

UMA NOVA METODOLOGIA PARA CONTROLO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS

Alexandra Sousa^{a,b,}, Cristina Santos^{c,d}, José Tentúgal-Valente^e*

^a Estudante de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

^b Eng.^a Civil, Responsável de área das aflúências indevidas, Unidade Gestão de Recursos Hídricos e Ambiente - Direção de Drenagem Urbana - Águas e Energia do Porto, E.M., Portugal

^c Professor Assistente Convidado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

^d CIIMAR - Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research, Universidade do Porto – Portugal

^e Professor Associado Jubilado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

RESUMO

As aflúências indevidas são um desafio para a gestão das redes de drenagem de água residual e pluvial, por promoverem um desempenho insatisfatório das redes de drenagem, e um significativo impacto ambiental e económico. Deverá, por isso, ser uma prioridade para as entidades gestoras definir e implementar uma metodologia capaz de controlar, detetar os principais volumes e adotar as melhores soluções recorrendo a uma adequada relação de custo/ benefício. Estudos efetuados neste âmbito demonstram que alguns parâmetros de qualidade, quando associados a dados de precipitação e de caudal, constituem um bom indicador de identificação e quantificação dessas aflúências. Neste sentido, desenvolveu-se uma metodologia capaz de detetar os principais focos e assim, ajustando à realidade de cada situação, priorizar as zonas críticas a serem intervencionadas.

Palavras-Chave: aflúências indevidas, quantificação, condutividade, qualidade, metodologia

doi: 10.22181/aer.2025.0403

* Autor para correspondência
E-mail: alexa.brito.sousa@gmail.com

A NEW METHODOLOGY FOR CONTROLLING UNDUER INFLOWS

Alexandra Sousa^{a,b,}, Cristina Santos^{c,d}, José Tentúgal-Valente^e*

^a Estudante de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

^b Eng.^a Civil, Responsável de área das aflúências indevidas, Unidade Gestão de Recursos Hídricos e Ambiente - Direção de Drenagem Urbana - Águas e Energia do Porto, E.M., Portugal

^c Professor Assistente Convidado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

^d CIIMAR - Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research, Universidade do Porto – Portugal

^e Professor Associado Jubilado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal

ABSTRACT

Undue inflows are a challenge for the management of wastewater and rainwater drainage networks, as they lead to unsatisfactory drainage network performance and a significant environmental and economic impact. It should therefore be a priority for management organisations to define and implement a methodology capable of controlling, detecting the main volumes and adopting the best solutions using an appropriate cost/benefit ratio. Studies carried out in this area show that certain quality parameters, when associated with rainfall and flow data, are a good indicator for identifying and quantifying these inflows. To this end, a methodology has been developed that is capable of detecting the main outbreaks and thus, by adjusting to the reality of each situation, prioritising the critical areas to be intervened in.

Keywords: undue inflows, quantification, conductivity, quality, methodology

doi: 10.22181/aer.2025.0403

* *Corresponding author*
E-mail: alexa.brito.sousa@gmail.com

1 Introdução

A existência de aflúências indevidas, decorrentes de precipitação ou de águas freáticas que se introduzem nos coletores de água residual devido a alguma falha estrutural ou resultantes de ligações clandestinas, é a causa de diversos problemas, nomeadamente da ineficiência no funcionamento e exploração dos sistemas de drenagem e de tratamento urbanos.

Trata-se de um problema transversal que afeta a redução do desempenho hidráulico, ambiental e económico-financeiro desses sistemas, com impacto significativo no aumento dos custos operacionais e acarretando encargos anuais na ordem de muitos milhares de euros para as entidades gestoras.

As Afluências Indevidas (AI) podem ter várias origens. Para além das aflúências resultantes das infiltrações e do escoamento superficial de água pluvial que se introduzem nos órgãos dos sistemas de drenagem de águas residuais, podem também ocorrer aflúências provenientes de ligações clandestinas e relacionadas com águas residuais industriais, domésticas ou águas freáticas cujas ligações são não conhecidas ou não autorizadas e que constituem assim, AI. A caracterização e a distinção entre os diversos tipos de AI passa, também, por se ter em consideração o relacionamento direto ou indireto das mesmas com os eventos pluviométricos.

Neste sentido, o que se pretende é estabelecer um método transversal, eficaz e económico que permita definir as zonas mais representativas em termos de volume de aflúência indevida, independentemente da sua origem ou tipologia, e assim definir os locais prioritários a serem alvo de intervenção.

2 Enquadramento

2.1 Panorama nacional

Numa primeira fase, foi feito um diagnóstico do panorama nacional para se estimar qual o volume e custo associados às AI segundo os últimos dados reportados à entidade reguladora, ERSAR, no seu relatório anual da atividade RASARP2024.

Em Portugal, as aflúências indevidas são reconhecidas pelas entidades gestoras como uma causa importante para a alteração do desempenho funcional dos sistemas de drenagem. No entanto, não são em termos gerais, alvos de significativas intervenções para melhoria, não sendo possível reconhecer a verdadeira dimensão do problema. A inexistência de análise técnica relativamente ao crescimento do edificante dos aglomerados, bem como, o aumento das áreas de impermeabilização dos solos são algumas das circunstâncias que tem impedido as intervenções para melhoria, atendendo a que muitas vezes existe impossibilidade de investimento para a substituição e reabilitação dos coletores.

De acordo com os dados fornecidos no RASARP2024, verifica-se, na análise da evolução do volume de aflúências indevidas entre 2019 e 2023, que o volume total de aflúências indevidas para este período totalizou 375 milhões de euros, sendo que, apenas no ano de 2023 o total do custo do tratamento da componente AI em ETAR corresponderam a um total de 102 milhões de euros. De acordo com a mesma publicação, assumindo o custo médio do tratamento relacionado à existência de AI de 75 milhões de euros/ano, e caso se mantenha a tendência atual, estima-se que o valor associado a esta componente ascenda a cerca de 450 milhões de euros até 2030.

Pela análise dos dados fornecidos no RASARP de 2024 referentes aos dados de 2023, o volume anual de água residual não faturada na rede em alta e nos sistemas em baixa foi, respetivamente, de 57 926 977 m³ e de 202 748 908 m³ (Quadro 1 e Quadro 2).

Quadro 1. Balanço quantitativo das águas residuais nos sistemas em alta

	Água Residual Bruta Exportada (m ³ /ano)	Água Residual Bruta Importada (m ³ /ano)	Água Residual tratada em estações de tratamento (m ³ /ano)	Água Residual total a ser faturada (m ³ /ano)	Água residual faturada (m ³ /ano)	Água Residual sem faturação (Défice) (m ³ /ano)
	A	B	C	D= A +(C-B)	E	= D-E
TOTAL ANUAL	7 944 203	906 661	547 121 518	554 159 060	496 232 083	57 926 977

Se considerarmos a média nacional do preço para o serviço de drenagem e tratamento de águas residuais, 1,17€/ m³, de acordo com os cálculos efetuados pela ERSAR, o volume de água residual não faturada representa anualmente 304 990 786 € de défice.

Quadro 2. Balanço quantitativo das águas residuais nos sistemas em baixa

	Água residual recolhida (m ³ /ano)	Água residual faturada (m ³ /ano)	% Água Não Faturada no Serviço de Saneamento	Água residual não faturada (m ³ /ano)
TOTAL ANUAL	697 532 711	494 783 803	29%	202 748 908

Os valores anuais estimados, que na realidade podem até ser superiores, reforçam a necessidade de se delinear uma metodologia capaz de detetar os maiores volumes e diminuir a existência de aflúências indevidas na rede de drenagem de água residual e, deste modo, minimizar o impacto económico e ambiental associado.

2.2 Parâmetros de qualidade como indicadores

O conhecimento aprofundado da infraestrutura é fundamental. A sua obtenção exige inspeções sistemáticas (inspeção visual a câmaras de visita e inspeção CCTV nos coletores), visando identificar ligações indevidas, fraturas na rede que originam infiltrações freáticas e a verificação do estado operacional das válvulas de maré. Este conjunto de dados, em articulação com a análise dos registos de quantidade e qualidade dos equipamentos de medição, permite determinar os focos de maior contribuição para as aflúências indevidas, definindo assim as intervenções prioritárias.

2.2.1 Enquadramento

A instalação de equipamentos de medição de caudais ou de precipitação são um apoio imprescindível para a quantificação e análise do comportamento das bacias de drenagem. Estes equipamentos permitem verificar as variações de caudal em tempo seco e húmido e estimar as AI que surgem relacionadas com a precipitação. No entanto, uma metodologia deste género é bastante limitativa atendendo às diferentes tipologias de aflúências e aos diferentes tipos de consumidores.

Neste sentido, torna-se necessária a realização de uma metodologia transversal, capaz de ser aplicada em sistemas de drenagem com água de origem doméstica e/ou industrial e com AI provenientes de precipitação, níveis freáticos, marés, (...).

Launay et al. (2016) propôs a utilização da condutividade elétrica como indicador da quantidade de águas residuais com águas pluviais, com base no conhecimento dos valores típicos de condutividade elétrica para o escoamento de águas pluviais urbanas

(~200-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$), os quais diferem significativamente das águas residuais (~1000-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Posteriormente, Zhang, et al. (2018) apresentaram a condutividade como o parâmetro de qualidade da água que melhor permite quantificar as afluições indevidas nas redes de drenagem de água residual, uma vez que o seu valor se altera quando existe infiltração de água pluvial no saneamento. Este princípio foi aplicado com sucesso a vários estudos em casos reais e, quando comparado com os métodos tradicionais baseados em medição de caudal, esta abordagem apresentou vantagens na estimativa de afluições indevidas.

Neste alinhamento, é proposta uma metodologia baseada na análise da condutividade como parâmetro de qualidade indicador da existência de afluição e capaz de estimar a porção de AI presente em determinado sistema que, quando usada com os valores de caudal e precipitação, irá permitir efetuar a respetiva quantificação.

2.2.2 Condutividade como indicador de afluições indevidas

No seguimento do subcapítulo anterior, foram efetuadas análises laboratoriais para estabelecer uma correlação entre o valor da condutividade para a água residual e pluvial, com a % de afluição indevida estimada, Figura 1. Para a preparação das amostras, procedeu-se à recolha de água residual doméstica (numa câmara de visita) e de água pluvial (diretamente de um tubo de queda). Estas amostras foram então utilizadas para criar diluições da água pluvial na água residual nas percentagens volumétricas de 5%, 10%, 25%, 50% e 75%.

Salienta-se que os resultados obtidos apenas poderão servir como referência em redes de drenagem com água residual de origem doméstica, em que os seus valores referência situam-se nos 1000-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No caso de águas residuais com outras origens não deverá ser aplicada a relação estabelecida, atendendo que os valores da condutividade poderão rondar os 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para outros tipos de origem, como é o caso de algumas indústrias. Para redes de drenagem em que a sua origem seja industrial, dever-se-á se proceder a uma nova análise em laboratório que permita obter uma correlação aplicável.

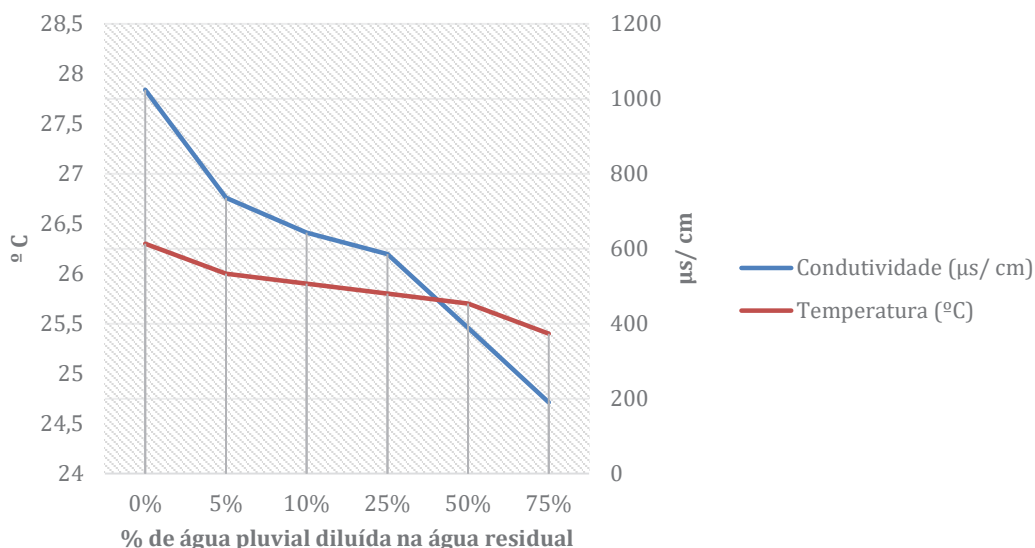


Figura 1. Ábaco que relaciona o comportamento da condutividade e da temperatura em função da % de água pluvial diluída em água residual, aplicada para sistema de drenagem de água residual de origem doméstica

Atendendo aos resultados promissores de estudos anteriores e aos resultados obtidos nesta análise, foi possível validar a condutividade como um bom parâmetro de qualidade indicador da existência de AI, bem como, proceder à sua quantificação.

2.2.3 Análise do comportamento da condutividade num caso de estudo real

O ábaco desenvolvido continuou a revelar a potencialidade da condutividade como um parâmetro de qualidade que permite, de uma forma eficaz, rápida e eficiente, avaliar a existência de afluência indevida e, pelo valor obtido, estimar qual a percentagem de afluência indevida que poderá representar.

Após os resultados obtidos em laboratório avançou-se com a medição da condutividade “in situ”, e assim validar o ábaco desenvolvido.

A sub-bacia de drenagem em análise apresenta uma área de 17.42 Km², com uma população estimada em cerca de 11 857 habitantes, valor estimado tendo por base a existência de 4781 clientes domésticos e considerando uma estimativa de 2.48 habitantes por alojamento.

O condutímetro foi instalado durante 5 semanas numa câmara de visita, cuja localização se apresenta na Figura 2. A determinação da localização do condutímetro foi condicionada pela posição do caudalímetro já instalado na rede. A manutenção da proximidade entre os pontos de medição é crucial para assegurar a máxima correlação entre os dados obtidos.

Com o intuito de sintetizar os dados, e para destacar as condições mais relevantes, apenas as duas semanas mais representativas foram selecionadas do período total de cinco semanas de instalação do equipamento.



Figura 2. Localização do local de medição do caudalímetro e do condutímetro

Na Figura 3 apresenta-se a semana de 21 de junho a 27 de junho 2023, período onde não se verificou precipitação, e na Figura 4, a semana de 06 a 12 de julho 2023, com registo de precipitação no dia 8 de julho (sábado).



Figura 3. Registo de condutividade e de caudal no período de 21 de junho a 27 de junho de 2023 sem eventos de pluviosidade

Verifica-se, igualmente, que no período noturno, ciclicamente, a condutividade baixa para valores próximos dos 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$, o que poderá indicar, que neste período existe uma contribuição considerável de água proveniente do nível freático.



Figura 4. Registo de condutividade e de caudal, no período de 06 de julho a 12 de julho de 2023 com eventos de pluviosidade

O evento de pluviosidade registado na Figura 4 permite comprovar o já verificado no ábaco desenvolvido. Aquando do evento de precipitação, verifica-se o aumento imediato do caudal, que passa dos valores médios de 200 m^3/h para 400 m^3/h . Estes valores permitem verificar duas situações (i) que a entrada da água pluvial na rede de drenagem de água residual é praticamente imediata (ii) o valor da condutividade, que registava valores de 700 $\mu\text{s}/\text{cm}$, decresce para valores próximos dos 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Comparando o valor obtido de condutividade no período de pluviosidade com os valores apresentados na Figura 4, verifica-se que a percentagem de água pluvial representa 63% do volume de água naquele instante.

2.2.4 Quantificação de afluência indevida direta e indireta através da utilização do parâmetro condutividade em software de modelação

O programa de modelação escolhido foi o STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM), propriedade da United States Environmental Protection Agency, EPA. O SWMM é utilizado para simulações de eventos únicos ou de longo prazo e analisa a quantidade e a qualidade do escoamento de água, principalmente em zonas urbanas. Este programa

permite executar simulações hidrológicas, hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados numa variedade de formatos, sendo um software gratuito.

Pretendeu-se que o software com base na condutividade medida, detetasse os valores de caudal de afluência indireta e direta existente na rede. Atualmente o software SWMM não tem nenhuma opção nos parâmetros de modelação da qualidade que seja especificamente a condutividade. Desta forma, foi necessário contornar esta limitação do software, e assim introduzir o valor de condutividade como parâmetro de qualidade capaz de identificar e quantificar afluências indevidas.

Para tal foi efetuado o seguinte procedimento, após a calibração da rede para tempo seco e húmido:

1. Registo da condutividade no local: detetar o valor médio horário ou diário, dependendo da necessidade;
2. Determinação da % da afluência indevida tendo por base o ábaco anteriormente apresentado;
3. Estimar para o tempo seco a percentagem de afluência indevida indireta;
4. Nos nós de entrada é colocada a série temporal que é multiplicada por um fator de escala que o software apresenta com o valor pré-definido de 1.0. Para se obter os valores de caudal de infiltração no modelo deve-se alterar o valor do fator de escala pela percentagem de afluência indevida obtida;
5. Efetuar a simulação do modelo com o novo fator de escala;
6. Analisar no mapa os caudais de afluência indevida indireta;
7. Repetir as etapas anteriores para o tempo húmido.

3 Plano de ação estratégico

Neste alinhamento, é proposto um novo método para a identificação das AI, com a monitorização dos caudais e, utilizando a condutividade como parâmetro de qualidade capaz de as identificar e quantificar. A metodologia passa pela obtenção de dados, modelação do sistema e validação in-situ, Figura 5.

Os dados de condutividade apenas serão utilizados para modelar a rede e verificar quais os locais com maior caudal de afluência indevida. Os dados da condutividade em período seco permitem identificar o caudal de afluência indevida indireta, resultante do caudal de infiltração. Por outro lado, no tempo húmido, a condutividade permite verificar o caudal total de afluência indevida na rede. Para obter o caudal de afluência indevida direta apenas será necessário subtrair os caudais de afluência total ao caudal de afluência indevida indireta, Figura 6.

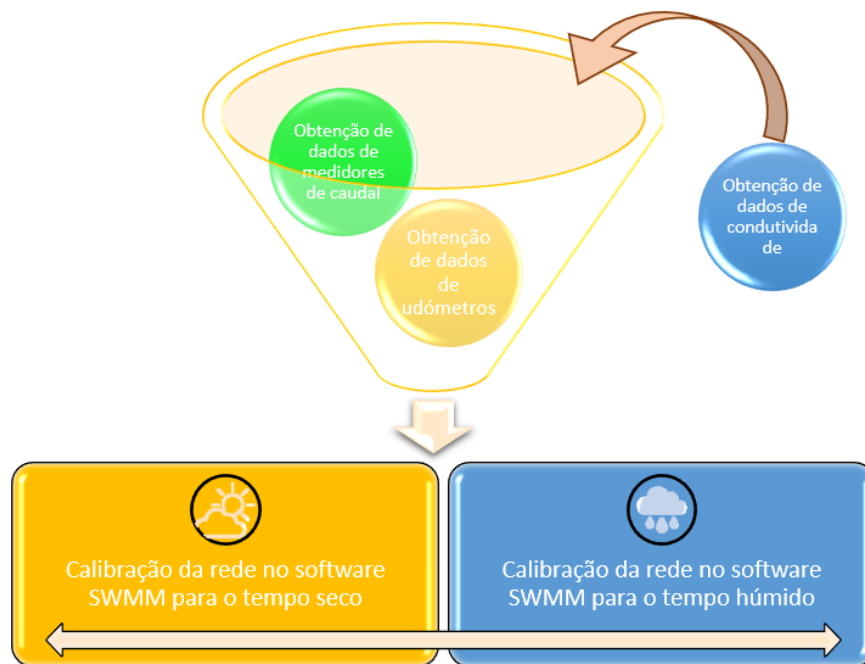


Figura 5. Primeira etapa do plano de ação, relativo à calibração da rede de drenagem no software SWMM para o tempo seco e húmido

A análise conjunta dos dados obtidos nos medidores de caudal e condutividade em tempo seco, comparativamente aos obtidos em tempo húmido, quando associados aos dados obtidos nos udómetros, permite localizar e quantificar quais as afluências indevidas existentes na rede. Mesmo em tempo seco, os valores da condutividade irão permitir analisar o estado da rede e quantificar os volumes referentes às afluências derivadas de águas subterrâneas, freáticas e /ou de marés.

Com a obtenção do caudal de afluência indevida é possível visualizar no software quais as zonas que representam um maior caudal e por isso prioritárias.

Após esta análise no software é necessário utilizar os métodos de identificação e localização no local, assim, e atendendo ao estado da rede, material e localização, poderá ser utilizado o método de ensaios de fumo, CCTV ou eletroscan, (...).

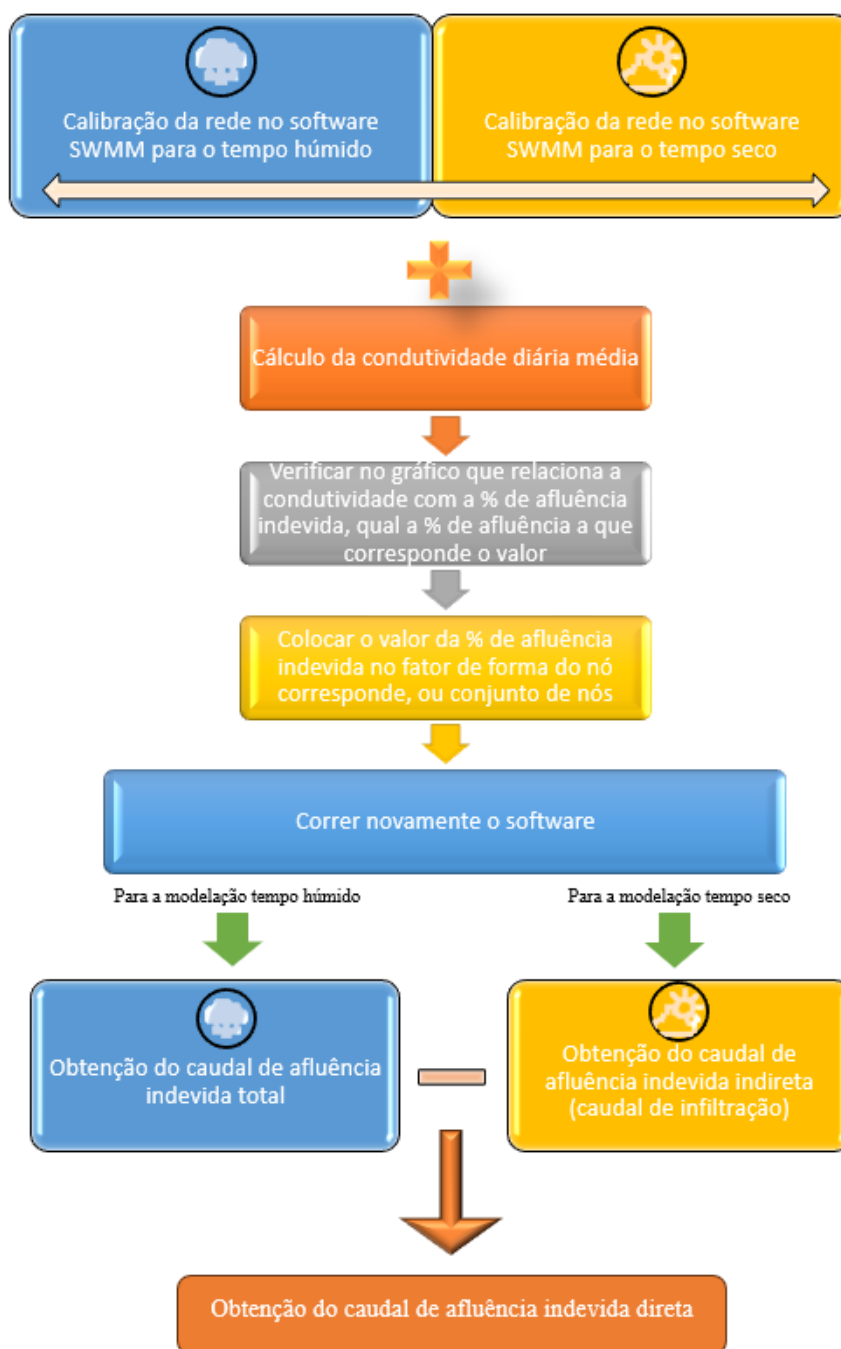


Figura 6. Segunda etapa do plano de ação, relativo à modelação da rede de drenagem no software SWMM de forma a se obter os caudais de afluência indevida indireta (tempo seco) e total (tempo húmido)

4 Conclusões

O parâmetro de qualidade condutividade apresenta-se como um bom indicador de aflúências indevidas conseguindo, com base nos dados medidos em período seco e húmido, e acumulado com os registos efetuados num medidor de caudal, quantificar os volumes de aflúências indevida indireta e direta.

À semelhança do verificado por (Zhang, et al., 2018), a condutividade em período seco apresenta um padrão de comportamento diário semelhante ao do caudal em tempo seco, em que é possível verificar um valor máximo diário e valores mínimos noturnos.

Assim que se verifica a existência de um evento de precipitação é notória a diferença de comportamento, quer no caudal da rede de saneamento, quer nos valores registados de condutividade, que diminuem praticamente em simultâneo ao momento do início do evento.

No caso de aflúências indevidas provenientes de marés ou de indústrias com altos teores de cloretos, a análise da condutividade será inversa: a sua ocorrência resultará num aumento substancial dos valores. A investigação deste cenário constitui um trabalho futuro a ser desenvolvido.

A simulação em SWMM permite quantificar e visualizar as zonas com caudais mais relevantes de aflúência de forma a se priorizarem as intervenções e a ser possível obter uma relação custo/ benefício.

Atualmente, a forma mais célere de simular a condutividade no SWMM é interpretando no ábaco a que percentagem corresponde o valor da condutividade medida e assumir esta percentagem no fator de escala. Contudo, futuramente seria interessante o próprio software permitir nas séries temporais colocar o valor da condutividade e de forma automática apresentar o caudal de aflúência indevida correspondente.

O objetivo primordial deste procedimento consiste em fornecer às entidades gestoras um subsídio à tomada de decisão para que possam identificar os principais pontos de aflúência. Este método não se destina à quantificação rigorosa das aflúências indevidas, mas sim a uma identificação e hierarquização das sub-bacias e troços prioritários, baseada numa quantificação aproximada.

Esta metodologia, ajustada às diferentes características de cada rede de drenagem, apresenta-se como um método eficiente e económico que permite definir as zonas mais representativas em termos de volume de aflúência, independentemente da sua origem ou tipologia. Assim, será possível executar a estratégia de combate às aflúências indevidas utilizando os parâmetros de qualidade corretos para a finalidade, associados aos dados de caudal e precipitação, efetuando, posteriormente, toda a análise e modelação necessária para a definição dos locais mais críticos e que contêm as aflúências mais representativas.

Referências

- ERSAR (2024). RASARP2024: Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal, Volume 2. Lisboa: ERSAR.
- Launay, M., Dittmer, U., Stenmetz, H., - "Organic micropollutants discharged by combined sewer overflows – Characterisation of pollutant sources and stormwater-related processes". *Water Research*, 1 Novembro 2016, Volume 104, pp. 82-92.
- Rodrigues, I. (2017). Aplicação do modelo Sanitary Sewer Overflow Analysis and Planning (SSOAP-EPA) para avaliação das afluências indevidas em coletores de águas residuais. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Vallabhaneni, S., & Camp, D. (2007). Computer tools for Sanitary Sewer System Capacity Analysis and Planning. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Wang, M., Zhang, M., Shi, H., Huang, X., & Liu, Y. (2019). Uncertainty analysis of a pollutant-hydrograph model in assessing inflow and infiltration of sanitary sewer systems. *Journal of Hydrology*, 64-74.
- Zhang, M., Liu, Y., Cheng, X., Zhu, D., Shi, H., & Yuan, Z. - "Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in a sanitary sewer systems based on conductivity monitoring". *Journal of Hydrology*, 2018, pp.174-183.