponíveis na página Internet do projecto APUSS em <http://www.insa-lyon.fr/Laboratoires/URGCHU/apuss/>. Para além dos testes realizados durante o projecto, a aplicação dos métodos e das ferramentas pelos vários operadores dos sistemas, em contextos diversos, contribuirá para a sua completa avaliação e para a sua contínua melhoria e validação.

AGRADECIMENTOS

O projecto APUSS foi financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 5º Programa Quadro da União Europeia e contribuiu para a implementação da Acção Chave “Gestão Sustentável e Qualidade da Água” sob o contrato Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável nº EVK1-CT-2000-00072.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso A., Almeida M.C., Coelho S.T. (2002). Evaluation of the infiltration impact on the performance of urban sewer systems. Proceedings of the 9º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Braga, Portugal, 16-19 Setembro, 17 p.
- Cardoso A., Prigiobbe V., Giulianelli M., Baer E., De Bénédittis J., Coelho S.T. (2005). Assessing the impact of infiltration and exfiltration in sewer systems using performance indicators: case studies of the APUSS project. 10th ICUD conference, Copenhagen, Dinamarca, 21-26 Agosto.
- CEN (1996). European Standard EN 752-2 : Drain and sewer systems outside buildings – Part 2: Performance requirements. Paris (France): AFNOR, 18 p.
- De Bénédittis J. (2004). Mesurage de l’infiltration et de l’exfiltration dans les réseaux d’assainissement. PhD thesis: INSA de Lyon, Villeurbanne, France, 331 p. (em Francês).
- De Bénédittis J., Bertrand-Krajewski J.-L. (2004). Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods. Proceedings of the 4th International Conference on Sewer Processes and Networks, Funchal, Madeira, Portugal, 22-24 Novembro, 301-308.

- Ellis J.B., Revitt D.M., Lister P., Willgress C., Buckley A. (2003). Experimental Studies of Sewer Exfiltration. *Water Science and Technology*, 47 (4), 61-67.
- Franz T., Krebs P. (2005). Statistical methods towards more efficient infiltration measurements. 10th ICUD conference, Copenhagen, Dinamarca, 21-26 Agosto.
- Karpf C., Krebs P. (2004a). Sewers as drainage systems – Quantification of groundwater infiltration. *Proceedings of Novatech 2004*, Lyon, França, 6-10 Junho, vol. 2, 969-975.
- Karpf C., Krebs P. (2004b). Application of the leakage model to assess exfiltration. *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Drainage Modelling*, Dresden, Alemanha, 15-17 Sept., 217-224.
- Karpf C., Krebs P. (2005). Assessment of extraneous water inflow in separated sewer networks. 10th ICUD conference, Copenhagen, Dinamarca, 21-26 Agosto.
- Kracht O., Gresch M., de Bénédittis J., Prigiobbe V., Gujer W. (2003). Stable isotopes of water as a natural tracer for infiltration into urban sewer systems. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 5, 07852, 2 p.
- Kracht O., Gujer W. (2004). Quantification of infiltration into sewers based on time series of pollutant loads. *Proceedings of the 4th International Conference on Sewer Processes and Networks*, Funchal, Madeira, Portugal, 22-24 Novembro, 293-300.
- Prigiobbe V., Giulianelli M. (2004). Design of tests for quantifying sewer leakages by QUEST-C method. *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Drainage Modelling*, Dresden, Alemanha, 15-17 Setembro, 205-216.
- Princ I., Kohout D. (2003). Infiltration and Exfiltration from House connections. *Proceedings of the conference "Water Management Task 2003"*, Spindleruv Mlyn, República Checa, 23-24 Novembro, 60-63.
- Rieckermann J., Bares V., Kracht O., Braun D., Gujer W. (2003). Quantifying exfiltration with continuous dosing of artificial tracers. *Proceedings of the Hydrosphere conference*, Brno, República Checa, 2-3 Outubro, 4 p.
- Rieckermann J., Borsuk M., Gujer W. (2005). Optimal experimental design for monitoring sewer leakage with tracers using decision analysis. 10th ICUD Conference, Copenhagen, Dinamarca, 21-26 Agosto.
- Rieckermann J., Gujer W. (2002). Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. *Proceedings of the international conference "SOM 2002 Sewer Operation and Maintenance"*, Bradford, Reino Unido, 26-28 Novembro, 8 p.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht (The Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 292 p.
- Rutsch M., Rieckermann J., Krebs P. (2005). Quantification of sewer exfiltration – A review. 10th ICUD conference, Copenhagen, Dinamarca, 21-26 Agosto.
- Schilling W., Bertrand-Krajewski J.-L., Eiswirth M., Krebs P., Saegrov S., Thévenot D. (2002). Integrated Urban Water Management Approaches: CityNet. *International Conference "AQUAECO: Science in support of European water policies - Sustainability of aquatic ecosystems"*, Stresa, Itália, 26-28 Novembro, 4 p.