

AFLUÊNCIAS INDEVIDAS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS Undue Turnout in Sewers Caused by Improper Drainage of Wastewater

HÉLDER AMORIM ⁽¹⁾, MÁRIO VALENTE-NEVES ⁽²⁾ & JOSÉ SALDANHA MATOS ⁽³⁾

⁽¹⁾ Eng.º do Ambiente (IST, Mestrando em Eng.ª do Ambiente (FEUP)), Águas do Minho e Lima, SA, Ed. Active Center, Praça do Alto Minho, 4900-432 Viana do Castelo, helder.amorim@adml.pt

⁽²⁾ Doutor em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, mjneves@fe.up.pt

⁽³⁾ Doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, [jrm@civil.ist.utl.pt](mailto:jsm@civil.ist.utl.pt)

Resumo

A afluência indevida às redes de drenagem de águas residuais é frequentemente significativa, nomeadamente após fortes chuvadas. Os mecanismos que contribuem para essa afluência são diversos, e podem incluir, entre outros, a entrada através das tampas e do corpo das câmaras de visita e de ramais de ligação, inserção da tubagem nas mesmas, roturas das canalizações e ligações clandestinas de águas pluviais. A empresa Águas do Minho e Lima, SA, responsável por centenas de quilómetros de colectores, várias estações de bombagem e estações de tratamento, está particularmente interessada em fazer um diagnóstico da situação, o que motivou a realização de um trabalho experimental numa bacia piloto do subsistema de saneamento de Viana do Castelo - Zona Industrial. Este trabalho teve como objectivo quantificar as influências indevidas, descrevendo-se a campanha realizada nos meses de Maio e Junho nessa bacia piloto e as respectivas conclusões, e propondo-se finalmente medidas para a redução do impacto deste problema.

Palavras-chave: Infiltração, Colectores, Quantificação.

Abstract

The undue turnout in sewers caused by improper drainage of wastewater is often significant, particularly after the occurrence of strong rain. The mechanisms that contribute to this influx are different, and may include, among others, the entry through the covers and the body of the manholes and other connections, links of the pipes in the manholes, broken pipes and illegal connections of rainwater. The company Águas do Minho e Lima, SA, responsible for hundreds of kilometers of collectors, several pumping stations and treatment plants, is particularly interested in making a diagnosis of the situation, which led to the setup of an experimental work in a network of the Viana do Castelo - Zona Industrial sewerage system. This work was designed to quantify the undue influences, describing the campaign held in the months of May and June in the basin pilot and their conclusions, and finally proposing steps to reduce the impact of this problem.

Keywords: Infiltration, Sewer, Quantification.

1. Introdução

As influências indevidas de caudais aos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, designadas pela terminologia anglo-saxónica de "inflow/infiltration", podem causar alguns problemas, nomeadamente:

- Incremento de custos operacionais e de investimento nas redes de drenagem e nas estações de tratamento de águas residuais;
- Redução da capacidade de transporte dos colectores e das estações de tratamento de águas residuais, potenciando as descargas de águas residuais no meio receptor sem qualquer tratamento, e o consequente aumento da poluição;
- Arrastamento de solos, causando problemas operacionais e estruturais na rede de drenagem.

Os problemas de infiltrações nos sistemas de drenagem, quer pela entrada de caudais nos sistemas devido a roturas nas tubagens e nas câmaras de visita, quer pela ligação indevida de redes de águas pluviais a redes separativas de drenagem de águas residuais, têm implicações imediatas no aumento dos custos operacionais, como é referido em Ainger *et al.* (1998).

Estes custos traduzem-se em custos directos de transporte de caudais indevidos e no tratamento destes caudais.

Estudos neste domínio têm demonstrado que nem sempre é viável do ponto de vista económico a redução dos caudais de infiltração afluentes aos sistemas de drenagem.

De acordo com a experiência internacional, as influências indevidas aos sistemas de drenagem representam cerca de 100% do caudal afluente às estações de tratamento.

2. Definição de Infiltração

O termo infiltração é designado para caracterizar o caudal que entra nos sistemas de drenagem proveniente dos lençóis freáticos, e os caudais que entram directamente na rede, provenientes de ligações de redes de águas pluviais às redes de drenagem separativas. A água entra nas redes pelas tubagens, devido à abertura nas juntas, fracturas e fadiga dos materiais utilizados nas redes principais e nos ramais domiciliários, e pelas câmaras de visita, devido à corrosão, problemas de ligação às tubagens e entrada pelas tampas.

Em síntese, a infiltração em sistemas de drenagem de águas residuais depende dos seguintes factores:

- Pluviosidade;
- Existência de ligações pluviais às redes de drenagem;
- Proximidade dos aquíferos;
- Estado de conservação da rede.

A infiltração num sistema de drenagem de águas residuais pode ser *directa*, quando resulta da contribuição de fenómenos pluviométricos, e *indirecta*, associada à proximidade dos colectores ao nível freático. Nas mesmas circunstâncias de proximidade de uma rede de drenagem ao nível freático, é expectável que a rede de colectores dê origem a uma maior afluência de caudais de infiltração, porque a extensão de colectores é significativamente maior do que a extensão dos emissários e interceptores. Pelo exposto, embora as redes de emissários e interceptores transportem um caudal superior, comparativamente à rede de colectores dos sistemas em “baixa”, é nesta rede, onde o número de caixas de visita é superior e onde existem ligações indevidas de redes pluviais, que ocorre a maioria das afluências indevidas.

Em Hyder (2005) são mencionados alguns factores que influenciam as entradas físicas ao longo de um sistema de drenagem de águas residuais, e que são os seguintes:

- Estado de conservação e idade dos colectores e acessórios da rede: a vida útil dos colectores depende do respectivo material e do modo de operação do sistema; as redes mais antigas sofrem geralmente mais afluências indevidas, devido ao facto das juntas deixarem de vedar por envelhecimento, por apresentarem fendas ou estarem em mau estado de conservação. Por isso se compreende que as zonas mais recentes da rede tenham normalmente menos afluências indevidas;
- Modo de construção e colocação dos colectores: em muitas redes de drenagem utilizam-se materiais que, embora resistam bem às pressões interiores, são pouco resistentes à compressão diametral induzida pelas cargas exteriores, especialmente se o assentamento do colector não for adequado e os recobrimentos mínimos regulamentares respeitados. Por outro lado, um assentamento ou uma montagem deficiente do colector e dos seus acessórios pode originar fendas não visíveis ou pontos frágeis na tubagem, torção e deslocamento das juntas;

- Características do solo envolvente e existência de outras fugas: as características do solo envolvente são determinantes na presença e aumento de fugas. As infiltrações frequentes de água no solo, de origem pluvial ou proveniente de fugas nas condutas de abastecimento de água, dependendo do tipo e compacidade do solo envolvente, geram caminhos preferenciais de escoamento, com arrastamento das partículas mais finas. Este fenómeno pode induzir assentamentos diferenciais do colector, não absorvidos pela flexibilidade das juntas, ou, eventualmente, à rotura do próprio colector.
- Frequência de passagem de cargas pesadas sobre a tubagem: a passagem frequente de veículos pesados sobre os colectores pode danificá-los por esmagamento ou fadiga precoce do material, ao fim de algum tempo.

A entrada de águas superficiais e subterrâneas nos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais constitui um problema multidimensional, com um elevado impacto nas várias vertentes da entidade gestora.

3. Caso de Estudo

3.1. Descrição do Subsistema de Viana do Castelo - Zona Industrial

O subsistema de saneamento de Viana do Castelo - Zona Industrial desenvolve-se na faixa litoral a sul do rio Lima, sendo constituído pela rede em “alta”, cuja gestão é da responsabilidade da Águas do Minho e Lima, e pela rede em “baixa”, gerida pelos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo.

3.2. Rede Estudada

Para quantificar as afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais escolheu-se uma rede de drenagem em “baixa”, pertencente aos SMSBVC, inserida numa zona residencial, situada a sul de Viana do Castelo, na freguesia de Darque.

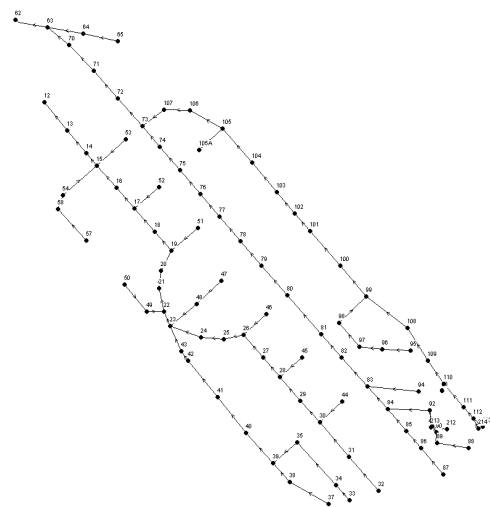


Figura 1. Sub-redes monitorizadas.

Os principais factores que levaram à escolha desta rede foram a existência de cadastro actualizado, o facto das sub-bacias associadas não terem áreas superiores a 10 ha e, principalmente, o facto de se conhecerem os consumos de água, através dos registos dos SMSBVC. A zona estudada é constituída por duas sub-redes: a rede 1, cuja monitorização terminou na caixa de visita n.º 12, e a rede 2, monitorizada até à caixa de visita n.º 62.

3.2.1. Instrumentação utilizada

Para realizar o trabalho experimental instalou-se um sistema de medição de caudais na rede de drenagem e um sistema de medição da precipitação, que permitisse uma medição contínua da pluviosidade e relacionada com os caudais registados nas sub-redes.

Após uma visita ao local para a averiguação da gama de alturas de escoamento em algumas secções das sub-redes estudadas, definiram-se como pontos de medição as caixas de visita n.º 12 e 62, constituindo a bacia piloto zonas de estudo para uma análise detalhada (análise micro) das condições de afluência e de escoamento representativas da realidade do subsistema de saneamento em apreço.

Estas caixas foram escolhidas por apresentarem, nas tubagens de entrada, alturas de escoamento superiores ao limite inferior da gama de medição dos medidores ultrassónicos.

Foram também instalados na proximidade do local da área estudada dois udómetros, de forma a permitir a medição contínua da precipitação no período em estudo. A instalação de dois udómetros permitiu suprimir deficiências pontuais de registos, tendo sido escolhido o valor máximo de registo entre os dois medidores.

O local escolhido para a sua instalação teve em consideração a salvaguarda ao vandalismo e à existência de área plena de céu aberto.

O período de medição de caudal e precipitação decorreu entre o dia 24 de Abril de 2007 e o dia 27 de Junho de 2007.

3.2.1.1. Avaliação da altura de escoamento e da velocidade

Para aferir os caudais em cada ponto de medição nas sub-redes 1 e 2 foram instalados dois medidores, constituídos por três tipos de sensores: ultrassónicos, de pressão e de velocidade. Cada um deles tem quatro sensores de medição de nível, um sensor de medição de pressão (para medir os níveis de sobrecarga e a redundância do sensor de nível) e um sensor de medição da velocidade média.

Sensor de nível:

- Sensor ultrassónico;
- Funcionamento sem contacto com o fluído;
- Gama de medida: 3.05 m;
- Resolução: 0.05 cm;
- Precisão: 0.32 cm

Sensor de pressão:

- Gama de medida: 21 m;
- Resolução: 0.025 % da gama;
- Precisão: 0.2 % da gama.

Sensor de velocidade:

- Princípio de medida: ultrassónico;
- Gama de medida: -1.5 a +6.1 m/s;
- Resolução: 0.1 m/s;
- Precisão: 0.8 % da gama (-1.5 a 1.5 m/s),
1.2 % da gama (1.5 a 3 m/s),
2.8 % da gama (3 a 6.1 m/s).

Os medidores têm um software interno que calcula o caudal instantâneo com os dados registados do nível, pressão e velocidade média, e têm acoplado um “datalogger”, que permite armazenar os dados de velocidade, nível, pressão e caudal instantâneo.

A escolha do sensor ultrassónico deveu-se essencialmente à forma como se processava o escoamento (regime de superfície livre).

Caso o sensor ultrassónico esteja fora de serviço, apresentar registos deficientes ou o escoamento estiver sob pressão, opta-se pelos dados registados pelo sensor de pressão.

Por outro lado, a escolha do local de medição teve em consideração a minimização das interferências com a medição do sensor ultrassónico, tendo-se escolhido uma caixa de visita simples, sem entrada de caudal em queda.

Para minimizar o erro associado à medição, optou-se por alongar o tempo de resposta ao sensor (na escala dos microsegundos) de forma a garantir que a mesma resultasse da detecção da superfície líquida.



Figura 2. Medidor de caudal instalado na tubagem de entrada da caixa de visita n.º 12.



Figura 3. Medidor de caudal instalado na caixa n.º 62.

Durante o período de medição fizeram-se calibrações aos medidores, para aferir a validade da medição efectuada com os valores reais de nível e velocidade média do escoamento, para se proceder à limpeza dos sensores e para se recolherem os dados armazenados no datalogger.

As calibrações foram efectuadas nos dias 8, 23 e 29 de Maio e no dia 12 de Junho.

O procedimento seguido correspondeu a medir as alturas de escoamento com uma régua e as velocidades médias com um medidor de velocidade portátil (5 registos) e comparar com os valores registados pelos sensores no mesmo período temporal.



Figura 4. Medidor de velocidade portátil utilizado para calibrar os medidores ultrasónicos.

Mediu-se também pontualmente o caudal na caixa de visita n.º 22, nos dias em que se efectuou a calibração dos medidores de caudal, através de um descarregador calibrado Weir.

A medição foi efectuada através do registo do caudal nas duas escalas deste medidor, tendo sido registados os valores da altura de escoamento com recurso a uma régua, antes e depois da instalação do medidor Weir.



Figura 5. Descarregador calibrado Weir.

Tabela 1. Valores médios, máximos e mínimos de velocidade, altura de escoamento e caudal registados nos medidores.

Parâmetro	Medidor caixa n.º 12	Medidor caixa n.º 62
Velocidade máxima (m/s)	1.1	0.75
Velocidade mínima (m/s)	0.05	0.05
Velocidade média (m/s)	0.19	0.14
Altura máxima (mm)	513.55	1071.31
Altura mínima (mm)	20.29	14.56
Altura média (mm)	40.44	74.31
Caudal máximo (l/s)	54.05	36.76
Caudal mínimo (l/s)	0.14	0.07
Caudal médio (l/s)	1.24	1.9

3.2.1.2. Medição da precipitação

Para medir a precipitação na área em estudo recorreu-se a dois udómetros, tendo sido registado o valor da precipitação entre os dias 23 de Abril e 27 de Junho.

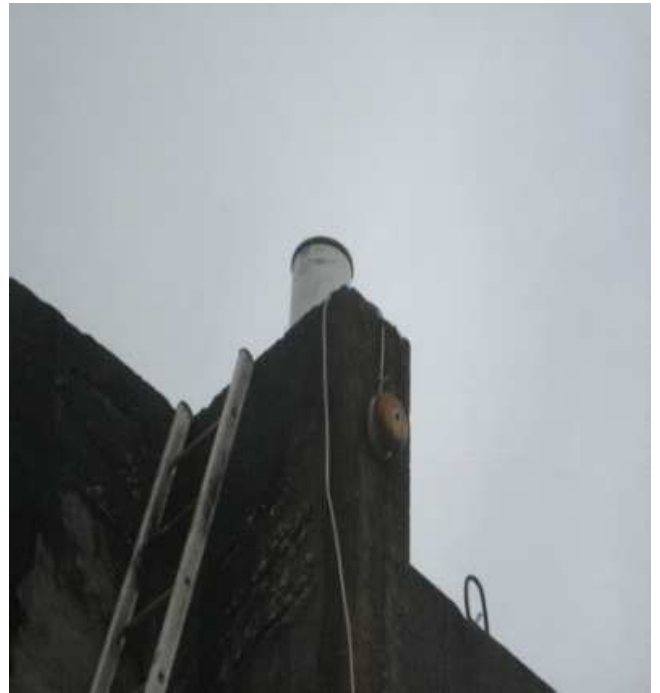


Figura 6. Udómetro instalado para o registo da precipitação.

Os udómetros instalados permitiram relacionar a quantidade pluviométrica com o factor tempo, tendo-se registado o valor da precipitação, em cada dois minutos, no período mencionado.

O segundo udómetro foi instalado para permitir o registo da precipitação em períodos não registados pelo primeiro.

Foram registados 2636 períodos de precipitação, cuja intensidade variou entre 1.2 e 84 mm/h, sendo a intensidade média de precipitação, nos períodos de pluviosidade, de 3.1 mm/h.

3.3. Análise dos Resultados

Após a recepção dos dados de caudal resultantes das medições de nível e de velocidade média registadas pelos sensores, e dos dados de intensidade de precipitação registados pelos udómetros, procedeu-se à sua análise, de forma a se estimar a componente de infiltração existente nas redes monitorizadas.

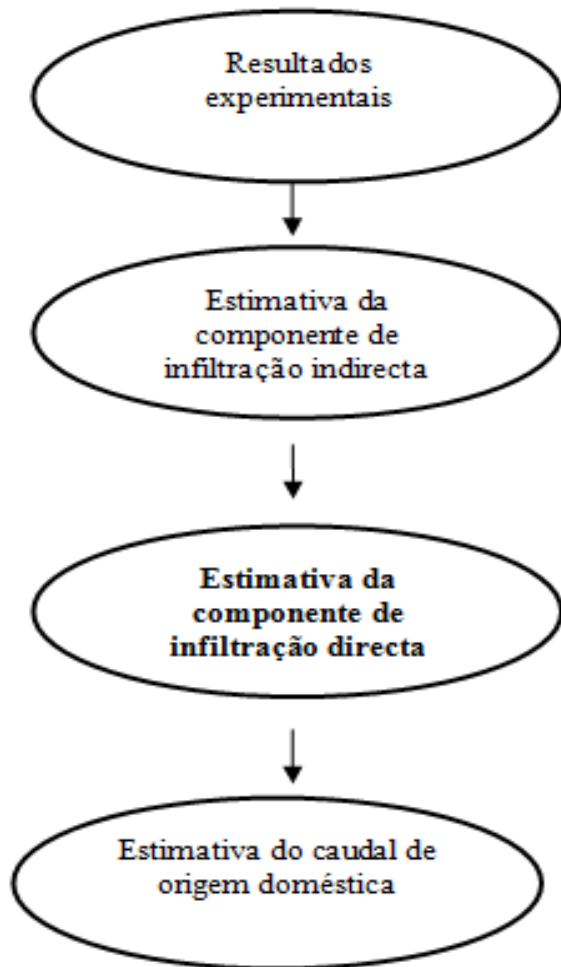


Figura 7. Procedimento para a estimativa do caudal de infiltração.

A metodologia utilizada para estimar os caudais de infiltração foi a que se representa na figura 7.

Nas figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam-se os padrões de descarga de águas residuais para dias de semana e de fim-de-semana, obtidos para as sub-redes 1 e 2.

Os padrões de descarga de águas residuais têm uma variação lógica ao longo do dia para uma zona residencial.

De facto, observando os padrões semanais das sub-redes 1 e 2, constata-se a existência de algum caudal até às 2 horas da manhã. Entre as duas e as 7 horas não existe escoamento na rede, iniciando-se o mesmo a partir das 7 horas (e coincidindo com o despertar das pessoas), decrescendo entre as 14 horas e começando a aumentar a partir das 18 horas, atingindo o pico nocturno entre as 21 e as 22 horas.

Durante o fim-de-semana, e também como seria de esperar, não existe escoamento na rede entre as 3 e as 7 horas da manhã, sendo o valor do caudal entre as 7 e as 8 horas bastante menor, comparativamente ao caudal registado no mesmo período durante a semana.

O valor médio mais elevado regista-se no período entre as 10 e as 15 horas, não se verificando os picos nocturnos registados durante os dias de semana.

Depois de estimado o caudal médio diário de origem doméstica, utilizaram-se os consumos de água do mês de Maio dos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo (mês que coincidiu na totalidade com o período de medição de caudal nas sub-redes 1 e 2) para validar os pressupostos utilizados para estimar essa variável.

O consumo de água no mês de Maio dos consumidores afectos à sub-rede 1 e 2 foi de 2120 m³ e 2942 m³, respectivamente.

Relacionando estes consumos com o caudal médio diário de águas residuais estimado para o mês de Maio, obtém-se um coeficiente de afluência médio de 0.78 para a sub-rede 1 e de 0.77 para a sub-rede 2, valores próximos do valor teórico de 0.8, utilizado habitualmente para o dimensionamento de redes de drenagem de águas residuais.

O caudal de infiltração representa cerca de 92% do caudal médio diário de origem doméstica na sub-rede 1 e cerca de 144% do caudal médio diário na sub-rede 2.

A nível comparativo, é de referir que o critério adoptado pela AdML para o dimensionamento das redes de drenagem em “alta” foi o de considerar o caudal de infiltração igual a 80% do caudal médio diário de origem doméstica.

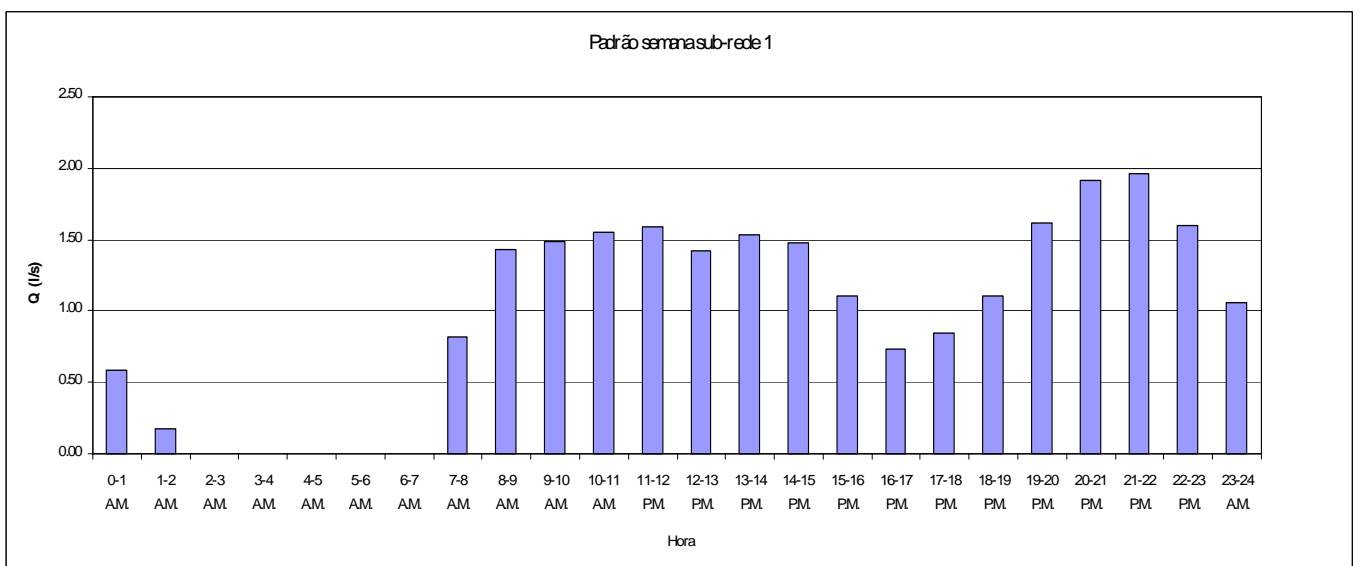


Figura 8. Padrão de semana para a sub-rede 1.

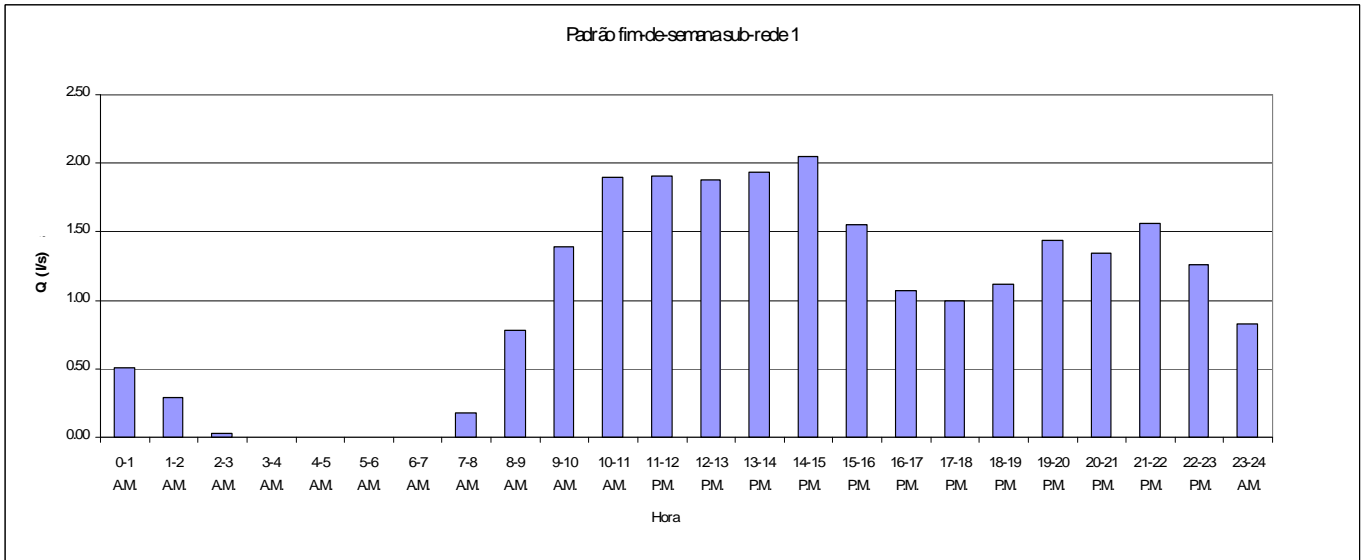


Figura 9. Padrão de fim-de-semana para a sub-rede 1.

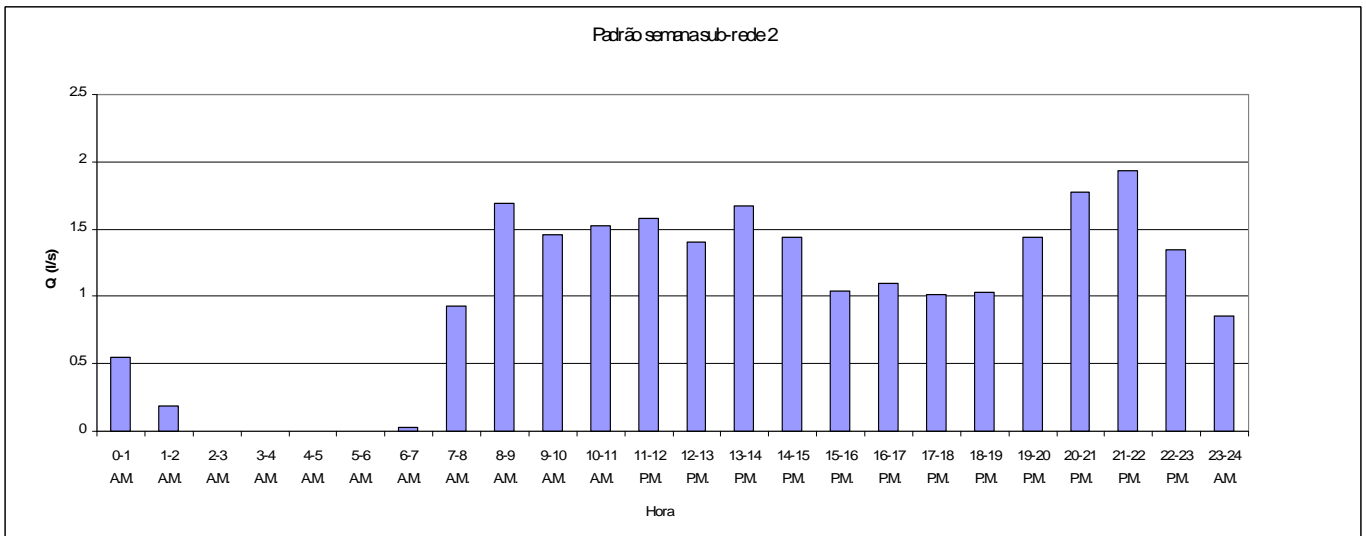


Figura 10. Padrão de semana para a sub-rede 2.

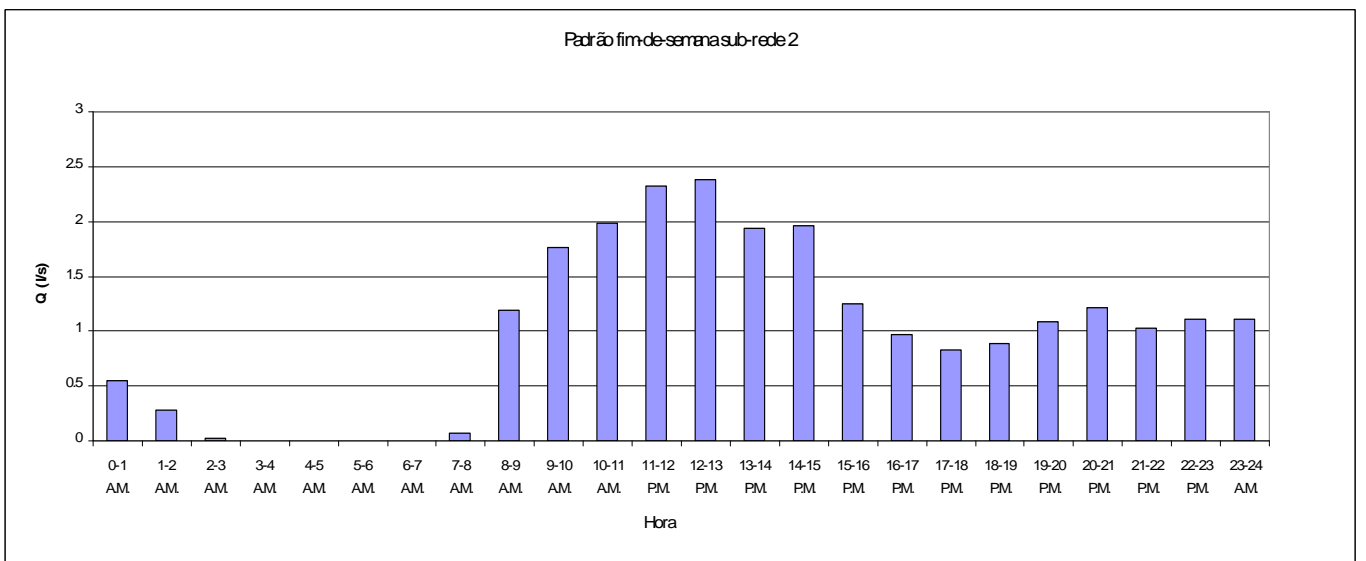


Figura 11. Padrão de fim-de-semana para a sub-rede 2.

A diferença de valores verificada entre as duas sub-redes monitorizadas deve-se ao facto do caudal de infiltração indirecta ser bastante superior na sub-rede 2, provavelmente pelo facto desta ter um “by-pass” à entrada da caixa de visita n.º 73, proveniente da rede pluvial, e, por conseguinte, ser mais susceptível à influência do nível freático.

Utilizando o indicador constante no Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, que relaciona o caudal de infiltração com o diâmetro da tubagem e com o comprimento da rede, obteve-se para a sub-rede 1 um valor para o caudal de infiltração de 1.47 m³/d/cm/km e para a sub-rede 2 de 2.11 m³/d/cm/km.

Os valores obtidos são valores aceitáveis, sendo consubstanciados pela idade das sub-redes 1 e 2 e pelos valores para este indicador dispostos no Decreto Regulamentar mencionado, que variam entre 0.5 m³/d/cm/km para redes novas e 4 m³/d/cm/km para redes mais antigas.

3.4. Modelação do Escoamento

Para simular as condições de escoamento na rede estudada construiu-se um modelo de simulação hidráulica no programa *Storm Water Management Model* (SWMM).

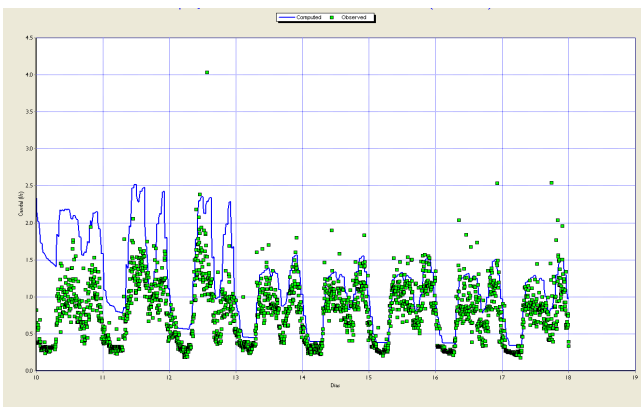


Figura 12. Comparação entre o caudal modelado e o caudal medido na sub-rede 1, entre os dias 4 e 11 de Maio.

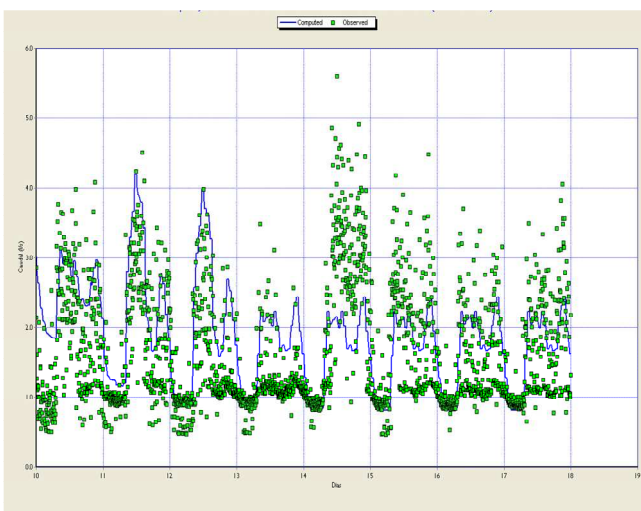


Figura 13. Comparação entre o caudal modelado e o caudal medido na sub-rede 2, entre os dias 4 e 11 de Maio.

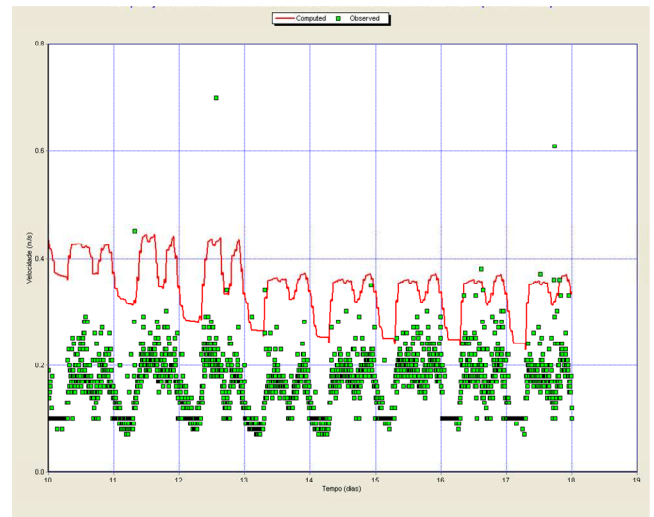


Figura 14. Modelação da velocidade na sub-rede 1 considerando um valor de $K_s=75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

Outra análise de sensibilidade efectuada consistiu na alteração dos valores do coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler das tubagens, de forma a aproximar os valores modelados dos valores medidos para a velocidade e altura de escoamento nas tubagens a montante das caixas de visita n.º 12 e 62.

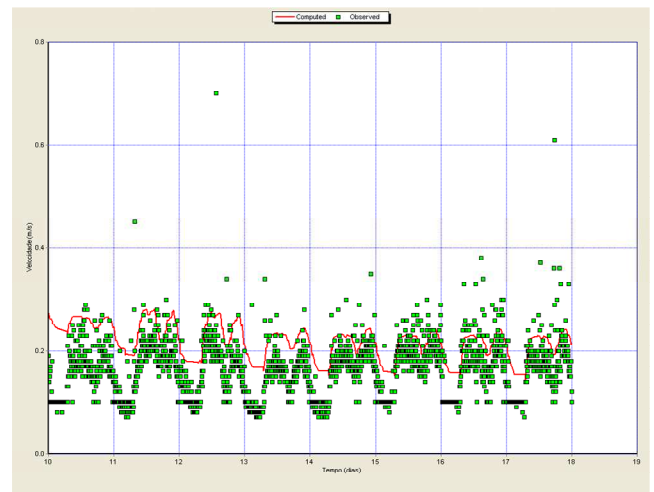


Figura 15. Modelação da velocidade na sub-rede 1 considerando um valor de $K_s=40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

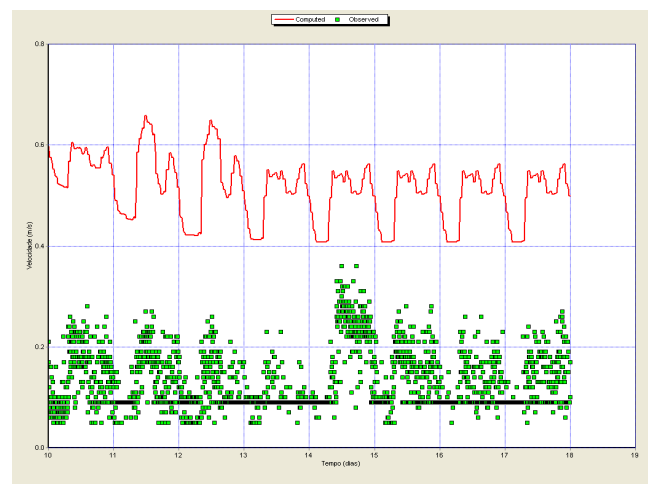


Figura 16. Modelação da velocidade na sub-rede 2 considerando um valor de $K_s=75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

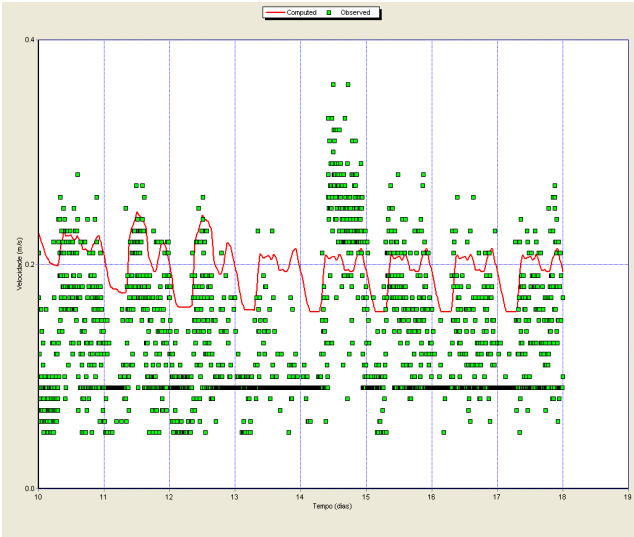


Figura 17. Modelação da velocidade na sub-rede 2 considerando um valor de $K_s=20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

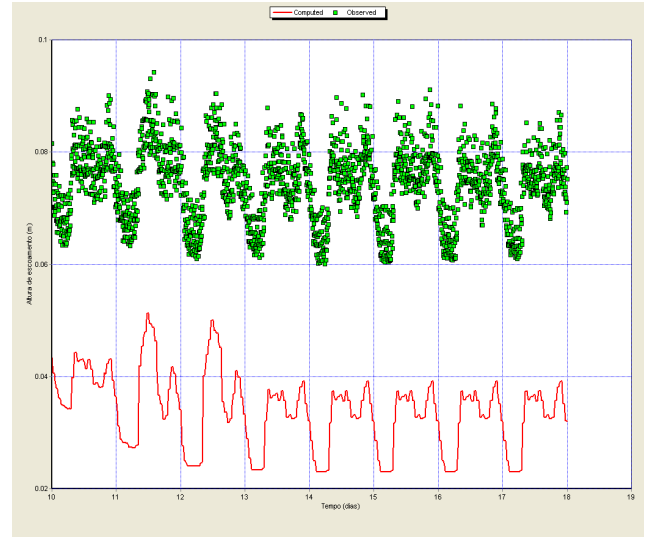


Figura 20. Modelação da altura de escoamento na sub-rede 2 considerando um valor de $K_s=75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

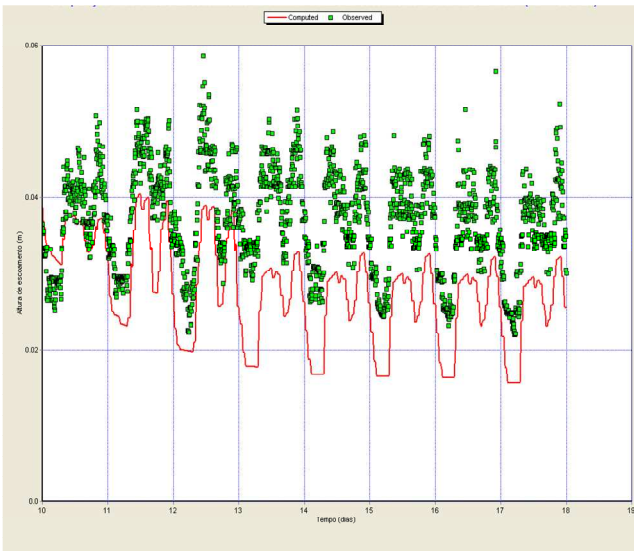


Figura 18. Modelação da altura de escoamento na sub-rede 1 considerando um valor de $K_s=75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

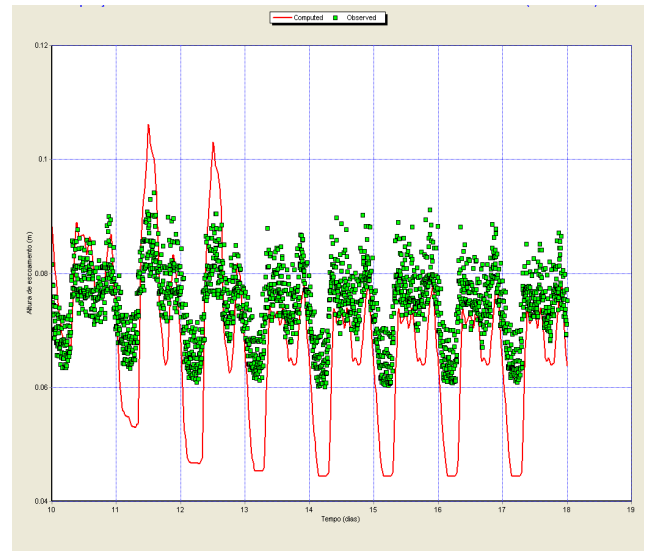


Figura 21. Modelação da altura de escoamento na sub-rede 2 considerando um valor de $K_s=20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

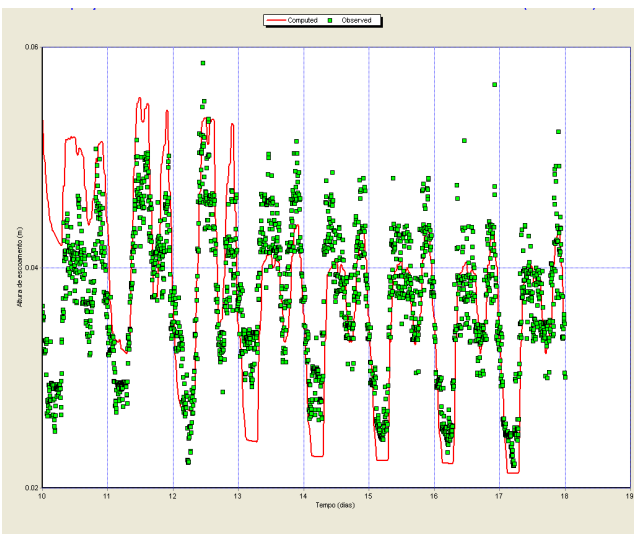


Figura 19. Modelação da altura de escoamento na sub-rede 1 considerando um valor de $K_s=40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

4. Síntese e Conclusões

O aumento dos custos operacionais e a influência no aspecto hidráulico-sanitário, levou a que as entidades gestoras de sistemas de drenagem de águas residuais estudassem a problemática das infiltrações em redes de drenagem, com vista à sua quantificação e redução. Existem, de facto, vários estudos neste domínio, com resultados diferentes, decorrentes dos principais aspectos que contribuem para a existência desta componente no caudal transportado pelas redes.

A monitorização dos caudais nas tubagens de entrada das caixas de visita n.º 12 e 62 permitiu quantificar a componente de infiltração nas sub-redes 1 e 2, constituindo os resultados obtidos (92% do caudal médio diário e 144% do caudal médio diário, respectivamente, nas sub-redes 1 e 2) valores que se situam dentro da gama de valores indicados por outros, estudos realizados para estimar a infiltração em redes de drenagem de águas residuais.

Existem alguns factores que permitem concluir que os resultados obtidos são fidedignos. Entre estes, salienta-se o facto de existir um cadastro actualizado da rede doméstica e da rede pluvial, bem como uma base de dados associada a estas redes com a identificação das características das caixas de visita (diâmetro, profundidade e material) e das tubagens (material, comprimento e diâmetro nominal de cada troço).

Complementarmente à existência do cadastro, procedeu-se ao levantamento topográfico das caixas de visita, para a obtenção da cota da tampa das caixas (dado inexistente nos elementos fornecidos pelos SMSBVC).

Relativamente às grandezas medidas, verificou-se a ausência de alguns registos de nível, provavelmente porque em alguns períodos, principalmente de madrugada, o caudal era tão baixo que tinha uma altura de escoamento inferior ao limite mínimo de detecção dos sensores de nível.

O elevado número de registos, comparativamente aos períodos em que não existem, permitiu, no entanto, suprimir esta vicissitude experimental.

Verificou-se também que a caixa de visita n.º 62, onde se instalou o medidor de caudal para monitorizar a sub-rede 2, entrou várias vezes em carga. Esta sub-rede apresenta alguns problemas de funcionamento, tendo sido visível, nos dias em que se procedeu à calibração dos medidores, a existência de uma grande quantidade de sólidos acumulados perto do local de instalação dos medidores.

A ausência de registo de dados neste medidor, bem como o registo de valores anormais, comparativamente a períodos similares, deve-se ao facto dos sensores estarem obstruídos por sólidos e outros detritos.

A diferença entre os valores obtidos para a componente de infiltração existente nas sub-redes 1 e 2 explica-se pelo facto de existir uma ligação da rede pluvial à rede doméstica na caixa de visita n.º 73. Além deste factor, a sub-rede 2 apresenta um estado de conservação pior do que a sub-rede 1. A conjugação destes factores explica a diferença significativa entre os caudais estimados nestas sub-redes para a componente de infiltração indirecta, que se deve à influência do nível freático da rede de drenagem.

O coeficiente de afluência à rede, obtido através dos pressupostos utilizados para estimar o caudal de infiltração directa, é um valor que se justifica pelo facto dos arruamentos onde se inserem as sub-redes 1 e 2 terem pavimento betuminoso, e existirem zonas com vegetação que impossibilitam que, embora ocorra precipitação, exista escoamento superficial.

Por outro lado, existem eventos de pluviosidade que não originam escoamento superficial, em virtude da fraca intensidade. Dos 2636 registos de precipitação, 1478 representam intensidades iguais ou inferiores a 1,5 mm/h.

A existência dos registos dos consumos de água na população associada às sub-redes 1 e 2 contribuiu também para validar os pressupostos para a estimativa do caudal de origem doméstica, sendo que os valores obtidos para o coeficiente de afluência (0.78 para a sub-rede 1 e 0.77 para a sub-rede 2) se situam dentro dos valores teóricos referidos na bibliografia para este parâmetro, que variam entre 0.7 e 0.9.

O cálculo destes coeficientes de afluência foi também muito importante para a construção do modelo de simulação do escoamento com o programa SWMM.

Relativamente aos diagramas cronológicos de águas residuais (figuras 8, 9, 10 e 11), concluiu-se que são aceitáveis, na medida em que traduzem o quotidiano típico dos habitantes de uma zona residencial.

O modelo construído permitiu identificar os troços das duas sub-redes que entraram em carga no período monitorizado, que se encontram localizados na sua maioria na sub-rede 2, reforçando o facto desta rede se encontrar em pior estado comparativamente à sub-rede 1.

A análise de sensibilidade efectuada ao modelo permitiu concluir que os colectores entram em carga quando chove, porque, fazendo a simulação do modelo ignorando os eventos de precipitação, não se obtém a entrada em carga de nenhum troço das sub-redes monitorizadas.

Como choveu cerca de 5272 minutos durante o período de medição, conclui-se que ocorreu uma entrada em carga de alguns colectores, em tempos médios, em cerca de 10% do tempo em que se registaram eventos de pluviosidade.

A variação do coeficiente de rugosidade permitiu concluir que a sub-rede 2 apresenta maiores problemas relacionados com a deposição de sedimentos, visto que apenas com um valor do coeficiente de rugosidade de $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ se conseguiu aproximar os valores modelados aos valores medidos da velocidade e altura de escoamento, tendo-se conseguido essa aproximação na sub-rede 1 utilizando um valor de $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. É claro que é necessária alguma prudência numa eventual transposição de conclusões para outras redes.

Por um lado, há que ter em conta o facto da rede estudada ser uma rede de cabeceira e totalmente gravítica. O pressuposto considerado para a estimativa do caudal de infiltração indirecta de não ser expectável a existência de caudal de origem doméstica, no período entre a 1 e as 5 horas da manhã, pode não ser aplicável a uma rede intermédia, situada por exemplo 4 km a jusante desta rede, devido ao facto do caudal descarregado na rede de cabeceira só passar nesses pontos intermédios algumas horas depois.

Outros factores que consubstanciam a dificuldade de generalização dos dados obtidos relacionam-se com a influência do nível freático e com as características das bacias de drenagem, nomeadamente a percentagem de impermeabilização e a idade e o estado de conservação da tubagem e das caixas de visita.

Referências

- ADML (2005); *Estudo das condições de arranque dos subsistemas de saneamento no concelho de Viana do Castelo*, Viana do Castelo.
- ADML (2005); *Projecto de execução do sistema de intercepção e transporte de Viana do Castelo – Zona Industrial*, Viana do Castelo.

- Ainger, M.; Armstrong, J.; Buter, D. (1998); *Dry weather flow in sewers*; CIRIA Report 177; London.
- Almeida, S.; Monteiro, P. (2005); *Incidência de caudais de águas pluviais em redes de drenagem de águas residuais*, Porto.
- Baptista, J.; Pássaro, D.; Pires, J.(2007); *Facturação de serviços em "alta" de saneamento de águas residuais urbanas em sistemas com contribuição de águas pluviais*, Recomendação IRAR n.º 04/2007, Lisboa.
- Barbosa, N. (1998), *Apontamentos Didáticos de Hidráulica Aplicada*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Bertrand-Krajewski, J.L. (2005); *Towards a better knowledge and management of infiltration and exfiltration in sewer systems: the APUSS project*, Copenhagen.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95 (1995), *Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais*, Diário da República, I Série-B n.º194, Lisboa.
- ENGIDRO/HIDRA (2005); *Elaboração dos planos de minimização de afluências indevidas nos sistemas municipais de drenagem na área de concessão da Águas do Ave*, Lisboa.
- Hyder (2005), *Greater Dublin Strategic Drainage Study, Regional Drainage Policies – Volume 4 – Inflow Infiltration & Exfiltration*, Dublin.
- Merrill,S., Lukas, A., Swarner, B.; Klusman, S. (2001); *Infiltration and Inflow, Infiltration or Inflow – Which is the Problem*; Seattle, Washington.
- Niehaus, J. (1995); *Rainfall-Derived Infiltration and Inflow: An Innovative Approach*; Cincinatti, Ohio.
- Rossman, L. (2005), *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*, EUA.
- Wade, M. (1999); *Controlling Inflow and Infiltration in Wastewater Collection Systems*; EUA.
- White, J.; Johnson, H. (1996); *Control of infiltration to sewers*; CIRIA Project Report for RP501; London.