

# Impacto de aflúências indevidas no consumo energético em instalações elevatórias em sistemas de drenagem urbana

Catarina Jorge <sup>a,b,\*</sup>, Maria do Céu Almeida <sup>a</sup>, Dília Covas <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

<sup>b</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

## Resumo

As aflúências indevidas são identificadas como um dos principais problemas dos sistemas de águas residuais e pluviais, levando a diversos problemas de desempenho dos mesmos, como sejam a ocorrência de inundações, a diminuição da eficiência hidráulica e energética, entre outros. A atuação no controlo de aflúências indevidas apresenta oportunidades de melhoria do desempenho em várias dimensões incluindo a componente de eficiência energética. Neste artigo desenvolve-se esta temática numa perspectiva de avaliação do desempenho de instalações elevatórias (IE) embora considerando o sistema como um todo. A metodologia adotada consiste em efetuar a análise de sensibilidade de um sistema separativo de águas residuais para cenários de ocorrência de aflúências indevidas à rede, de modo a avaliar o impacto no consumo de energia e noutras variáveis relevantes do sistema. O caso de estudo utilizado consiste numa adaptação do caso de estudo real correspondente ao sistema de drenagem de águas residuais da Bacia da Venteira, Amadora. A finalidade é aferir uma abordagem para tratar esta temática de modo mais geral com base no caso de estudo referido, de forma a contribuir para a sensibilização para a adoção de metodologias operacionais e de monitorização que permitam ter dados para fazer uma gestão mais racional da energia nestes sistemas. As conclusões são genericamente aplicáveis a qualquer sistema separativo de águas residuais.

**Palavras-Chave:** aflúências indevidas, avaliação de desempenho, eficiência energética, instalações elevatórias, sistemas de drenagem.

**doi:** 10.22181/aer.2020.0903

\* Autor para correspondência  
E-mail: cnjorge@lnec.pt

# Impact of undue inflows in energy consumption of pumping stations in urban drainage systems

Catarina Jorge <sup>a,b,\*</sup>, Maria do Céu Almeida <sup>a</sup>, Dília Covas <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

<sup>b</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

## Abstract

Undue inflows are identified as one of the main problems in wastewater and stormwater systems, leading to several performance issues, such as flooding, decreased efficiency in water and energy use, among others. Acting in the control of undue inflows leads to performance enhancements in several dimensions including the energy efficiency component. This paper presents developments regarding performance evaluation of pumping stations, although considering the system as a whole. The proposed methodology consists of adopting a sensitivity analysis for a separate wastewater system, considering scenarios of undue inflows occurrences in the network, in order to evaluate the impact on energy consumption and other relevant variables of the system. The case study presented herein is adapted from a real-life case study corresponding to the Venteira's domestic separate system (located at Amadora, Portugal). The main purpose is to assess an approach to address this issue, in order to contribute to increase awareness for the adoption of operational and monitoring methodologies to contribute for a more rational energy management in these systems. The conclusions are generally applicable to separate wastewater systems.

**Keywords:** undue inflows, performance assessment, energy efficiency, pumping stations, drainage systems.

**doi:** 10.22181/aer.2020.0903

\* Autor para correspondência  
E-mail: cnjorge@lnec.pt

## 1 Introdução

De acordo com a Agência Internacional da Energia (AIE), os serviços de água são responsáveis por 4 % do consumo mundial de eletricidade, com os custos com energia elétrica a representar de 30 a 50 % dos custos totais de operação dos sistemas (ERSAR e ADENE 2018). Em Portugal, os consumos de energia no setor da água têm vindo a aumentar, sendo este setor responsável por um consumo de energia elétrica superior a 1000 GWh/ano, valor que corresponde a mais de 2 % do consumo total de energia elétrica (ERSAR e ADENE 2018). Este consumo representa 470 mil toneladas de dióxido de carbono emitido, que contribuem para a produção de gases de efeito de estufa (GEE). A elevada pressão para a diminuição das emissões de GEE levou Portugal a assumir metas e objetivos exigentes em termos de energias renováveis e de eficiência energética. Entre os programas que contribuem para estes objetivos estão o PNAEE 2016: Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – Estratégia para a eficiência energética e o PNAER 2020: Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis – Estratégia para as energias renováveis.

O subsetor do saneamento corresponde a 38 % do consumo de energia no setor da água em Portugal e, ao contrário do que acontece nos sistemas de abastecimento de água, a energia associada à elevação não corresponde à maior parcela do consumo de energia nos sistemas de saneamento (ERSAR e ADENE 2018), na medida em que os processos tratamento de águas residuais têm associados elevados consumos de energia. O número de instalações elevatórias (IE) em sistemas de saneamento ao longo dos anos tem tido uma evolução crescente (ERSAR 2018), existindo evidências de que a eficiência energética, para sistemas tanto em baixa como em alta, é insatisfatória em face dos resultados para o indicador do sistema ERSAR AR10 – eficiência energética de IE, com resultados de qualidade de serviço maioritariamente de mediana a insatisfatória, indicando assim um potencial significativo para uma gestão mais racional da energia. Adicionalmente, verifica-se também que existem ainda grandes lacunas de informação nesta matéria, dado o número de Entidades Gestoras (EG) sem resposta a este indicador. Contudo, para a problemática em estudo de aferição do impacto de aflúncias indevidas no consumo energético e nos problemas de desempenho associados a descargas e inundações considera-se que o indicador AR10 não é o mais adequado e não expressa o verdadeiro impacto destas ocorrências nos sistemas, devendo ser consideradas outras métricas.

O consumo de energia médio por volume de águas residuais apresenta flutuação ao longo dos anos, sem uma tendência clara na evolução (ERSAR e ADENE 2018). Em ERSAR e ADENE (2018) destacam-se também os cinco fatores principais que influenciam o consumo de energia: volume de águas residuais recolhidas e tratadas, nível de infiltração de águas subterrâneas e de precipitação aflúente ao sistema de saneamento, nível de contaminação, nível de tratamento e eficiência energética das operações, sendo claro o efeito das aflúncias indevidas no consumo de energia quer em IE quer nos sistemas de tratamento.

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos vários estudos para aumentar a eficiência energética das operações nas EG, principalmente no subsetor do abastecimento de água (Duarte et al. 2008, Cabrera et al. 2010, Mamade et al. 2017, Mamade et al. 2018). Relativamente ao subsetor do saneamento, esta temática é pouco desenvolvida, com estudos a focarem especificamente as ETAR (Silva e Rosa 2020), mas com desenvolvimentos limitados para os sistemas globalmente ou específicos de IE. Esta situação explica-se por existirem bastantes lacunas de informação (e.g. desconhecimento ao nível do cadastro dos sistemas, poucas medições de caudal fiáveis globalmente no setor), e pela menor expressão do consumo energético em IE no subsetor do saneamento quando comparado com o associado aos sistemas de abastecimento de água (Silva et al. 2020).

Deste modo, afigura-se como fundamental desenvolver abordagens com foco na melhoria da componente energética nos sistemas de águas residuais e pluviais, especialmente em face das ineficiências reportadas e das afluências excessivas associadas às afluências indevidas. Estas afluências são apontadas como um dos principais problemas dos sistemas de águas residuais e pluviais, contribuindo para um desempenho insatisfatório dos mesmos, apesar dos elevados investimentos que têm vindo a ser efetuados (Almeida et al. 2017). Diversos problemas de desempenho em sistemas de águas residuais ou pluviais resultam direta ou indiretamente de afluências indevidas ou excessivas incluindo a ocorrência de inundações, a diminuição da eficiência hidráulica e energética, entre outros. As afluências indevidas podem também contribuir para o aumento dos custos totais de operação dos sistemas, decorrente do aumento dos custos de operação e de manutenção, como sejam os custos relativos à elevação e ao tratamento, assim como outros custos associados à ocorrência de descargas ou inundações (ERSAR 2014). A atuação no controlo de afluências indevidas perspetiva oportunidades de melhoria do desempenho em várias dimensões incluindo a componente de eficiência energética.

Neste artigo desenvolve-se esta temática numa perspetiva de avaliação do desempenho de IE, embora considerando o sistema associado globalmente, perante cenários de ligações indevidas à rede existente.

Este estudo tem como objetivo propor uma metodologia para avaliar o impacto global das afluências indevidas no consumo energético de instalações elevatórias de águas residuais, tendo em conta o consumo equivalente a inundações e descargas a montante de IE. Para o efeito, recorre-se à modelação de um sistema separativo de águas residuais de um caso de estudo adaptado de um caso real, a bacia da Venteira, na Amadora, tendo o modelo original sido calibrado com recurso a medições de caudal (Cardoso et al. 2016). A avaliação do efeito das afluências indevidas no consumo de energia é feita com recurso à análise de sensibilidade do consumo energético e outras variáveis de desempenho relevantes, para cenários de afluências indevidas típicas de água pluvial e de infiltração a um sistema separativo de águas residuais, relativamente à situação base de referência de tempo seco.

## 2 Metodologia

### 2.1 Apresentação geral

A metodologia proposta tem por objetivo identificar a relevância da ocorrência de afluências indevidas no consumo de energia em IE, tendo em conta outras dimensões de desempenho que são importantes para avaliar os benefícios da atuação para redução das afluências indevidas. Para isso propõe-se uma abordagem que permita efetuar a avaliação global num sistema ou subsistema.

Recorre-se a um exemplo de uma IE, propondo a determinação da energia total equivalente (teórica),  $E_{Teq}$ , associada à bacia de drenagem a montante desta instalação. Esta energia é entendida como a energia total necessária para elevar a totalidade do volume gerado na área servida, caso não existissem limitações de capacidade de transporte da rede a montante da instalação elevatória. Esta variável é proposta de modo a calcular a energia que seria consumida adicionalmente, se a totalidade do volume saído do sistema (devido a ocorrerem inundações ou descargas) fosse também elevado.

Pretende-se, assim, sensibilizar entidades gestoras que, ao atuarem no controlo de afluências indevidas (uma causa importante de descargas e inundações nestes sistemas) com o objetivo de reduzir o consumo de energia, poderão não atingir, em muitos casos, o resultado esperado. Inicialmente, ocorrerá uma diminuição do volume descarregado ou inundado até à sua eliminação, e só posteriormente é que o impacto se

refletirá na redução dos volumes elevados e, conseqüentemente, no consumo de energia associado.

Esta abordagem permite a consideração do comportamento de sistema na avaliação do efeito de aflúncias indevidas e, conseqüentemente, uma melhor aproximação aos benefícios associados à redução de aflúncias indevidas. Permite ainda realçar a importância de atuar nas descargas efetuadas, não só pelos motivos já bem conhecidos e evidentes associados aos impactos ambientais.

Para estimar o consumo de energia associado às inundações e descargas, adota-se a simplificação de usar um consumo específico médio. Assim, o consumo de energia total equivalente,  $E_{Teq}$ , é dado por:

$$E_{Teq} = V_{Tb} \times E_U \quad (\text{eq. 1})$$

em que  $V_{Tb}$  é o volume gerado na área servida pela instalação no período de análise ( $m^3$ ) e o  $E_U$  é o consumo específico médio de energia por unidade de volume ( $kWh/m^3$ ). Este consumo médio é calculado com base no consumo real de energia e no volume elevado. Admite-se assim como hipótese simplificativa que se considera adequado que o rendimento se mantenha se o volume fosse diferente.

Esta abordagem pode ser aplicada com dados de medição de caudal ou recorrendo aos resultados de modelação matemática (uma abordagem mais abrangente e muito útil para a generalidade dos casos de estudo mais complexos, por exemplo, que incluam várias IE). Neste artigo, o caso de estudo afigura-se simples, com apenas uma IE, sendo possível o cálculo dos volumes gerados na bacia sem recurso a modelação matemática, tanto para aflúncias pluviais como infiltração.

Desta forma, e considerando o cenário que a maioria das entidades gestoras de águas residuais a nível nacional não possui modelos matemáticos que possibilitem estimar esta energia total equivalente, é possível, para sistemas ramificados em que se consegue estimar de forma completa o volume total gerado na bacia, efetuar uma estimativa sem recurso a estes modelos, com base em dados disponíveis.

Assim, o volume total gerado na área servida pela instalação no período selecionado,  $V_{Tb}$ , pode ser calculado, para um dia, através de:

$$V_{Tb} = V_{Ts} + V_{Pu} \quad (\text{eq. 2})$$

em que o  $V_{Ts}$  é o volume de águas residuais em tempo seco ( $m^3$ ) e o  $V_{Pu}$  é o volume gerado pela precipitação ( $m^3$ ).

O cálculo do volume de águas residuais em tempo seco,  $V_{Ts}$ , no período de análise é efetuado com base em:

$$V_{Ts} = (\sum_{i=1}^n C_{Mdi}) \times V_{uTs} = \sum_{i=1}^n V_{Mdi} \quad (\text{eq. 3})$$

em que  $C_{Mdi}$  é o caudal médio diário associado às aflúncias autorizadas no nó  $i$  ( $m^3/dia$ ), simplifadamente calculado a partir do produto da população servida pela capitação média, o  $V_{uTs}$  é o volume associado ao diagrama padrão de tempo seco adimensional ( $m^3/m^3$ ),  $n$  é o número total de nós, e  $V_{Mdi}$  é o volume diário afluyente a cada nó  $i$  ( $m^3$ ).

Em relação ao volume diário gerado pela precipitação,  $V_{Pu}$ , este pode ser estimado com base no hietograma de precipitação e calculado adaptando a aplicação do método racional (Te Chow 1962):

$$V_{Pu} = C \times i \times A \quad (\text{eq. 4})$$

em que  $C$  é o coeficiente de escoamento (-),  $i$  é a precipitação útil diária (m) e  $A$  é a área da bacia ( $m^2$ ). O cálculo é efetuado para cada uma das bacias da área em análise, correspondendo o volume total à soma do volume gerado por cada uma das bacias. O

valor do coeficiente de escoamento,  $C$ , depende do tipo de ocupação e características da superfície da bacia do caso de estudo (ASCE 1970).

Para ser obtida a energia total equivalente associada ao volume total gerado na bacia, poderia utilizar-se um consumo específico médio de energia calculado para cada entidade gestora com base na medição do volume elevado ou do volume de água residual recolhido/tratado, assim como do consumo de energia, sectorialmente. Se a entidade não dispuser destas medições, o cálculo do consumo específico médio de energia pode ser efetuado, em alternativa, com base nas variáveis dAR61 (consumo de energia para bombeamento) e dAR50 ou dAR53 (água residual recolhida ou tratada, respetivamente). Ressalva-se que esta estimativa é pouco rigorosa, uma vez que o consumo específico de energia de uma bacia pode diferir significativamente do consumo específico global da entidade. Outra limitação destas simplificações é a não distinção das parcelas de volume elevado, descarregado ou inundado, conseguindo-se apenas estimar o volume total associado a escoamento superficial gerado pelas bacias contributivas.

De qualquer forma, a aplicação do método racional para a estimativa do volume total gerado na bacia e, conseqüentemente, para a estimativa da energia teórica equivalente, tem a vantagem de permitir às entidades gestoras ter uma ordem de grandeza destas variáveis sem necessidade de recorrer a um modelo matemático. Este cálculo simplificado permite às entidades efetuar o diagnóstico e estabelecer medidas de controlo de aflúncias indevidas para redução do consumo energético, mantendo sempre presente as implicações das simplificações adotadas.

A metodologia geral proposta para avaliação do efeito de aflúncias indevidas no consumo energético de IE é constituída por quatro fases principais:

- *Caracterização da situação base de referência*: caracterização do comportamento do sistema para a situação de base (condições de tempo seco);
- *Análise de sensibilidade a contribuições pluviais*: caracterização do comportamento do sistema considerando um aumento crescente de área pluvial ligada indevidamente ao sistema separativo doméstico, considerando os cenários de 10 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da área das bacias do sistema;
- *Análise de sensibilidade a contribuições de infiltração*: caracterização do comportamento da rede considerando um aumento da infiltração afluyente ao sistema separativo doméstico, considerando os cenários de 10 %, 25 %, 50 %, 75 % e 100 % do volume diário de tempo seco, distribuído uniformemente pelo comprimento total de coletores;
- *Avaliação do desempenho*: com recurso às métricas seleccionadas.

Salienta-se que em sistemas apenas com uma IE o cálculo simplificado é adequado, sendo recomendado o recurso à modelação matemática (como apresentado no caso de estudo) para situações compostas por mais de uma IE.

## 2.2 Modelação matemática

A modelação matemática do sistema de águas residuais da Venteira para os cenários definidos foi efetuada com recurso ao software SWMM desenvolvido pela USEPA. Sendo a base deste caso de estudo um modelo simples, construído e já validado em Cardoso et al. (2016), adaptou-se ao objetivo através da consideração de uma IE localizada a jusante do sistema, para exemplificar a aplicação da metodologia. Ressalva-se que as condições de funcionamento da bacia em 2016, aquando da validação do modelo, se mantêm atualmente, o que permite que o modelo esteja atualizado e que possa ser utilizado no caso de estudo. Como dados de entrada para caracterização da situação base de referência, utilizou-se um padrão de caudal em tempo seco adimensional e o

caudal médio correspondente a esta bacia. Para a simulação dos cenários de afluições pluviais, utilizou-se um evento de precipitação, sendo afetadas à rede separativa doméstica as percentagens de área correspondentes a cada cenário. Para a simulação dos cenários de infiltração, foi usado como referência o volume total diário de tempo seco e considerada uma distribuição uniforme da infiltração correspondente por toda a rede de coletores.

### 2.3 Métricas de desempenho selecionadas

Para efetuar a avaliação do impacto das afluições indevidas no desempenho do sistema recorreu-se a uma avaliação de desempenho com base em quatro métricas de desempenho. Estas métricas foram, maioritariamente, selecionadas de Machado et al. (2012) e incluem dois indicadores para avaliar o impacto das ligações indevidas pluviais (ID6 e ID7) e dois indicadores para avaliar o impacto da infiltração no sistema (ID1 e ID3). Os indicadores de desempenho (ID<sub>i</sub>) são calculados para o troço imediatamente a jusante da rede e a montante da IE.

**ID6: Utilização da capacidade da secção cheia em tempo de chuva (%)** que representa a percentagem do caudal máximo ocorrido durante o evento de precipitação [dID7 (m<sup>3</sup>/s)], relativamente ao valor do caudal de secção cheia do coletor [dID2 (m<sup>3</sup>/s)], calculado de acordo com:

$$ID6 = \frac{dID7}{dID2} \times 100 \quad (\text{eq. 5})$$

**ID7: Proporção do volume de escoamento em tempo de chuva relativamente ao de tempo seco (-)** que representa a razão entre volume de escoamento no evento de precipitação [dID8 (m<sup>3</sup>)] e volume médio de águas residuais em tempo seco no período correspondente à duração do evento [dID9 (m<sup>3</sup>)], calculado de acordo com:

$$ID7 = \frac{dID8}{dID9} \quad (\text{eq. 6})$$

**ID1: Utilização da capacidade da secção cheia pelo valor do caudal mínimo diário de tempo seco (%)** que representa a percentagem de caudal mínimo diário de tempo seco [dID1 (m<sup>3</sup>/s)] relativamente ao valor do caudal de secção cheia do coletor [dID2 (m<sup>3</sup>/s)], calculado por:

$$ID1 = \frac{dID1}{dID2} \times 100 \quad (\text{eq. 7})$$

**ID3: Proporção do caudal mínimo diário de tempo seco no caudal médio de tempo seco (%)** que representa a percentagem do caudal mínimo diário de tempo seco [dID1 (m<sup>3</sup>/s)] relativamente ao valor do caudal médio de tempo seco do coletor [dID4 (m<sup>3</sup>/s)], calculado de acordo com:

$$ID3 = \frac{dID1}{dID4} \times 100 \quad (\text{eq. 8})$$

Os valores de referência para estes indicadores são apresentados no Quadro 1, com classes de prioridade de intervenção definidas do seguinte modo: Baixa – Sem prioridade; Média – Necessidade de intervenção; Elevada – Necessidade de intervenção prioritária.

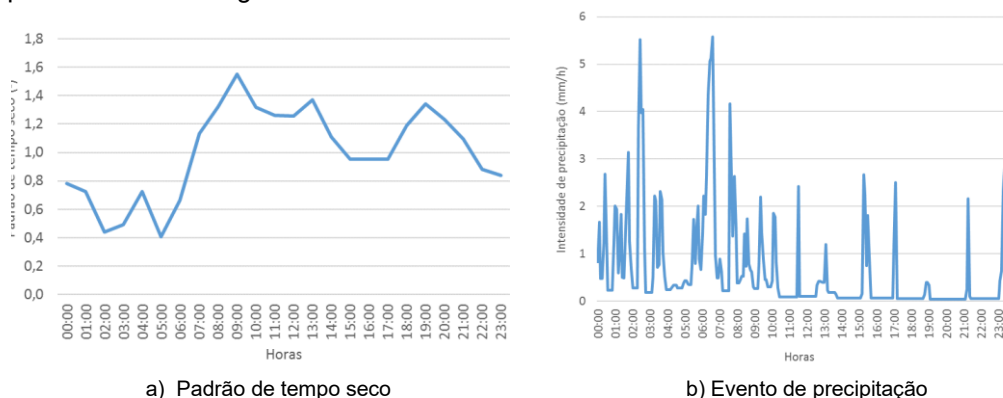
**Quadro 1.** Valores de referência para os indicadores selecionados (Machado et al. 2012)

ID	Classificação da prioridade		
	Baixa	Média	Alta
ID1	<25	25-50	>50
ID3	<25	25-50	>50
ID6	<75	75-100	>100
ID7	<3	3-6	>6

### 3 Caso de estudo

A bacia da Venteira é um sistema de drenagem separativo, que serve cerca de 4214 habitantes, incluindo um mercado, escolas primárias, uma clínica e restaurantes. A extensão da rede separativa doméstica é de cerca de 2 km, com 256 ramais, sendo o efluente entregue num emissário da SANEST. A rede pluvial descarrega numa linha de água (Camacho et al. 2012).

O modelo matemático foi desenvolvido e calibrado pelos SIMAS Oeiras e Amadora (Camacho et al. 2012). O modelo da rede separativa doméstica é constituído por 126 troços e 138 nós, tendo sido incluída uma IE à saída do sistema. O padrão de tempo seco adimensionalizado pelo caudal médio e o evento de precipitação utilizados apresentam-se na Figura 1.



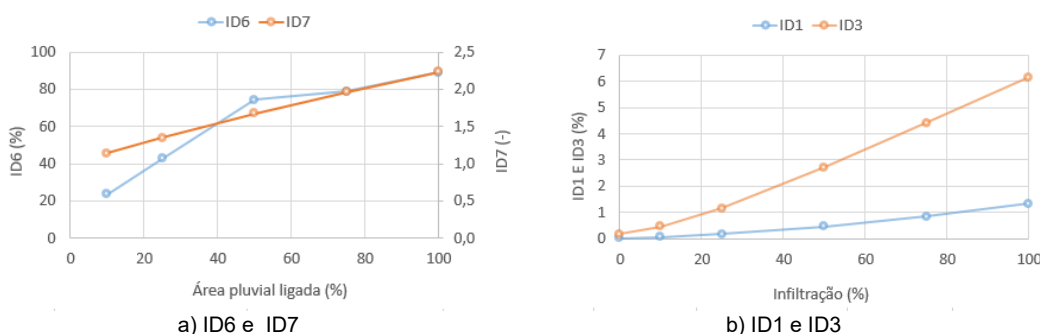
**Figura 1.** Padrão de tempo seco e evento de precipitação considerado

O modelo inclui sete bacias de drenagem, com uma área total de aproximadamente 0,25 km<sup>2</sup>. O volume total de tempo seco diário é de 2380 m<sup>3</sup> e extensão de coletores é de 2664 m, variando o volume de infiltração unitário para os diferentes cenários entre 0,089 m<sup>3</sup>/m e 0,893 m<sup>3</sup>/m.

## 4 Discussão dos resultados

### 4.1 Indicadores de desempenho de aflúências indevidas

Os resultados para os indicadores para ambos os tipos de aflúências indevidas apresentam-se na Figura 2: utilização da capacidade da secção cheia em tempo de chuva (ID6) e proporção do volume de escoamento em tempo de chuva relativamente ao de tempo seco (ID7) para as aflúências pluviais e utilização da capacidade da secção cheia pelo valor do caudal mínimo diário de tempo seco (ID1) e proporção do caudal mínimo diário de tempo seco no caudal médio de tempo seco (ID3) para a infiltração.



**Figura 2.** Indicadores de aflúências indevidas: resultados da análise de sensibilidade a aflúências pluviais e infiltração crescentes



Como esperado, observa-se o aumento dos indicadores “Utilização da capacidade da secção cheia em tempo de chuva” (ID6) e “Proporção do volume de escoamento em tempo de chuva relativamente ao de tempo seco” (ID7) com o aumento de área pluvial ligada ao sistema separativo doméstico. No caso do ID6, a taxa de crescimento do indicador é menos acentuada a partir de 50 % de área pluvial ligada, em virtude de a partir deste valor ocorrer inundações a montante do troço em causa, reduzindo a taxa de crescimento de volume escoado no troço, o que provoca uma diminuição no caudal máximo verificado. Comparando os resultados com os valores de referência (Quadro 1), verifica-se que o indicador ID6 varia entre 24 % e 89 %, correspondendo a uma prioridade de intervenção baixa até se atingir o valor de 50 % de área pluvial mal ligada, e média para valores superiores. Relativamente ao indicador ID7, varia entre 1,1 e 2,2, correspondendo neste caso a uma prioridade de intervenção baixa.

No caso dos indicadores utilização da capacidade da secção cheia pelo valor do caudal mínimo diário de tempo seco (ID1) e proporção do caudal mínimo diário de tempo seco no caudal médio de tempo seco (ID3), também se observa o seu aumento com o incremento da infiltração na rede, embora o seu impacto seja baixo, com os dois indicadores sempre com valores inferiores a 25 %, o que se traduz numa prioridade de atuação baixa. Em qualquer dos casos, é evidente o impacto das aflúências no desempenho do sistema.

#### 4.2 Desempenho em termos do consumo de energia e descargas no sistema

A análise do impacto das aflúências indevidas no sistema foi efetuada observando a evolução das variáveis relevantes (consumo de energia em elevação, volume descarregado a montante da IE e volume de inundações) e de variáveis de consumo e custos com energia (Figura 3). O custo anual com energia é calculado assumindo que a situação simulada é representativa da média diária. Para os restantes gráficos, assume-se o período de um dia de simulação e que a tarifa praticada é 0,10 €/kWh.

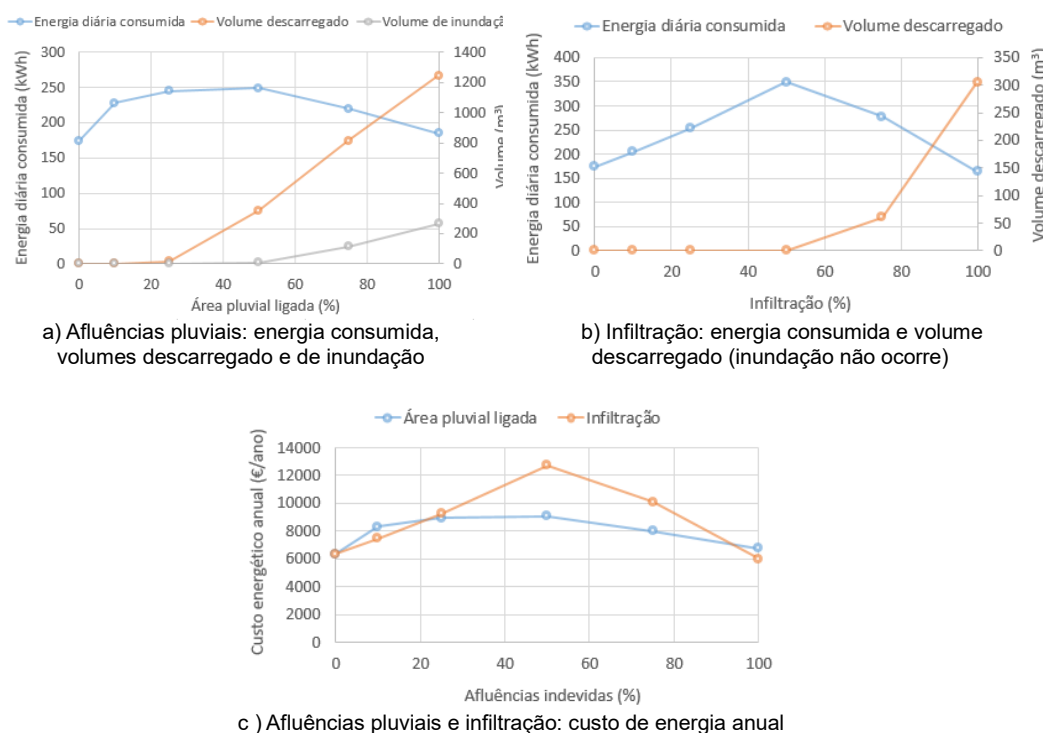


Figura 3. Impacto das aflúências nos resultados em termos de energia

Como se verifica nas Figura 3a) e b), a energia consumida aumenta com o aumento das aflúências indevidas, sejam pluviais, sejam decorrentes de infiltração, até um determinado ponto (cenário dos 50 % nos dois casos) a partir do qual decresce. Este decréscimo decorre na sequência do início da descarga por limitação da capacidade da IE e, de modo mais acentuado, quando se começa a verificar a inundação. Definiu-se nas opções de simulação que, tal como o volume descarregado, o volume de inundação não volta a entrar no sistema. O custo com energia anual (gráfico c) da Figura 3) aumenta proporcionalmente com a energia consumida, diminuindo também com a redução do volume elevado devido à ocorrência de volume descarregado ou de inundação.

A avaliação do impacto no desempenho energético é assim enviesada por outros problemas de desempenho no sistema (descargas e inundações), que não sendo tidas em consideração nesta análise, levam a uma avaliação incompleta desta problemática. Se, por hipótese, forem adotadas medidas para reduzir as aflúências indevidas tendo em consideração apenas o caudal elevado – situação realista em face de existirem poucas medições de caudal ou modelos para este tipo de sistemas – poderá ser difícil observar o impacto real dessa redução, quer no volume elevado, quer no consumo de energia. O efeito da atuação impactará primeiramente na redução da inundação e do volume descarregado até se atingir a capacidade de transporte dos componentes críticos (por terem a sua capacidade excedida) e só com a redução adicional das aflúências se poderá observar efeito nas IE.

Assim, afigura-se essencial proceder a uma avaliação global adicional que aqui se propõe com a aplicação do conceito de energia total equivalente, sendo esta uma energia teórica, complementar aos restantes indicadores apresentados.

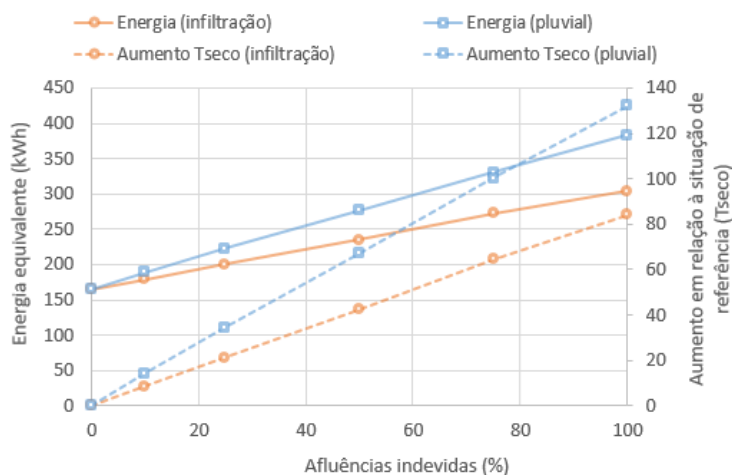
Esta metodologia permite ainda determinar, para cada caso específico, a redução de aflúências indevidas mínima a partir da qual se começa a ter impacto no consumo de energia. No caso de estudo, a análise dos resultados na Figura 3a) e b), permite concluir que para as aflúências pluviais seria necessário reduzir a área ligada ao sistema separativo doméstico para 25 % da área e para as infiltrações, a redução necessária desta seria para, no mínimo, 50 % do volume médio diário de tempo seco.

### 4.3 Energia total equivalente

Na Figura 4 apresentam-se os resultados do cálculo do consumo de energia total equivalente, para os cenários de aflúências pluviais e de infiltração, em termos absolutos e relativos por comparação com a situação de referência de tempo seco. Estes resultados permitem reforçar a necessidade de ter em consideração o volume gerado a montante do sistema elevatório, de modo a que seja claro que o impacto da redução das aflúências indevidas no consumo de energia só será efetivo a partir de uma magnitude de redução superior àquela que poderia ser identificada se não fosse considerado este comportamento do sistema.

O cálculo da energia equivalente permitiu verificar que a energia consumida aumenta para mais do dobro do valor quando se compara a situação em tempo seco (situação base) com o cenário de estar 100 % da área pluvial a contribuir com caudais indevidos. A mesma tendência pode ser observada para o caso das infiltrações.

Neste caso já se verifica um crescimento continuado com o aumento do volume de aflúências indevidas, permitindo uma caracterização integrada do efeito destas aflúências para diferentes características do sistema e uma avaliação mais aproximada do potencial impacto de ações de controlo de aflúências indevidas na componente de energia e custos respetivos.



**Figura 4.** Consumo de energia total equivalente para os cenários de aflúências indevidas estudadas

Conclui-se, desta forma, que é possível verificar de modo mais robusto o impacto que as aflúências indevidas têm no consumo energético dos sistemas, evidenciando oportunidades de atuação nesta área.

## 5 Conclusões

Os desenvolvimentos na avaliação energética em sistemas de drenagem são ainda incipientes e as grandes lacunas de dados, em especial de medições de caudal, levam frequentemente à adoção de abordagens parcelares para subsistemas, de que são exemplos os subsistemas de tratamento e os subsistemas de elevação.

Apesar de, desde a década de 1990, ser reconhecida a necessidade de adotar uma abordagem integrada dos sistemas de coleta, tratamento e meios recetores, as dificuldades operacionais e limitação de recursos levam a que na prática seja reduzido o número de casos em que esta visão integrada é adotada.

Sendo clara a relação entre aflúências indevidas e custos com energia, se não for adotada uma abordagem mais abrangente, assume-se o risco de avaliações grosseiras e de não se afigurarem eficazes investimentos no controlo das aflúências indevidas. Os resultados do estudo apresentados neste artigo permitem concluir da necessidade de ser feita uma avaliação integrada, propondo-se o conceito de energia total equivalente para proceder à avaliação dos consumos com energia em sistemas de drenagem, em geral, e para avaliar o impacto global das aflúências indevidas em particular.

A metodologia proposta permite aferir de forma mais robusta o comportamento em rede e ter em conta o consumo de energia equivalente a inundações e descargas a montante de IE. Esta metodologia permite ainda determinar a redução mínima nas aflúências indevidas para se conseguir ter impacto na redução do consumo de energia. Esta abordagem afigura-se replicável a qualquer sistema contribuindo para abordagens com foco na melhoria da componente energética nestes sistemas, de forma a melhorar o seu desempenho e promover um uso mais racional de recursos.

## Agradecimentos

A comunicação foi desenvolvida no âmbito do programa doutoral de Engenharia Civil do IST com o apoio da FCT a Catarina Jorge (bolsa de doutoramento PD/BD/135587/2018).

## Referências

- Almeida M.C., Brito R.S., Cardoso M.A., Beceiro P., Jorge C. (2017). Approach to assess and control inflows into sewers. IWA PI, Viena, Austria.
- ASCE (1970). Manuals and Reports on Engineering Practice No. 37. Design And Construction Of Sanitary And Storm Sewers. American Society of Civil Engineers and the Water Pollution Control Federation. WPCF Manual of Practice No. 9.
- Cabrera E., Pardo M.A., Cobacho R., Cabrera E. Jr. (2010). Energy audit of water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management* 136, 669–677.
- Camacho P., Cardoso M.A., Correia A., Silva M.H. (2012). A aplicação da metodologia AWARE-P a um sistema de saneamento nos SMAS OEIRAS AMADORA. 15.º ENASB, Évora (14 pp., publicação eletrónica).
- Cardoso M.A., Almeida M.C., Santos Silva M. (2016). Sewer asset management planning – implementation of a structured approach in wastewater utilities. *Urban Water Journal* 13(1) 15-27.
- Duarte P., Alegre H., Covas D. (2008). Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento de água. VIII Seminário Ibero-americano SEREA 2008, 16 a 19 de julho, Lisboa, Portugal.
- ERSAR e ADENE (2018). Uso Eficiente de Energia nos Serviços de Águas. Guia Técnico 24, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Agência para Energia. ISBN 978-972-98996-5-2.
- ERSAR (2018). RASARP: Relatório Anual dos Serviços de águas e resíduos em Portugal. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. ISBN 978-989-8360-36-6.
- ERSAR (2014). RASARP: Relatório Anual dos Serviços de águas e resíduos em Portugal 2014. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. ISBN 978-989-8360-28.
- Machado B., Almeida M.C., Cardoso M. A., Pinto A.F., Mamouros L., Brôco N. (2012). Minimização de afluências indevidas em sistemas municipais de drenagem de águas residuais domésticas. Aplicação à área de concessão da Águas do Noroeste. 15.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Évora, 10-12 de outubro, 15 pp.
- Mamade A., Loureiro D., Alegre H., Covas D. (2017). A comprehensive and well tested energy balance for water supply systems. *Urban Water Journal* 14, 853–861.
- Mamade A., Loureiro D., Alegre H., Covas D. (2018). Top-Down and Bottom-Up Approaches for Water-Energy Balance in Portuguese Supply Systems. *Water* 10.
- Silva C., Rosa M. J. (2020). Performance assessment of 23 wastewater treatment plants - a case study. *Urban Water Journal* 17(1) 78-85.
- Silva C., Loureiro D., Mamade A., Marabuto M., Rosa M. J. (2020). Consumo de energia nos serviços urbanos de água em Portugal Continental. Resultados 2004-2017. *Águas & Resíduos* iv.9, 5-16.
- Te Chow V., Maidment D. R., Mays L. W. (1962). Applied hydrology. *Journal of Engineering Education* 308, 1959.