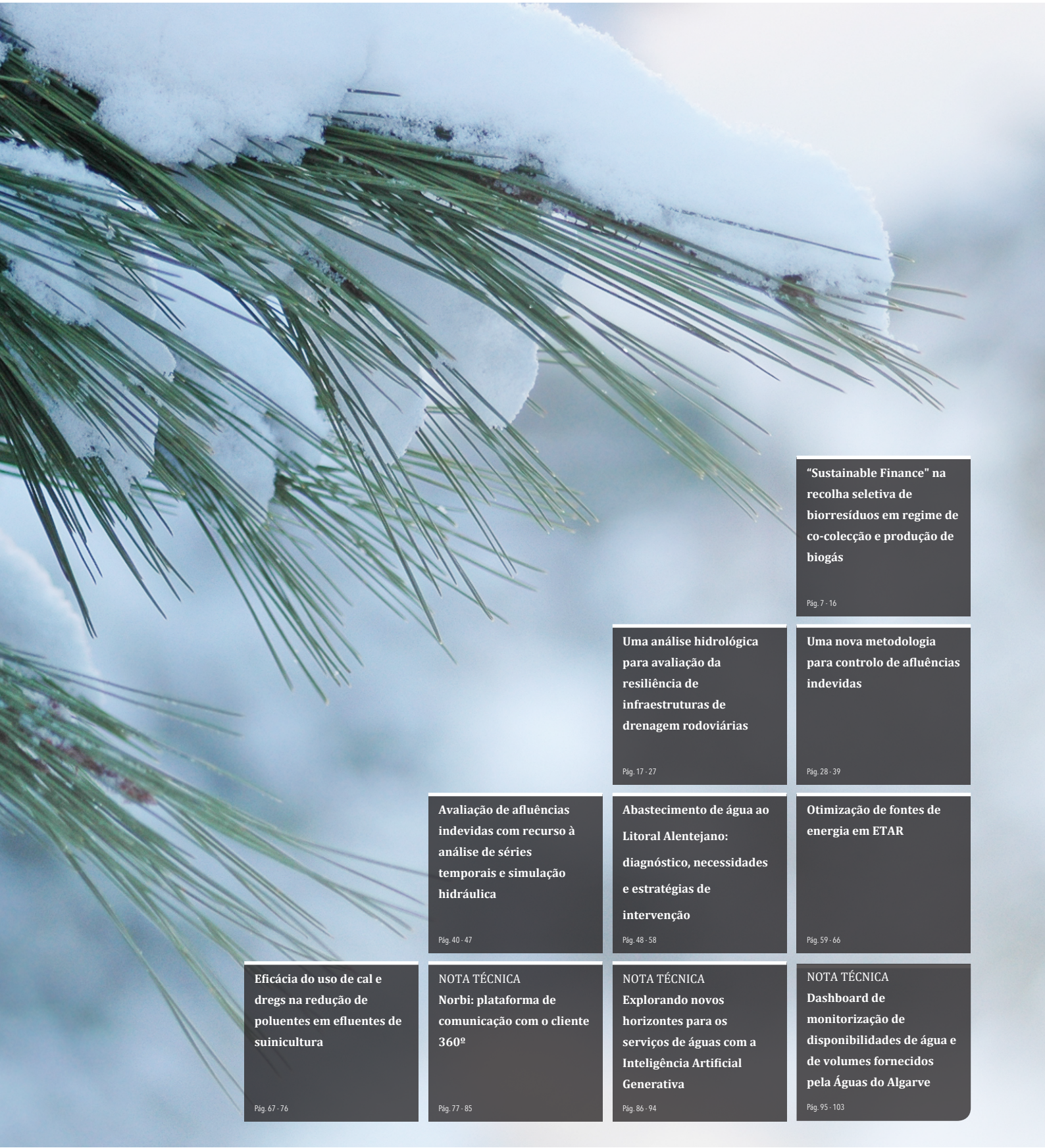
UMA REVISTA apesb

A&R ÁGUAS & RESÍDUOS

Série V - N.º 04 | dezembro 2025



"Sustainable Finance" na recolha seletiva de biorresíduos em regime de co-colecção e produção de biogás
Pág. 7 - 16

Uma análise hidrológica para avaliação da resiliência de infraestruturas de drenagem rodoviárias
Pág. 17 - 27

Uma nova metodologia para controlo de afluências indevidas
Pág. 28 - 39

Avaliação de afluências indevidas com recurso à análise de séries temporais e simulação hidráulica
Pág. 40 - 47

Abastecimento de água ao Litoral Alentejano: diagnóstico, necessidades e estratégias de intervenção
Pág. 48 - 58

Otimização de fontes de energia em ETAR
Pág. 59 - 66

Eficácia do uso de cal e dregs na redução de poluentes em efluentes de suinicultura
Pág. 67 - 76

NOTA TÉCNICA
Norbi: plataforma de comunicação com o cliente 360º
Pág. 77 - 85

NOTA TÉCNICA
Explorando novos horizontes para os serviços de águas com a Inteligência Artificial Generativa
Pág. 86 - 94

NOTA TÉCNICA
Dashboard de monitorização de disponibilidades de água e de volumes fornecidos pela Águas do Algarve
Pág. 95 - 103

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04 **Data de Publicação** dezembro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



Editorial

Edição e Propriedade
© APESB

Editora
Lígia Pinto

Co-editores
António Albuquerque
Leonor Amaral
Paulo Ramísio

Comissão Executiva
Nídia Caetano
Pedro Alvaro
Isabel Brás
António Martins
João Dias

DOI
10.22181/aer.2025.04

Data de Publicação
dezembro de 2025

Os seis artigos de investigação e as três notas técnicas que compõem o número 4 da 5.ª série da A&R constituem contributos importantes para o conhecimento e para a prática nos setores da água, águas residuais e resíduos sólidos, recorrendo a abordagens quantitativas e qualitativas para responder a desafios prementes colocados pelas alterações climáticas, pela escassez de recursos, pelas exigências regulatórias e pelas expectativas de melhores serviços por parte dos cidadãos.

O artigo de abertura, da autoria de Dias, analisa o papel que os mecanismos de sustainable finance podem desempenhar nas entidades gestoras de água e resíduos, apresentando um estudo de caso que demonstra a sua aplicabilidade numa instalação de tratamento de resíduos. A eficiência das entidades gestoras de água é analisada em três artigos: Dias, Malgueiro, Barata, Nascimento & Leite analisam a eficiência energética, enquanto Sousa, Santos & Tentúgal-Valente, bem como Marques, Leite, Costa, Roque, Sampaio & Vinagre, estudam o caso das afluências indevidas no ciclo urbano da água, incluindo a sua deteção e o desenvolvimento de sistemas de alerta.

Mota, Pinto, Domingos & Paulo analisam os desafios impostos pela escassez de água no contexto de uma empresa local de abastecimento, enquanto Esperanço, Costa, Barbosa, Oliveira & Rodrigues propõem uma inovação no tratamento de efluentes de suinicultura.
Para além dos artigos de investigação, este número inclui três notas técnicas sobre a utilização de IA em entidades gestoras de água (Laranjo) e sobre o desenvolvimento de plataformas para a produção e comunicação de informação, quer internas (Pinto, Lucas, Gaspar, Viriato, Medeiros & Antunes), quer externas, com os clientes (Araújo, Barroso, Oliveira, Neves, Carrapatoso & Silva).

No seu conjunto, os artigos incluídos neste 4.º número desta série abrem caminho para um setor mais resiliente face às alterações climáticas e às pressões económicas, financeiras e sociais. Os trabalhos enfatizam a importância da geração de dados fiáveis, o papel da digitalização nesse processo e o potencial da inteligência artificial para analisar a informação recolhida; adicionalmente, os resultados evidenciam a relevância de estabelecer canais de comunicação eficazes entre as entidades gestoras e entre estas e outras indústrias, de forma a favorecer o desenvolvimento de simbioses industriais e criar valor.

Lígia Pinto
Editora

APESB
Av. Brasil 101 (Edifício NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



Editorial

Published by
© APESB

Editor
Lígia Pinto

Co-editores
António Albuquerque
Leonor Amaral
Paulo Ramísio

Executive Board
Nídia Caetano
Pedro Alvaro
Isabel Brás
António Martins
João Dias

DOI
10.22181/aer.2025.04

Publication date
december 2025

The six research papers and the 3 technical notes that form issue 4 of the 5th series of A&R make important contributions to the knowledge and practices of the water, wastewater and solid waste sectors by leveraging quantitative and qualitative approaches to address pressing challenges posed by climate change, resource scarcity, regulatory demands and expectations of better services to citizens.

The opening paper by Dias examines the role that sustainable finance may play in water and waste utilities, providing a case study demonstration of its applicability in a waste treatment plant.
The efficiency of water utilities is analysed in three papers. Dias, Malgueiro, Barata, Nascimento & Leite, examine energy efficiency, while Sousa, Santos & Tentúgal-Valente, as well as Marques, Leite, Costa, Roque, Sampaio & Vinagre, examine the case of undue inflows in the urban water cycle, including their detection and the development of warning systems.
Mota, Pinto, Domingos & Paulo, examine the challenges posed by water scarcity in the context of a local water supply company, while Esperanço, Costa, Barbosa, Oliveira & Rodrigues propose an innovation in the treatment of swine effluents.
In addition to the research articles, this issue includes three technical notes on the use of AI in water utilities (Laranjo), and the development of platforms to produce and communicate information internally (Pinto, Lucas, Gaspar, Viriato, Medeiros & Antunes), and externally with customers (Araújo, Barroso, Olievira, Neves, Carrapatoso & Silva).

As a whole, the papers included in the 4th issue of this series pave the way for a more resilient sector in the face of climate change and economic, financial, and social pressures. The articles emphasize the importance of generating reliable data, the role of digitalization in this process, and the potential of artificial intelligence to analyze the collected data. Additionally, the results of the papers highlight the importance of establishing effective communication channels among utilities and between these and other industries for fostering the development of industrial symbiosis.

Lígia Pinto
Editor

APESB
Av. Brasil 101 (Edifício NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



SUMÁRIO

V.04 (2025)

08 **"Sustainable Finance" na recolha seletiva de biorresíduos em regime de co-colecção e produção de biogás**

João Dias

Como podem as finanças sustentáveis acelerar a transição climática no sector dos resíduos? Este artigo demonstra como a recolha selectiva de biorresíduos e a produção de biogás, alinhadas com critérios ESG e a Taxonomia Europeia, geram valor ambiental, social e financeiro.

28 **Uma nova metodologia para controlo de afluências indevidas**

Alexandra Sousa, Cristina Santos, José Tentúgal-Valente

As afluências indevidas degradam o desempenho hidráulico dos sistemas de drenagem de águas residuais, agravando os custos com bombagem e tratamento. Torna-se imperativo a utilização de estratégias que isolem bacias críticas, otimizando o planeamento da reabilitação e a eficiência do investimento.

48 **Abastecimento de água ao Litoral Alentejano: diagnóstico, necessidades e estratégias de intervenção**

Samuel Mota, André Pinto, Carlos Domingos, José Paulo

O crescimento da atividade económica no Litoral Alentejano poderá intensificar a pressão sobre os recursos hídricos. O estudo desenvolveu cenários prospetivos de consumos de água, comparou-os com a capacidade existente e analisou soluções alternativas de resiliência hídrica para a região.

67 **Eficácia do uso de cal e dregs na redução de poluentes em efluentes de suinicultura**

Pedro Esperança, André Costa, Sara Barbosa, Verónica Oliveira, Carla Rodrigues

Transformar resíduos em recursos: óxido de cálcio e dregs mostram potencial para a estabilização físico-química e biológica de efluentes suinícolas, reduzindo contaminantes e favorecendo a produção de uma matéria fertilizante mais segura, circular e amiga do ambiente.

86 NOTA TÉCNICA

Explorando novos horizontes para os serviços de águas com a Inteligência Artificial Generativa

Nuno Laranjo

Descubra como a IA Generativa pode redefinir a indústria dos serviços de águas. Da eficiência operacional à relação com o cliente, exploramos oportunidades e aplicações práticas para entidades gestoras que procuram liderar a inovação digital e evitar a estagnação.

17 **Uma análise hidrológica para avaliação da resiliência de infraestruturas de drenagem rodoviárias**

Paulo Ramísio, Clara Vieira, Adriana Santos

A conjugação de eventos de precipitação intensos associados às alterações climáticas, e a diminuição da infiltração do solo decorrente da impermeabilização das superfícies, altera os processos de drenagem, tornando importante a reavaliação dos métodos convencionais de dimensionamento.

40 **Avaliação de afluências indevidas com recurso à análise de séries temporais e simulação hidráulica**

Miguel Marques, Pedro Leite, Marco Costa, Alberto Roque, Daniel Sampaio, Vítor Vinagre

A avaliação da rede de drenagem de águas residuais da Murtosa assentou nos registos de 4 estações elevatórias. A metodologia agregou consumos de água georreferenciados e o cadastro da rede, permitindo uma discretização espacial e temporal das afluências indevidas e a definição de áreas prioritárias.

59 **Otimização de fontes de energia em ETAR**

Ana Dias, Hugo Malgueiro, Ilídio Barata, João Nascimento, Ivo Leite

Este trabalho permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de regular automaticamente e em tempo real as várias fontes de energia disponíveis na ETAR de Matosinhos: Rede Elétrica de Serviço Público, cogeração a biogás e energia fotovoltaica, resultando num nível de autossuficiência energética de 78%.

77 NOTA TÉCNICA

Norbi: plataforma de comunicação com o cliente 360º

Joana Araújo, Mafalda Barroso, Maria João Oliveira, Moisés Neves, Rita Carrapatoso, Sara Silva

E se cada contacto com o cliente tivesse resposta, contexto e valor? A Norbi é a plataforma que transforma interações dispersas numa experiência integrada, ágil e sustentável, mostrando como a inovação digital eleva a eficiência operacional e a qualidade da relação com o Cliente.

95 NOTA TÉCNICA

Dashboard de monitorização de disponibilidades de água e de volumes fornecidos pela Águas do Algarve

André Pinto, Helena Lucas, Lassalete Gaspar, Marisa Viriato, Nuno Medeiros, Sara Antunes

As Águas do Algarve desenvolveram um dashboard para avaliação das disponibilidades hídricas existentes e dos volumes de água fornecidos às entidades gestoras. Durante o período de seca hidrológica de 2024, esta integração de informação contribuiu para a transparência e cooperação no apoio à decisão para a mitigação dos efeitos da escassez de água.

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04 **Data de Publicação** dezembro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



CONTENTS

V.04 (2025)

07 **"Sustainable Finance" in the selective collection of bio-waste in co-collection and biogas production scheme**

João Dias

How can sustainable finance accelerate the climate transition in the waste sector? This article shows how selective biowaste collection and biogas production, aligned with ESG criteria and the european taxonomy, create environmental, social and financial value.

18 **A hydrological-based analysis to assess the resilience of road drainage infrastructures**

Paulo Ramísio, Clara Vieira, Adriana Santos

The combination of intense precipitation events associated with climate change, with decreased soil infiltration resulting from surface impermeability, modifies drainage processes, making it important to reassess conventional design methods.

29 **A new methodology for controlling undue inflows**

Alexandra Sousa, Cristina Santos, José Tentúgal-Valente

Undue inflows degrade the hydraulic performance of wastewater drainage systems, increasing pumping and treatment costs. It is imperative to use strategies that isolate critical basins, optimizing rehabilitation planning and investment efficiency.

41 **Inflow and infiltration (i&i) assessment using time series and hydraulic simulation**

Miguel Marques, Pedro Leite, Marco Costa, Alberto Roque, Daniel Sampaio, Vítor Vinagre

The assessment of infiltration/inflow in Murtosa's network was based on operational data from 4 pumping stations. Drinking water consumption records were cross-referenced with the sewer network to enable the spatial and seasonal characterization of inflows and the identification of priority areas.

49 **Water supply to the Alentejo Coast: diagnosis, needs and intervention strategies**

Samuel Mota, André Pinto, Carlos Domingos, José Paulo

The growth of economic activity in the Alentejo Coast may intensify pressure on water resources. The study developed prospective scenarios for water consumption, compared them with existing capacity, and analyzed alternative water resilience solutions for the region.

60 **Energy sources optimization in WWTP**

Ana Dias, Hugo Malgueiro, Ilídio Barata, João Nascimento, Ivo Leite

This work enabled the development of a tool capable of automatically and in real time managing the different energy sources available at the Matosinhos WWTP: the National Electric Grid, biogas cogeneration, and photovoltaic energy, achieving an energy self-sufficiency level of 78%.

68 **Effectiveness of using quicklime and dregs in reducing pollutants in swine effluents**

Pedro Esperança, André Costa, Sara Barbosa, Verónica Oliveira, Carla Rodrigues

Turning waste into resources: calcium oxide and dregs show potential for the physical-chemical and biological stabilisation of swine effluents, reducing contaminants and promoting the production of safer, circular and environmentally friendly fertiliser.

78 TECHNICAL NOTE

Norbi: 360º customer communication platform

Joana Araújo, Mafalda Barroso, Maria João Oliveira, Moisés Neves, Rita Carrapatoso, Sara Silva

What if every customer touchpoint delivered a response, context, and value? Norbi is the platform that transforms scattered interactions into an integrated, agile, and sustainable experience demonstrating how digital innovation enhances operational efficiency and elevates the quality of the customer relationship.

87 TECHNICAL NOTE

Exploring new horizons for water services with Generative AI

Nuno Laranjo

Discover how Generative AI can reshape the water services sector. From operational efficiency to customer engagement, this article explores opportunities and practical applications for water utilities seeking to lead on digital innovation and avoid falling behind.

96 TECHNICAL NOTE

Águas do Algarve water availability and supply monitoring dashboard

André Pinto, Helena Lucas, Lassalete Gaspar, Marisa Viriato, Nuno Medeiros, Sara Antunes

Águas do Algarve has developed a dashboard for evaluation of existing water availability and volumes of water supplied to management entities. During the 2024 hydrological drought period, this information integration contributed for transparency and cooperation in decision support regarding the mitigation of the effects of water scarcity.

Published by © APESB **Address** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Executive Board** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04 **Publication date** december 2025

"SUSTAINABLE FINANCE" IN THE SELECTIVE COLLECTION OF BIO-WASTE IN CO-COLLECTION AND BIOGAS PRODUCTION SCHEME

João Dias [a]

[a] Tratolixo, Cascais, Portugal

ABSTRACT

As the impacts of climate change intensify, the need to invest in sustainability becomes increasingly urgent. It is essential to align investment projects with sustainable practices, enhancing their resilience and integrating new economic activities into green and blue economy models. In this context, sustainable finance emerges as a fundamental concept, considering environmental, social and governance (ESG) factors in investment decisions, while also ensuring financial returns and positive impacts on society and the environment.

Keywords: sustainable finance, selective collection, biogas, sustainability, ESG

doi: 10.22181/aer.2025.0401

* Corresponding author
E-mail: joao.dias@tratolixo.pt

©APESB

"SUSTAINABLE FINANCE" NA RECOLHA SELETIVA DE BIORRESÍDUOS EM REGIME DE CO-COLECÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOGÁS

João Dias [a]

[a] Tratolixo, Cascais, Portugal

RESUMO

Com o aumento dos impactos das alterações climáticas, a urgência de investir em sustentabilidade torna-se clara. É essencial alinhar projectos de investimento com práticas sustentáveis, aumentando a sua resiliência e integrando novas actividades económicas nos modelos de economia verde e azul. Nesse contexto, as finanças sustentáveis emergem como um conceito fundamental, considerando factores ambientais, sociais e de governança (ESG) nas decisões de investimento, sem descuidar do retorno financeiro e do impacto positivo na sociedade e no meio ambiente.

Palavras-Chave: Finanças sustentáveis, recolha selectiva, biogás, sustentabilidade, ESG

doi: 10.22181/aer.2025.0401

* Autor para correspondência
E-mail: joao.dias@tratolixo.pt

1 Introduction

As the challenges posed by climate change become increasingly urgent, the need to transition to practices that promote all aspects of sustainability emerges unequivocally.

This work aims to illustrate the intersection between sustainable finance and efficient waste management, with a focus on the selective collection of biowaste, particularly in systems that utilize co-collection and biogas production.

By aligning investments with sustainable practices, the aim is to mitigate not only environmental impacts but also foster the development of new economic initiatives within green economy models, seeking to offer a different perspective from the typical “business as usual” approach based on purely extractive economic models and highlighting new alternatives found in regenerative economic models.

In this context, sustainable finance arises as an essential tool, considering environmental, social, and governance (ESG) factors in investment decisions, and gradually increasing awareness of their importance in decision-making and in the way organizations interact with their various stakeholders.

This article aims to demonstrate the viability of applying sustainable finance to the waste sector, while also highlighting its impact on investment strategies and financial sustainability in biogas production.

This work will likely contribute to the discussion on the importance of integrating sustainable financial practices into waste management, while also emphasizing the environmental, social, and economic benefits resulting from the model of selective co-collection of biowaste in the Tratolixo system.

The study aims to analyse the feasibility of applying green financial instruments to the urban waste sector and explore the model’s potential for replication, based on ESG indicators and alignment with European Taxonomy.

2 Theoretical and conceptual context

Sustainable finance is based on the concept of aligning financial flows with the Sustainable Development Goals, while simultaneously considering both financial returns and environmental, social, and governance (ESG) impacts. According to Schoenmaker and Schramade (2019), it involves a systemic transformation of the financial system, aiming to internalize environmental and social externalities into investment decisions.

Elkington (1997), with the "Triple Bottom Line" concept, reinforces the need to consider profit, planet, and people in an integrated way.

Concerning bioeconomy—understood as the sustainable use of renewable biological resources—this vision overlaps, offering circular solutions to complex environmental problems. Geissdoerfer et al. (2017) explore the connections between the circular economy, sustainability, and innovation, demonstrating that regenerative models are essential for meeting the demands of ecological transition.

In the context of waste management, the literature highlights the importance of selective biowaste collection and its energetic valorization, particularly through anaerobic digestion (Mata-Alvarez et al., 2011). This practice not only reduces landfill disposal, it also generates renewable energy, promoting decarbonization and resource efficiency—pillars of the circular economy (Honkasalo et al., 2017).

©APESB

In terms of public policy, Fischer and Pascucci (2017) stress the need for multi-level and integrated governance that promotes coherence between climate objectives and local waste management.

The European Taxonomy, in turn, represents an unprecedented regulatory effort to guide investments toward sustainability, as detailed by Ehlers et al. (2021).

Taken together, this theoretical framework provides the conceptual foundations for understanding the interconnections between sustainable finance, ESG, circular economy, and public waste policies, forming the backdrop for the case study applied to the Tratolixo system.

3 Methodology

The approach of this work is intended to be qualitative and descriptive, structured as a case study that focuses on the experience of the Tratolixo waste management system, an intermunicipal entity responsible for managing waste from four municipalities in the Greater Lisbon region.

The unit of analysis is the selective collection model of biowaste through co-collection and its corresponding energy recovery via anaerobic digestion, which has been fully implemented since January 1, 2024. The time frame considered is from 2020 to 2024, with an emphasis on operational data from 2024, and 2023 as the reference year. The data sources include:

- Internal technical and operational documentation from Tratolixo
- Annual reports and institutional documents (e.g., IAPMEI, ICMA, UNFCCC)
- Methodological references for the voluntary carbon market
- Cross-reference with relevant scientific literature

Although based on real data, this work also includes normative and prospective analysis and is therefore structured in two dimensions: (i) factual description and (ii) strategic recommendations aligned with the European sustainability agenda.

4 Selective collection of bio-waste in a co-collection system and its valorization in waste treatment

4.1 Concept and relevance of a separate collection of biowaste

Biowaste can be defined as biodegradable waste originating from food waste, gardening, and similar sources, such as food processing units, which account for more than 50% of unsorted waste in the Tratolixo system.

Regarding the relevance of selective co-collection of biowaste in the Tratolixo system, several environmental, social, and economic benefits are associated with this practice.



Figure 1. Biowaste selective co-collection scheme in Tratolixo system

4.2 Process of biowaste valorisation in the Tratolixo system

From an economic perspective, the selective collection activity for biowaste in a co-collection regime relies on two primary valorization methods available at Tratolixo's ecoparks (in Trajouce, Cascais and in Abrunheira, Mafra):

a) At the Trajouce Ecopark (Cascais), there is a new Green Waste Composting Plant with a capacity to receive and treat 50,000 tons per year of green waste, where an aerobic composting process is developed. In the complete operational phase, this plant produces 15,000 tons per year of compost, suitable for use as an organic fertilizer, which is ideal for application in organic farming.

b) At the Abrunheira Ecopark (Mafra), there is an Anaerobic Digestion Plant, with a maximum treatment capacity of 120,000 tons per year, where an anaerobic biowaste decomposition process is carried out. In 2024, this process generated approximately

©APESB

10,000,000 m³ of biogas and biofertilizer, promoting the production of renewable energy (21 GWh/year—sufficient to provide “100% green” electricity with a guarantee of origin for 15,000 people) and recycling of nutrients.

These types of biowaste valorization developments have several positive impacts within the Tratolixo system context:

- Extended service life of the Abrunheira landfill
- Reduced greenhouse gas (GHG) emissions
- Improved waste management and financial optimization of operational activities.

5 Green finance instruments

The following section will delve deeper into some of the instruments applicable to the waste management and treatment sector, specifically focusing on the management and treatment of biowaste and biogas production.

5.1 Green bonds and carbon credits

Green Bonds in the waste management sector are alternative debt securities designed to finance or refinance projects with transparent, measurable, and auditable environmental benefits throughout their operations. Also known as green or climate bonds, their issuance must align with the Green Bond Principles (ICMA 2021). It can support various project types, prominently including pollution prevention and control, atmospheric pollution reduction, greenhouse gas control, soil recovery, waste prevention, recycling, and energy production from biowaste with a positive emissions balance. These bonds do not rely on structural investment programs or third-party financial packages and benefit from growing investor interest in portfolio diversification.

Carbon Credits represent certified units recognized by carbon credit programs, each indicating the reduction or removal of one metric ton of CO2 or equivalent greenhouse gases from specific Project Activities - PoAs (PwC 2023). These credits are tradable in voluntary carbon markets and are applicable in biowaste valorization projects that produce biogas via anaerobic digestion, thereby generating additional revenue and helping offset project deficits.

The methodology for applying these financial instruments to waste management projects must rigorously follow frameworks such as the Clean Development Mechanism (CDM) Methodology Booklet (UNFCCC, 2020). In Tratolixo's case, the AMS-III.AO methodology ("Methane recovery through controlled anaerobic digestion", version 1) is employed, referencing 2023 data and regulated under the Verra standard.

Operational and regulatory risks stem from the existence or absence of applicable regulations and the project's technical compliance with approved methodologies. Tratolixo's biogas production process was validated in accordance with relevant standards, taking into account process eligibility and ancillary benefits.

Biogas composition depends on the feedstock and production processes, primarily using biodigesters—sealed tanks where organic material decomposes anaerobically—and landfill gas recovery systems that capture biogas produced under anaerobic landfill conditions.

In 2024, the project generated approximately 7,226 tons of CO_2e emissions (Scope 1), primarily from methane leaks (≈approximately 5,343 tCO_2e), residual combustion emissions (≈approximately 502 tCO_2e), diesel consumption (≈approximately 1,258 tCO_2e), and N_2O emissions from the digestate (≈approximately 69 tCO_2e). Scope 2 emissions associated with electricity purchased from the grid accounted for about 1,617 tCO_2e, based

on Portugal's 2023 emission factor (0.19 tCO_2e/MWh). Total non-avoided emissions sum to roughly 8,843 tCO_2e.

Compared to approximately 110,000 tCO_2e emissions avoided by diverting biowaste from landfill, the project's net emission balance is -101,000 tCO_2e, equivalent to holding 101,000 carbon credits for voluntary market trading. This establishes the project as "carbon negative," thereby justifying its eligibility in voluntary carbon markets and aligning with the European Taxonomy objectives.1

Scope 3 emissions, which encompass the entire value chain, are less well accounted for due to data limitations; however, according to the GHG Protocol Project, Protocol, and AMS-III.AO methodology does not require Scope 3 accounting for carbon footprint evaluations, focusing instead on Scopes 1 and 2 to ensure methodological consistency and international comparability. Hence, Scope 3 data are excluded due to considerations of reliability and relevance.

During the project in question, four barriers to entry into the Voluntary Carbon Market (VCM) were identified:

- Interference from public funding for the VCM;
- Legal framework requirements at the national and European levels;
- Lack of credible standards in the market; and
- Absence of methodologies for submitting the project to the VCM.

Based on the analysis of these barriers and their associated risk levels, it was determined that the AMS-III.AO methodology—"Methane recovery through controlled anaerobic digestion," version 1—presented a medium risk regarding national initiatives (mainly due to the lack of current regulation) and a low risk regarding international initiatives (due to the possibility of aligning the project, methodology, and standard with existing rules). Following this analysis, Tratolixo successfully overcame these barriers, choosing to focus on the international VCM.

In the next phase, Tratolixo encountered further barriers:

1. Legal barriers;
2. Financial barriers.

The first barrier posed a possible risk of double financial benefit, resulting from the fact that the Abrunheira Anaerobic Digestion Plant (ADP) had benefited from structural investment funds. After studying the issue, it was concluded that this could be overcome through a conceptual analysis of what carbon credits are and their purpose. As noted above, the benefit resulting from issuing and trading carbon credits applies only to covering operational expenses, so this potential constraint was resolved.

Regarding the second barrier, related to carbon credit market rules (i.e., the VCM itself, whether national or international), it was concluded that the market value uncertainty of the credit was not a significant obstacle given the project's added value, although the trading price remained a topic of interest. After studying the market and consulting with international market analysts, this barrier was deemed irrelevant to the decision to proceed with the carbon credit issuance program.

[1] The calculations presented follow the guidelines of the IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, the GHG Protocol, as well as reference emission factors (EEA/DEFRA for fossil fuels and APA/Eurostat for electricity in Portugal).

Lastly, and related to the above, it is essential to highlight that the carbon credit principles (ICROA 2025) require that credits be always verified according to the following criteria:

- Unique: carbon credit must be unique and cannot be double-issued in any other electronic registry;
- Real: they must represent actual emission reductions or removals;
- Permanent: issued for permanent emission reductions or removals;
- Additionality: emission reductions or removals go beyond what would have occurred without the project;

Measurable: emission reductions or removals must be quantifiable and supported by data.

A detailed analysis shows that Tratolixo's biogas production at the Abrunheira ADP is real (consolidated over more than 10 years of continuous production), permanent (as it reduces emissions from biowaste decomposition to the atmosphere), additional (capacity increased by 50% in 2024 compared to 2023), and measurable and auditable at all times.

Based on these conclusions, the project proceeded to the implementation phase, meeting the established methodological requirements.

5.2 Connection to European Taxonomy and European funding support

The European Taxonomy can be understood as the European Union's classification system for environmentally sustainable economic activities. Its main objective is to promote sustainable investments, providing transparency, mitigating greenwashing, and supporting the transition to a green economy.

The European Taxonomy Regulation establishes six environmental objectives:

1. Mitigation of climate change;
2. Adaptation to climate change;
3. Sustainable use and protection of water and marine resources;
4. Transition to a circular economy;
5. Pollution prevention and control;
6. Protection and restoration of biodiversity and ecosystems.

A fundamental principle is that any activity significantly contributing to one of these objectives must not cause significant harm to any other objectives.

5.3 Impact on the allocation of European investment support funds

Sustainability currently holds a central place in European political agendas. European regulatory trends on sustainability underscore the pivotal role of the financial system and sustainable finance in accelerating transitions to socially, ethically, and environmentally responsible business models.

Consequently, financiers—public and private—are responsible for redirecting financial flows toward investments that support business strategies aligned with Environmental, Social, and Governance (ESG) factors.

Access to EU funds comes with regulatory demands, and companies must understand that failing to align their activities with sustainability goals may jeopardize their continuity (IAPMEI 2023).

Accordingly, green financial instruments apply only to projects promoting sustainability across all dimensions, with claims that must be demonstrable, auditable, and reported according to specific reporting rules under the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), the European Taxonomy, the Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD), and most recently, the OMNIBUS.

5.4 ESG indicators and their application to the waste sector, specifically biogas from biowaste

ESG indicators are environmental, social, and corporate governance metrics designed to measure an organization's commitment to achieving sustainable development goals (IAPMEI 2024).

In the context of biowaste collection and biogas production, relevant ESG indicators include:

- **Environmental:**
  - Greenhouse gas emission reductions
  - Energy efficiency
  - Use of renewable energy
  - Waste management—reducing landfill deposition, increasing recycling and reuse rates
- **Social:**
  - Creation of green jobs
  - Occupational health and safety
  - Community engagement
  - Working conditions, education level, age, equal opportunity, training
- **Governance:**
  - Transparency and anti-corruption mechanisms
  - Ethics and legal compliance
  - Board diversity
  - Risk management

At Tratolixo, sustainability reports demonstrate the objective integration of ESG indicators into strategic decisions, influencing the definition, execution, and operationalization of activities. This aligns fully with European Green Taxonomy assumptions.

6 Conclusions

This article demonstrates that the selective collection of biowaste for biogas production not only contributes to reducing greenhouse gas emissions but also promotes social and economic benefits.

The biogas production project (PoAs) may access alternative/complementary operational revenue streams beyond the main financial flow from biogas-to-energy conversion. This includes trading approximately 101,000 carbon credits, reinforcing the project's "carbon negative" nature.

In the Tratolixo urban waste management system, the selective collection of biowaste has been fully implemented throughout its territory since January 1, 2024. Collected biowaste

©APESB

is used to produce biogas through anaerobic digestion, which is then converted into electricity.

Sustainable finance principles also offer investment capital alternatives in the form of green bonds, which support investments that promote and guarantee continuous compliance with the main ESG rules, without significantly harming any other ESG principles.

Finally, the benefits and impacts of selective co-collection at Tratolixo, as well as the capacity for treatment and management at its facilities for the collected biowaste flow, are made clear.

References

Ehlers, T., Packer, F., & De Greiff, K. (2022). The pricing of carbon risk in syndicated loans: Which risks are priced and why?. Journal of Banking & Finance, 136, 106180.

Elkington, J. (2013). Enter the triple bottom line. In *The triple bottom line* (pp. 1-16). Routledge.

Fischer, A., & Pascucci, S. (2017). Institutional incentives in circular economy transition: The case of material use in the Dutch textile industry. Journal of cleaner production, 155, 17-32.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, *143*, 757-768.

Green Bond (2024). Corporate finance institute. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/esg/green-bond/. Last accessed on November 2024

IAPMEI (2023). Reporte de Informação sobre sustentabilidade corporativa. Last accessed on July 2024.

IAPMEI (2024). https://www.iapmei.pt/Paginas/fatores-ESG. Last accessed on July 2024.

ICMA (2021) The Green Bond Principles. Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds. https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2022-updates/Green-Bond-Principles-June-2022-060623.pdf. Last accessed on November 2024.

ICROA (2025) Carbon crediting programme endorsement criteria. Programme-Endorsement-Review-Criteria_V3.5_06.2025.pdf

Honkasalo, A., Korhonen, J., & Seppala, J. (2017). Circular Economy: The concept and its limitations. *Ecol. Econ*, *143*, 37-46.

Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., & Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and sustainable energy reviews*, *36*, 412-427.

PwC (2023) IFRS Financial reporting considerations for entities participating in the voluntary carbon market. https://viewpoint.pwc.com/dt/gx/en/pwc/in_depths/in_depths_INT/in_depths_INT/ifrs-financial-reporting-considerations.html. Last accessed on November 2024.

Schoenmaker, D., & Schramade, W. (2018). *Principles of sustainable finance*. Oxford University Press.

UNFCCC (2020) Clean Development Mechanism – CDM Methodology Booklet, 12th edition, Information updated as of EB 108, December 2020 – United Nations Framework Convention on Climate Change. https://cdm.unfccc.int/methodologies.

Uma análise hidrológica para avaliação da resiliência de infraestruturas de drenagem rodoviárias

Paulo Ramísio [a,*], *Clara Vieira* [a], *Adriana Santos* [b]

[a] Universidade do Minho, Campus de Azurém. Alameda da Universidade 4800-058 Guimarães, Portugal

[b] Ascendi, Edifício Litografia Lusitana, Praça de Mouzinho de Albuquerque 197, 4100-360 Porto, Portugal

RESUMO

As alterações climáticas estão a aumentar a incidência e a severidade dos fenómenos meteorológicos extremos e dos eventos de cheia associados, o que pode representar um risco crescente para o bom desempenho das infraestruturas de drenagem rodoviárias. Torna-se, assim, pertinente estudar os fenómenos e processos hidrológicos associados à formação de escoamento superficial, de modo a avaliar a resiliência das infraestruturas rodoviárias. As cheias são um dos principais fatores de risco associados aos sistemas de drenagem destas infraestruturas, pelo que é importante analisar as abordagens e metodologias utilizadas na conceção das infraestruturas existentes, por forma a avaliar a sua resiliência a alterações da ocupação do solo e às alterações climáticas. A modelação hidrológica das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas das autoestradas A4 e A41, ambas na concessão do Grande Porto da rede Ascendi, visa estabelecer uma relação entre as alterações dos padrões de precipitação e de uso e ocupação do solo e os correspondentes hidrogramas de cheia das bacias hidrográficas. Com este estudo, pretende-se estimar as alterações das variáveis que estiveram na origem da conceção destes sistemas, bem como contribuir para a melhoria do seu desempenho e para a redução dos custos operacionais e da gestão destes ativos.

Palavras-Chave: Alterações climáticas, Cheias, Infraestruturas de drenagem rodoviárias, Modelos hidrológicos, Precipitação-Escoamento-Transporte.

doi: 10.22181/aer.2025.0402

[*] Autor para correspondência
E-mail: *pramisio@civil.uminho.pt*

©APESB

A hydrological-based analysis to assess the resilience of road drainage infrastructures

Paulo Ramísio [a,*], *Clara Vieira* [a], *Adriana Santos* [b]

[a] Universidade do Minho, Campus de Azurém. Alameda da Universidade 4800-058 Guimarães, Portugal

[b] Ascendi, Edifício Litografia Lusitana, Praça de Mouzinho de Albuquerque 197, 4100-360 Porto, Portugal

ABSTRACT

Climate change is increasing the incidence and severity of extreme meteorological phenomena and associated flooding events, which may pose an increasing risk to the good performance of road drainage infrastructure. It is therefore pertinent to study the hydrological phenomena and processes associated with the generation of surface runoff in order to assess the resilience of road infrastructure to extreme events. Flooding is one of the main risk factors associated with the drainage of these infrastructures, so it is important to analyse the approaches and methodologies used in their design to face climate challenges. The hydrological modelling of the catchment areas associated with the culverts of the A4 and A41 motorways, both in the Greater Porto concession of the Ascendi network, aims to establish a relationship between changes in rainfall patterns and land use and occupation and the corresponding flood hydrographs of the catchment areas. The objective of this study is to estimate the changes in the variables that led to the design of these systems, as well as to contribute to improving their performance and reducing operating and asset management costs.

Keywords: Climate change, Flooding, Hydrological-based model, Rainfall-Runoff-Routing, Road drainage infrastructure.

doi: 10.22181/aer.2025.0402

* *Corresponding author*
E-mail: *pramisio@civil.uminho.pt*

©APESB

1 Introdução

As alterações climáticas e a ocorrência de fenómenos meteorológicos extremos nas últimas décadas tem motivado grande preocupação na comunidade internacional, não só pelos seus possíveis impactos na sociedade, na economia e no ambiente, mas também pelas suas potenciais consequências em infraestruturas importantes associadas à drenagem de águas pluviais, como barragens, pontes ou sistemas de drenagem.

Os órgãos e sistemas de drenagem de águas pluviais foram concebidos para o escoamento e drenagem de eventos de precipitação intensa; no entanto, a maioria das normas de conceção destes sistemas baseia-se em registos históricos da precipitação e não tem em conta as incertezas climáticas futuras (Potter e Frevert 2011).

A intensidade e a frequência dos eventos de precipitação têm vindo a aumentar nas últimas décadas à escala regional e continental e é muito provável que se verifique ainda o seu agravamento com a tendência progressiva de aquecimento global. As cheias repentinas e de maior magnitude são também mais frequentes, embora com grandes variações geográficas e sazonais (IPCC 2007, IPCC 2021).

É, pois, necessário determinar a escala dos efeitos destas alterações para adaptar os sistemas de drenagem de águas pluviais aos desafios climáticos futuros. É importante avaliar as alterações previstas nos padrões de precipitação nos próximos 50 a 100 anos e determinar de que forma as atuais normas de conceção dos sistemas de drenagem de águas pluviais devem ser adaptadas para atenuar as incertezas climáticas futuras (Karl et al. 2008). Os impactos associados a uma mudança climática exigem uma análise minuciosa dos efeitos da temperatura e da precipitação intensa sobre os fenómenos de cheia (Potter e Frevert 2011, Plante e Ramirez-Avila 2020).

As cheias são um dos principais fatores de risco associados aos sistemas de drenagem transversal das infraestruturas rodoviárias, nomeadamente as passagens hidráulicas, que constituem o cerne deste estudo, pelo que é importante analisar as abordagens e metodologias utilizadas na sua conceção para fazer face aos desafios climáticos.

Como os eventos de precipitação intensa são mais frequentes e originam, com maior frequência, cheias de maior magnitude, é inegável que o período de retorno destes eventos está a diminuir (Arnell e Gosling 2013). Em Portugal, as passagens hidráulicas são geralmente dimensionadas para um período de retorno de 100 anos.

A cobertura permanente da superfície do solo com materiais artificiais impermeáveis, como o betão, o asfalto e o cimento, pode também exercer grandes pressões sobre os recursos hídricos e conduzir a alterações significativas do estado ambiental das bacias hidrográficas. A impermeabilização reduz a quantidade de precipitação que pode ser absorvida pelo solo, podendo, em casos extremos, impedir totalmente a sua absorção (EU 2012, Miranda et al. 2023).

Em zonas pouco urbanizadas uma parte da água é absorvida pelo solo, ficando disponível para o coberto vegetal. A água no solo migra ainda por forma a contribuir para a recarga de aquíferos. Este processo pode aumentar significativamente o tempo que a água demora a alcançar os canais naturais e/ou artificiais (ou seja, a translação da ponta de cheia), reduzindo o volume de escoamento superficial e a magnitude dos eventos de cheia nas bacias hidrográficas (ou seja, a atenuação da ponta de cheia) (ASCE 1996).

Pelo contrário, nas zonas urbanas com um elevado índice de impermeabilização da superfície, a infiltração de água no solo é reduzida e o escoamento processa-se de uma forma mais rápida, podendo por em causa a capacidade dos sistemas de drenagem, levando à ocorrência de cheias de maior magnitude e frequência (Messerli et al. 2019, EC 2021).

©APESB

Os efeitos das alterações climáticas nos padrões de precipitação à escala local e da bacia hidrográfica, bem como as constantes alterações nas características de impermeabilização do solo, têm assim um impacto direto nos processos hidrológicos associados à formação de escoamento superficial. Constata-se, por conseguinte, que são gerados maiores volumes de escoamento superficial, mesmo para as mesmas intensidades de precipitação, e os sistemas apresentam menor capacidade ou tempo de resposta (Ramísio et al., 2022).

Estas alterações contribuem para aumentar a vulnerabilidade dos sistemas de drenagem das infraestruturas rodoviárias, razão pela qual devem ser estabelecidos mecanismos de gestão de risco para minimizar o impacto potencial nos utentes da rede rodoviária e no espaço envolvente.

É objetivo do presente trabalho efetuar uma análise da resiliência das infraestruturas de drenagem rodoviárias da rede Ascendi, em situações de precipitação intensa, tendo em conta os efeitos das alterações climáticas, face aos critérios de conceção, estabelecendo uma relação entre as alterações espaciais e temporais dos padrões de precipitação e os coeficientes de escoamento superficial e a ocorrência de cheia. Este estudo é desenvolvido ao longo de seis fases de investigação, cada uma com os seus objetivos específicos.

Na primeira fase, são definidas as bases metodológicas e efetuada uma análise crítica dos métodos simplificados de estimativa de caudais de cheia utilizados no projeto das passagens hidráulicas e na definição da secção hidráulica dos órgãos de drenagem (Vieira, 2022). Na segunda fase, é analisada a vulnerabilidade das infraestruturas de drenagem rodoviárias com base no histórico de incidentes nas concessões e em eventos de precipitação intensa. A terceira fase consiste na análise estatística da distribuição probabilística dos dados de precipitação registados nas estações meteorológicas disponíveis e na representação das respetivas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF). A quarta fase é dedicada ao geoprocessamento das áreas e dos usos e ocupação do solo das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas em estudo e à análise das características geomorfológicas mais suscetíveis de alteração ao longo do tempo. A quinta fase consiste na modelação hidrológica das bacias hidrográficas em estudo, com o objetivo de estimar os respetivos hidrogramas de cheia a partir de diferentes hietogramas de precipitação, bem como na validação do modelo com dados complementares. A sexta e última fase é dedicada à análise dos resultados obtidos e à apresentação dos resultados finais, a partir dos quais serão definidas medidas que possam contribuir para aumentar a resiliência das infraestruturas rodoviárias a eventos extremos e prevenir eventuais danos nos ativos.

Com este estudo, pretende-se avaliar o desempenho das passagens hidráulicas ao longo da vida útil das autoestradas, respondendo a duas questões fundamentais: i) as curvas de intensidade-duração-frequência utilizadas para estimar a precipitação de projeto continuam a ser adequadas, considerando os dados registados nas estações meteorológicas nas últimas décadas?; ii) os usos e ocupação do solo das bacias hidrográficas sofreram alterações ao longo do tempo e, em caso afirmativo, são coerentes com o coeficiente de escoamento superficial previsto no projeto de execução?

2 Enquadramento

A relação entre os eventos de precipitação e os processos associados à formação de escoamento superficial assume uma grande importância na conceção e desempenho funcional dos sistemas de drenagem. Do ponto de vista científico, é essencial compreender os mecanismos de resposta das bacias hidrográficas.

A precipitação sobre a superfície de uma bacia hidrográfica pode ser convertida em escoamento superficial de diferentes formas, que dependem da taxa de infiltração e da

©APESB

saturação do solo (Figura 1). Os processos hidrológicos que conduzem à formação de escoamento superficial direto podem estar relacionados com o escoamento por excesso de infiltração no solo, o escoamento por excesso de saturação do solo, o escoamento subsuperficial da precipitação e o escoamento em superfícies impermeáveis. Em geral, apenas uma parte da precipitação se torna escoamento, sendo a restante evaporada, provavelmente depois de ser intercetada pela vegetação, armazenada em depressões superficiais ou infiltrada para se tornar humidade no solo ou águas subterrâneas. Com menor expressão, as águas subterrâneas podem também contribuir para os eventos de cheia através do escoamento de base (Ball et al. 2019a, 2019b).

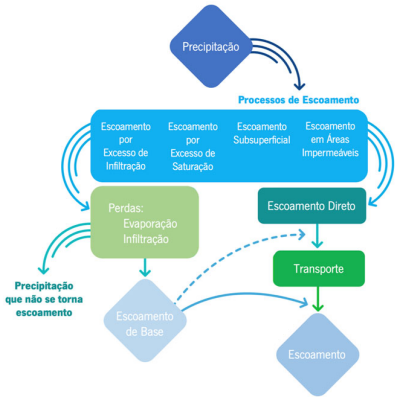


Figura 1. Processos de formação de escoamento (Adaptado de Ball et al. 2019b)

Há condições particulares que podem conduzir a caudais elevados e à ocorrência de cheias. Numa bacia hidrográfica com reduzidas perdas quase a totalidade da precipitação é convertida em escoamento, potenciando a ocorrência de cheias (Ball et al. 2019b).

A natureza estocástica das condições atuais e antecedentes, e a variação espacial e temporal da precipitação e dos processos hidrológicos associados, como a interceção do escoamento e o seu armazenamento, dificulta o estudo das cheias (Wasko e Nathan, 2019). A consideração de séries de duração parcial é já manifestação da probabilidade conjunta destes processos aleatórios.

O escoamento é geralmente dividido em escoamento direto e escoamento de base. O primeiro resulta de uma resposta à precipitação desse evento, enquanto o escoamento de base representa o contributo da lenta libertação da água armazenada (ASCE 1996). Durante um evento de cheia, o escoamento direto é a forma de escoamento mais relevante, embora, particularmente para a modelação, o escoamento de base deva ser considerado se representar uma contribuição significativa para o hidrograma de cheia da bacia hidrográfica (Nathan et al. 2019).

O projeto de sistemas de drenagem de águas pluviais baseia-se em estudos hidrológicos e hidráulicos. Nos estudos hidrológicos, analisam-se os fenómenos de precipitação e os processos associados à formação do escoamento superficial, enquanto nos estudos hidráulicos se caracterizam os caudais e as velocidades de escoamento e se definem as seções dos órgãos de drenagem.

É importante salientar que os estudos hidrológicos são fundamentais, pois constituem a base para quase todas as decisões relacionadas com a conceção de estruturas e infraestruturas associadas a alterações do regime hidrológico natural, como passagens hidráulicas e estruturas de contenção e mitigação de cheias, e de controlo da energia. Estes estudos incluem ainda a definição de soluções de controlo de cheias, prevendo as suas consequências, de modo a garantir a segurança das obras e a evitar colocar em risco vidas humanas ou causar danos materiais significativos.

©APESB

No caso das passagens hidráulicas, começa-se por estimar os hidrogramas de cheia das bacias hidrográficas a partir dos hietogramas de precipitação, seguindo-se a definição da secção hidráulica dos órgãos de drenagem, necessários para restabelecer as linhas de água naturais intercetadas pela autoestrada.

3 Metodologia

3.1 Análise estatística de séries de precipitação

A análise estatística da distribuição probabilística dos dados de precipitação registados nas estações meteorológicas da rede Ascendi e a representação das respetivas curvas de intensidade-duração-frequência foram realizadas em linguagem de programação R.

Após a análise estatística sumária das amostras de dados das estações meteorológicas e a sua validação, com análise de valores atípicos e correção dos erros de registo, foram processadas séries de precipitação através da agregação das intensidades de precipitação em intervalos de tempo distintos. Desta forma, foram extraídas séries de máximos diários (SMD), séries de máximos mensais (SMM) e séries de máximos anuais (SMA), bem como séries de duração parcial (SDP).

A análise estatística das séries de precipitação foi efetuada com funções de distribuição de probabilidade apropriadas para ajustar os dados das amostras, selecionadas entre as mais utilizadas em Hidrologia, como é o caso da distribuição de Pearson III (PE3), a distribuição generalizada de Pareto (GPA), a distribuição de Gumbel (valor extremo I) (GUM), a distribuição generalizada de valor extremo (GEV), a distribuição exponencial (EXP), a distribuição logarítmica (GLO), a distribuição normal (GNO), a distribuição log-normal de três parâmetros (LN3) e a distribuição Log-Pearson III (LP3) (Naghettini 2017).

As curvas de intensidade-duração-frequência para as séries de máximos anuais das estações meteorológicas foram representadas com as funções de distribuição que melhor se ajustaram aos dados das amostras, nomeadamente, a distribuição de GUM, a de GPA, a de GEV e a EXP. Estas curvas foram ainda comparadas entre si e com as curvas de intensidade-duração-frequência da respetiva região pluviométrica, obtidas pelo método descrito no anexo IX do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto.

3.2 Geoprocessamento de bacias hidrográficas

O geoprocessamento das áreas e dos usos e ocupação do solo das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas das autoestradas A4 e A41, ambas na concessão do Grande Porto, foi realizado no programa informático QGIS, um software de sistema de informação geográfica (SIG).

A representação da altimetria e a delimitação da área das bacias hidrográficas foram realizadas com dados geoespaciais recolhidos pelo observatório Copernicus Sentinel-2, nomeadamente o Modelo Digital de Terreno (DTM), versão de 2018, com 25 metros de resolução, disponibilizado pela Agência Espacial Europeia (ESA). As coordenadas foram reportadas ao Sistema de Referência de Coordenadas (CRS) oficial para Portugal continental, ou seja, PT-TM06/ETRS89.

O DTM é um modelo topográfico altimétrico que representa a superfície ao nível do terreno, não considerando valores altimétricos inerentes a edifícios, vegetação e outros acidentes artificiais. Tipicamente, o DTM aumenta o Modelo Digital de Elevação (DEM), que representa apenas a superfície terrestre, incluindo as características vetoriais do terreno natural, como rios e cumeadas.

Foram ainda analisados os diferentes usos e a ocupação do solo das bacias hidrográficas nas diferentes classes temáticas de nível 1 da cartografia de referência nacional do Sistema de Monitorização da Ocupação do Solo (SMOS) com base nas edições de 2007

©APESB

e de 2018 da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), ambas disponibilizadas pela Direção-Geral do Território (DGT).

Esta cartografia é materializada em vetores de polígonos que representam o uso do solo com um elevado nível de detalhe temático, através de 83 classes, com uma unidade mínima cartográfica de um hectare, com base na interpretação visual de ortofotomapas de elevada resolução espacial. As nove classes do nível 1 incluem territórios artificializados, agricultura, pastagens, superfícies agroflorestais, florestas, matos, espaços descobertos ou com pouca vegetação, zonas húmidas e massas de água superficiais.

3.3 Modelação hidrológica de bacias hidrográficas

A modelação hidrológica das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas das autoestradas A4 e A41 foi realizada com base no *Hydrological Engineering Centre - Hydrological Modelling System* (HEC-HMS) da *US Army Corps of Engineers*. Este sistema de modelação foi concebido para simular processos hidrológicos completos em sistemas de bacias hidrográficas dendríticas. O software inclui vários procedimentos convencionais de análise hidrológica, nomeadamente infiltração, hidrogramas unitários e o transporte hidrológico.

O objetivo desta fase é analisar o desempenho das passagens hidráulicas em situações de precipitação intensa, com base na simulação de eventos nos modelos hidrológicos das bacias hidrográficas. Inicialmente, será considerado um modelo mais simples, ou seja, um modelo agregado, e posteriormente a complexidade será aumentada para modelos semi-distribuídos e distribuídos. A simulação de eventos terá em conta os dados de precipitação registados nas estações meteorológicas da rede Ascendi, bem como os dados de precipitação e de caudais registados in situ com sensores complementares.

Os resultados da modelação hidrológica das bacias hidrográficas servirão de base para definir possíveis medidas de mitigação dos efeitos negativos das cheias e de aumento da resiliência das infraestruturas de drenagem rodoviárias a eventos extremos.

4 Resultados e discussão

Os problemas operacionais registados nas infraestruturas de drenagem rodoviárias exigem diferentes estratégias de resolução. A estimativa da intensidade de precipitação deve ser efetuada com dados de curto prazo, e atualizados, de modo a incluir os efeitos das alterações climáticas nos padrões de precipitação. Além disso, devem ser consideradas subáreas das bacias hidrográficas e determinados os respetivos coeficientes de escoamento superficial médios (um por subárea e não apenas um valor médio para a área total da bacia). Por último, a modelação hidrológica permite a simulação de eventos em modelos agregados, semi-distribuídos e distribuídos das bacias hidrográficas e dos fenómenos e processos hidrológicos.

Ao analisar os métodos normalmente utilizados na conceção de sistemas de drenagem, constata-se que a intensidade de precipitação é estimada com base nas curvas de intensidade-duração-frequência obtidas pelo método descrito no anexo IX do Decreto Regulamentar n.º 23/95 (Figura 2).

©APESB

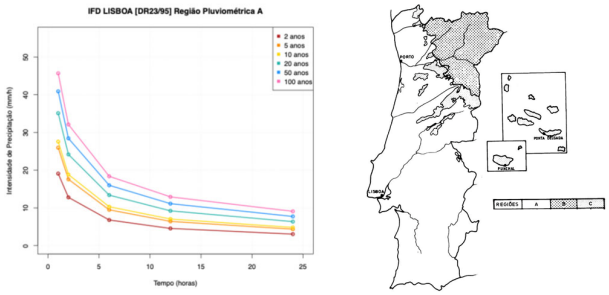


Figura 2. Curvas IDF Lisboa para a região pluviométrica A (pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95)

Este método foi publicado por Matos e Silva (1986), definindo três regiões pluviométricas em Portugal continental (as regiões A, B e C), e apresentando curvas de intensidade-duração-frequência (Lisboa, Lisboa -20% e Lisboa +20%, respetivamente) para períodos de retorno até 100 anos. As curvas foram estimadas com base nos registos de precipitação de 20 postos udométricos, compilados por Faria e Machado em 1978 (Brandão et al. 2001). Por conseguinte, quando se utilizam estas curvas, não se têm em consideração os efeitos das alterações climáticas nos padrões de precipitação das últimas quatro décadas.

A Figura 3 apresenta as curvas de intensidade-duração-frequência desenvolvidas no presente estudo para as séries de máximos anuais (SMA) da estação meteorológica do Grande Porto foram representadas com a distribuição de Gumbel (valor extremo I) (GUM), a distribuição generalizada de valor extremo (GEV), a distribuição generalizada de Pareto (GPA) e a distribuição exponencial (EXP).

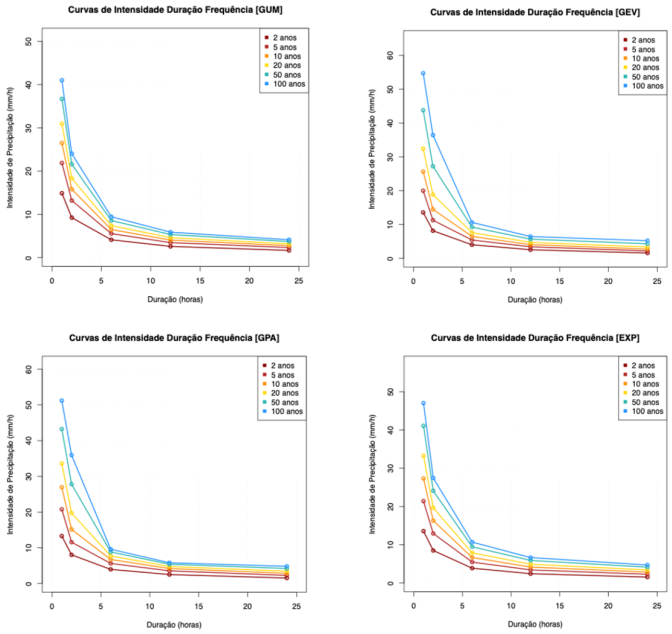


Figura 3. Curvas IDF (SMA) da estação meteorológica da concessão do Grande Porto

É possível observar que a distribuição de GEV apresenta o valor mais alto da intensidade de precipitação horária (55 mm/h) para o período de retorno de 100 anos, enquanto a distribuição de GUM apresenta o valor mais baixo (42 mm/h). Sabendo que a intensidade de precipitação estimada pelo método do Decreto Regulamentar n.º 23/95 para a região pluviométrica A (Curva IDF Lisboa) e para o período de retorno de 100 anos é aproximadamente 45 mm/h (Figura 2), verifica-se que todas as distribuições apresentam valores superiores, exceto a distribuição de GUM.

De seguida, foi analisado o coeficiente de escoamento superficial das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas das autoestradas A4 e A41 (Figura 4), representadas com base no MDT. Verificou-se que estas são, respetivamente, 18% e 12% superiores às áreas estimadas em projeto com recurso a cartas militares à escala 1:25 000, o que pode resultar do maior rigor dos métodos considerados.

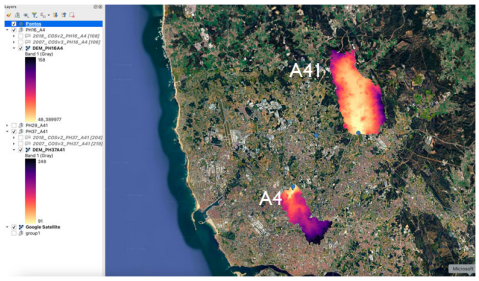


Figura 4. Áreas das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas da A4 e A41

Quanto às classes temáticas dos usos e ocupação do solo das bacias hidrográficas associadas às passagens hidráulicas das autoestradas A4 e A41, representadas na Figura 5, com base na cartografia de referência nacional, respetivamente a COS de 2007 e a COS de 2018, verificou-se que, entre 2007 e 2018, as variações nas áreas totais de cada classe temática de nível 1 são residuais (Figura 5).

Na Figuras 5, observa-se ainda que a bacia hidrográfica associada à passagem hidráulica da A4 se situa numa zona bastante urbanizada, com cerca de 80% do seu território artificializado (Figura 6). Portanto, as superfícies da bacia hidrográfica são caracterizadas por elevados coeficientes de escoamento superficial. Por outro lado, a bacia hidrográfica associada à passagem hidráulica da A41 localiza-se numa zona pouco urbanizada, com apenas cerca de 30% do seu território artificializado. Neste caso, as superfícies da bacia hidrográfica são maioritariamente permeáveis, ou seja, apresentam coeficientes de escoamento superficial mais baixos.

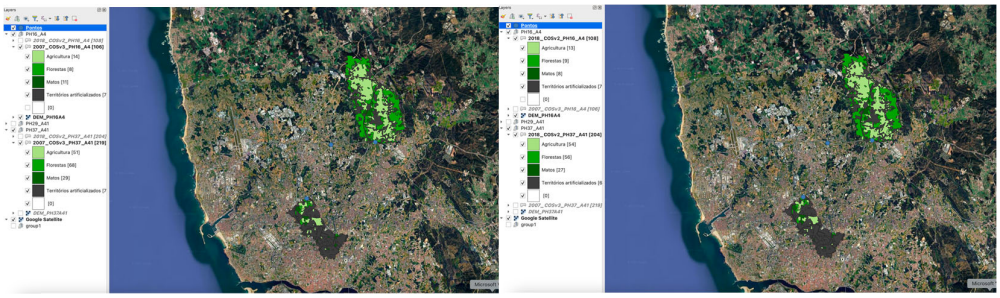


Figura 5. Usos e ocupação do solo em 2007 (esquerda) e 2018 (direita) das bacias hidrográficas

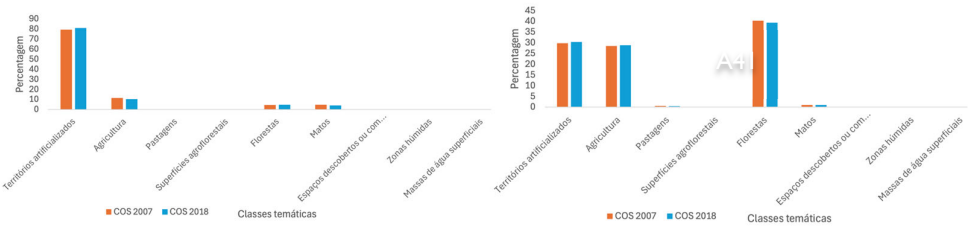


Figura 6. Usos e ocupação do solo das bacias hidrográficas da A4 (esquerda) e A41 (direita)

©APESB

5 Conclusões

As alterações climáticas aumentam a incerteza sobre os fenómenos meteorológicos extremos e os eventos de cheia associados, impondo maiores desafios à resiliência das infraestruturas de drenagem rodoviárias.

Os métodos simplificados normalmente utilizados para estimar caudais de cheia negligenciam a variabilidade espacial e temporal dos padrões de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial. No entanto, o coeficiente de escoamento superficial varia com o tempo, por exemplo, devido à reflorestação, à urbanização, à sazonalidade das culturas ou a diferentes práticas agrícolas, entre outros fatores. A sazonalidade da precipitação também influencia o coeficiente de escoamento superficial, uma vez que as perdas são menores em solos saturados durante a estação húmida do que em solos insaturados durante a estação seca. A humidade no solo antes de um evento de precipitação influencia o coeficiente de escoamento superficial, uma vez que um solo saturado atua como uma superfície impermeável, aumentando a área efetiva de impermeabilização. Além disso, nestes métodos, a intensidade de precipitação corresponde à precipitação efetiva, o que significa que a intensidade de precipitação não é desagregada em precipitação efetiva e em perdas por evaporação e infiltração.

A modelação hidrológica do sistema da bacia hidrográfica permite simular a variabilidade espacial e temporal dos padrões de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial, ao contrário dos métodos simplificados de estimativa de caudais de cheia.

Referências

ASCE (1996). *Hydrology Handbook*. American Society of Civil Engineers, USA.

Arnell N. e Gosling S (2013). *The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale.* Journal of Hydrology, 486, 351–364.

Ball J., Babister M., Nathan R., Weeks W., Weinmann E., Retallick M., Testoni I. (2019a). *A Guide to Flood Estimation: Rainfall Estimation.* Commonwealth of Australia, Canberra, Australia.

Ball J., Babister M., Nathan R., Weeks W., Weinmann E., Retallick M., Testoni I. (2019b). *A Guide to Flood Estimation: Catchment Simulation for Design Flood Estimation.* Commonwealth of Australia, Canberra, Australia.

Brandão C., Rodrigues R., Costa J. (2001). *Análise de Fenómenos Extremos: Precipitações Intensas em Portugal Continental.* Direção dos Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, Lisboa.

Decreto Regulamentar n.º 23/95. D.R. Série I-B (1995-08-23) 5284-5319. https://files.diariodarepublica.pt/1s /1995/08/194b00/52845319.pdf, acedido a 1 de setembro de 2024.

EU (2012). *Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing.* Technical report, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

EC (2021). *Special Eurobarometer 513: Climate Change Report Summary March–April 2021*. Technical report, European Commission of the European Union, Brussels.

IPCC (2007). *Climate Change: The Physical Science Basis.* 4th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2021). *Climate Change: The Physical Science Basis*. 6th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

Karl T., Melillo J., Peterson T., Hassol, S. (2008). *Global Climate Change Impacts in the United States.* Cambridge University Press.

Matos M., Silva M. (1986). *Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial. Curvas intensidade-duração-frequência da precipitação em Portugal.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Messerli P., Murniningtyas E., Eloundou-Enyegue P., Foli E., Furman E., Glassman A., Hernández G., Kim, E., Lutz W., Moatti J., Richardson K. (2019). *The Future is Now: Science for Achieving Sustainable Development*. United Nations, New York.

Miranda J., Scholz I., Agard J., Al-Ghanim K., Bobylev S., Dube O., Hathie I., Kanie N., Madise N., Malekpour S., Montoya J. (2023). *Times of Crisis, Times of Change: Science for Accelerating Transformations for Sustainable Development*. United Nations, New York.

Naghettini M. (2017). *Fundamentals of Statistical Hydrology*. Springer, Switzerland.

Plante R. e Ramirez-Avila J. (2020). *Watershed Management 2020: A Clear Vision of Watershed Management.* Environmental and Water Resources, Institute of the American Society of Civil Engineers, Henderson, Nevada.

Potter K. e Frevert D. (2011). *Watershed Management 2010: Innovations in Watershed Management under Land Use and Climate Change*. Environmental and Water Resources, Institute of the American Society of Civil Engineers, Madison, Wisconsin.

Ramísio, P. J., Brito, R. S., & Beceiro, P. (2022). Accessing Synergies and Opportunities between Nature-Based Solutions and Urban Drainage Systems. Sustainability, 14(24), 16906. https://doi.org/10.3390/su142416906

Vieira C. (2022) *Resiliência das infraestruturas de drenagem rodoviárias face às alterações climáticas: Análise dos fatores condicionantes na estimação de caudais de cheia.* Tese de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães.

Wasko, C., & Nathan, R. (2019). Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding. Journal of Hydrology, 575, 432-441.

©APESB

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 afluências 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 afluências 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 gestores 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 afluências. 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: afluências indevidas, quantificação, condutividade, qualidade, metodologia

doi: 10.22181/aer.2025.0403

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

©APESB

A NEW METHODOLOGY FOR CONTROLLING UNDUE 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 afluências 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, condutivity, quality, methodology

doi: 10.22181/aer.2025.0403

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

©APESB

1 Introdução

A existência de afluências 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 afluências 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 afluências 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 caraterização 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 afluência 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 afluências 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 afluências indevidas entre 2019 e 2023, que o volume total de afluências 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 m^3 e de 202 748 908 m^3 (Quadro 1 e Quadro 2).

©APESB

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€/ m^3, 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 afluências 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 afluências 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 afluências 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

©APESB

(~200-250 µS/cm), os quais diferem significativamente dos das águas residuais (~1000-1500 µS/cm).

Posteriormente, Zhang, et al. (2018) apresentaram a condutividade como o parâmetro de qualidade da água que melhor permite quantificar as afluências 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 afluências indevidas.

Neste alinhamento, é proposta uma metodologia baseada na análise da condutividade como parâmetro de qualidade indicador da existência de afluência 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 afluências 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 afluência 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 µs/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 µs/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.

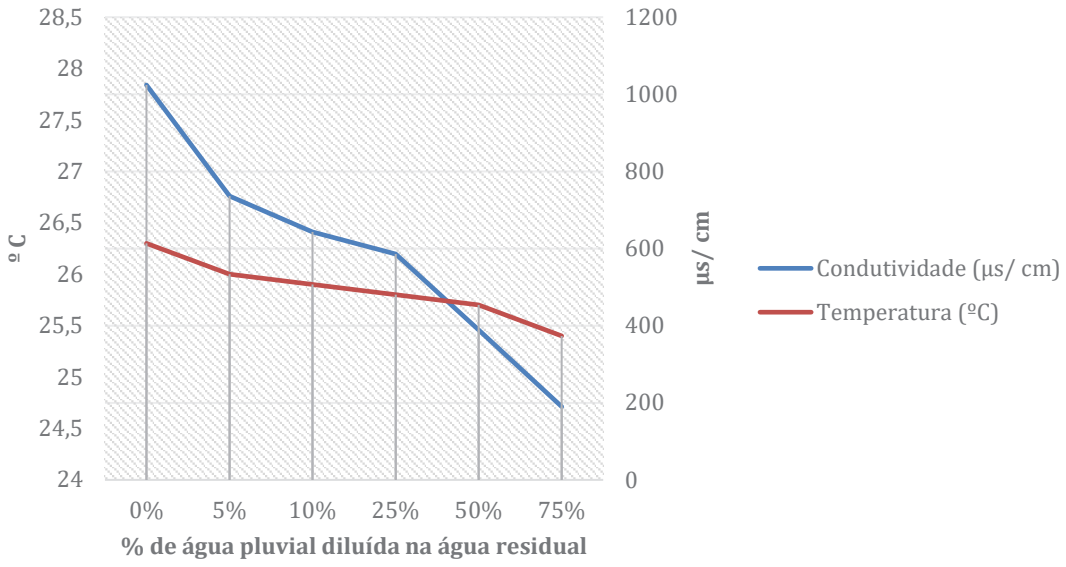


Figura 1. Ábaco que relaciona o comportamento da condutividade e da temperatura em função da % de água pluvial diluída em água residual, aplicada para sistema de drenagem de água residual de origem doméstica

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 Km^2, 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 condutivímetro foi instalado durante 5 semanas numa câmara de visita, cuja localização se apresenta na Figura 2. A determinação da localização do condutivímetro 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 condutivímetro

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).

©APESB



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 µs/cm, o que poderá indicar, que neste período existe uma contribuição considerável de água proveniente do nível freático.

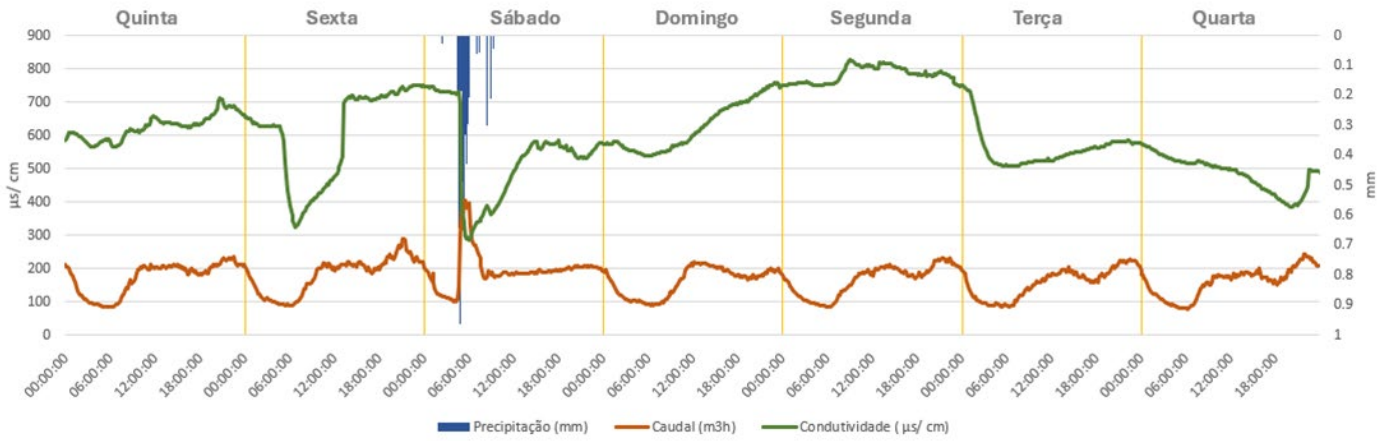


Figura 4. Registo de condutividade e de caudal, no período de 06 de julho a 12 de julho de 2023 com eventos de pluviosidade

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 m3/h para 400 m3/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 µs/ cm, decresce para valores próximos dos 300 µs/ 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.

©APESB

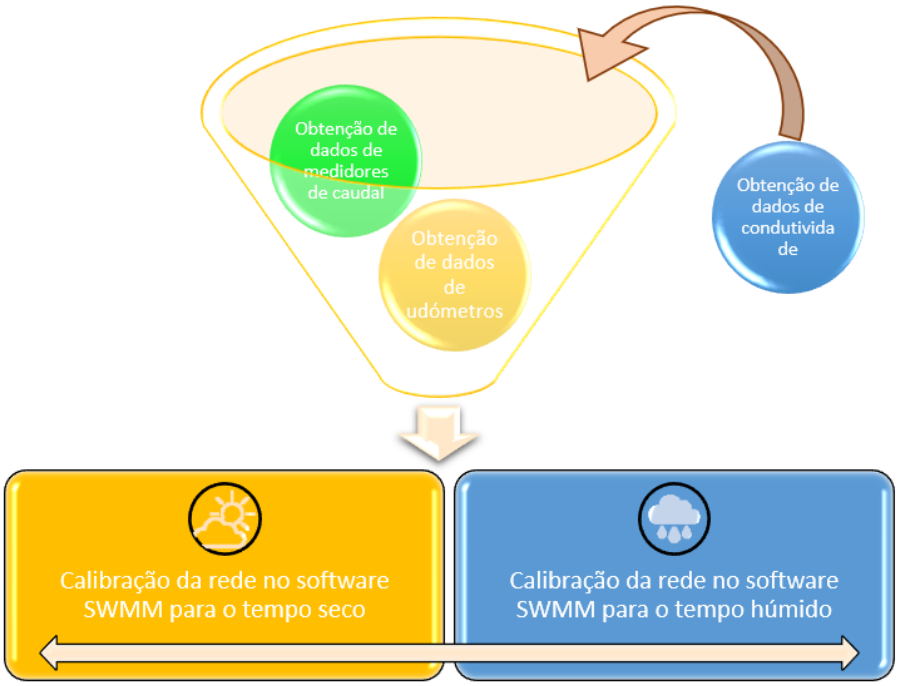


Figura 5. Primeira etapa do plano de ação, relativo à calibração da rede de drenagem no software SWMM para o tempo seco e húmido

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, (…).

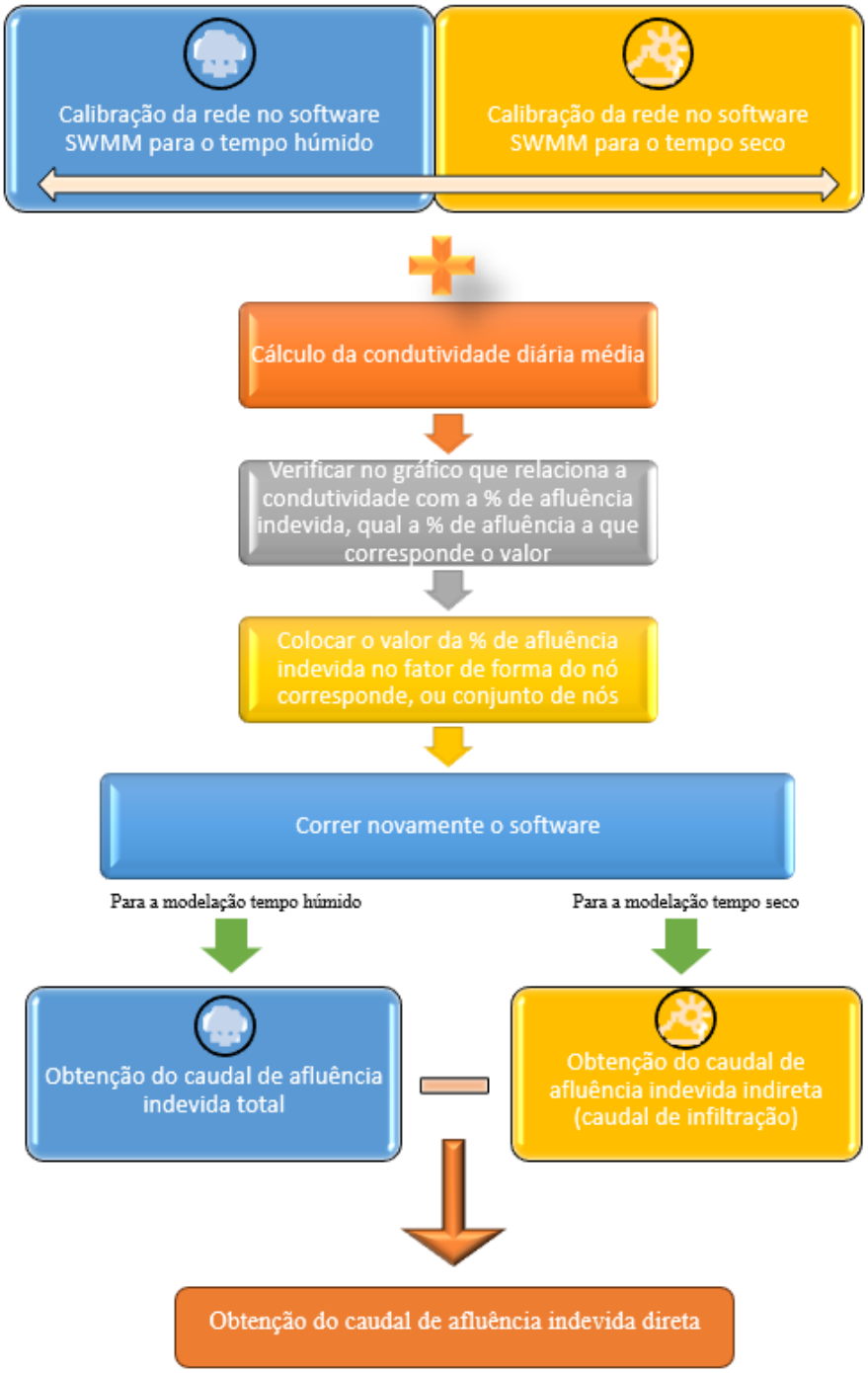


Figura 6. Segunda etapa do plano de ação, relativo à modelação da rede de drenagem no software SWMM de forma a se obter os caudais de afluência indevida indireta (tempo seco) e total (tempo húmido)

©APESB

4 Conclusões

O parâmetro de qualidade condutividade apresenta-se como um bom indicador de afluências 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 afluências 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 afluências 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 afluência 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 afluência 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 afluência. Este método não se destina à quantificação rigorosa das afluências 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 afluência, independentemente da sua origem ou tipologia. Assim, será possível executar a estratégia de combate às afluências 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 afluências mais representativas.

©APESB

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 polluant-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.

©APESB

AVALIAÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS COM RECURSO À ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Miguel Marques [a,*] *, Pedro Leite* [a] *, Marco Costa* [b] *, Alberto Roque* [b] *, Daniel Sampaio* [c] *, Vítor Vinagre* [c]

[a] H2OPT, Lda., Rua do Monte Cativo, 313, 4050-402, Porto, Portugal

[b] AdRA – Águas da Região de Aveiro, Tv. R. Paz, 3800- 587 Aveiro, Portugal

[c] AdCL – Águas do Centro Litoral, Av. Dr. Luís Albuquerque, 3030-410, Coimbra, Portugal

RESUMO

A avaliação de afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais envolve habitualmente a implementação de pontos fixos e/ou temporários de medição de caudal, com o objetivo de definir zonas de intervenção prioritárias. No caso de redes de menor dimensão, tipicamente, o custo de implementação de um plano de monitorização detalhado poderá não ser economicamente justificável, especialmente numa fase inicial. O presente artigo apresenta uma metodologia baseada exclusivamente na informação disponível para estimar os padrões de afluências domésticas e indevidas em bacias da rede de drenagem da Murtosa. É realizado o cruzamento dos registos de consumo de água potável, com o cadastro da rede de saneamento e com os dados de funcionamento de quatro estações elevatórias. A informação é agregada através do desenvolvimento de um modelo hidráulico em regime permanente, desenvolvido em linguagem de programação *Python*. Adicionalmente, foi possível realizar a simulação hidráulica do funcionamento da rede, com vista a avaliar os caudais máximos transportados e a capacidade disponível. Os resultados permitiram identificar condicionantes de natureza hidráulica e apoiar a priorização de ações futuras para controlo e redução das afluências indevidas.

Palavras-Chave: Sistemas de águas residuais, afluências indevidas, modelação hidráulica, Python

doi: 10.22181/aer.2025.0404

[*] *Autor para correspondência*
E-mail: miguel.marques@h2opt.pt

INFLOW AND INFILTRATION (I&I) ASSESSMENT USING TIME SERIES AND HYDRAULIC SIMULATION

Miguel Marques [a,*], *Pedro Leite* [a], *Marco Costa* [b], *Alberto Roque* [b], *Daniel Sampaio* [c], *Vítor Vinagre* [c]

[a] H2OPT, Lda., Rua do Monte Cativo, 313, 4050-402, Porto, Portugal

[b] AdRA – Águas da Região de Aveiro, Tv. R. Paz, 3800- 587 Aveiro, Portugal

[c] AdCL – Águas do Centro Litoral, Av. Dr. Luís Albuquerque, 3030-410, Coimbra, Portugal

ABSTRACT

The assessment of infiltration and inflows (I/I) in a sanitary sewer network typically requires the installation of flow measurement equipment to identify critical areas and prioritize corrective actions. For smaller networks, the financial outlay required to implement a comprehensive monitoring plan may not be economically viable, particularly at the outset. This paper presents a methodology based exclusively on available operational data to estimate the inflow and infiltration patterns in the subcatchments of Murtosa's network. The dataset includes drinking water consumption records, cross-referenced with the sewerage network data and the operational data from four pumping stations. The information was combined using a steady-flow hydraulic model developed in Python. Furthermore, a hydraulic simulation of the network's operation was carried out to estimate peak flows and evaluate the system capacity. The results enable the identification of critical hydraulic points and guided recommendations for inflow/infiltration control and reduction plans.

Keywords: Sewage drainage network, infiltration and inflow (I&I), hydraulic modelling, Python

doi: 10.22181/aer.2025.0404

* *Corresponding author.*
E-mail: miguel.marques@h2opt.pt

©APESB

1 Introdução

A rede de drenagem de águas residuais no concelho da Murtosa (excluindo a Torreira) corresponde ao serviço em "baixa", sob gestão da Águas da Região de Aveiro, S.A., servindo uma população de 6930 habitantes.

A área em estudo é maioritariamente plana, com cotas próximas ao nível da Ria de Aveiro, e abrange uma rede de coletores com 86.5 km de extensão. No total, existem 36 subsistemas, aos quais correspondem 36 estações elevatórias que encaminham, através de uma série de elevações sucessivas, os efluentes recolhidos para 4 estações elevatórias principais. Estas infraestruturas apresentam dados de monitorização e permitiram dividir o sistema em 4 bacias de drenagem (Figura 1).

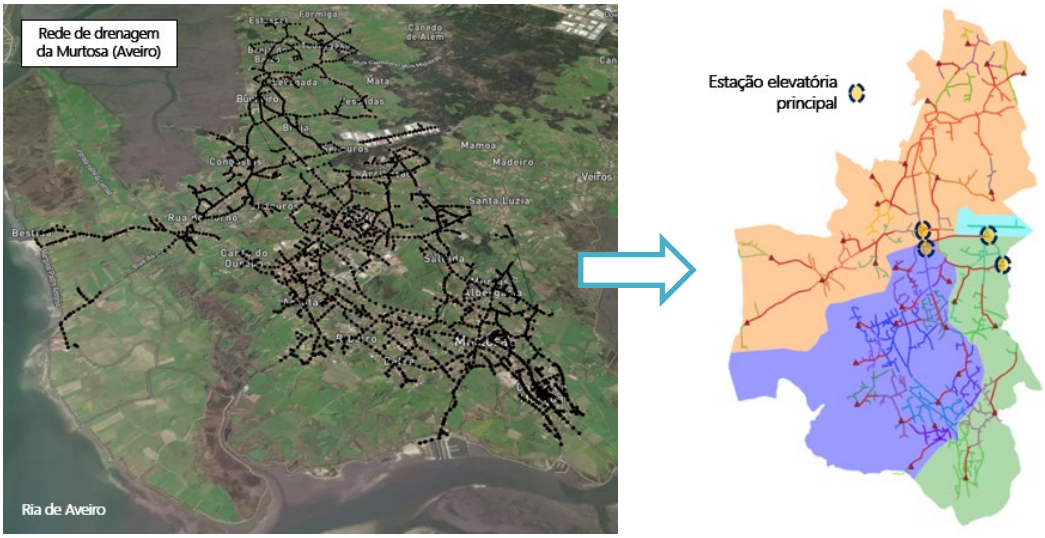


Figura 1. Representação da rede de drenagem e divisão do sistema em 4 bacias de drenagem

A metodologia desenvolvida para avaliação das afluências indevidas reúne os seguintes objetivos e potencialidades:

- Agregação e cruzamento dos dados disponíveis: o cadastro, os consumos de água potável e os registos de funcionamento de 4 estações elevatórias;
- Desagregação dos volumes transportados por origem, considerando as diversas componentes de afluências indevidas (doméstica, infiltração e afluência pluvial);
- Produção de mapas com a indicação dos locais da rede de drenagem com funcionamento em carga devido ao impacto das afluências indevidas;
- Cruzamento dos resultados hidráulicos com os registos operacionais no terreno;
- Priorização da pesquisa de ligações indevidas e realização de campanhas de inspeção vídeo (CCTV);
- Aplicação de indicadores de desempenho por bacia;
- Possibilidade de conversão para modelos hidráulicos de simulação mais avançados (*e.g.* SWMM).

No presente estudo, é feita uma quantificação inicial dos volumes de afluências indevidas por bacia, com a distinção entre o tempo seco e húmido. Numa segunda fase, é realizada a simulação do comportamento hidráulico da rede de drenagem, utilizando um modelo hidráulico em regime permanente. Este modelo foi desenvolvido internamente em linguagem *Python*, de forma a avaliar a capacidade de transporte dos coletores, em função da georreferenciação, do padrão e do tipo de caudal afluente.

2 Diagnóstico e quantificação das afluências indevidas

A avaliação das componentes de afluências indevidas foi realizada com base nos registos de funcionamento das quatro estações elevatórias principais, distinguindo entre o tempo seco (meses de Verão) e tempo húmido (meses chuvosos do ano).

Na Figura 2 é representado o volume total diário, decomposto por estação elevatória, e a precipitação ("a azul-escuro") ao longo do ano 2023. Realçam-se os valores máximos no evento assinalado, com destaque para as contribuições das bacias EE04 ("a castanho"), EE03 ("a verde") e EE01 ("a rosa"). A EE02 ("a amarelo") possui um peso mais residual.

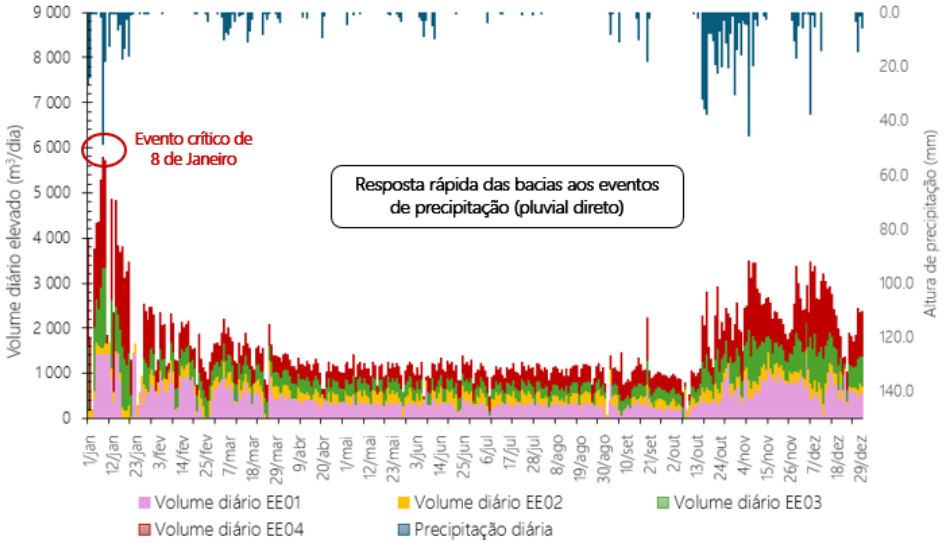


Figura 2. Volumes diários elevados em cada EE e altura de precipitação diária em 2023

A componente doméstica e industrial em cada bacia foi determinada a partir da agregação dos consumos mensais de água potável com o cadastro da rede.

Na Figura 3 é apresentada a discretização dos caudais horários na EE04, incluindo a indicação da capacidade instalada ("a amarelo") e a variação da infiltração mínima em tempo seco ("a verde") e da infiltração máxima em tempo húmido ("a vermelho").

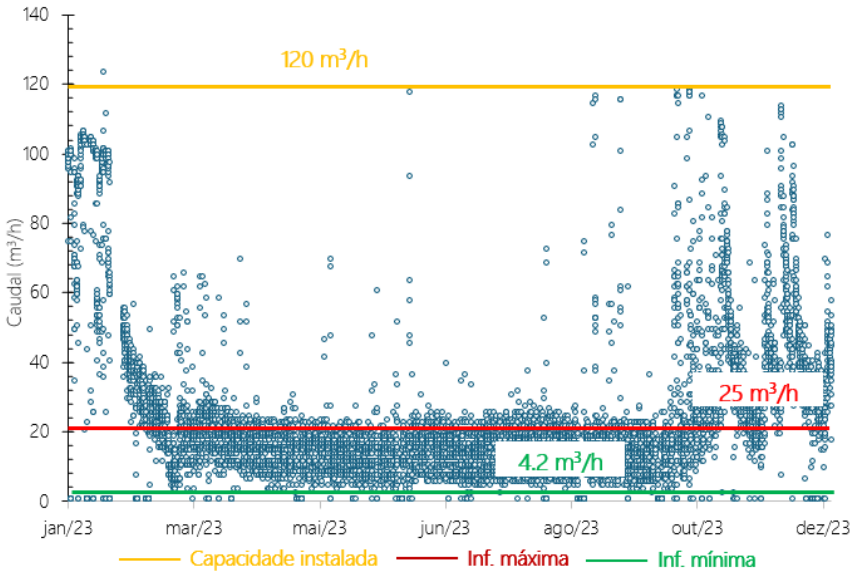


Figura 3. Registo dos caudais horários, capacidade instalada e a variação da infiltração na EE04

©APESB

Conforme se observa, a infiltração varia sazonalmente ao longo do ano, aumentando no Inverno para um valor máximo de 25 m^3/h (considerando 7 dias sem precipitação após o último evento), e reduzindo no Verão para um valor mínimo de 4.2 m^3/h.

A Figura 4 sistematiza os valores da infiltração mínima e máxima por estação elevatória, bem como os volumes totais (obtidos pela soma com o caudal doméstico) em tempo seco e húmido. Verifica-se que, nas bacias EE04 e EE03, os valores de infiltração máxima são superiores à componente doméstica.

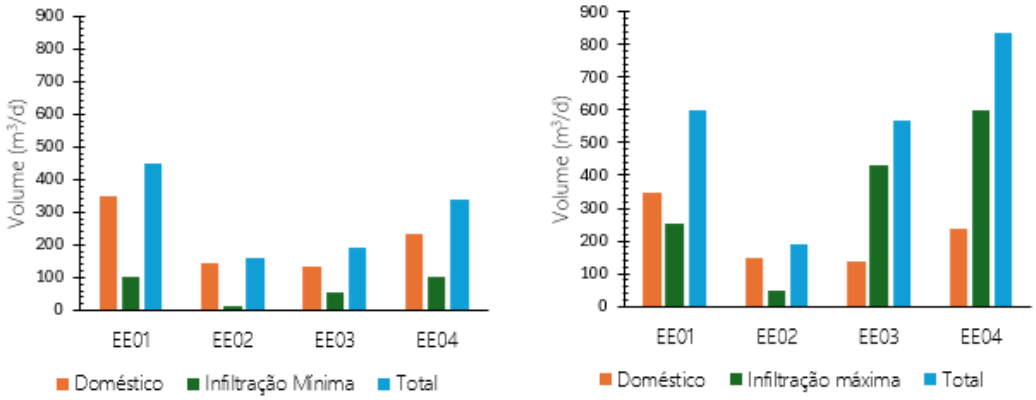


Figura 4. Estimativa das contribuições por estação elevatória: (a) infiltração mínima em tempo seco (b) infiltração máxima em tempo húmido

O Quadro 1 apresenta a relação entre a infiltração máxima e mínima ($Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN}$), a relação entre a infiltração máxima e o caudal médio em tempo seco ($Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$) e a relação entre a infiltração mínima e máxima com a extensão da rede associada ($Q_{INF\ MIN}/L_{COLETOR}$ e $Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$), conforme proposto por Cardoso et al. (2002).

Os resultados obtidos indicam que a variação da infiltração ao longo do ano é mais significativa nas bacias EE03 e EE04 ($Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN}$>4.5). Além disso, a infiltração possui uma expressão superior na bacia da EE03, face ao caudal médio em tempo seco doméstico ($Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$), próximo dos 200%. Por outro lado, se analisarmos a infiltração máxima por extensão de rede ($Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$), os valores encontram-se abaixo dos limites de referência. Na verdade, os valores apontados no Manual de Saneamento Básico, variam entre 0.2 l/s/km para coletores situados acima do nível freático e 1.0 l/s/km para coletores situados abaixo do nível freático. Destaca-se, no entanto, a maior contribuição da bacia EE04, com valores mínimo e máximo de 0.07 l/s/km e 0.41 l/s/km, respetivamente.

Quadro 1. Análise da variação da infiltração e indicadores de desempenho por bacia de drenagem

Bacia/EE	Extensão da rede (km)	$Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN}$	$Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$	$Q_{INF\ MIN}/L_{COLETOR}$ (l/s/km)	$Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$ (l/s/km)
EE01	35.4	2.5	56%	0.03	0.08
EE02	1.8	2.8	28%	0.08	0.30
EE03	32.3	**4.6**	**188%**	0.02	0.15
EE04	17.0	**6.0**	165%	**0.07**	**0.41**
Global	86.5	4.3	110%	0.04	0.18

Na Figura 5 apresenta-se a avaliação dos caudais máximos pluviais em cada bacia (“a azul”), considerando a decomposição dos volumes máximos registados em eventos de elevada precipitação. Para efeitos comparativos, são também apresentadas as

componentes doméstico e não doméstico (“a amarelo”) e a infiltração de base (“a castanho”) em tempo húmido e o respetivo peso no volume total.

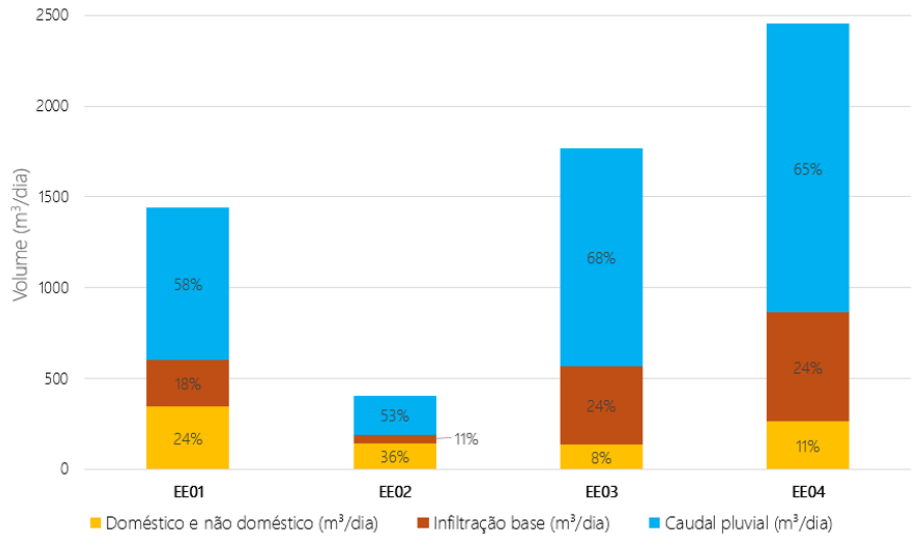


Figura 5. Decomposição dos volumes em eventos de elevada pluviosidade e respetivo peso

Os valores apresentados demonstram o impacto significativo das afluências pluviais nas bacias da EE03 e EE04, com valores de cerca 1200 m³/dia (68% do total) e 1600 m³/dia (65% do total), respetivamente. Na bacia EE01, onde a contribuição doméstica é mais significativa (equivale a 24%), as afluências pluviais representam cerca de 840 m³/dia. A bacia EE02, associada a uma área industrial, apresenta um contributo residual para o conjunto. Tendo por base estes resultados, é recomendada a priorização da pesquisa de ligações indevidas nas bacias da EE03 e EE04.

3 Simulação hidráulica em regime permanente

O modelo hidráulico foi desenvolvido internamente em linguagem *Python* e assume que o escoamento é uniforme e permanente entre intervalos de cálculo consecutivos, ou seja, não existe atraso ou alteração da forma do hidrograma entre dois pontos da rede. Esta simplificação pressupõe que: (i) apenas existe uma saída em cada câmara de visita; e (ii) a acumulação ou o volume associado a extravasamentos não são relevantes.

Esta ferramenta permite determinar os caudais transportados em qualquer ponto da rede com base na georreferenciação do consumo de água potável e assumindo um coef BWF de afluência à rede. A variação do consumo doméstico, também designada po GWI *Wastewater Flow* (“*BWF*”), assume uma curva padrão e foi aplicada uniformemente a todos os pontos de consumo. Acrescentando a parcela da infiltração designada por *Groundwater Infiltration* (“*GWI*”), decomposta por câmara de visita, foi possível estimar os padrões em cada bacia, conforme ilustrado na Figura 6 para a EE04 em tempo seco.

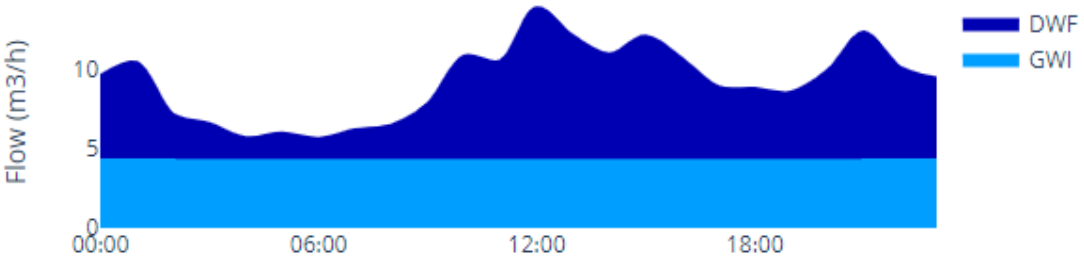


Figura 6. Padrão da componente doméstica (BWF) e da infiltração (GWI) na EE04 em tempo seco

©APESB

Por forma a avaliar o comportamento da rede em eventos críticos, foi realizada a simulação hidráulica considerando a distribuição dos caudais máximos de infiltração e de afluência pluvial em tempo húmido. Em resultado, obteve-se um caudal máximo de 80.7 l/s (312 m^3/h) no ponto de ligação com o sistema em alta, conforme assinalado na Figura 7.

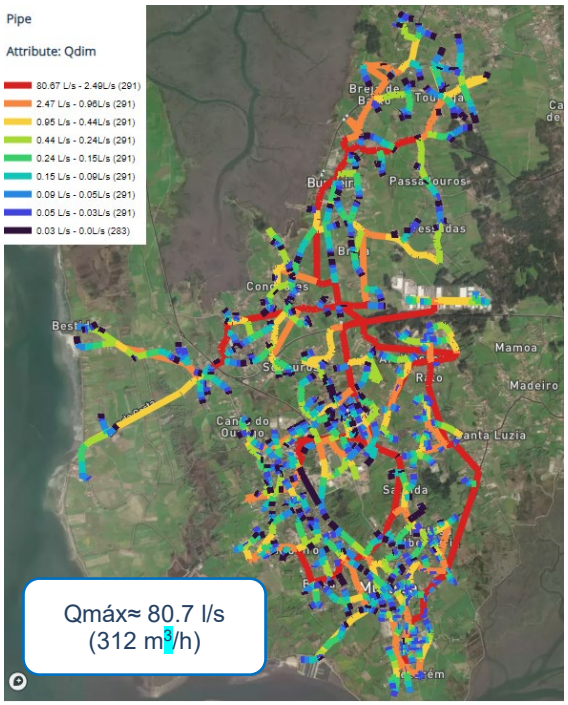


Figura 7. Mapa com a distribuição do caudal máximo em tempo húmido

Na Figura 8 é apresentada a relação h/D para o mesmo evento, de modo a avaliar a capacidade de transporte face aos caudais de ponta. Os 5 locais críticos de entrada em carga do sistema, assinalados “a amarelo”, coincidem com os reportados pela AdRA.

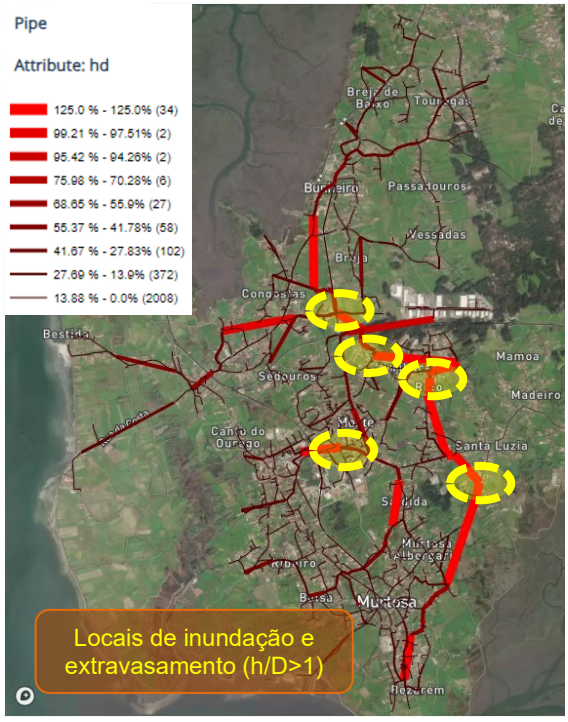


Figura 8. Mapa com a relação h/D em tempo húmido e pontos críticos identificados

©APESB

4 Conclusões

Na presente comunicação apresentou-se uma metodologia de avaliação simplificada da rede de drenagem da Murtosa, que potencia e agrega a informação disponível, sem recurso a uma campanha de medição de caudal. Esta abordagem permitiu alcançar um nível de conhecimento substancialmente superior ao que resultaria da mera soma das partes.

Os resultados obtidos possibilitaram uma análise global e integrada da rede, permitindo reconhecer e quantificar as diversas componentes das afluências indevidas por bacia de drenagem: i) a bacia EE01 representa 39% do consumo doméstico e não doméstico do sistema; ii) a variação da infiltração de base é mais significativa nas bacias da EE03 e EE04, com maior contribuição por extensão de rede na EE04; e iii) verifica-se um impacto significativo das afluências pluviais diretas nas bacias EE03 e EE04, que representam mais de 65% do volume total gerado para o evento de precipitação crítico.

Com base nos resultados obtidos, foram definidas ações prioritárias para a gestão da rede, em função dos volumes indevidos, que incluem a realização de campanhas de monitorização nas bacias EE03 e EE04 (*e.g.,* pesquisa e deteção de ligações indevidas e inspeções CCTV), o apoio à definição de locais para instalação de pontos de descarga e a identificação dos troços de rede prioritários para reabilitação.

A metodologia incluiu ainda a simulação hidráulica da rede de drenagem, o que permitiu comparar os caudais máximos com a capacidade de transporte instalada. Os 5 locais de sobrecarga hidráulica identificados no modelo coincidem com os pontos críticos de extravasamento e de inundação reportados pela AdRA.

Como desenvolvimentos futuros, propõe-se a expansão da metodologia às restantes estações elevatórias a montante, bem como a conversão do modelo para simulação hidráulica em regime variável. Este alargamento da análise permitirá a discretização da informação por sub-bacias de menor dimensão e o refinamento da localização de pontos críticos em situação de sobrecarga do sistema.

Referências

Manual de Saneamento Básico, Volume 2. (1991), ed. Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa

Barbosa, N. (1998), Apontamentos Didácticos de Hidráulica Aplicada, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Cardoso, A., Almeida, M. e Coelho, S. (2002). Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

©APESB

ABASTECIMENTO DE ÁGUA AO LITORAL ALENTEJANO: DIAGNÓSTICO, NECESSIDADES E ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO

Samuel Mota [a*], *André Pinto* [a], *Carlos Domingos* [b], *José Paulo* [b]

[a] AdP VALOR – Serviços Ambientais S.A., R. Visconde Seabra n.º 3, 1700-421 Lisboa, Portugal

[b] Águas Públicas do Alentejo, S.A., Rua Dr. Aresta Branco, n.º 5, 7800-310 Beja, Portugal

RESUMO

No contexto de crescente pressão sobre os recursos hídricos devido ao aumento das atividades turísticas e agrícolas no Litoral Alentejano, surgiu a necessidade de avaliar a situação dos sistemas de abastecimento público de água existentes e a sua resiliência aos desafios futuros. No diagnóstico, foram estimadas as necessidades hídricas, verificando-se um cenário de aumento do consumo de água nos vários usos, caso as tendências recentes se confirmem. Relativamente às disponibilidades hídricas, os índices de escassez de água revelam uma insustentabilidade dos usos da água, com tendência para o seu agravamento futuro com os impactos das alterações climáticas. No entanto, tendo em conta que as necessidades de água para o consumo humano são relativamente diminutas face aos consumos dos restantes setores, o estado das massas de água não constitui uma condicionante ao abastecimento público no futuro, se for salvaguardado o uso prioritário do abastecimento público. Assim, foram identificadas possíveis soluções a implementar, num primeiro grupo em que serão necessárias intervenções de beneficiação mantendo a origem atual e, num segundo grupo, intervenções de maior dimensão para promover o aumento da fiabilidade da origem, que incluem novas origens de água como a dessalinização e a reutilização de água.

Palavras-Chave: Litoral alentejano, disponibilidade de água, uso urbano da água, estratégias de intervenção, sustentabilidade e resiliência hídrica

doi: 10.22181/aer.2025.0405

[*] *Autor para correspondência*
E-mail: smota@adp.pt

©APESB

WATER SUPPLY TO THE ALENTEJO COAST: DIAGNOSIS, NEEDS AND INTERVENTION STRATEGIES

Samuel Mota [a*], *André Pinto* [a], *Carlos Domingos* [b], *José Paulo* [b]

[a] AdP VALOR – Serviços Ambientais S.A., R. Visconde Seabra n.º 3, 1700-421 Lisboa, Portugal

[b] Águas Públicas do Alentejo, S.A., Rua Dr. Aresta Branco, n.º 5, 7800-310 Beja, Portugal

ABSTRACT

In the context of increasing pressure on water resources due to the growth of tourism and agricultural activities on the Alentejo Coast, there was a need to assess the situation of existing public water supply systems and their resilience to future challenges. In the diagnosis, water needs were estimated, confirming a scenario of increased water consumption across various uses, if last trends persist. Regarding water availability, water scarcity indices indicate that current water use is unsustainable, with a tendency for their future worsening due the impacts of climate change. However, considering that the water needs for human consumption are relatively negligible compared to the consumption of the other sectors, the state of water bodies is not a constraint on public supply in the future, if the priority use of public supply is safeguarded. Identified solutions are divided into two groups: the first group includes the improvement of existing systems while maintaining the current water sources, whereas the second group encompasses larger interventions aimed at increasing source reliability, including new water sources such as desalination and water reuse.

Keywords: Alentejo coast, water availability, urban water use, intervention strategies, sustainability and water resilience

doi: 10.22181/aer.2025.0405

[*] *Corresponding author*
E-mail: smota@adp.pt

©APESB

1 Introdução

Na zona costeira do Alentejo, verifica-se uma forte dinâmica de desenvolvimento que se perspetiva com a apresentação de projetos de investimento e pedidos de informação prévia junto dos municípios do litoral alentejano, a saber, Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém, Sines e Odemira.

Em Sines, mais propriamente na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS), concentra-se o maior investimento perspetivado, no caso, do setor industrial. A existência de um porto de águas profundas e o desenvolvimento ao nível das vias de caminho-de-ferro para transporte de mercadorias tem atraído para a ZILS novos projetos do setor da indústria e energia.

A sul, com a existência do aproveitamento hidroagrícola do Mira, o concelho de Odemira apresenta um desenvolvimento extraordinário de agricultura de hortícolas e frutos vermelhos que trouxe consigo outro desafio para a região: gestão do recurso hídrico para a atividade agrícola e consumo humano.

Mais recentemente, com o desenvolvimento do setor do turismo no país, no litoral alentejano, a procura turística tem-se intensificado, traduzindo-se não só na transformação de habitações existentes e na construção de novas para a instalação de alojamentos turísticos, mas também no aparecimento de vários investimentos em empreendimentos turísticos de grande dimensão, que incluem campos de golfe.

Por último, os dados que constam das séries climatológicas, no que respeita à precipitação total, indicam que a região é propensa a registar vários anos consecutivos de baixa precipitação total, o que representa um desafio adicional, uma vez que, por norma, ao aumento da atividade económica corresponde um aumento do consumo global do recurso hídrico. A esta dificuldade acresce ainda, a incerteza das consequências que as alterações climáticas poderão ter na região, sendo certo, no entanto, que a um aumento da temperatura média corresponderá uma maior necessidade hídrica das culturas agrícolas.

Neste contexto, as entidades gestoras que detêm a concessão do abastecimento de água em alta, assegurando a captação, o tratamento e adução na região, nomeadamente, a Águas Públicas do Alentejo S.A. (AgDA) e a Águas de Santo André S.A. (AdSA), identificaram a necessidade de perspetivar cenários futuros no abastecimento de água para consumo humano, através da realização de um estudo (adiante identificado como Estudo) que avalie o impacto desta recente dinâmica, tanto no crescimento populacional da região como no consumo das diferentes atividades económicas.

Assim, o presente Estudo teve como objetivo responder às seguintes questões:

1. Quais as necessidades de abastecimento de água para consumo humano, tendo em consideração a dinâmica da evolução populacional e do desenvolvimento industrial previsto para a região do litoral alentejano?
2. Quais as disponibilidades do recurso hídrico na região em estudo e/ou regiões limítrofes, considerando também os efeitos que as alterações climáticas possam ter no acesso ao recurso?
3. Qual a resiliência dos sistemas de abastecimento de água (SAA) existentes e que eventuais alterações serão necessárias em função das conclusões retiradas das duas questões anteriores?

©APESB

2 Metodologia

A complexidade que envolve a resposta às três questões colocadas levou a que o Estudo fosse subdividido em três fases.

A primeira centrou-se na identificação das necessidades hídricas da região em estudo, para os vários setores, com maior detalhe no abastecimento público e industrial, mas incluindo também outros setores, como a agricultura, pelo impacto que podem ter nos recursos hídricos.

Posteriormente, procedeu-se à análise das disponibilidades hídricas identificando as massas de água relevantes para a região, avaliando detalhadamente o estado quantitativo e qualitativo das origens de água superficiais e subterrâneas, bem como de outras origens, como a dessalinização e a reutilização. Foram igualmente integrados os cenários já estudados relativos às alterações climáticas.

Por último, realizou-se o diagnóstico dos sistemas de abastecimento de água existentes e das respetivas infraestruturas, considerando a informação obtida nas análises anteriores, avaliando a sua resiliência e propondo soluções estratégicas para enfrentar os desafios futuros identificados.

3 Necessidades hídricas

O Projeto de Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de 3.º Ciclo (2022-2027) dos Rios Sado e Mira (RH6), que à data da realização do Estudo ainda se encontrava em consulta pública, identifica os volumes captados pelos vários setores utilizadores de água nas diferentes bacias, sub-bacias e massas de água da região hidrográfica, nomeadamente, a agricultura, a pecuária, a indústria, o turismo (golfe) e o abastecimento público.

No caso do abastecimento público, o Projeto de PGRH da RH6 também identifica as necessidades previstas, com tendência decrescente como consequência da diminuição da população.

As previsões relativas ao abastecimento público e da indústria, que constam nos PGRH da RH6 baseiam-se nas tendências históricas desdobradas em três cenários (minimalista, *Business as usual* - BAU e maximalista).

Assim, pelo facto dos PGRH se basearem em tendências históricas, que são decrescentes, e que, por serem históricas, não consideram eventuais cenários disruptivos que a eventual aprovação de projetos de investimento de grande dimensão podem provocar numa região de baixa densidade populacional e de reduzida atividade económica, considerou-se necessário proceder a uma análise especifica do abastecimento público, com o objetivo de compreender se a dinâmica de crescimento das atividades turística, industrial e agrícola, em contraste com a tendência histórica de decréscimo populacional, poderá afetar o efetivo populacional da região, tanto residente como flutuante, e, por conseguinte, o aumentar a procura pelo recurso hídrico nos sistemas de abastecimento público.

Esta problemática da evolução do efetivo populacional na região, devido à incerteza que o futuro representa, justificou o desenvolvimento de um estudo específico, numa parceria entre a AgDA e a *NOVA Information Management School* (NOVA IMS), que foi utilizado para estimar a evolução dos volumes de água necessários para o consumo humano na região.

Relativamente aos consumos industriais, para o presente estudo, importava estimar, tanto quanto possível, os volumes de água potável a fornecer às indústrias, mais concretamente aos investimentos localizados na ZILS. Os cenários analisados tiveram em consideração

©APESB

os recentes pedidos de informação prévia e as manifestações de interesse submetidas junto da AdSA, bem como a recolha de informação de projetos semelhantes implantados no nosso país.

3.1 Abastecimento público

3.1.1 População residente

A evolução da população residente no Litoral Alentejano entre 2022 e 2045 foi modelada com recurso ao *software "R"*, no qual se combinaram vários indicadores socioeconómicos em função dos cenários a estudar, que têm por base duas dinâmicas principais:

1. Dinâmica Natural – Considerando uma projeção de nascimentos e óbitos, utilizando taxas de natalidade e mortalidade por mil habitantes, foram projetados três cenários (médio, superior e inferior) para nascimentos e óbitos. Relativamente ao cálculo do saldo natural, a diferença entre nascimentos e óbitos projetados indica o crescimento ou decréscimo populacional devido a fatores naturais.
2. Saldo Migratório – Recorreu-se ao modelo Bayesiano Hierárquico Espacial, um modelo estatístico que combina dados do CENSOS de 2021 com indicadores socioeconómicos relevantes para projetar o saldo migratório. O modelo utiliza um conjunto de variáveis, tais como a população estrangeira a solicitar residência, os fogos licenciados, a capacidade de alojamento turístico, o número de dormidas em estabelecimentos turísticos, o consumo de eletricidade (industrial e agrícola), o número de edifícios licenciados para turismo e a recolha de resíduos urbanos. O modelo foi treinado com dados de 1991 a 2015 e testado com dados de 2016 a 2021 para avaliar a sua precisão. Com base nos indicadores socioeconómicos projetados, estimou-se o saldo migratório futuro, que representa a diferença entre imigrantes e emigrantes.

No entanto, a inversão de tendências numa série histórica com vários anos pode não ter repercussão nos resultados, caso não apresente uma grande dimensão, o que dificulta todo o processo preditivo. Por esse motivo, no Estudo, desenvolveram-se dois cenários: um denominado NOVA IMS, cujo modelo preditivo se baseia num modelo clássico com base nas séries históricas de vários indicadores; e um segundo cenário, denominado Tendência Recente, que considerou apenas cinco indicadores socioeconómicos e a sua evolução recente nos últimos cinco anos (Fig. 1).

Projeção elaborada com base nas séries históricas (NOVA IMS).

Município	Censos	Projeção NOVA IMS		Projeção TR	
	2021	2025	2045	2025	2045
Alcácer do Sal	11110	10309	6148	10853	9553
Grândola	13821	13277	11969	13958	13889
Santiago do Cacém	27769	27207	22880	28033	29333
Sines	14199	14025	12410	14536	16216
Odemira	29568	30585	32677	30491	32844
Total	**96467**	**95403**	**86084**	**97871**	**101835**

Projeção ajustada com base na **Tendência Recente** (5 anos) e perspetivas de desenvolvimento dos setores do turismo e industrial na região.
- Saldo Migratório;
- Taxa de Desemprego;
- Evolução de n.º de camas;
- População residente;
- Estimativa de novos empregos.

Figura 1. População residente identificada no CENSOS 2021 e os resultados obtidos para os cenários NOVA IMS e Tendência Recente (TR)

3.1.2 População flutuante

A evolução da população flutuante também foi estimada com recurso a um modelo preditivo assente nas séries históricas de alguns indicadores, nomeadamente, o número de camas disponíveis em hotéis, alojamento local, turismo rural e parques de campismo,

o número de habitações secundárias, as taxas de ocupação e a população agrícola não residente (no caso específico do município de Odemira). Estes indicadores permitiram traçar linhas de tendência por município, no entanto, uma vez mais, sustentam-se em dados históricos.

Para além dos indicadores anteriormente referidos, foram analisadas algumas restrições, como a Intensidade Turística Máxima Concelhia (ITMáxC), que avalia a pressão do turismo sobre os recursos hídricos, relacionando a população com a área do município, de acordo com o previsto no Plano Regional de Ordenamento do Território Alentejano (PROTA). Este fator limita a oferta turística, mas, por outro lado, permite a transferência de quotas entre municípios da mesma região. Outra restrição ao modelo prende-se com a Estratégia Regional de Desenvolvimento Turístico do Alentejo e Ribatejo (2021-2027), que estabelece objetivos para a evolução do número de camas na região, bem como, para a evolução da taxa de ocupação anual.

Por último, foram identificados todos os pedidos de licenciamento e de informação prévia registados nos municípios da região e no Turismo de Portugal, bem como, a evolução da taxa de concretização por município.

A previsão da evolução da população flutuante resultou da conjugação de todos os indicadores e restrições referidas anteriormente.

3.1.3 Resultados do efetivo populacional

Os resultados do estudo populacional indicam que a dinâmica migratória poderá desempenhar um papel crucial na evolução da população, podendo compensar ou até inverter a tendência de decréscimo populacional observada na dinâmica natural (nascimentos e óbitos) da região. Em Odemira, a projeção aponta para um crescimento populacional impulsionado pela forte dinâmica migratória, que compensa o saldo natural negativo. Nos restantes municípios, a dinâmica migratória só atenua a tendência de decréscimo. No que respeita à evolução da população flutuante, associada ao turismo e às segundas habitações, verifica-se que ambas apresentam tendências de crescimento. No entanto, a modelação permitiu verificar que os resultados são sensíveis a variações nos indicadores socioeconómicos e, como tal, recomenda-se que as projeções sejam monitorizadas e atualizadas a cada três anos.

3.1.4 Volumes de água para consumo humano

Na determinação das necessidades hídricas, para o consumo humano na região em estudo, foram consideradas as capitações médias registadas nos municípios para a população residente e flutuante, com origem em habitação secundária e alojamento local. Já para os empreendimentos turísticos, foram consideradas as capitações médias habitualmente usadas no setor.

No decorrer do desenvolvimento do Estudo, colocou-se a questão se faria sentido considerar ou não que, entre 2025 e 2045 (horizonte de projeto), seriam implementadas medidas de eficiência hídrica na região, nomeadamente a redução de perdas nos sistemas de adução e distribuição de água, a redução das capitações domésticas e otimização do consumo nos empreendimentos turísticos. A opção recaiu na consideração de uma otimização dos consumos e das perdas, resultando, em termos globais, numa redução em cerca de 18% face ao cenário atual e com impacto no volume total de água captada para consumo humano.

©APESB

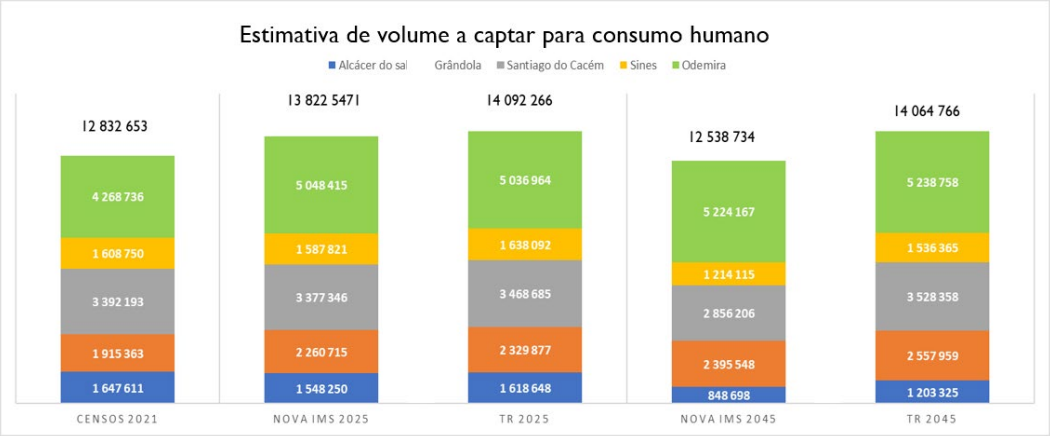


Figura 2. Estimativa de evolução do volume a captar para consumo humano 2021,2025 e 2045 para os cenários NOVA IMS e Tendência Recente

Importa referir que, ao considerar-se a implementação de medidas de eficiência hídrica, estas contribuem para mitigar o efeito da evolução do efetivo populacional. Assim, no pior cenário (TR 2045), o volume estimado de 14.06 hm^3 está condicionado por uma redução de 18%, o que significa que, caso não sejam implementadas medidas de eficiência hídrica, a previsão de volume a captar para consumo humano poderá atingir 16.6 hm^3, representando um aumento de 30% face a 2021.

3.1.5 Volumes de água potável associados ao desenvolvimento industrial

A metodologia utilizada nos Projetos de PGRH para estimar os volumes captados pelo setor da indústria, assenta na premissa de que a evolução da produção industrial é função da evolução do Valor Acrescentado Bruto (VBA). Uma vez que, no período de referência considerado na elaboração dos PGRH, este indicador foi negativo para a RH6, os cenários prospetivos apresentados no PGRH preveem uma redução do volume captado, ou seja, uma redução da atividade. Este cenário choca com os pedidos de informação prévia apresentados e com as expectativas criadas na região e com os pressupostos assumidos no cenário prospetivo do Estudo.

Na parte que interessa aos SAA da AgDA e AdSA, a componente industrial foi considerada em duas dimensões: a pequena indústria disseminada e a associada aos grandes investimentos disruptivos.

A evolução do consumo associado à pequena indústria foi considerada agregada ao aumento do efetivo populacional, com base nas capitações médias consideradas. Já os consumos associados aos grandes investimentos disruptivos, como os previstos na ZILS ou no novo polo logístico de Grândola, foram estimados com base na informação disponibilizada nos pedidos de licenciamento e/ou de informação prévia ou por analogia com indústrias de dimensão e atividades semelhantes.

4 Disponibilidades hídricas

A análise das disponibilidades hídricas constante no Estudo, teve como base uma revisão bibliográfica sobre o estado quantitativo das massas de água subterrâneas e superficiais da região, nomeadamente o PGRH da RH6 (APA, 2021).

De uma forma geral, as disponibilidades hídricas, tanto de origem subterrânea como superficial, apresentam uma tendência negativa, com índices de escassez elevada a extrema. Neste particular, foi consultado o índice WEI+ (*Water Exploitation Index*), que corresponde à razão entre a procura média anual de água e os recursos médios disponíveis a longo prazo, permitindo assim avaliar o stress hídrico a que um território está

sujeito. No caso da região em estudo, verifica-se que o índice WEI+ encontra-se acima ou próximo de 40% para as massas de água subterrâneas e acima de 75% na maioria das massas de água superficiais da região (Fig. 3).

Importa referir que grande parte dos sistemas de abastecimento público de água existentes na zona costeira do Litoral Alentejano têm origem em massas de água subterrâneas, excetuando a zona de Odemira, onde a maior parte do abastecimento do município tem origem na albufeira de Santa Clara (Mira). Um estudo recente relativo a esta albufeira (Bluefocus, 2023) identificou um cenário de insustentabilidade dos consumos do recurso hídrico que têm sido explorados até ao momento.

Por outro lado, verificou-se que as necessidades de água atuais e futuras estimadas para o abastecimento de água para o consumo humano, são relativamente reduzidas face às necessidades previstas para os restantes setores, representando cerca de 2% do total.

Assim, conclui-se que o estado das massas de água na região não constitui uma condicionante ao crescimento das necessidades para o abastecimento público, desde que seja assegurada uma gestão adequada do recurso e garantido o uso prioritário do consumo humano.

No que que concerne ao plano de expansão da ZILS, os volumes estimados são de uma dimensão incompatível com as disponibilidades hídricas da região, tornando-se necessário recorrer a soluções alternativas como o transvase entre bacias, a dessalinização ou a reutilização de água.

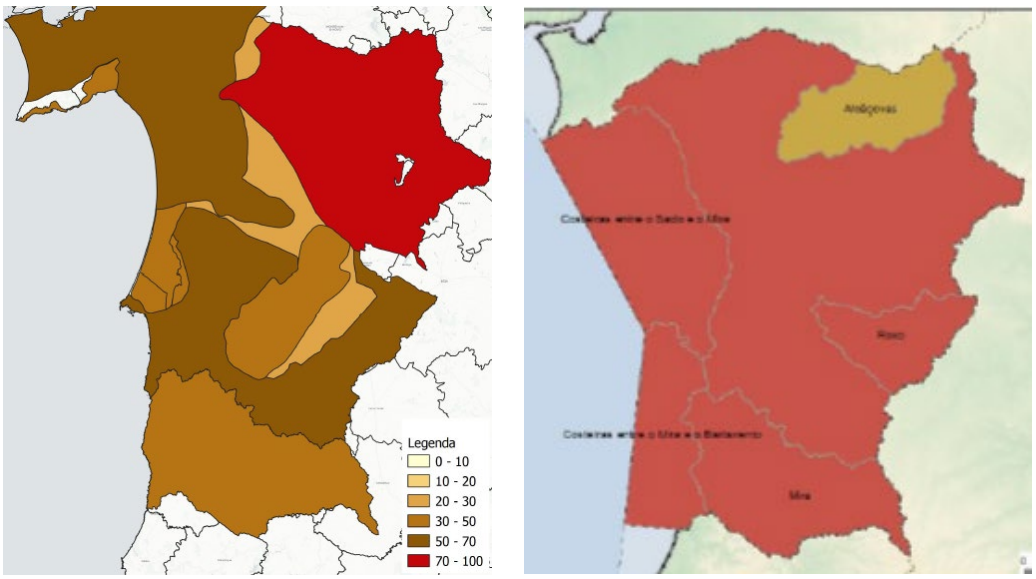


Figura 3. Estado das massas de água subterrâneas (esquerda) e superficiais (direita) segundo o índice WEI⁺ – APA 2022

5 Diagnóstico dos sistemas de abastecimento de água

A avaliação dos sistemas de abastecimento de água foi realizada com base numa comparação entre as necessidades e as disponibilidades das origens, associadas a cada sistema, tendo sido analisada a capacidade destas últimas em satisfazer a procura para o abastecimento público de água, bem como a capacidade atual das várias infraestruturas que compõem os SAA (captação/tratamento, adução e reserva) em responder ao aumento da procura previsto para o nível de serviço preconizado no Grupo Águas de Portugal. Para cada sistema foi também incluída uma avaliação da origem em função da concorrência existente pelo recurso hídrico (diagnosticada nas disponibilidades), registos de dificuldades operacionais de extração e irregularidade dos parâmetros de qualidade.

Do conjunto de 42 SAA analisados, foram identificadas necessidades de intervenção em cerca de 30 sistemas existentes de modo a garantir a necessária resiliência do abastecimento de água face à evolução prevista dos consumos de água.

O Estudo incorpora um mapa da região com todos os subsistemas georreferenciados (Fig. 4), assinalando o resultado do diagnóstico para os quatro vetores considerados: origem, captação, adução e reserva. O resultado do diagnóstico foi sinalizado com três cores: verde para os que não apresentam problemas, amarelo para os potencialmente preocupantes e vermelho para os preocupantes. Tendo sempre presente que o estudo tem por base cenários prospetivos, com elevada probabilidade de não se concretizarem, optou-se por atribuir o estado "preocupante" apenas a situações que atualmente já representam dificuldades operacionais às entidades gestoras

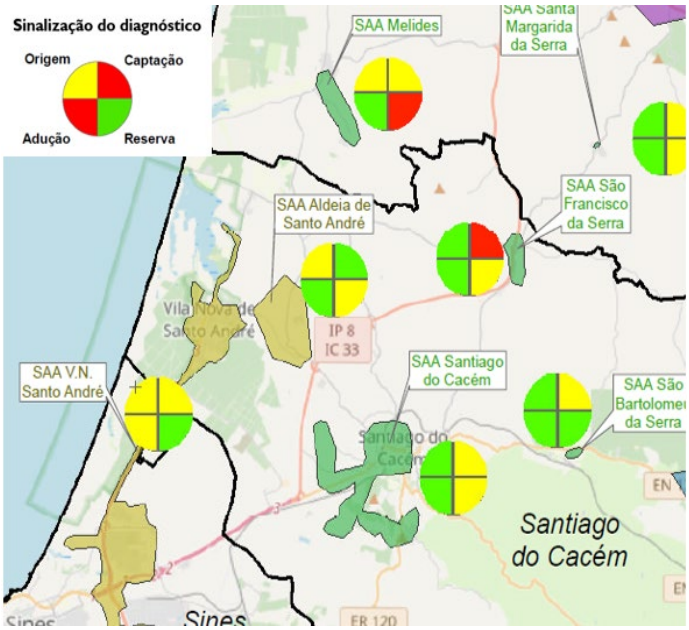


Figura 4. Excerto do mapa de diagnóstico

Na definição de estratégias de intervenção, os vetores diagnosticados como preocupantes foram classificados como prioritários e, como tal, integrados nas medidas de resolução no curto prazo.

6 Estratégias de intervenção

Tendo em consideração a evolução dos volumes obtida no estudo das necessidades hídricas, o resultado do diagnóstico e os critérios subjacentes ao mesmo, considerou-se pertinente definir propostas de curto-prazo, de menor dimensão e investimento, mas de resposta imediata, bem como medidas de médio e longo prazo, de maior dimensão e investimento que responderão apenas ao pior cenário de falha nas atuais origens de água.

Assim, em resumo, as medidas de curto prazo visam beneficiar os SAA existentes nas componentes de captação, adução e reserva, através de intervenções que respondam ao resultado obtido no diagnóstico, como sendo, reforço de captação ou interligação de sistemas de captação e aumento de reserva. Já as medidas de médio e longo prazo têm como principal objetivo reforçar a resiliência na origem, ou seja, aumento da fiabilidade no acesso ao recurso e garantia de fornecimento no pior cenário prospetivo.

A resiliência na origem pode ser obtida através da diversificação das origens, nomeadamente o recurso a transvases entre bacias, a dessalinização ou a reutilização.

No estudo foram identificadas soluções compatíveis com os sistemas de abastecimento existentes, definindo, ao nível de estudo preliminar, possíveis traçados e as infraestruturas necessárias para interligar aos vários subsistemas, incluindo também uma estimativa de custo para cada solução.

As soluções previstas incluem o reforço através da ligação ao empreendimento de fins múltiplos do Alqueva (EFMA) e/ou a dessalinização, especialmente para o abastecimento da zona norte, que abrange os concelhos de Sines, Santiago do Cacém, Alcácer do Sal e Grândola (Fig. 5).

Para a zona a Sul, que inclui o concelho de Odemira, foram analisadas várias soluções como por exemplo, a possibilidade de reforços do abastecimento de água a partir de uma conduta com origem numa captação direta na albufeira de Santa Clara, a ligação ao EFMA via a albufeira de Morgavel ou a ligação uma unidade de dessalinização na zona de Sines (Fig. 5).

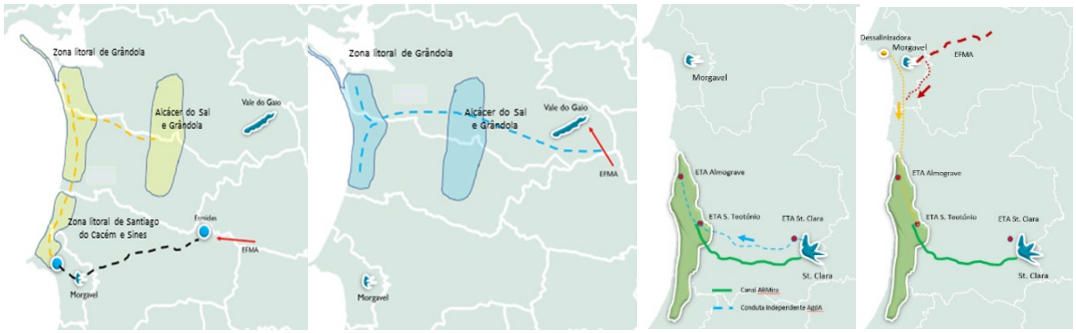


Figura 5. Exemplos de soluções de médio/longo prazo estudadas para a zona norte e zona sul do litoral alentejano

7 Conclusões

A análise demográfica e de cenarização económica considerada no Estudo permitiu concluir que, caso as tendências recentes se confirmem, o aumento do consumo de água nos municípios estudados é um cenário válido, sendo mais acentuado nos subsistemas existentes na faixa costeira e nos grandes centros urbanos.

Este aumento poderá ser minimizado e eventualmente controlado, através da adoção de medidas de eficiência hídrica, essenciais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos da região. O Estudo também identifica uma tendência de crescimento das necessidades hídricas para os restantes setores que competem pelo recurso, agravada pelos cenários de alterações climáticas, que poderão impactar no funcionamento e no modo como foram concebidos os sistemas de abastecimento presentes no litoral alentejano.

Foram definidas estratégias de intervenção agrupadas em medidas de curto e de médio/longo prazo. As medidas de curto prazo têm como objetivo responder às necessidades atuais e reforçar a resiliência dos sistemas, nos vetores de captação, adução e reserva. Já as medidas de médio e longo prazo procuram responder às necessidades estimadas nos cenários prospetivos, considerando o impacto das alterações climáticas e atuando principalmente ao nível da origem da água. A dimensão e custo das medidas de médio e longo prazo, recomendam a procura de sinergias entre as entidades gestoras e os diferentes setores consumidores de recursos hídricos.

©APESB

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração dos municípios de Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém, Sines e Odemira pelos contributos essenciais ao desenvolvimento do Estudo.

Referências

AdP e AgDA (2019) Plano Estratégico de Adaptação às Alterações Climáticas da Águas Públicas do Alentejo – *Road Map* para a Adaptação. Águas de Portugal (AdP). Águas Públicas do Alentejo (AgDA).

AdP VALOR (2023). AgDA - Águas Públicas do Alentejo, S.A.. Abastecimento de Água ao Litoral Alentejano: Zona Costeira de Grândola, Santiago do Cacém, Sines, Alcácer do Sal e Zona Norte de Odemira. Nota Técnica. Tomo I - Estudo das necessidades futuras de abastecimento de água. Tomo II - Disponibilidades hídricas atuais e futuras. Tomo III - Identificação de Soluções de Reforço e/ou Resiliência.

AdSA (2022) Expansão da ZILS, oportunidades e desafios

APA (2022). APA (2022) - Plano de Gestão de Região Hidrográfica 3.º Ciclo | 2022 – 2027 Sado e Mira (RH6). Versão para Consulta Pública de Projeto de PGRH. Agência Portuguesa do Ambiente. Janeiro de 2022.

APA & DGADR (2022). Bases para o Plano Regional de Eficiência Hídrica das Regiões Hidrográficas do Sado e Mira e Guadiana. Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Alentejo, e Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR). Versão de Trabalho. Janeiro de 2022.

APA, Nemus, Bluefocus Hidromod (2021). Avaliação das Disponibilidades Hídricas Actuais e Futuras e Aplicação do Índice de Escassez WEI+.

Bluefocus (2023). Critérios de salvaguarda da disponibilidade de água para abastecimento humano a partir da albufeira de Santa Clara.

Contrato de Concessão relativo à Utilização dos Recursos Hídricos para Captação de Água destinada à Rega e à Produção de Energia Elétrica no Sistema Primário do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva.

ERT (2020). Estratégia Regional de Desenvolvimento Turístico do Alentejo e Ribatejo 2021-27. Entidade Regional do Turismo do Alentejo e Ribatejo. EY-Parthenon. Dezembro 2020.

Minuta da 1.ª Adenda ao Contrato de Concessão relativo à Utilização dos Recursos Hídricos para Captação de Águas destinadas à Rega e à Produção de Energia Elétrica no Sistema Primário do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva

Portal de estimativa de custos de sistemas de dessalinização – https://www.desaldata.com/

PROTA (2010). Plano Regional de Ordenamento do Território Alentejano (PROTA). Aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros (RCM) n.º 53/2010, de 2 de agosto. Diário da República, 1.ª série — N.º 148 — 2 de agosto de 2010.

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – https://www.sniamb.apambiente.pt/

OTIMIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA EM ETAR

Ana Dias [a], Hugo Malgueiro [a], Ilídio Barata [a], João Nascimento [a], Ivo Leite [a,]*

[a] AQUALEVEL, Avenida Joaquim Neves dos Santos n.º 122, 4450-394 Matosinhos, Portugal

RESUMO

O presente trabalho apresenta a otimização da utilização das fontes de energia disponíveis na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Matosinhos (Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), cogeração a biogás e energia fotovoltaica), aliada à análise do grau de utilização dos principais equipamentos. Este processo é gerido através de uma ferramenta que incorpora os dados em tempo real provenientes de cada um dos equipamentos, recorrendo à sucessiva compreensão da interligação causal associada e a algoritmos que espelham nexos e hipóteses validadas de forma automatizada. Os principais desafios foram o desconhecimento das variáveis de controlo a selecionar, o método de algoritmização dos *setpoints*, a rapidez de reação do sistema de cogeração ao nível do seu regime de funcionamento, a variabilidade na fonte de energia solar e a impossibilidade de injeção de energia elétrica na RESP. A solução desenvolvida possibilitou o aumento do nível de autossuficiência, considerando-se as especificidades técnicas das fontes de energia próprias e a minimização do uso de energia da RESP. Foram também mitigadas diversas incertezas existentes, tendo isto resultado num nível de autossuficiência energética da ETAR de Matosinhos de 78% (2022), sendo 68% da energia produzida pela cogeração e 10% pelos parques solares.

Palavras-Chave: Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), fontes de energia endógenas, autossuficiência energética, cogeração, painéis fotovoltaicos

doi: 10.22181/aer.2025.0406

[*] *Autor para correspondência.*
E-mail: ivoleite@aqualevel.pt

©APESB

ENERGY SOURCES OPTIMIZATION IN WWTP

Ana Dias [a], Hugo Malgueiro [a], Ilídio Barata [a], João Nascimento [a], Ivo Leite [a,]*

[a] AQUALEVEL, Avenida Joaquim Neves dos Santos n.º 122, 4450-394 Matosinhos, Portugal

ABSTRACT

This work presents the optimization of the use of energy sources available at the Matosinhos Wastewater Treatment Station (WWTP) (National Electric Grid, biogas cogeneration and photovoltaic energy), combined with the analysis of the degree of use of the main equipment. This process is managed through a tool that incorporates real-time data from each equipment, using the successive understanding of the associated causal interconnection and algorithms that reflect connections and validated hypotheses in an automated way. The main challenges were the lack of knowledge of the control variables to be selected, the setpoint algorithm method, the speed of reaction of the cogeneration system in terms of its operating regime, the variability in the solar energy source and the impossibility of energy injection in RESP. The developed solution made possible to increase the level of self-sufficiency, considering the technical specificities of the company's own energy sources and minimizing the use of RESP energy. Several existing uncertainties were also mitigated, resulting in a level of energy self-sufficiency at the Matosinhos WWTP of 78% (2022), with 68% of the energy produced through cogeneration and 10% by solar parks.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), endogenous energy sources, energy self-sufficiency, cogeneration, photovoltaic panels

doi: 10.22181/aer.2025.0406

* *Corresponding author.*
E-mail: ivoleite@aqualevel.pt

©APESB

1 Introdução

As Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) têm a si associado, de forma indelével, um processo industrial com um consumo energético intensivo. Ao nível económico, numa ETAR convencional, cerca de 25 a 40% dos custos operacionais são atribuíveis ao consumo de energia (Panepinto et al. 2015). Consequentemente, torna-se de grande importância aumentar a eficiência desta vertente em particular, que se alinha com a crescente importância da sustentabilidade, levando ao aumento da latitude da responsabilidade pela monitorização de toda a cadeia de valor em que se inserem, através de práticas concretas, como a aplicação de conceitos e projetos associados à economia circular. Destaca-se, complementarmente, a flutuação dos preços de energia devido a fenómenos climáticos e fatores geopolíticos relevantes, resultando no reforço do interesse na endogeneização destes riscos e na utilização de soluções alternativas à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

Deste modo, e sob a motivação competitiva e ambiental indissociáveis da visão estratégica e operacional do Grupo Indaqua, releva-se que têm vindo a ser realizados investimentos contínuos em soluções com foco no aumento da eficiência, não só ao nível dos próprios processos de tratamento, como também através do recurso a soluções vanguardistas, para minimização do consumo de reagentes e da produção de resíduos.

Face ao enquadramento apresentado, o principal objetivo do presente trabalho é a maximização da eficiência de utilização das fontes de energia disponíveis numa dada ETAR, enquanto é visada a posterior inclusão da própria gestão do grau de utilização dos principais grupos de equipamentos consumidores de energia. A solução encontrada foi o desenvolvimento e a utilização de uma ferramenta para a gestão de todo o processo em tempo real.

2 Metodologia

A ETAR de Matosinhos entrou em funcionamento em fevereiro de 1999, com nível de tratamento primário. Em 2018, foi alvo de obras de remodelação e ampliação por forma a conferir ao efluente final as características resultantes de um tratamento secundário. Atualmente, a ETAR possui capacidade para tratar um caudal de cerca de 52.662 m^3/dia, o que corresponde a uma população equivalente de 329.138 habitantes.

No âmbito das obras de ampliação foi incluída uma etapa de cogeração para aproveitamento energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de lamas, através de dois motores de combustão interna (2 x 630 kVA), conforme apresentado na Figura 1.

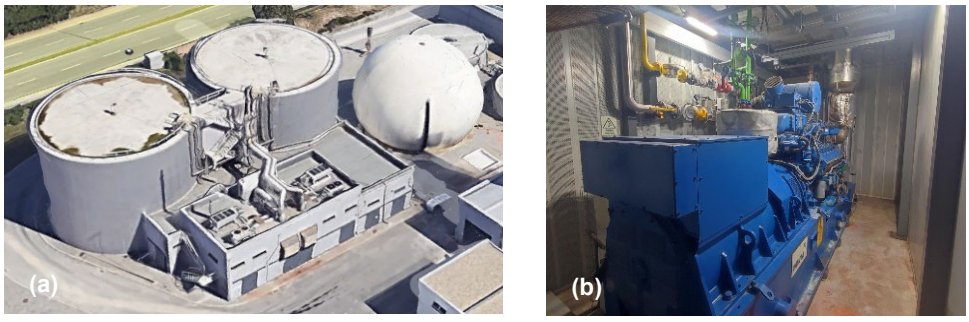


Figura 1. Etapa de digestão anaeróbia (a) e cogeração (b) da ETAR de Matosinhos

Em 2021, foi instalado um parque solar na cobertura do edifício do tratamento preliminar e tratamento primário (Figura 2.a) e em 2022 este sistema foi ampliado com a construção do segundo parque solar em terrenos livres integrados na ETAR (Figura 2.b),

©APESB

apresentando uma potência total nominal de 390 kW, que vieram complementar a cogeração e a RESP.



Figura 2. Parques solares da ETAR de Matosinhos, primeira fase (a) e segunda fase (b) (fonte: *Google Earth*)

No período antecedente à implementação do presente trabalho, os sistemas de energia endógenos (cogeração) operavam como sistemas independentes, sendo complementados pela energia da rede, ou seja, não havia qualquer interligação entre a cogeração, a rede e o solar, levando a que a primeira operasse sempre na mesma potência e, por isso, houvesse lugar ao desperdício materializado na queima do biogás. Tecnicamente, esta independência era reforçada pela inexistência de controlos automáticos de cada uma destas fontes, passando, portanto, pelo controlo manual das mesmas. Esta situação obrigava a uma perda de recursos e a um constante ajuste dos *setpoints* dos recursos endógenos. A Figura 3 apresenta a esquematização original das fontes de energia no sistema SCADA da ETAR.

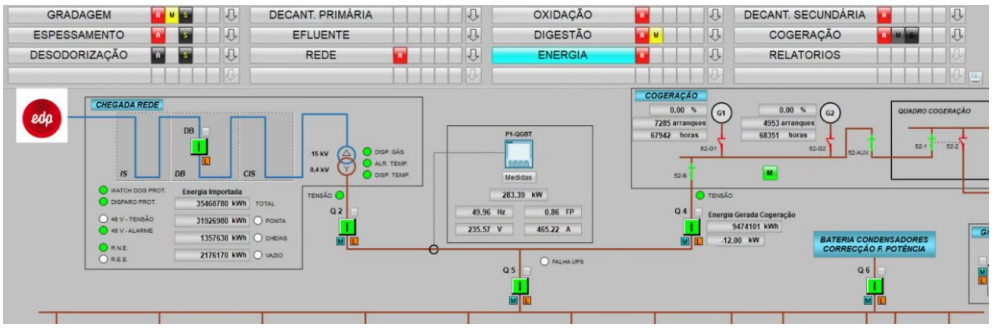


Figura 3. Esquema original das fontes de energia utilizadas em SCADA

A esta conjuntura, impunha-se a condição exógena da impossibilidade de injeção de energia elétrica na rede, fazendo com que todos os fornecimentos internos não pudessem ser superiores ao consumo instantâneo necessário, sob pena de disparo do equipamento que atua o controlo de proibição de injeção de potência na RESP. A concretização desta situação, por motivo de segurança da instalação, originava a paragem abrupta de todas as fontes de energia, efetuando-se, na prática, um corte completo de energia elétrica à ETAR. Era posteriormente necessário efetuar um rearme manual dos vários equipamentos, levando a um descontrolo pontual do processo de tratamento.

O segundo parque solar, instalado em 2022, contribuiu ainda mais para esta problemática uma vez que para além do aumento da potência instalada, esta fonte de energia é caracterizada pela sua volatilidade, espelhada por exemplo numa diminuição da produção num múltiplo de dez vezes, devido à ocorrência de fenómenos climatéricos como a passagem de nuvens ou sombras.

Deste modo, foi necessário desenvolver uma solução capaz de equilibrar em tempo real, as três fontes de energia disponíveis, considerando-se as especificidades técnicas de cada uma delas e visando também a minimização da utilização da energia da RESP. Neste âmbito, numa primeira fase foi efetuada a recolha e integração de dados nevrálgicos para a otimização das fontes de energia renováveis. Assim, foram obtidos dados meteorológicos relativos à temperatura e pluviosidade, via Interface de Programação de Aplicações (API) do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), cruciais para prever a produção de energia solar. Simultaneamente, foram estruturados os *data sets* internos de consumo e produção de energia das unidades de energia renovável, incluindo medições dos diversos contadores de energia da ETAR e do operador de rede E-Redes. Mais ainda, procedeu-se à harmonização dos formatos de dados e validação da precisão e a coerência dos *data sets* integrados, garantindo que a robustez e fiabilidade para suportar as análises avançadas inerentes às fases subsequentes.

Na segunda fase, os dados recolhidos foram analisados em detalhe, sendo por isso possível proceder-se ao aprofundamento da problematização associada à plena automatização em tempo real das fontes energéticas concorrentes no sistema. Nestes termos, destacam-se as seguintes questões técnicas:

- Não foi possível apurar a relação ótima entre a combinação do sistema solar num dia de produção maximizada, isto é céu pouco nublado ou limpo, com a utilização do cogerador para produção de calor, de modo a maximizar o posterior fornecimento de biogás em períodos de não existência de sol;
- Não foi possível definir se o recurso in continuum dos cogeradores quando existe biogás disponível maximizava a eficiência do *mix* energético em estudo;
- Desconhecimento do período horário ótimo para a utilização dos cogeradores face às previsões da tríade de fatores - consumo de energia, previsão meteorológica e custo energético.

Partindo da mesma raiz analítica, e considerando as problemáticas levantadas, foram selecionadas três tipologias algorítmicas a serem estudadas com base numa primeira análise de foro teórico para uma modelação de base temporal. Concretamente, optou-se pelos seguintes: ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) e *Prophet,* algoritmo de base temporal e com grande componente sazonal.

Estes algoritmos de previsão são concebidos especialmente para a análise computacional de séries temporais, que associam um valor a uma data e hora. Os dados apresentados aos algoritmos devem de ser limpos de variáveis anómalas e uniformizados, de modo a produzirem resultados viáveis.

Os algoritmos ARIMA e SARIMA baseiam-se na identificação e análise de períodos de média móvel. Após a identificação desses períodos, procede-se à sua análise em conjugação com a data/ hora, formulando uma hipótese de previsão. Esta hipótese tende a ser mais precisa quanto maior for o número de dados históricos disponíveis.

No algoritmo *Prophet*, a identificação e análise de dados é efetuada em três grandes classes: tendência, sazonalidade e eventos excecionais (Taylor e Letham 2017). Estas categorias permitem, posteriormente, a identificação de períodos de média móvel e a análise da sua tendência ao longo do tempo. Tal como nos algoritmos anteriores, o *Prophet* formula uma hipótese de previsão, cuja precisão aumenta com a quantidade de dados históricos fornecidos.

Na terceira fase, os esforços foram centrados na concetualização, na seleção de hipóteses e na realização de testes rigorosos, essenciais para abordar as questões

©APESB

técnicas supra identificadas, sendo determinante para validar as abordagens propostas e assegurar a eficácia dos sistemas automatizados de regulação de energia.

Primeiramente, foi testada a hipótese associada à utilização da caldeira a biogás para o aquecimento das lamas em dias de elevada produção solar, ao invés de se proceder unicamente ao armazenamento do biogás, cogitando-se a possibilidade de incremento da eficiência energética. Para este efeito, foi implementado um sistema de monitorização, possibilitando uma análise aprofundada dos benefícios desta abordagem.

Em segundo lugar, procedeu-se à análise dos dados históricos em intervalos horários de uma hora, para validar os melhores períodos de utilização da energia da cogeração.

Em paralelo, efetuaram-se testes iterativos com os algoritmos de previsão anteriormente selecionados, utilizando dados reais de consumo e produção de energia. Esses testes possibilitaram a realização de ajustes nos modelos preditivos, melhorando sua precisão e capacidade de resposta às variáveis dinâmicas do sistema. Com base nos resultados, procedeu-se ainda ao ajuste fino das ferramentas de otimização para refletirem mais fielmente os dados reais e as condições operacionais, ou seja, este processo iterativo envolveu a calibração contínua dos modelos e a incorporação de feedback, procurando também garantir uma maior maturidade tecnológica à solução desenvolvida.

Os testes levados a cabo nesta terceira fase criaram a base para a validação, numa fase posterior, das hipóteses definidas, assegurando a eficácia das abordagens propostas face às problemáticas técnicas em estudo.

3 Resultados e discussão

Os resultados dos testes iterativos com os algoritmos de previsão foram meticulosamente analisados para identificar discrepâncias e obter insights relevantes. Assim, em primeiro lugar, notou-se que, devido à quantidade de dados e aos eventos temporais, o modelo ARIMA foi colocado de parte, pois necessitava de etapas de tratamento informacional adicionais, o que não era compatível com a análise em tempo real. Após a realização de várias análises gráficas e da obtenção dos modelos de treino, verificou-se que o modelo *Prophet* permitiu uma maior assertividade e intervalo de confiança que o modelo SARIMA, mesmo considerando que estes dois últimos algoritmos permitem sazonalidade, devido ao facto de o modelo *Prophet* se ter apresentado como mais resistente as várias falhas de dados pontuais que ocorrem nos sistemas de instrumentação relevantes.

O desenvolvimento da ferramenta avançada de cálculo, com base no algoritmo selecionado, permitiu decidir de forma precisa e eficiente quando utilizar a cogeração, otimizando o balanço entre a produção interna de energia e a dependência da energia proveniente do exterior através da RESP.

Os dados apresentados no Quadro 1, referem-se ao ano de 2020 (situação inicial) em que apenas estava disponível a energia da RESP e a energia gerada pela cogeração, ao ano de 2021 em que foi instalado o primeiro parque solar e ao ano de 2022 em que foi instalado o segundo parque solar e implementada a ferramenta para regulação automática das várias fontes de energia.

Quadro 1. Distribuição de consumos de energia das fontes disponíveis na ETAR de Matosinhos entre os anos de 2020 e 2022

	2020	2021	2022
Energia rede (MWh)	2 712 (64%)	2 566 (59%)	1 013 (22%)
Energia cogeração (MWh)	1 505 (36%)	1 721 (39%)	3 100 (68%)
Energia solar (MWh)	0	78 (2%)	447 (10%)
Energia total ETAR (MWh)	**4 217**	**4 365**	**4 560**

©APESB

Com base nos valores anuais do consumo de energia apresentados no Quadro 1, constata-se que a implementação desta ferramenta possibilitou obter um grande acréscimo na produção de energia pela cogeração que, conjuntamente com a energia produzida pelos parques solares, permitiu reduzir para 22% a utilização da energia externa (RESP).

Observou-se que, quando disponível e em períodos de elevada produção solar ou baixa necessidade de energia elétrica, a utilização do biogás no aquecimento das lamas aumentou significativamente o volume total de produção de biogás. Esta prática não só potenciou a produção própria, como também incrementou a capacidade de armazenamento de energia, contribuindo para uma maior autonomia energética da instalação.

Os dados gerados por esta ferramenta foram ainda disponibilizados num *front-end*, utilizado internamente, propiciando um ambiente gráfico (exemplo de visualização apresentado na Figura 4) no qual os responsáveis operacionais passaram a conseguir planear e tomar decisões de forma intuitiva com base nessa informação, reagindo preventivamente às alterações dos *inputs* de chegada que não são controláveis, como por exemplo o caudal afluente, e, por isso, contribuindo para a melhoria qualitativa dos padrões emergentes nos dados.



Figura 4. *User Interface* da aplicação desenvolvida para o controlo informacional das fontes de energia

Para além disto, a operacionalização da ferramenta também se espelhou na transformação da esquemática do sistema de controlo industrial SCADA da ETAR, que passou a incluir a informação sobre a energia gerada pelos parques solares e a energia total consumida, conforme se pode verificar na Figura 5.

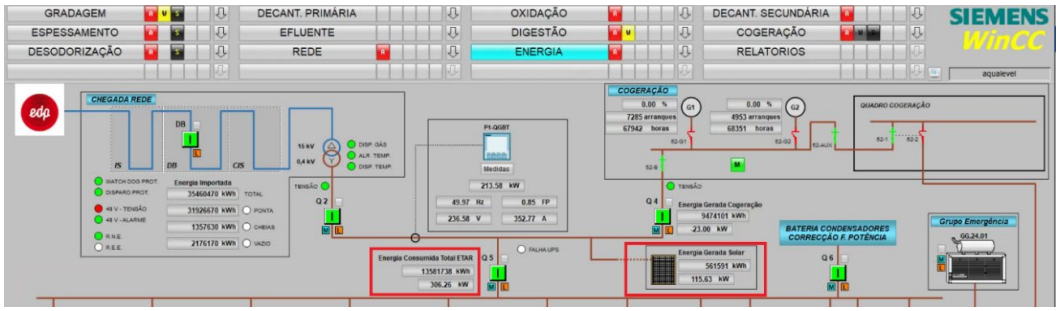


Figura 5. Esquema das novas fontes de energia utilizadas em SCADA

©APESB

4 CONCLUSÕES

O trabalho efetuado permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta capacitada para a regulação automática e em tempo real das várias fontes de energia, considerando complexas condicionantes de funcionamento do processo e também associadas às próprias fontes de energia comtempladas (RESP, cogeração a biogás e fotovoltaica). Esta matriz não tem equivalente direto em outros softwares ou equipamentos existentes no mercado, destacando-se pela sua versatilidade e precisão.

Com a implementação desta ferramenta, conseguiu-se otimizar o funcionamento das fontes de energia endógenas, para um nível de autossuficiência de 78% na ETAR de Matosinhos.

Importa referir que esta ferramenta irá desempenhar um papel ainda mais relevante, quando, num futuro próximo, o *mix* energético da instalação for alargado para as energias eólica e hídrica, que se encontram em fase de estudo prévio. Encontra-se igualmente em estudo o desenvolvimento de uma metodologia para calcular em tempo real os custos da energia elétrica proveniente da RESP e da energia gerada internamente pela cogeração. Este cálculo permitirá identificar os períodos mais rentáveis para a utilização de cada uma das duas fontes, maximizando a eficiência deste binómio.

Referências

Panepinto D., Fiore S., Zappone M., Genon G., Meucci L. (2015). Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. Applied Energy, Volume 161, 1 January 2016, Pages 404-411. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.027

Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. The American Statistician, 72(1), 37-45. https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080

©APESB

EFICÁCIA DO USO DE CAL E *DREGS* NA REDUÇÃO DE POLUENTES EM EFLUENTES DE SUINICULTURA

Pedro Esperança [a,b*], *André Costa* [a,b], *Sara Barbosa* [a,b], *Verónica Oliveira* [a,b] *Carla Rodrigues* [a,b]

[a] Instituto Politécnico de Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, São Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal

[b] Centro de Estudos em Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal

RESUMO

O uso de efluentes pecuários como fertilizantes agrícolas constitui uma prática que promove a reutilização de nutrientes. No entanto, a sua gestão sustentável é fundamental para reduzir impactes ambientais e maximizar o seu potencial fertilizante. Com o objetivo de avaliar a estabilização de efluentes suinícolas, realizaram-se ensaios experimentais através da adição de óxido de cálcio (CaO) e *dregs*. Foram preparadas misturas em concentrações de 150 g/L, 250 g/L e 350 g/L de cada uma dessas substâncias, e monitorizadas ao longo de 35 dias. As duas misturas que demonstraram maior eficácia na estabilização do pH foram posteriormente submetidas a uma caracterização físico-química e microbiológica. No final do período de estudo, as misturas contendo CaO apresentaram um pH de 12,9±0,3, enquanto aquelas com *dregs* registaram um pH de 9,8±0,1. A mistura com CaO na concentração de 150 g/L revelou menores teores de azoto Kjeldahl total (1,8±0,1 g/L) e de metais pesados (510±42,3 mg Zn/kg, 56,1±1,1 mg Cu/kg, 23,4±0,7 mg Ni/kg, 1,1±0,1 mg Pb/kg e 1,52±0,02 mg Cd/kg) em comparação com a mistura equivalente contendo *dregs*. Nenhuma das amostras analisadas apresentou contaminação por *Salmonella* spp. ou *Escherichia coli*. Os resultados sugerem que tanto o CaO como os *dregs* apresentam potencial para a estabilização de efluentes de suínos, contribuindo para uma utilização circular e sustentável destes resíduos.

Palavras-Chave: Óxido de cálcio, *dregs*, nutrientes, metais pesados, efluente de suíno

doi: 10.22181/aer.2025.0407

* *Autor para correspondência*
E-mail: pedro.esperanco@esac.pt

©APESB

EFFECTIVENESS OF USING QUICKLIME AND DREGS IN REDUCING POLLUTANTS IN SWINE EFFLUENTS

Pedro Esperança [a,b*], *André Costa* [a,b], *Sara Barbosa* [a,b], *Verónica Oliveira* [a,b] *Carla Rodrigues* [a,b]

[a] Instituto Politécnico de Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, São Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal

[b] Centro de Estudos em Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal

ABSTRACT

The use of livestock effluents as agricultural fertilisers is a practice that promotes the reuse of nutrients. However, its sustainable management is essential to reduce environmental impacts and maximise its fertilising potential. In order to assess the stabilisation of pig effluent, experimental trials were carried out using the addition of calcium oxide (CaO) and dregs. Mixtures at concentrations of 150 g/L, 250 g/L and 350 g/L of each of these substances were prepared and monitored over 35 days. The two mixtures that proved most effective in stabilising the pH were subsequently subjected to physico-chemical and microbiological characterisation. At the end of the study period, the mixtures containing CaO had a pH of 12.9±0.3, while those with dregs had a pH of 9.8±0.1. The mixture with CaO at a concentration of 150 g/L showed lower levels of total Kjeldahl nitrogen (1.8±0.1 g/L) and heavy metals (510±42.3 mg Zn/kg, 56.1±1.1 mg Cu/kg, 23.4±0.7 mg Ni/kg, 1.1±0.1 mg Pb/kg and 1.52±0.02 mg Cd/kg) compared to the equivalent mixture containing dregs. None of the samples analysed showed contamination by Salmonella spp. or Escherichia coli. The results suggest that both CaO and dregs have the potential to stabilise swine effluents, contributing to a circular and sustainable use of this waste.

Keywords: Calcium oxide, dregs, nutrients, heavy metals, swine effluents

doi: 10.22181/aer.2025.0407

* *Corresponding author*
E-mail: pedro.esperanco@esac.pt

©APESB

1 Introdução

Os efluentes resultantes da atividade pecuária suinícola são caracterizados por terem elevados teores de matéria orgânica e nutrientes como azoto e fósforo (Cheng et al., 2020;Wu et al., 2023) o que lhes confere características interessantes para uso agrícola. No entanto, é essencial caraterizar as explorações, bem como os efluentes por elas gerados, avaliando soluções que permitam a sua valorização, o cumprimento de normas ambientais, garantindo a proteção da água e do solo. Habitualmente, o tratamento e valorização destes efluentes ocorre através da digestão anaeróbia, da separação sólido-líquido, de processos aeróbios, entre outros, que permitem a sua aplicação ao solo, ou a descarga em meio hídrico, no cumprimento das normas legalmente estabelecidas (Deng et al., 2023). Embora eficientes, esses tratamentos encontram desafios, como a produção de lamas, a presença de metais pesados (Li et al., 2020), antibióticos (Huang et al., 2017) e microrganismos patogénicos que levantam preocupações para a saúde pública (Viancelli et al., 2015) e dificultam o cumprimento das normas de descarga (Cheng et al., 2020). Outras estratégias têm sido estudadas para garantir o uso adequado dos efluentes de suinicultura ao solo. A utilização de estabilizantes químicos, como o óxido de cálcio (CaO), o qual se destaca devido à sua forte alcalinidade, pode constituir uma alternativa. Quando misturado com substratos de elevada humidade, promove modificações nos compostos orgânicos presentes (Gu et al., 2020). Devido à sua simplicidade e baixo custo, a adição de CaO é uma técnica frequentemente utilizada no tratamento de lamas provenientes de estações de tratamento de água residual, nas quais provoca reações exotérmicas, destruindo organismos patogénicos com o aumento de temperatura e pH, chegando aos 50 °C e 12,4, respetivamente (Gusmão, 2023). Ocorre também a redução de mobilidade de metais pesados que precipitam em forma de hidróxido e os cheiros devido a presença de sulfeto de hidrogénio (H_2S) diminuem com a adição de CaO (Li et al., 2023; Loughlaimi et al., 2024). O CaO reage ainda com o fósforo e o azoto prevenindo a eutrofização de recursos hídricos e o elevado pH fornece uma barreira de proteção à mistura resultante. Por sua vez, os *dregs,* são um subproduto alcalino da indústria de papel, resultante do processo de Kraft, que atualmente apenas uma pequena parte é utilizada por outras indústrias, sendo comumente encaminhados para aterros ou aplicados diretamente no solo (Stahre et al., 2024). No entanto, as suas características físico-químicas podem conferir-lhe potencial para a valorização de efluentes. Estudos indicam os *dregs* como tendo um pH próximo de 10, com alto valor de neutralização, teores de cálcio entre os 30% e 35%, magnésio entre 1% e 3%, e outros elementos como potássio, sódio, cobre, zinco em concentrações vestigiais (Almeida et al., 2007; Martins et al., 2007; Stahre et al., 2024).

Este estudo teve como objetivos: i) avaliar as características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes de uma suinicultura; ii) analisar o tratamento e estabilização desses efluentes com diferentes concentrações de cal e *dregs*; e iii) avaliar as misturas mais eficazes, considerando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, referidos na Portaria n.º 79/2022 de 3 de fevereiro, para a gestão de efluentes pecuários.

2 Materiais e métodos

2.1 Recolha de efluente

Para a realização dos ensaios de estabilização, o efluente bruto (EB) foi recolhido no primeiro tanque de receção de uma exploração de suínos e transportado em contentores de plástico de 25 L sob condições adequadas até ao laboratório. A caracterização físico-química do EB envolveu a determinação dos parâmetros, pH, sólidos totais (ST), carência química de oxigénio (CQO), azoto Kjeldahl total (NKT) e fósforo total (P_{tot}), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), micronutrientes e metais pesados: zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), crómio (Cr) e mercúrio (Hg). Adicionalmente

©APESB

realizou-se uma caracterização microbiológica em termos de *Salmonella* spp. e *Escherichia Coli*.

O pH foi determinado com um medidor de pH (HANNA instruments HI9025), os ST, o NKT e P_{tot} foram determinados de acordo com APHA (2017). A CQO foi determinada com base no método Kit LCK914 COD Method (LCK), comercializado pela HACH®. A determinação analítica dos restantes parâmetros, no resíduo seco, teve por base a EN 13346.

2.2 Ensaio de estabilização

2.2.1 Preparação das misturas

De acordo com Valderrama et al. (2013), a aplicação de cal em concentrações entre os 20% e 30% no tratamento de lamas asseguram condições para manter o pH acima de 12, promovendo a inativação de microrganismos e uma redução da humidade, contribuindo para uma desinfeção e higienização eficaz dos efluentes. Considerando o reportado neste estudo, para se efetuarem os ensaios de estabilização foram preparadas as seguintes misturas de efluente com diferentes concentrações de CaO e *dregs* (w/v):

M1 CaO - Mistura com 15% de CaO

M2 CaO - Mistura com 25% de CaO

M3 CaO - Mistura com 35% de CaO

M1 *dregs* - Mistura com 15% de *dregs*

M2 *dregs* - Mistura com 25% de *dregs*

O volume das misturas preparadas foi de 2,5L. Inicialmente, pesou-se a quantidade necessária de CaO ou *dregs* correspondente à percentagem definida para cada mistura. De seguida, o volume total de efluente suíno foi medido com o auxílio de uma proveta e transferido para um recipiente com capacidade para 12,5 L. A adição de CaO e *dregs* previamente pesados ao efluente foi feita de forma gradual, sob homogeneização manual cuidadosa, em ambiente aberto e bem ventilado, até se obter uma mistura uniforme. Adicionalmente, foi considerado um volume de 2,5L de efluente bruto (EB), considerado como ensaio controlo (C).

Para cada mistura e controlo foram efetuadas três réplicas, perfazendo um total de 18 contentores. Estes foram colocados num espaço interior, destapados e sujeitos à luz solar indireta (**Figura 1**).



Figura 1. Contentores e misturas durante o decorrer do ensaio.

©APESB

2.2.2 Monitorização e avaliação

Durante o período de estabilização das misturas, foram realizadas medições periódicas de pH e temperatura ao longo de 35 dias, com o objetivo principal de avaliar a evolução e manutenção do pH, confirmando se uma estabilização tanto química como físico-química se manteria a médio/longo prazo. Após o período de estabilização, de 35 dias, foram recolhidas amostras das misturas M1 CaO e M1 *dregs,* pois a estabilização de pH foi semelhante às outras misturas e obtida com concentrações mais baixas de cal e *dregs.* Estas misturas foram as selecionadas para ser realizada a sua caracterização físico-química e microbiológica. À semelhança da caracterização realizada para o EB, foram, para estas duas misturas e controlo, determinados os seguintes parâmetros: ST, CQO, NKT, P_{tot}, K, Mg, Ca, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Hg, e *Salmonella* spp. e *E. Coli*.

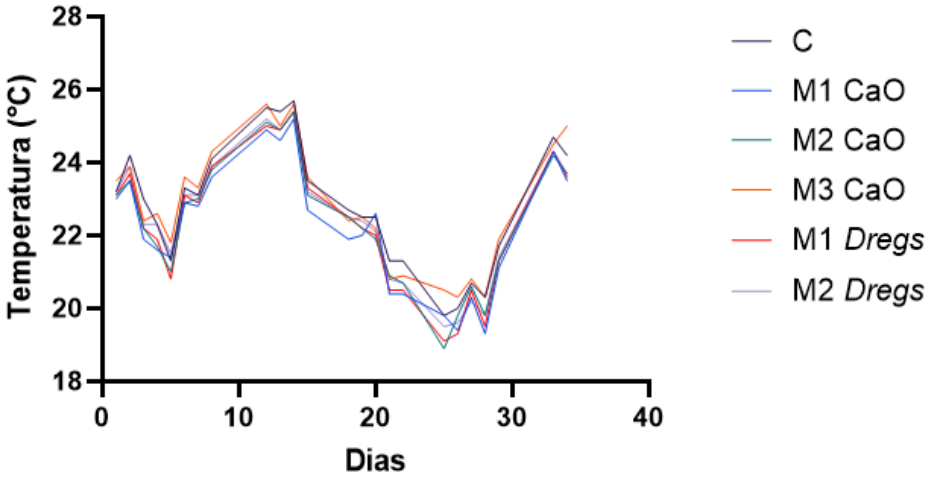
2.2.3 Análise Estatística

Os resultados obtidos da caracterização físico-química ao EB, ao controlo (C) e às misturas M1 CaO e M1 *dregs*, foram comparados por análise de variância unidirecional (One-Way ANOVA) (Ross & Wilson, 2017), seguida do teste de Tukey no programa GraphPad Prism (GraphPad Software, versão 9.3.1, 2021) para avaliar a existência de diferenças significativas entre as médias obtidas para cada parâmetro nos diferentes tratamentos. Sempre que a ANOVA indicou diferenças estatisticamente significativas (p-value < 0,05), realizou-se o teste de Tukey para identificar quais tratamentos apresentavam diferenças significativas entre si, adotando em ambos os casos um nível de significância de p-value < 0,05.

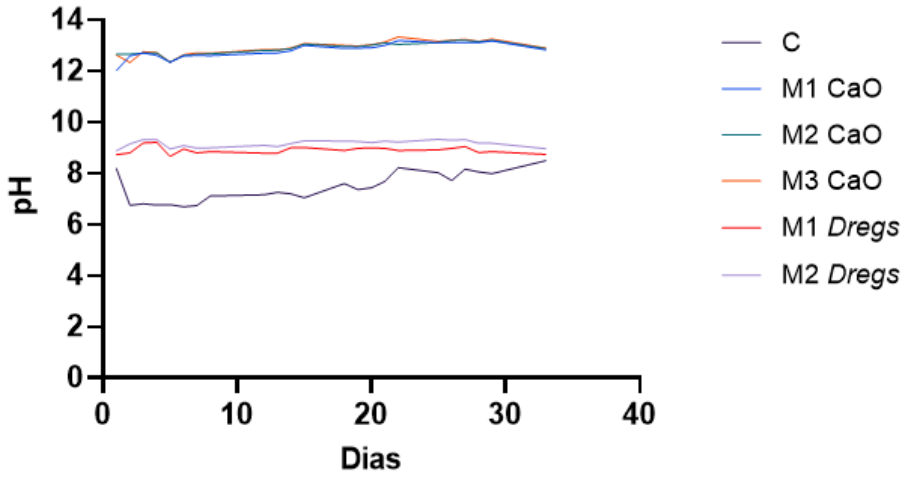
3 Resultados e discussão

3.1 Monitorização de temperatura e pH do ensaio de estabilização

Durante o ensaio de estabilização, as medições de temperatura e pH foram iniciadas nas primeiras 24 horas após a adição de CaO e *dregs*. A partir do 1º dia, registou-se a temperatura de todas as misturas bem como do controlo, tendo-se observado o valor de 22,5 ± 1,8 °C, com valores mínimos de 19,6 ± 0,9°C e máximos de 25,4 ± 0,2°C (**Figura 2**). O pH das misturas de CaO estabilizou em 12,8 ± 0,3 para a M1 CaO, 12,9 ± 0,2 para a M2 CaO e 12,9 ± 0,3 para a M3 CaO. As misturas de *dregs* estabilizaram em 8,9 ± 0,1 (M1 *Dregs*) e 9,2 ± 0,1 (M2 *Dregs*). Todas as misturas resultaram num aumento do pH em relação ao controlo (C) (7,4 ± 0,6), devido às reações entre os materiais utilizados e a água do efluente, que favoreceram a formação de iões hidróxido (Gu et al., 2020). Com base nestes resultados, as misturas M1 CaO e M1 *dregs*, foram submetidas a caracterização físico-química e microbiológica.



a)



b)

Figura 2. Temperatura (a) e pH (b) das diferentes misturas e controlo ao longo do ensaio de estabilização

A monitorização de ambos os parâmetros não foi realizada no exato momento de adição de CaO e dregs, pelo que não retrata a reação química inicial, considerando-se a possibilidade de para a temperatura, ser apenas um reflexo da temperatura ambiente nas misturas, o que foi uma limitação no ensaio realizado.

3.2 Caracterização físico-química e microbiológica

A caracterização físico-química do efluente no tempo inicial e final, bem como das misturas M1 CaO e M1 *dregs* apresenta-se na **Tabela 1**. Os resultados indicaram que os valores de ST e CQO foram mais elevados na mistura com CaO (276,8±87,6 g/L e 35,5±1,2 g/L, respetivamente) do que na mistura com *dregs* (87,6±4,9 g/L e 31,4±10,4 g/L, respetivamente).

Quanto aos macronutrientes, na mistura com CaO, o Ca apresentou a maior concentração (108,1±14,3 g/L), seguido por K (4,0±0,4 g/L), magnésio (Mg) (0,9±0,1 g/L), NKT (1,8±0,1 g/L) e P_{tot} (1,0±0,1 g/L). Já na mistura com *dregs*, o Ca foi o elemento mais abundante (14,1 g/L), seguido por K (4,0±0,8 g/L), Mg (2,1±0,5 g/L), NKT (2,5±0,2 g/L) e P_{tot} (1,4±0,1 g/L). De realçar a diminuição de NKT, que foi superior na mistura com CaO (M1 CaO) (1,8±0,1 g/L) quando comparado às restantes alternativas, possivelmente pelo elevado pH (>11) que promove a emissão de amoníaco (NH_3) e óxido nitroso (N_2O) como reportado por outros autores (Georgiou et al., 2019). Li et al. (2020) refere a possibilidade de utilização de sais de magnésio e de fósforo, para reduzir a perda de azoto pela formação de estruvite. Outras opções podem incluir a remoção prévia de NH_3, através de oxidação eletroquímica, adsorção (ex. carvão ativado), *stripping* (remoção de NH_3 com auxílio de gás), entre outras estratégias (Farghali et al., 2024) Destaca-se, no entanto, que a adição de *dregs* (2,5±0,2 g/L) não resultou em perdas adicionais deste nutriente essencial em relação ao efluente bruto (2,6±0,2 g/L), indicando que o uso deste resíduo não compromete a disponibilidade de azoto para fins agrícolas.

A mistura com *dregs* apresentou concentrações mais elevadas de metais pesados, nomeadamente Zn (510±42,3 mg/kg), Cu (56,1±1,1 mg/kg), Ni (23,4±0,7 mg/kg), Pb (1,1±0,1 mg/kg) e Cd (1,52±0,02 mg/kg), em comparação com a mistura de CaO.

Além disso, ao final dos 35 dias de estabilização, nenhuma das misturas apresentou a presença de *Salmonella* spp. ou *Escherichia coli*, o que está em conformidade com outros estudos que indicam que o aumento do pH promove a inativação de microrganismos patogénicos (Viancelli et al., 2015, Zhang et al., 2022). No entanto, é necessário referir, que a inativação pode ser revertida pela diminuição de pH, por exemplo após a aplicação

da matéria fertilizante ao solo, o que poderia ser prevenido pelas elevadas temperaturas obtidas aquando da adição de CaO levando a uma diminuição da taxa de sobrevivência dos microrganismos, efeito este não confirmado no estudo.

Tabela 1. Caracterização físico-química do efluente e das misturas (média ± desvio-padrão)

Parâmetro	Unidades	EB	C	M1 CaO	M1 *Dregs*	VLA	p-value
ST	g/L	37,7±1,3	60,4±3,3	276,8±10,9	87,6±4,9	n.d	<0,0001*
CQO	g/L	43,6±1,2	27,4±5,1	35,5±1,2	31,4±10,4	n.d	0,0597
NKT	g/L	4,10±0,1	2,6±0,2	1,8±0,1	2,5±0,2	n.d	<0,0001*
P_{tot}	g/L	1,1±0,2	1,6±0,2	1,0±0,1	1,4±0,1	n.d	0,0003*
Ca	mg/kg, bs	63,1±3,5	4,8±1,3	108,1±14,3	14,1±3,5	n.d	<0,0001*
Mg	mg/kg, bs	11,8±0,8	0,8±0,1	0,9±0,1	2,1±0,5	n.d	<0,0001*
K	mg/kg, bs	76,9±3,1	4,6±0,6	4,1±0,4	4,0±0,8	n.d	<0,0001*
Cu	mg/kg, bs	335,0±27,9	329,2±50,9	56,1±1,1	241,2±34,2	400	<0,0001*
Ni	mg/kg, bs	21,5±0,4	19,2±4,8	23,4±0,7	29,5±4,9	200	<0,0001*
Zn	mg/kg, bs	3065,1±336,8	3048,5±498,7	510,3±42,9	2123,4±335,5	1000	0,0325*
Cd	mg/kg, bs	8,2±1,4	10,2±1,5	1,5±0,0	9,2±0,8	3	<0,0001*
Pb	mg/kg, bs	2,5±0,4	3,3±0,7	1,1±0,3	3,7±0,8	300	0,0134*
Hg	mg/kg, bs	0,03±0,00	0,05±0,01	0,00±0,00	0,04±0,00	3	<0,0001*

bs – base seca; VLA – valor limite de aplicação em solo; n.d. – Não definido na Portaria 79/2022, de 3 de fevereiro. *p-value <0,05 significa diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas em cada amostra.

Relativamente à análise de variância unidirecional (One-Way ANOVA), esta revelou diferenças estatisticamente significativas nas médias de todos os parâmetros em cada tratamento (p-value < 0,05) à exceção da CQO. Procedendo-se então ao teste de Tukey cujos resultados se apresentam na **Tabela 2,** que compara a média de cada tratamento verificando se existem diferenças significativas entre as médias obtidas para cada parâmetro em cada um dos tratamentos (p-value < 0,05).

Observa-se que a mistura M1 CaO é estatisticamente diferente das restantes para a maioria dos parâmetros analisados, não apresentando diferenças significativas para a CQO e P_{tot} quando comparada com o efluente inicial (EB).

Em termos dos ST, a diferença foi estatisticamente significativa entre todas as amostras, sugerindo que a adição de cal, *dregs* e inclusive o repouso do efluente leva a variações elevadas no teor de sólidos. De igual forma o NKT também apresentou diferenças significativas na maioria dos casos, exceto entre o controlo (C) e M1 *dregs*. Os restantes elementos apresentam variações de comportamento entre as diferentes amostras. O Ca, Mg, K e Zn apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre todas as amostras. O Cu, seguiu um padrão semelhante, exceto na comparação entre o controlo (C) e M1 *dregs*. O Ni e o Pb, por outro lado, mostraram diferenças significativas apenas em casos pontuais. O Hg, que apresentou diferenças significativas quando comparado ao efluente no tempo inicial, mas não apresentou diferenças entre as misturas e o efluente bruto ao final de 35 dias.

©APESB

Tabela 2. p-value obtido no teste de Tukey

Parâmetros	EB vs C	EB vs M1 CaO	EB vs M1 *dregs*	C vs M1 CaO	C VS M1 *dregs*	M1 CaO vs M1 *dregs*
ST	*0,0003**	*<0,0001**	*<0,0001**	*<0,0001**	*<0,0001**	*<0,0001**
CQO	*0,0497**	*0,4394*	*0,1536*	*0,4171*	*0,8511*	*0,8421*
NKT	*<0,0001*	*<0,0001**	*<0,0001**	*0,0011**	*0,8778*	*0,0025**
P_{tot}	*0,0020**	*0,2930*	*0,0684*	*0,0003*	*0,0967*	*0,0052**
Ca	*0,8355*	*<0,0001**	*0,0065**	*<0,0001**	*0,0193**	*<0,0001**
Mg	*0,7948*	*0,0029**	*0,0003**	*0,0010**	*0,0008**	*<0,0001**
K	*0,9999*	*<0,0001**	*0,0018**	*<0,0001**	*0,0019**	*0,0018**
Cu	*0,9964*	*<0,0001**	*0,0375**	*<0,0001**	*0,0504*	*0,0007**
Ni	*>0,8394*	*>0,9112*	*>0,0857*	*>0,4888*	*<0,0268**	*>0,2120*
Zn	*>0,9999*	*<0,0001**	*<0,0412**	*<0,0001**	*<0,0447**	*<0,0020**
Cd	*>0,1929*	*0,0003**	*0,6819*	*<0,0001**	*>0,6965*	*<0,0001**
Pb	*>0,6576*	*0,1742*	*>0,2917*	*<0,0336**	*>0,8754*	*<0,0122**
Hg	*<0,0001**	*<0,0001**	*<0,0001**	*>0,0847*	*>0,9046*	*0,1545*

*p-value <0,05, significa diferenças estatisticamente significativas entre as amostras analisadas

De um modo geral, os resultados sugerem que o tratamento com M1 CaO se diferencia significativamente dos demais tratamentos para a maioria dos parâmetros, podendo isso estar associado às características físico-químicas do tratamento aplicado e a sua interação com os compostos presentes no efluente. Importa referir que as diferenças significativas encontradas entre o EB e o C podem ser explicadas pela estabilização natural ocorrida ao longo dos 35 dias no chorume, na presença de agitação diária, evaporação do efluente e possíveis perdas por volatilização.

4 Conclusões

Em conclusão, os resultados obtidos demonstram que a estabilização química é uma estratégia promissora para a valorização de efluentes pecuários, permitindo cumprir os requisitos legais para a sua aplicação em solos agrícolas. A cal revelou-se a opção mais eficaz, promovendo a redução de microrganismos patogénicos e a imobilização de metais pesados, garantindo assim um produto final mais seguro e adequado ao uso agrícola de acordo com a Portaria n.º 79/2022, de 3 de fevereiro.

A estabilização com *dregs* apresentou potencial, mas os níveis de zinco e cádmio acima dos limites legais indicam a necessidade de estudos adicionais para otimizar a sua aplicação. Deste modo, a estabilização química com cal e *dregs* pode contribuir para uma gestão mais sustentável dos resíduos pecuários, reduzindo o impacto ambiental e promovendo a economia circular na agricultura. Contudo, são necessários estudos complementares para avaliar a viabilidade a curto e longo prazo, os efeitos no solo e possíveis otimizações do processo. De referir, que um dos desafios do uso de CaO é a libertação de amónia, com impactes para o meio ambiente, tornando relevante a investigação de estratégias para a sua captura durante o tratamento. Além disso, elevado pH pode ser benéfico para solos ácidos, mas também pode impactar negativamente determinadas culturas.

Pretende-se ainda proceder ao estudo de concentrações inferiores às usadas de ambos os compostos, avaliando se os efeitos observados neste trabalho se mantêm. Adicionalmente considera-se o estudo de outros agentes em comparação e associação aos estudados neste trabalho, como é o caso da cal hidratada $Ca(OH)_2$, cujos efeitos são promissores para o tratamento de efluentes e cuja reatividade no processo de mistura é inferior ao da cal viva.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., através do projeto CERNAS (UIDB/00681/2020).

V. Oliveira agradece o financiamento nacional da FCT através do programa de contrato de emprego científico institucional (DOI: 10.54499/CEECINST/00077/2021/CP2798/CT0002).

À empresa SONDALIS, Lda pelo fornecimento do chorume e da cal utilizada neste ensaio e à Celbi, S.A. por ter disponibilizado os *dregs*.

Referências

Almeida, H. C., Silveira, C. B. da, Ernani, P. R., Campos, M. L., & Almeida, D. (2007). Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (*DREGS*). *Química Nova*, *30*(7), 1669–1672. https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000700032

APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association.

Cheng, H.-H., Narindri, B., Chu, H., & Whang, L.-M. (2020). Recent advancement on biological technologies and strategies for resource recovery from swine wastewater. *Bioresource Technology*, 122861. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122861

Deng, L., Zheng, D., Zhang, J., Yang, H., Wang, L., Wang, W., He, T., & Zhang, Y. (2023). Treatment and utilization of swine wastewater – A review on technologies in full-scale application. *Science of the Total Environment*, 880, 163223–163223. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163223

Farghali, M., Chen, Z., Osman, A. I., Ali, I. M., Hassan, D., Ihara, I., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2024). Strategies for ammonia recovery from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *22*. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01768-6

Georgiou, D., Liliopoulos, V., & Aivasidis, A. (2019). Investigation of an integrated treatment technique for anaerobically digested animal manure: Lime reaction and settling, ammonia stripping and neutralization by biogas scrubbing. *Bioresource Technology Reports, 5*, 127–133. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.01.001

Gu, H., Lin, W., Sun, S., Wu, C., Yang, F., Ziwei, Y., Chen, N., Ren, J., & Zheng, S. (2020). Calcium oxide modification of activated sludge as a low-cost adsorbent: Preparation and application in Cd(II) removal. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *209*, 111760. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111760

Gusmão, A. (2023). Caracterização química e biológica de lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's). Dissertação de Mestrado. http://hdl.handle.net/10198/28601

GraphPad Software. (2021). *GraphPad Prism* (versão 9.3.1) [Software]. San Diego, CA :GraphPad Software. Disponível em https://www.graphpad.com.

Huang, X., Zheng, J., Liu, C., Liu, L., Liu, Y., & Fan, H. (2017). Removal of antibiotics and resistance genes from swine wastewater using vertical flow constructed wetlands: Effect of hydraulic flow direction and substrate type. *Chemical Engineering Journal*, *308*, 692–699. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.110Li, Y., Liu, T., Song, J., Lv, J., & Jiang, J. (2020).

Effects of chemical additives on emissions of ammonia and greenhouse gas during sewage sludge composting. *Process Safety and Environmental Protection, 143*, 129–137. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.056

Li, H., Wang, H., Yang, X., Zhang, Q., & Wang, Y. (2023). Effect of exogenous CaO addition on H2S production from waste activated sludge and its influence mechanism. *Water Research*, *241*, 120171–120171. https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120171

Loughlaimi I, Bakher Z, Zouhri A. Enhanced Heavy Metal Removal from Wastewater Produced by Chemical Analysis Laboratory Using Calcium Oxide Precipitation: pH Improvement and Characterization of Precipitated Phases. JOTCSA. 2024;11(1):83-92. https://doi.org/10.18596/jotcsa.1321183

Martins, F., Martins, J., Ferracin, L., & Dacunha, C. (2007). Mineral phases of green liquor *dregs*, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill. *Journal of Hazardous Materials*, *147*(1-2), 610–617. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.057

Ross, A., & Willson, V. L. (2017). One-Way Anova. *Basic and Advanced Statistical Tests*, 21–24. https://doi.org/10.1007/978-94-6351-086-8_5

Stahre, N., Sartz, L., & Bäckström. M. (2024). Chemical characterization of green liquor *dreg*s from 16 Swedish pulp and paper mills between 2017 and 2019. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(32), 45011–45034. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34074-3

Valderrama, C., Granados, R., & Cortina, J. L. (2013). Stabilisation of dewatered domestic sewage sludge by lime addition as raw material for the cement industry: Understanding process and reactor performance. Chemical Engineering Journal, 232, 458–467. https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.104

Viancelli, A., Kunz, A., Fongaro, G., Kich, J. D., Barardi, C. R. M., & Suzin, L. (2015). Pathogen Inactivation and the Chemical Removal of Phosphorus from Swine Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, *226*(8). https://doi.org/10.1007/s11270-015-2476-5

Wu, H., Li, A., Zhang, H., Gao, S., Li, S., Cai, J.-X., Yan, R., & Xing, Z. (2023). The potential and sustainable strategy for swine wastewater treatment: Resource recovery. *Chemosphere*, *336*, 139235–139235. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139235

Zhang R., Hu R., Bocharnikova E., Matichenkov V. (2022) Co-treatment with silicon and quicklime in pig manure application as a promising option of environmental management. *J. Environ. Manage*. (309) 114684. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114684.

©APESB

NOTA TÉCNICA

NORBI: PLATAFORMA DE COMUNICAÇÃO COM O CLIENTE 360º

Joana Araújo [a], *Mafalda Barroso* [a], Maria João Oliveira [a], Moisés Neves [a], Rita Carrapatoso [a], Sara Silva [a,*]

[a] Águas e Energia do Porto, Rua Barão de Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

RESUMO

Com o objetivo de prestar um atendimento de excelência, a AEdP criou uma solução inovadora que permite transformar a experiência do Cliente, otimizar os processos internos e recolher informação, de forma sistemática, para cumprir a obrigação de comunicação, à Entidade Reguladora, de todas as interações com os Clientes, independentemente do canal em que ocorram.

O projeto Norbi permite, através de uma plataforma agregadora, melhorar os processos de pedidos de informação, serviço, sugestões, reclamações, elogios e outros conexos, eliminando atrasos no processo e reduzindo o número de canais de comunicação com o Cliente, através da criação de uma solução integrada, para toda a Empresa.

A Norbi é uma ferramenta que veio transformar e melhorar a experiência do Cliente com a AEdP, mas, também, veio promover a sustentabilidade, ao eliminar atrasos e reduzir a necessidade de múltiplos canais de comunicação, diminuindo o consumo de recursos e aumentando a eficiência operacional. Com a Norbi, o Cliente tem sempre resposta, por isso, a Norbi veio para ficar.

Palavras-Chave: Digitalização, experiência do cliente, gestão sustentável, otimização de processos, inovação, comunicação com o cliente

doi: 10.22181/aer.2025.0408

* *Autor para correspondência*
E-mail: mafalda.barroso@aguasdoporto.pt

©APESB

NOTA TÉCNICA

NORBI: 360º CUSTOMER COMMUNICATION PLATFORM

Joana Araújo [a], *Mafalda Barroso* [a], Maria João Oliveira [a], Moisés Neves [a], Rita Carrapatoso [a], Sara Silva [a,*]

[a] Águas e Energia do Porto, Rua Barão de Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

ABSTRACT

To provide excellent service, AEdP has created an innovative solution that streamlines the customer experience, optimizes internal processes, and systematically collects information to meet the regulatory requirement of communicating all customer interactions, regardless of the channel in which they occur.

The Norbi project, through an aggregating platform, optimizes the processes for information requests, service, suggestions, complaints, compliments, and related matters, eliminating delays and reducing the number of communication channels with customers, creating an integrated solution for the entire company.

Norbi is a tool that has transformed and improved the customer experience with AEdP. It also promotes sustainability by eliminating delays and reducing the need for multiple communication channels, thereby decreasing resource consumption and increasing operational efficiency. With Norbi, the customer always gets a response; therefore, Norbi is here to stay.

Keywords: Digitalization, customer experience, sustainable management, process optimization, innovation, customer communication

doi: 10.22181/aer.2025.0408

* *Autor para correspondência*
E-mail: mafalda.barroso@aguasdoporto.pt

1 Introdução e enquadramento

A relação com o Cliente fez sempre parte do ADN da Águas e Energia do Porto (AEdP). A missão da AEdP consiste em valorizar o ciclo urbano da água e promover a gestão energética integrada da cidade, com sustentabilidade económica, ambiental e social, prestando serviços de excelência aos Clientes e à Comunidade. A Empresa identificou várias oportunidades de melhoria, na relação com o Cliente, e decidiu apostar numa solução que superasse os desafios existentes, numa lógica de melhoria contínua.

O desafio inicial estava relacionado com a existência de diferentes e complexos procedimentos, nas várias unidades da AEdP, para responder aos pedidos recebidos. Havia oportunidade para normalizar as interações e procedimentos, uniformizando assim a comunicação com os Clientes. O canal e-mail foi identificado como problemático, devido à diversidade de tratamento e à falta de envio de um número de processo, que permitisse aos Clientes acompanharem o estado dos seus pedidos. Além disso, a triagem manual dos e-mails, tratados apenas durante o expediente, causava atrasos.

A AEdP também reconheceu a necessidade de criar um histórico de interações com o Cliente, para conhecer melhor quem a contacta e os respetivos motivos, melhorando o serviço prestado e cumprindo uma obrigação legal, de quantificar a qualidade do serviço. Foi identificado que os Clientes utilizavam pouco o website da Empresa e preferiam enviar e-mails, indiciando a necessidade de adequar os meios de comunicação. Outra questão era a necessidade de criar pedidos por telefone, que resultassem em respostas por escrito.

Na definição do âmbito do projeto, a AEdP optou por incluir todas as interações com o Cliente, ou seja, os pedidos de informação, de serviço, reclamações, elogios e sugestões, de forma a centralizar, num único local, toda a comunicação assíncrona. Para responder a estes desafios, foi criada uma equipa multidisciplinar, com formação em diversas áreas de estudo e diferentes graus de senioridade, visando obter uma abordagem inovadora para melhorar a jornada do Cliente com a AEdP.

Embora a transformação digital seja amplamente reconhecida como um fator de modernização em setores como as compras online, a sua implementação em *utilities*, como é o exemplo das entidades gestoras de serviços de água, apresenta desafios específicos, associados à natureza regulada e à complexidade das suas infraestruturas. Estudos recentes evidenciam uma compreensão, ainda limitada, sobre o impacto efetivo da digitalização neste setor e apontam para a necessidade de documentar casos concretos que transcendam a dimensão tecnológica e revelem alterações organizacionais e operacionais tangíveis (Grigg, 2025).

A experiência da Águas e Energia do Porto (AEdP) com a plataforma Norbi responde diretamente a esta lacuna, constituindo um exemplo prático de como a transformação digital pode potenciar a melhoria do serviço ao Cliente, através da centralização de canais, automatização de procedimentos e garantia de rastreabilidade e qualidade no atendimento. Desenvolvida por equipas multidisciplinares, da própria AEdP, a Norbi foi concebida como resposta específica aos desafios identificados no contacto com o Cliente, refletindo um conhecimento profundo da realidade operacional e um compromisso com a inovação sustentável.

Esta abordagem está alinhada com os obstáculos identificados na literatura recente, que apontam a fragmentação de canais e a coexistência de tecnologias legadas como barreiras à eficiência e à comunicação eficaz. Sistemas antigos e isolados, frequentemente sem interfaces de integração (APIs), dificultam o tratamento uniforme de pedidos e atrasam a resposta ao Cliente (Quaranta, Ramos, & Stein, 2023). A Norbi atua como uma camada de integração sobre estes sistemas, consolidando a informação, estruturando fluxos de tratamento e promovendo uma resposta mais célere, transparente e acessível.

©APESB

Neste contexto, a plataforma Norbi nasce com a ambição de transformar a forma como a AEdP se relaciona com o Cliente, respondendo aos desafios identificados e traduzindo, em ações concretas, a estratégia de inovação e melhoria contínua da organização. O projeto foi estruturado com um conjunto de objetivos claros, alinhados com os princípios de qualidade de serviço, eficiência operacional e sustentabilidade.

2 Objetivos

Até ao final do 3.º trimestre de 2022, a Águas e Energia do Porto (AEdP) disponibilizava múltiplos canais de contacto aos seus Clientes, geridos de forma descentralizada pelas diversas unidades orgânicas. Esta dispersão dificultava a uniformização de procedimentos, o rastreamento dos pedidos e a monitorização da qualidade do serviço prestado.

Com o desenvolvimento da plataforma **Norbi**, uma solução digital agregadora de interações assíncronas, a AEdP procurou responder a esses desafios, estruturando o projeto com os seguintes **objetivos estratégicos**:

a) Melhoria do serviço ao Cliente

- Quantificar, monitorizar e elevar os níveis de qualidade do atendimento;
- Adequar os canais de comunicação às preferências dos Clientes;
- Criar um histórico único e estruturado de interações para melhor conhecimento do(a) Cliente.

b) Otimização e uniformização interna

- Centralizar todos os contactos assíncronos (e-mail, website, telefone, entre outros);
- Normalizar os procedimentos e tipologias de pedidos em toda a Empresa;
- Sistematizar os fluxos de tratamento e triagem;
- Agilizar a comunicação interna entre serviços e facilitar o rastreamento da informação.

c) Suporte à gestão e à regulação

- Facilitar o reporte dos indicadores de 4.ª geração definidos pela ERSAR;
- Disponibilizar dashboards e ferramentas de monitorização em tempo real.

d) Sustentabilidade e eficiência

- Reduzir o uso de recursos físicos (ex. papel, deslocações);
- Aumentar a eficiência operacional através da digitalização dos processos de contacto;
- Promover práticas sustentáveis com impacto económico, ambiental e social.

3 Metodologia

A implementação da Norbi seguiu uma abordagem faseada e iterativa, baseada em desenvolvimento interno e cocriação com as diferentes áreas da Águas e Energia do Porto (AEdP). Esta estratégia permitiu adaptar progressivamente a solução às necessidades reais da organização e dos Clientes, assegurando elevada adesão e impacto. A seguir, descrevem-se as principais etapas da metodologia adotada:

©APESB

3.1 Levantamento e tipificação de pedidos

A primeira fase centrou-se na análise e tipificação dos pedidos recebidos pela AEdP. Foram envolvidas 33 áreas da empresa, conduzindo à criação de uma matriz automatizada de atribuição de pedidos, estruturada por Tema, Assunto e Subassunto (TAS). Esta matriz resultou em:

- 11 temas,
- 51 assuntos,
- 381 subassuntos

A cada parametrização correspondia uma área responsável, um *"owner",* assegurando clareza e responsabilidade no tratamento.

3.2 Desenvolvimento da Interface e Integrações Técnicas

Simultaneamente, desenvolveu-se a interface Norbi para gestão interna dos pedidos e criou-se um formulário no Fale Connosco (imagem 1) no Página da Internet da Empresa e no Balcão Digital, para o cliente submeter os seus pedidos. Também se automatizaram os registos no *Customer Relationship Management* (CRM) e integrou-se a plataforma com o software de gestão documental. Estas ações permitiram centralizar e normalizar as interações assíncronas com os(as) Clientes, assegurando rastreabilidade e maior eficiência.

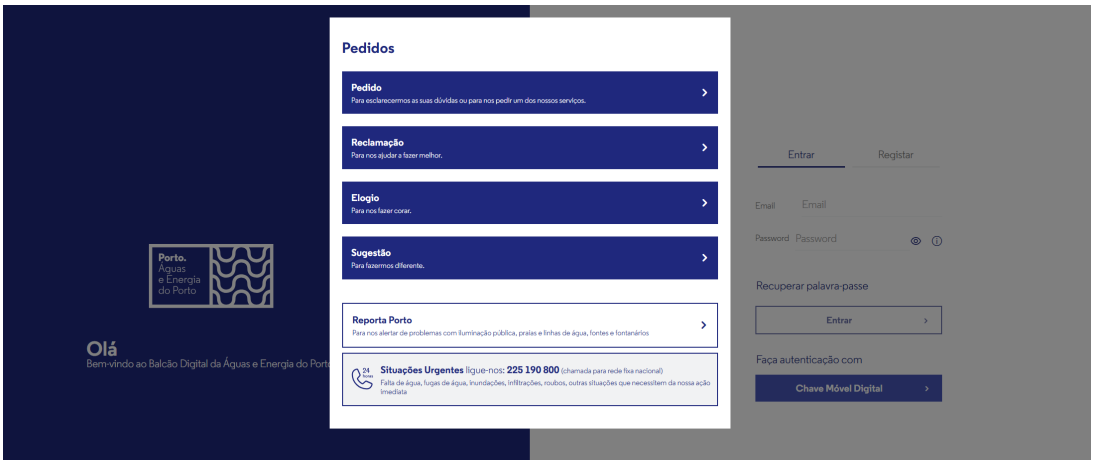


Figura.1 Interface para o cliente do Fale Connosco

3.3 Gestão das tarefas

Com a necessidade de, muitas vezes, se pedir apoio a outra área, nasceu o módulo para gestão de tarefas associadas aos pedidos. A tarefa é criada para a área a pedir apoio sem transferir a responsabilidade do pedido. Quando esta se encontra resolvida, o responsável pelo pedido é notificado, permitindo dar seguimento do pedido ao cliente.

3.4 Formação e comunicação interna

A comunicação interna e a formação foram cruciais para o sucesso da Norbi. A empresa investiu em campanhas de comunicação interna, adotando a cor rosa Barbie como parte da identidade da Norbi, incluída no *lettering* da aplicação, com pins impressos em 3D e eventos corporativos. As campanhas alinharam-se com o lançamento do filme da Barbie e incluíram formação em cascata para os colaboradores, sublinhando a importância do envolvimento de todos na adoção da plataforma. A AEdP também realizou uma segunda fase de formação para capacitar as equipas para os novos desenvolvimentos, resultando numa alta aceitação da plataforma, devido ao envolvimento de todos na sua construção.



Figura.1 Comunicação interna partilhada no fundo do ecrã dos colaboradores e no videowall

3.5 Integração com o Reporta Porto

Em 2024, a Norbi passou a ser, também, um canal de tratamento de pedidos relativos à plataforma Reporta Porto, um projeto implementado em parceria com a Câmara Municipal do Porto e a Porto Digital. Esta integração, que não estava inicialmente planeada, permitiu otimizar o tratamento das ocorrências reportadas pelos cidadãos.

3.6 Funcionalidades avançadas e melhoria contínua

Nos desenvolvimentos mais recentes (2024–2025), foram acrescentadas funcionalidades de elevado valor, como:

- Monitorização de SLAs, permitindo acompanhar prazos de resposta, em tempo real, e uma gestão mais eficiente dos pedidos, assegurando o cumprimento dos prazos estabelecidos e minimizando eventuais atrasos no atendimento ;
- Visualização cruzada e sincronizada de dados do CzRM diretamente na Norbi. Esta integração viabiliza uma interação bilateral entre as plataformas, garantindo que todas as interações com os clientes fiquem devidamente registadas no CzRM. Além disso, possibilita o acesso, diretamente na Norbi, a um conjunto de dados relevantes sobre o cliente e o local de consumo, eliminando a necessidade de consultas dispersas em múltiplos sistemas. Como resultado, os operadores podem responder com maior rapidez e eficácia, promovendo uma experiência de atendimento mais fluida e eficiente;
- Reformulação do workflow de gestão de reclamações, com foco em controlo, rastreabilidade e melhoria da fiabilidade dos dados.

Estas melhorias reforçam a modernização dos processos internos e contribuem para um serviço mais ágil, transparente e centrado no Cliente.

4 Resultados

Praticamente dois anos após a implementação da Norbi na Águas e Energia do Porto já é evidente a transformação organizacional gerada por esta solução. A plataforma permitiu otimizar processos internos e melhorar, substancialmente, a qualidade do atendimento ao cliente. Os principais resultados incluem:

- **Redução significativa do tempo de resposta**

O tempo médio de resposta aos pedidos assíncronos passou de 35 dias úteis (2022) para 2,9 dias úteis (2024), superando largamente o objetivo de 5 dias definido para 2023. Esta redução de cerca de 92% representa um salto qualitativo na experiência do cliente.

- **Mais de 50 mil pedidos tratados**

Desde o lançamento da Norbi, foram rececionados e tratados mais de 50.000 pedidos. Estes dados, antes dispersos ou não contabilizados, estão agora integrados e monitorizados, permitindo uma visão clara da performance da organização.

- **Automatização inteligente de processos**

A Norbi eliminou tarefas manuais como a triagem e reencaminhamento de e-mails, implementando uma matriz inteligente, de distribuição automática, baseada em temas, assuntos e subassuntos. O resultado: maior agilidade, menos erros e mais eficiência.

- **Comunicação mais clara e uniforme**

Com a padronização das respostas e a centralização dos canais, a Norbi reforçou a consistência da linguagem institucional e a equidade no tratamento das solicitações promovendo uma relação mais próxima, clara e transparente com o cliente.

- **Empoderamento do cliente**

O cliente passou a ter um papel mais ativo na gestão dos seus pedidos, podendo decidir quando um pedido está concluído. Esta funcionalidade reforça a autonomia do cliente e contribui para níveis superiores de satisfação.

- **Centralização da comunicação digital**

A existência de um único ponto de contacto para todos os pedidos digitais com histórico, documentos e respostas associados simplifica a interação com a AEdP e torna o serviço mais acessível e intuitivo.

- **Dados fiáveis e indicadores estratégicos**

A Norbi passou a disponibilizar indicadores em tempo real sobre volume, tipologia de pedidos, tempos de resposta e cumprimento de níveis de serviço (SLAs), permitindo uma gestão orientada por dados e alinhada com os indicadores regulatórios da 4.ª geração.

Desde 7 de dezembro de 2022, mais de 37.900 pedidos foram submetidos diretamente através do menu “Fale Connosco”, representando a maioria das interações digitais com a AEdP. Os restantes foram recebidos por carta, atendimento telefónico, presencial ou outros canais.

Com uma média atual de 2,9 dias úteis de resposta, a Norbi comprova o impacto positivo da transformação digital na qualidade do serviço público, reforçando a confiança do cliente e o compromisso da AEdP com a inovação, a proximidade e a sustentabilidade.

©APESB

5 Próximos passos

O futuro da Norbi passa por consolidar uma cultura de gestão baseada em dados, inteligência artificial e melhoria contínua. O próximo sprint do projeto será centrado no desenvolvimento de ferramentas de gestão que permitam extrair indicadores personalizados e automatizados, desde o lançamento da plataforma.

Está também prevista a implementação de uma nova ferramenta de análise de causa-raiz, que permitirá identificar de forma estruturada e eficiente as razões que motivam os contactos dos Clientes. Esta funcionalidade irá apoiar a mitigação de causas recorrentes, promovendo maior eficiência operacional e uma resposta mais preventiva por parte da organização.

A iniciativa prevê, ainda, o envolvimento e capacitação das equipas, através da disponibilização de controlos e indicadores transparentes, que permitirão identificar problemas com maior impacto e desenvolver soluções eficazes e sustentáveis.

Durante a primeira metade do ano, será implementada a funcionalidade dedicada a pedidos de serviço, com a conversão de 120 pedidos mapeados em formulários específicos, cada um com workflows automatizados para a sua execução.

Até ao final do ano, serão introduzidas FAQs dinâmicas no Balcão Digital. Esta funcionalidade permitirá aos Clientes navegar por temas e subtemas para obter respostas às perguntas mais frequentes. A pesquisa incluirá também um campo de texto livre e, no final da navegação, o Cliente poderá indicar se ficou satisfeito com a resposta. Caso negativo, serão sugeridas alternativas — como reformular a pesquisa ou abrir um novo formulário —, contribuindo assim para a aprendizagem contínua do sistema e das equipas.

A médio prazo, a ambição da AEdP é desenvolver e integrar modelos de inteligência artificial (IA). A primeira fase consistirá na tipificação automática das respostas da empresa. Numa fase posterior, os modelos passarão a sugerir respostas diretamente aos operadores, com supervisão humana. A visão de longo prazo é permitir que a IA interaja diretamente com o Cliente, com base no conhecimento acumulado e validado pelas equipas.

Esta estratégia permitirá à Norbi evoluir de uma plataforma assíncrona para uma verdadeira plataforma omnicanal, integrada, responsiva e orientada para o futuro reforçando o compromisso da AEdP com a inovação, a excelência no serviço e a proximidade ao Cliente.

6 Discussão e conclusões

A transformação tecnológica, implementada pela Águas e Energia do Porto (AEdP) através da plataforma Norbi, representa uma inovação significativa para a sustentabilidade económica, ambiental e social. A digitalização dos processos de comunicação com o cliente resultou numa redução notável do tempo de resposta de 35 dias para 2,9 dias, demonstrando uma adaptação eficaz às necessidades dos clientes e melhorando significativamente a sua experiência.

A Norbi representa mais do que uma resposta tecnológica: é a materialização de uma mudança cultural na forma como a AEdP se relaciona com o Cliente e com a própria organização. O percurso trilhado, desde a identificação dos desafios até à conceção e implementação de uma solução própria, demonstrou que é possível inovar a partir de dentro, com base no conhecimento profundo da realidade e com o envolvimento ativo das equipas.

A centralização das interações com o cliente e a uniformização da comunicação proporcionaram uma gestão mais eficiente e coesa, enquanto a criação de um histórico

©APESB

estruturado das interações permite uma análise de dados que facilita a melhoria contínua dos serviços. A digitalização também promoveu a sustentabilidade ambiental ao reduzir o uso de recursos físicos e o tempo gasto em processos manuais.

Com a Norbi, a AEdP superou barreiras comuns às entidades gestoras de serviços públicos, como a fragmentação de canais, a coexistência de sistemas legados e a ausência de indicadores consolidados. A centralização dos contactos, a uniformização dos procedimentos, a rastreabilidade da informação e a introdução de inteligência na gestão das interações permitiram ganhos evidentes em eficiência, qualidade e transparência.

Esta experiência contribui para o debate sobre a transformação digital nas utilities, num setor ainda marcado por desafios estruturais e pela necessidade de conciliar inovação com fiabilidade e regulação. Ao partilhar este caso prático, a AEdP reforça o seu compromisso com a melhoria contínua, a sustentabilidade e a proximidade ao Cliente — colocando a tecnologia ao serviço de uma relação mais humana, simples e eficaz.

Com o contínuo desenvolvimento da Norbi e a implementação de novas funcionalidades, a AEdP está bem posicionada para manter e ampliar os benefícios alcançados. O caminho da transformação está longe de terminado: os próximos passos incluem a incorporação de inteligência artificial, ferramentas avançadas de análise de dados e uma evolução para um modelo verdadeiramente omnicanal. No centro desta evolução está sempre o mesmo propósito: construir uma relação de confiança e excelência com quem nos procura, hoje e no futuro.

A Norbi é uma gota rosa num oceano azul!

Bibliografia

Grigg, N. S. (2025). Digital Transformation in Water Utilities: Status, Challenges, and Prospects. Smart Cities, 8(3), 99

Quaranta, E., Ramos, H. M., & Stein, U. (2023). Digitalisation of the european water sector to foster the green and digital transitions. Water, 15(15), 2785

©APESB

NOTA TÉCNICA

EXPLORANDO NOVOS HORIZONTES PARA OS SERVIÇOS DE ÁGUAS COM A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Nuno Laranjo [a,*]

[a] Grupo INDAQUA, Avenida Joaquim Neves dos Santos,122,4450-394 Matosinhos, Portugal

RESUMO

A rápida evolução das tecnologias digitais e a nova vaga de inovação digital, baseada na inteligência artificial (IA), apresentam para a indústria dos serviços de águas, respetivas entidades gestoras e profissionais do setor, um conjunto de oportunidades que devem ser exploradas para aumentar a sua competitividade e agilidade, evitando o risco de estagnação. A Inteligência Artificial Generativa (IA Generativa) é um tipo de sistema de inteligência artificial, capaz de gerar conteúdo, não apenas texto, mas também áudio, vídeo, imagens e código. Isso é conseguido com base em padrões extraídos dos dados existentes nos modelos em que foi treinada, utilizando aprendizagem profunda para responder a estímulos em linguagem natural. Esta tecnologia é um exemplo dessa nova vaga de inovação digital que, do nosso ponto de vista, pode melhorar a relação com os utilizadores dos serviços de águas e impulsionar o conhecimento, a eficácia e a eficiência operacional das suas organizações, estendendo simultaneamente as capacidades dos seus profissionais. Nesta comunicação, apresentamos os principais conceitos ligados à IA Generativa, seguidos de um conjunto de pistas sobre a sua utilidade nos serviços de águas, sem deixar de mencionar as suas limitações.

Este trabalho contribui para a indústria dos serviços de águas, ao oferecer uma visão sistemática das potenciais aplicações da IA Generativa, proporcionando um ponto de partida claro para a sua adoção e implementação.

Palavras-Chave: Inteligência artificial generativa, inovação digital, conhecimento, serviços de águas

doi: 10.22181/aer.2025.0409

* *Autor para correspondência*
E-mail: nunolaranjo@indaquaoazemeis.pt

©APESB

NOTA TÉCNICA

EXPLORING NEW HORIZONS FOR WATER SERVICES WITH GENERATIVE AI

Nuno Laranjo [a,*]

[a] Grupo INDAQUA, Avenida Joaquim Neves dos Santos,122,4450-394 Matosinhos, Portugal

ABSTRACT

The rapid evolution of digital technologies, combined with the latest wave of digital innovation driven by artificial intelligence (AI), presents a range of opportunities for the water utility industry, its operators, and professionals across the sector. These opportunities should be explored to enhance competitiveness and agility while mitigating the risk of stagnation. Generative Artificial Intelligence (Generative AI) is a type of AI system capable of generating content—not only text but also audio, video, images, and code. It achieves this by identifying patterns in the data on which it has been trained, leveraging deep learning to respond to natural language prompts. This technology exemplifies the new era of digital innovation, which, in our view, has the potential to improve interactions with water services users, enhance organisational knowledge and effectiveness, and increase operational efficiency. At the same time, it can expand the capabilities of professionals within the sector. In this communication, we introduce the key concepts of Generative AI, outline its potential applications in water services, and highlight its limitations.

This work makes a valuable contribution to the water utility industry by providing a systematic overview of the potential applications of Generative AI, offering a clear starting point for its adoption and implementation.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Digital Innovation, Knowledge, Water Services.

doi: 10.22181/aer.2025.0409

** Corresponding author*
E-mail: nunolaranjo@indaquaoazemeis.pt

©APESB

1 Introdução

Uma razão pela qual a inteligência artificial generativa (IA Generativa) se tornou tão popular e de forma tão rápida, é que ela permite a qualquer pessoa, sem qualquer conhecimento técnico e sem barreiras à entrada, começar a usar *chatbots*, como o *ChatGPT*[*†], *Copilot*[‡], *Gemini*[§], *Claude*[**], entre outros, para obter respostas "humanizadas" a perguntas sobre diversos temas.

É sem dúvida, uma novidade para uma aplicação de inteligência artificial (IA), uma vez que o que tínhamos assistido até aqui, obrigava a uma preparação rigorosa de dados e processos para produzir um bom resultado, limitado a verticais de conhecimento. Por outro lado, o impacto é imenso no mundo do trabalho, já que milhares de utilizadores compreendem que esta tecnologia os pode ajudar aumentar a sua produtividade, e são eles próprios os grandes impulsionadores da sua adoção no mundo empresarial.

Podemos considerar a IA Generativa com um subdomínio da IA e da aprendizagem profunda (*deep learning)*, que se concentra em gerar conteúdo, seja texto, código, imagens, música e vídeo, usando algoritmos e modelos treinados em dados existentes através de técnicas de aprendizagem de máquina (*machine learning*).

Nesse sentido, devemos olhar para as relações entre a IA, *machine learning, deep learning* e IA Generativa como uma progressão lógica, em que consideramos a IA como um conceito amplo e abrangente e que avança para áreas mais especializadas, onde cada tipo subsequente herda os princípios fundamentais do seu antecessor, adicionando uma camada de complexidade e especialização.

O contributo desta nota técnica reside na sistematização de aplicações práticas e na análise crítica da Inteligência Artificial Generativa especificamente adaptada ao contexto dos serviços de águas. Além disso, destacam-se sugestões concretas sobre como esta tecnologia pode ser integrada para melhorar processos operacionais, gestão do conhecimento e comunicação institucional.

2 Conceitos

IA: É definida de forma abrangente como a capacidade de as máquinas imitarem o comportamento humano (perceção, associação, raciocínio, previsão, planeamento, linguagem, etc.).

Machine Learning (ML): Um tipo de IA onde o foco está em desenvolver algoritmos que permitam que as máquinas aprendam a partir de dados existentes e atualizem automaticamente os seus parâmetros à medida que evoluem.

Deep Learning (DL): Uma forma especializada de *machine learning*, que incorpora redes neuronais artificiais em sucessivas camadas, de forma a aprender através de dados ao longo de ciclos, tentando reproduzir o comportamento do cérebro do ser humano. Os dados são introduzidos na camada de entrada e um resultado emerge da camada de saída da rede. Por entre as camadas de entrada e saída podem existir milhares de outras camadas, daí a designação de *deep learning*. São modelos particularmente adequados em domínios como a visão computacional, processamento de linguagem natural ou veículos autónomos.

---

[*] Disponibilizada em novembro de 2022 e em apenas 2 meses após o seu lançamento, atingiu os 100 milhões de utilizadores, tornando-se a aplicação com crescimento mais rápido de sempre.
[†] https://openai.com/
[‡] https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/copilot
[§] https://deepmind.google/
[**] https://www.anthropic.com/

©APESB

IA Generativa: Representa um subdomínio ainda mais especializado de *machine learning*, especializado na criação de novos dados que imitam a distribuição de dados em que foram treinados. Utiliza modelos generativos avançados, maioritariamente baseados em redes neuronais, não apenas para agrupar, classificar ou fazer previsões sobre dados existentes, mas principalmente para gerar conteúdo completamente novo, desde imagens até linguagem natural, música e vídeo. Estes modelos são treinados com grandes quantidades de dados, com o objetivo de gerar novos dados que são consistentes com os padrões neles existentes.

Modelos de Linguagem: são sistemas de inteligência artificial treinados com um grande volume de dados para aprender relações probabilísticas entre sequências de palavras, através de técnicas como *embeddings* e arquiteturas de redes neuronais conhecidas como *transformers*. Estes modelos capturam o significado semântico das palavras, permitindo à IA Generativa realizar tarefas como tradução automática, sumarização de texto e resposta a perguntas sem necessidade de programação específica para cada função.

Funcionam como uma "super-calculadora de probabilidades", prevendo a próxima palavra numa sequência com base no contexto. No entanto, por serem estatísticos, podem gerar informações incorretas ou "alucinações" e não possuem verdadeira inteligência ou compreensão.

Ainda neste âmbito, importa dar nota de que os mais recentes modelos de linguagem, são multimodais[††], ou seja, têm a capacidade de integrar e processar diferentes tipos de dados, como texto, imagens, som e vídeo, num único modelo.

Engenharia de *Prompts*: é a técnica de criar, testar e refinar as instruções (*prompts*) dadas a modelos de IA Generativa para obter respostas mais precisas e relevantes. Envolve definir claramente a tarefa que se pretende que o modelo execute, fornecer contexto adicional ou exemplos e utilizar uma sintaxe clara com pontuação adequada. Esta prática é essencial para direcionar o modelo e melhorar a qualidade das saídas, já que *prompts* mais específicos produzem resultados melhores. A criatividade e a experimentação interativa são fundamentais para aperfeiçoar os *prompts* e maximizar a eficácia das respostas obtidas.

Agentes de IA: são sistemas capazes de perceber o ambiente, raciocinar, planear e realizar ações autonomamente para atingir objetivos específicos. Utilizam frequentemente modelos avançados de IA, como modelos de linguagem, para executar tarefas complexas sem necessidade de intervenção humana constante, podendo ainda aprender e adaptar-se dinamicamente a novas situações ou contextos.

3 Serviços de águas

3.1 Potenciais aplicações de IA Generativa

A indústria dos serviços de águas é caraterizada pela quantidade e riqueza dos dados que gera, constituindo um dos seus maiores ativos. Isso leva-nos a considerar que se trata de um “território” adequado para a adoção da IA Generativa, apesar da sua abordagem conservadora em relação à adoção de novas tecnologias.

Para colocar essa tecnologia a funcionar, além de utilizar esses dados, é fundamental que as “nossas pessoas” com mais conhecimento e experiência ensinem aos modelos os vocabulários técnicos, expressões comuns, dados relevantes e conceitos específicos da nossa área. Dessa forma, evitaremos que os modelos “alucinem” e tratem informações desnecessárias, resultante em más ordens ou tendências erradas.

[††] Alguns exemplos, são os modelos da *Open AI*, da *Anthropic* ou da *Google*.

©APESB

Outra ideia a reter, é que devemos utilizar as forças da IA Generativa para aprimorar as análises preditivas e prescritivas proporcionadas pela analítica avançada de dados e pelo *machine learning*. Nomeadamente, através da inclusão de dados não estruturados que são difíceis de integrar em modelos preditivos tradicionais. Também pela explicação de modelos complexos. Além disso, um *prompt* bem estruturado pode orientar modelos de linguagem a identificar e definir variáveis de decisão, funções objetivo e restrições. Isto permite produzir formulações matemáticas precisas dos desafios da indústria dos serviços de águas. Esta abordagem poderá ser particularmente relevante para tratar de temas como a previsão de falhas e anomalias nas redes, qualidade da água, processamento de imagens, modelação de redes e otimização de processos de tratamento.

Como novos desenvolvimentos neste campo destacam-se ainda os Agentes de IA, que representam um salto qualitativo adicional, devido à sua capacidade de agir autonomamente perante situações complexas, sem supervisão humana constante. Nos serviços de águas poderão monitorizar continuamente variáveis críticas, realizar simulações detalhadas através de gémeos digitais e oferecer suporte inteligente às equipas operacionais no terreno, permitindo uma tomada de decisão mais rápida, segura e eficaz.

Tendo este cenário em consideração, avançamos com algumas ideias de potenciais usos, que tocam nos seus principais processos:

- **Definição de Produto e Serviço:**

- Na área da gestão de ativos e mais concretamente na inspeção de ativos enterrados (condutas e coletores), e quando combinado com soluções de visão computacional (Ex: robots equipados com sensores acústicos, ultrassónicos e CCTV), pode ajudar a criar resumos inteligentes em linguagem natural, a partir de milhares de horas de filmagem, permitindo que perguntas sejam feitas;

- **Produção e distribuição de água:**

- No contexto da monitorização e controlo da qualidade da água, pode empregar a utilização de dados sintéticos‡‡ para simular vários cenários, como a dispersão de poluentes ou os impactos das mudanças climáticas na qualidade da água;

- Para uma melhor compreensão em tempo real das variáveis de escoamento e através da utilização de dados sintéticos (por exemplo, quando não existe possibilidade de instalar telemetria residencial), poderá ser uma extraordinária fonte de informação para análise operacional;

- Facilitar a adoção da tecnologia de gémeo digital, permitindo simular qualquer número de estados de objetos fisicamente possíveis e simultaneamente razoáveis e alimentando-os nas redes do gêmeo digital. Essas capacidades podem ajudar a determinar continuamente o estado do objetivo físico e ultrapassar os obstáculos associados à atual necessidade de realizar muito treino supervisionado.

- **Recolha e tratamento de águas residuais:**

No contexto da recuperação de recursos e minimização de resíduos em sistemas de tratamento, pode ajudar a simular diferentes configurações nos processos de tratamento que maximizem a produção de energia a partir de lamas e a recuperação de nutrientes. Pode ainda fornecer dados valiosos, sobre como diferentes condições operacionais afetam o desempenho do processo de tratamento, como por exemplo, variações na temperatura ou a composição das águas residuais.

‡‡ Uso de algoritmos e métodos computacionais para criar dados que imitam os dados reais em termos de características essenciais e propriedades estatísticas, mas que não provêm de observações ou medições reais.

©APESB

- **Faturação e Cobrança:**

- Extrair informações de faturas e compará-las ao longo do tempo, fornecendo explicações compreensíveis e claras das mesmas em linguagem natural;

-Contribuir para a gestão dos processos de dívidas de clientes, nomeadamente através de uma comunicação personalizada, ajustando o tom, conteúdo, momento e canal de acordo com o perfil do devedor, aumentando a eficácia e a eficiência do processo, incluindo a melhoria da experiência do cliente.

- **Serviço ao cliente:**

- Através de *chatbots*, é possível produzir respostas personalizadas e imediatas (disponíveis 24/7) para as questões dos utilizadores dos serviços, como faturação, pressão de serviço, avarias, qualidade, dívidas, entre outros. Além disso, os *chatbots* podem fornecer assistência em tempo real aos atendedores, oferecendo sugestões baseadas em relatos de problemas identificados por outros utilizadores na mesma zona, gerar tópicos abordados durante a chamada e ajudar na preparação de respostas às reclamações;

-Sumarização de chamadas telefónicas de clientes, transcrevendo áudio para texto, criando um resumo detalhado da mesma e integrando-o na aplicação de relacionamento com o cliente (CRM). Com essa sumarização, será também possível realizar uma análise de feedback e sentimento dos clientes, identificando áreas de melhoria;

- Conseguir integrar essa informação com um *PowerBI*, onde visualizaremos tendências nas conversas, como tópicos frequentes, sentimentos dos clientes e desempenho dos atendedores;

- Além disso, é possível categorizar estes dados não estruturados e convertê-los em informação estruturada, permitindo realizar análises avançadas. Todas as interações com os clientes, provenientes de chamadas, *chatbots*, *emails* ou redes sociais, passam a ser tratadas como dados analíticos, que podem ser explorados para melhorar processos de negócio e apoiar a tomada de decisão.

- **Manutenção de equipamento e instalações:**

Pode ser empregue para integrar experiências adquiridas de avarias passadas ou simular cenários de manutenção, proporcionando a informação necessária para questionar as premissas existentes sobre a manutenção ou a necessidade de substituição de equipamentos.

- **Gestão de Recursos:**

- No processo de compras, elaborando guias práticos de negociação com os fornecedores, e alertas sobre soluções e tecnologias mais recentes, inovadoras e/ou económicas.

- **Quadro legal e regulamentar:**

- Análise de grandes volumes de textos legais e regulamentares, extraindo e sumarizando as informações mais importantes;

- Comparar a legislação atual com versões anteriores, identificando alterações e tendências ao longo do tempo;

- **Comunicação e Imagem:**

- Como gerador de ideias e criador de histórias, auxiliando na obtenção de *insights* baseadas em dados não estruturados, com o objetivo de produzir comunicações eficazes e campanhas personalizadas. Exemplos incluem campanhas para situações de escassez de água ou para promover o uso da água torneira.

©APESB

- **Desenvolvimento e Gestão de Recursos Humanos:**

- Acelerar a processo de triagem de currículos, identificando os candidatos que melhor correspondem às qualificações exigidas para os cargos, tarefa que é extremamente demorada e monótona para os recrutadores;

- Monitorizar e avaliar o desempenho dos trabalhadores em tempo real, fornecendo relatórios detalhados e recomendações de melhoria. Esta abordagem permite uma gestão de desempenho dinâmica e baseada em dados, substituindo as avaliações anuais tradicionais.

- Combinada com técnicas de realidade virtual, pode ser utilizada para formação personalizada, desenvolvendo cenários virtuais que repliquem as condições operacionais, tendo dessa forma um papel fundamental na melhoria e na redução dos riscos de saúde e segurança dos trabalhadores.

- **Gestão de sistemas de informação:**

- Criação de uma espécie de "assistente ou especialista virtual, que lê e examina rapidamente informações armazenadas em linguagem natural, sobre as características das infraestruturas, registos de operação e manutenção, qualidade da água, dados dos utilizadores ou corporativos, etc., dialogando com os colaboradores e permitindo que se tomem decisões mais informadas, incluindo as operações no terreno. Além disso, pode garantir a transferência eficaz do conhecimento técnico acumulado por profissionais experientes, permitindo que novos colaboradores adquiram rapidamente competências essenciais, reduzindo o risco decorrente da rotatividade e envelhecimento das equipas técnicas.

- Incorporação de copilotos no portefólio de aplicações que são utilizadas nos serviços de águas (SCADA, SIG, Gestão de Ativos, Modelação, Operação e Manutenção, Sensorização, ERP/CRM§§, Gestão Documental, etc.) ou nas ferramentas de produtividade e colaboração***, por forma a que possamos "discutir" com os mesmos;

Além dos potenciais usos da IA Generativa nos principais processos dos serviços de águas, gostaríamos de destacar outros, transversais, relacionados à automação de tarefas repetitivas e rotineiras. Exemplos incluem o preenchimento de formulários, a extração de dados de documentos não estruturados e a geração automática de relatórios. Essas tarefas, que normalmente consomem tempo e são propensas a erros humanos, podem ser realizadas de maneira rápida e precisa pela IA Generativa. Pode também ser utilizada para processar faturas e outros documentos financeiros. Mesmo sem modelos específicos, ela consegue compreender o conteúdo dos documentos, extrair as informações necessárias e gerar relatórios automaticamente. Isso melhora a eficiência do processamento de documentos financeiros e reduz a possibilidade de erros.

3.2 Limitações da IA Generativa

Os modelos de linguagem que formam a base da IA Generativa apresentam algumas limitações importantes. Primeiramente, não compreendem o texto como os humanos e dependem da qualidade dos dados de treino, podendo perpetuar viés. Além disso, têm restrições de contexto em diálogos longos e não possuem senso comum. Existem preocupações éticas com a geração de conteúdo inadequado e a possibilidade de uso mal-intencionado. O uso excessivo de dados pode levar a plágio e violações de confidencialidade. Outro ponto crítico é o impacto ambiental significativo do treino desses modelos devido ao alto consumo de energia e água. A cibersegurança também é uma

§§ A *SAP (Joule)* e a *Salesforce (Einstein)* já incorporam assistentes de conversação nas suas aplicações empresariais.

*** *Copilot* para o *Microsoft 365* ou o *Gemini* no *Google Workspace.*

©APESB

preocupação vital, especialmente devido aos processos de automação em larga escala, sendo essencial garantir, como no caso das infraestruturas críticas que asseguram os serviços de águas, a sua quantidade e qualidade, protegendo-as de ataques informáticos.

4 Conclusões

A IA Generativa é, sem dúvida, uma tecnologia promissora para a indústria dos serviços de águas, respetivas entidades gestoras e profissionais do setor.

Em conjunto com IA Analítica, pode servir de ponte entre a vasta quantidade de dados gerados diariamente e a capacidade de extrair *insights* relevantes dos mesmos, contribuindo para o aumento da eficácia e eficiência operacional, intensificação da inovação e a satisfação dos utilizadores destes serviços.

Enquanto profissionais do setor, devemos saber utilizar as ferramentas de IA Generativa como nossas parceiras, trabalhando lado a lado connosco, fazendo sugestões, gerando texto e fornecendo suporte à decisão. Ao assumir tarefas rotineiras, permitirá que nos concentremos em atividades mais estratégicas e transformadoras. No entanto, isto também nos desafiará a adaptarmo-nos e a utilizar proficientemente esta tecnologia para manter a nossa relevância profissional, caso contrário, poderemos ser substituídos por aqueles que a dominam.

É essencial que futuras investigações explorem como a IA Generativa está a ser adotada nos serviços de águas e qual o valor que está a gerar, à semelhança do que já acontece noutras indústrias. Estes estudos devem identificar os processos mais beneficiados, avaliar os desafios de implementação e quantificar os ganhos, tanto operacionais como na satisfação dos utilizadores. Com métricas claras, será possível compreender o impacto real da tecnologia e orientar estratégias para maximizar os seus benefícios.

Referências

Amorim, Pedro e João Alves (2024). How Generative AI Can Support Advanced Analytics Practice.

https://sloanreview.mit.edu/article/how-generative-ai-can-support-advanced-analytics-practice/, acedido a 19.07.2024

Deloitte (2023). The Generative AI Dossier.

https://www.deloitte.com/nz/en/services/consulting/analysis/the-generative-ai-dossier.html, acedido a 19.11.2023

DSPA (2023). Conteúdos para certificação Generative AI.v 1.2.

IBM (2023). Will Generative AI make the digital twin promise real in the energy and utilities industry?

https://www.ibm.com/think/topics/generative-ai-for-digital-twin-energy-utilities, acedido a 19.11.2023

Mckinsey & Company (2024). Beyond the hype: Capturing the potencial of AI and gen AI I tech, media, and telecom.

https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/beyond-the-hype-capturing-the-potential-of-ai-and-gen-ai-in-tmt, acedido a 19.07.2024

Mckinsey & Company (2023). What is generative AI.

https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2023-generative-ais-breakout-year, acedido a 19.11.2023

Mckinsey & Company (2023). The economic potencial of generative AI: The next productivity

https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier, acedido a 19.11.2023

Qatium (2023). AI & Water Management – What utilities need to know now. https://qatium.com/blog/ai-and-water-management/, acedido a 19.11.2023

Qatium (2024). Water Utilities & AI – How utilities can thrive in the new generative AI reality. https://qatium.com/blog/whitepaper-how-utilities-can-thrive-in-the-new-generative-ai-reality/, acedido a 12.11.2024

©APESB

NOTA TÉCNICA

DASHBOARD DE MONITORIZAÇÃO DE DISPONIBILIDADES DE ÁGUA E DE VOLUMES FORNECIDOS PELA ÁGUAS DO ALGARVE

André Pinto [a,], Helena Lucas [b], Lassalete Gaspar [a], Marisa Viriato [b], Nuno Medeiros [c], Sara Antunes [a]*

a AdP VALOR – Serviços Ambientais S.A., R. visconde Seabra n.º 3, 1700-421 Lisboa, Portugal

b Águas do Algarve, S.A., Rua do Repouso, n.º 10, 8000-302 Faro, Portugal

c Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Av. da Liberdade 24, 1250-144 Lisboa, Portugal

RESUMO

No contexto da seca hidrológica de 2024, e tendo em conta a tendência do seu agravamento no futuro devido ao efeito expectável das alterações climáticas, a Águas do Algarve desenvolveu um *dashboard* para avaliação e acompanhamento continuado e rigoroso das disponibilidades hídricas existentes e dos volumes de água fornecidos às entidades gestoras. Este *dashboard* permitiu a digitalização e integração, numa única plataforma, da informação relativa à monitorização da evolução das disponibilidades de água nas principais origens superficiais e do abastecimento público da água a partir do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água em alta do Algarve. Esta ferramenta constitui um importante suporte à gestão da água, permitindo a análise e sistematização do reporte regular a diversas entidades relativamente aos volumes de água fornecidos pela Águas do Algarve para consumo humano e ao esforço realizado pelos utilizadores municipais no sentido de redução dos seus consumos, constituindo assim um exemplo de transparência e de cooperação entre as entidades para o objetivo comum de contribuir para a gestão integrada dos recursos hídricos e a tomada de decisão relativamente ao desafio regional de mitigar os efeitos da escassez de água.

Palavras-Chave: Integração de informação, digitalização, disponibilidade de água, abastecimento público, seca no Algarve

doi: 10.22181/aer.2025.0410

* *Autor para correspondência*
E-mail: a.pinto@adp.pt

©APESB

NOTA TÉCNICA

ÁGUAS DO ALGARVE WATER AVAILABILITY AND SUPPLY MONITORING DASHBOARD

André Pinto [a,], Helena Lucas [b], Lassalete Gaspar [a], Marisa Viriato [b], Nuno Medeiros [c], Sara Antunes [a]*

a AdP VALOR – Serviços Ambientais S.A., R. visconde Seabra n.º 3, 1700-421 Lisboa, Portugal

b Águas do Algarve, S.A., Rua do Repouso, n.º 10, 8000-302 Faro, Portugal

c Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Av. da Liberdade 24, 1250-144 Lisboa, Portugal

ABSTRACT

In the context of the 2024 hydrological drought and taking into account the trend of its worsening in the future due to the expected effect of climate change, Águas do Algarve has developed a dashboard for continuous and rigorous evaluation and monitoring of existing water availability and volumes of water supplied to management entities. This dashboard allowed the digitization and integration, in a single platform, of the information regarding the monitoring of the evolution of water availability in the main surface sources and the public water supply from the Algarve Multimunicipal Water Supply System. This tool is an important support for water management, allowing the analysis and systematization of the regular reporting to various entities regarding the volumes of water supplied by Águas do Algarve for human consumption and the effort made by municipal users to reduce their consumption, thus constituting an example of transparency and cooperation between the entities for the common goal of contributing to the integrated management of water resources and decision-making regarding the regional challenge of mitigating the effects of water scarcity.

Keywords: Information integration, digitalization, water availability, urban water use, drought in the Algarve

doi: 10.22181/aer.2025.0410

* *Corresponding author*
E-mail: a.pinto@adp..pt

1 Enquadramento

No ano hidrológico 2023/2024, o Algarve teve um dos períodos mais críticos de sempre no que se refere à escassez dos recursos hídricos. A seca hidrológica assume um caráter estrutural com tendência de agravamento devido ao efeito expectável das alterações climáticas, com previsão de impactos muito significativos na economia, no bem-estar das populações, nos ecossistemas e no aumento da pressão sobre as massas de água, traduzindo-se em menor disponibilidade de água nas albufeiras e aquíferos.

Conforme é referido no Plano Regional de Eficiência Hídrica do Algarve (APA & DGADR 2020), a seca é uma preocupação crescente na Europa, com particular relevância nas regiões desertificadas do interior sudeste de Portugal e Espanha, onde a sua duração, frequência e severidade são cada vez maiores e os seus efeitos se mantêm muito para além do seu término. Um dos impactos mais gravosos das alterações climáticas é precisamente o que respeita ao aumento da frequência e severidade de períodos de seca e escassez de água.

Tendo em conta a imprevisibilidade do regime hidrológico e as baixas disponibilidades das albufeiras que constituem origens de água do Sistema de Abastecimento de Água em Alta do Algarve (SAAA), revela-se essencial adotar estratégias que permitam uma gestão muito criteriosa das disponibilidades hídricas, naturalmente articulada entre os diferentes utilizadores, assim como efetuar um reforço das medidas extraordinárias previstas, para fazer face à escassez de água, e assegurar a garantia do abastecimento público de água à região do Algarve.

A Resolução de Conselho de Ministros (RCM) n.º 80/2024 de 21 de junho veio determinar que o volume mensal de água para consumo humano que a Águas do Algarve, S.A., poderia fornecer a cada utilizador municipal no ano de 2024 ficava limitado ao valor correspondente a 90 % do volume registado no período homólogo de 2023 (com as exceções das entidades gestoras dos municípios de Olhão, Lagoa e São Brás de Alportel, para as quais o período de referência a considerar seria a média dos consumos de 2022/2023), e aprovar um quadro de 13 medidas de resposta imediata, de carácter temporário, para redução de consumos e racionalização da utilização dos recursos hídricos na região do Algarve. Nas figuras 1 a 3 são apresentados exemplos de medidas a implementar pela Águas do Algarve.



Figura 1. Exemplo de medida relativa à captação de volume morto em albufeira, neste caso a fotografia diz respeito a Odeleite, prevendo-se a medida para a albufeira de Odelouca

©APESB



Figura 2. Exemplo de medida relativa à captação de volume morto em albufeira, neste caso a fotografia diz respeito a Odelouca



Figura 3. Exemplo de medida relativa ao reforço do Sistema de Abastecimento de Água em Alta da Águas do Algarve com a reabilitação de captações de água de origem subterrânea

Neste contexto, foi elaborado o Plano de Ação para a Situação de Emergência do Abastecimento de Água ao Algarve em 2024 (AdA, 2024) desenvolvido pela Águas do Algarve e AdP Valor, que inclui medidas de curto prazo e de médio / longo prazo. Por exemplo, foram previstas medidas como a realização de um ensaio de simulações de restrições e alternativas de fornecimento de água, com um corte de 30% e fornecimento de água apenas a Pontos de Entrega Prioritários (PEP) do SAAA realizado no dia 18 de março de 2024 e o reforço ao nível da comunicação, com campanhas como as apresentadas na Figura 4.

Entre as ações de curto prazo foi prevista uma medida para a avaliação e acompanhamento continuado e rigoroso quer das disponibilidades hídricas existentes e quer dos volumes de água fornecidos às entidades gestoras. Esta medida teve como objetivo assegurar a monitorização das origens de água do SAAA e dos consumos do abastecimento público, com vista a sensibilizar os utilizadores para um consumo racional e sustentável deste recurso e apoio na gestão da situação de emergência.

Como ação foi definido o desenvolvimento de uma ferramenta informática com *dashboards* gráficos que monitoriza e avalia automaticamente as disponibilidades de água e os consumos da água, para apoio à *Task Force* para a Gestão da Situação de Emergência do Abastecimento de Água ao Algarve.

©APESB

A opção pela utilização de uma ferramenta de digitalização e integração de informação teve como objetivo a melhoria da eficiência dos processos e da comunicação entre *stakeholders*, alinhada com a estratégia definida no PENSAARP 2030 no seu objetivo B2 - Eficiência na organização das entidades gestoras, que refere que as entidades gestoras devem encetar esforços para modernizar as suas organizações, via inovação e transição digital.



Figura 4. Exemplos de campanhas de comunicação para o uso racional e sustentável de água realizadas pela Águas do Algarve em 2024

2 Metodologia

Para desenvolver o *dashboard* foi essencial, num primeiro momento, definir quais as variáveis necessárias e como poderiam ser recolhidos os dados de partida. No caso das disponibilidades de água, a Águas do Algarve já procedia a um reporte a várias entidades, de forma sistemática, mas "manual" (via *Microsoft Excel*©), dos volumes armazenados nas origens de água do SAAA, nomeadamente nas albufeiras de Odeleite, Beliche e Odelouca.

Por outro lado, relativamente aos dados associados aos volumes para consumo humano fornecidos pela Águas do Algarve, recorreu-se ao sistema de telegestão do SAAA que permite monitorizar esses volumes de forma contínua.

Estando definidas as variáveis e as origens dos respetivos dados, foi constituída uma base de dados alimentada a partir das fontes de dados disponíveis. Esta base de dados foi estruturada de modo a incluir para cada variável as necessárias discretizações temporais e espaciais e as restantes características e atributos. A integração da informação foi feita recorrendo ao *Microsoft PowerBI*©, no qual foi desenvolvido um modelo de dados relacional entre as variáveis que permite a sua análise de forma gráfica através da construção de *dashboards* de reporte. Está prevista a construção de um portal para consulta online pelas diversas partes interessadas e acompanhamento da evolução dos volumes fornecidos que está em desenvolvimento.

3 Resultados

Foram desenvolvidos vários *dashboards*, que permitem analisar as variáveis definidas, designadamente:

1. O *dashboard* inicial apresentado na Figura 5 e que inclui uma visão geral de conjunto com a síntese global atualizada das disponibilidades de água e dos volumes para consumo humano fornecidos pela Águas do Algarve;

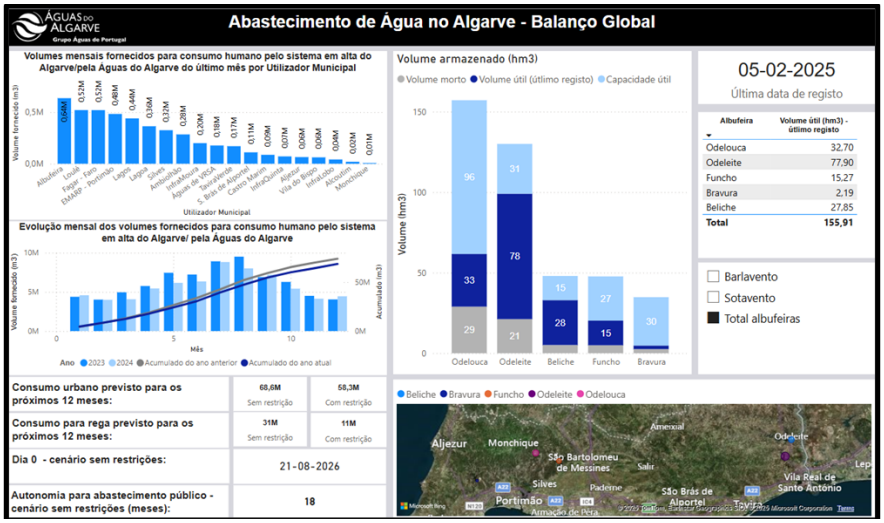


Figura 5. *Dashboard* de visão geral

2. Um *dashboard* relativo às disponibilidades de água, apresentado na Figura 6, que mostra o ponto de situação para cada uma das origens de água, e permite uma análise detalhada do histórico da sua evolução;

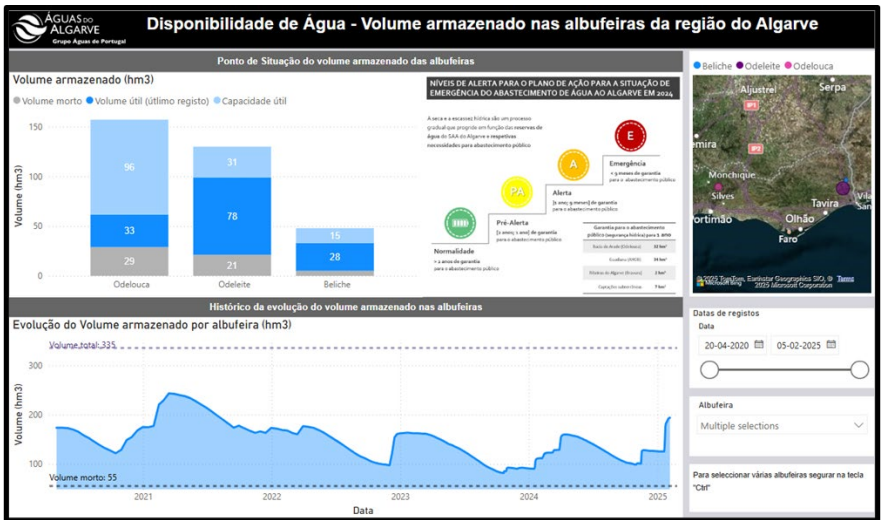


Figura 6. *Dashboard* das disponibilidades de água

3. Um *dashboard* relativo aos volumes de água para consumo humano fornecidos pela Águas do Algarve, apresentado na Figura 7, com uma comparação face ao período de referência, nomeadamente o período homólogo do ano anterior, ou de uma média de anos anteriores. Este *dashboard* ajudou a uma sensibilização coletiva dos utilizadores

municipais e permitiu evidenciar o esforço desses utilizadores para a redução dos consumos de água neste período crítico.

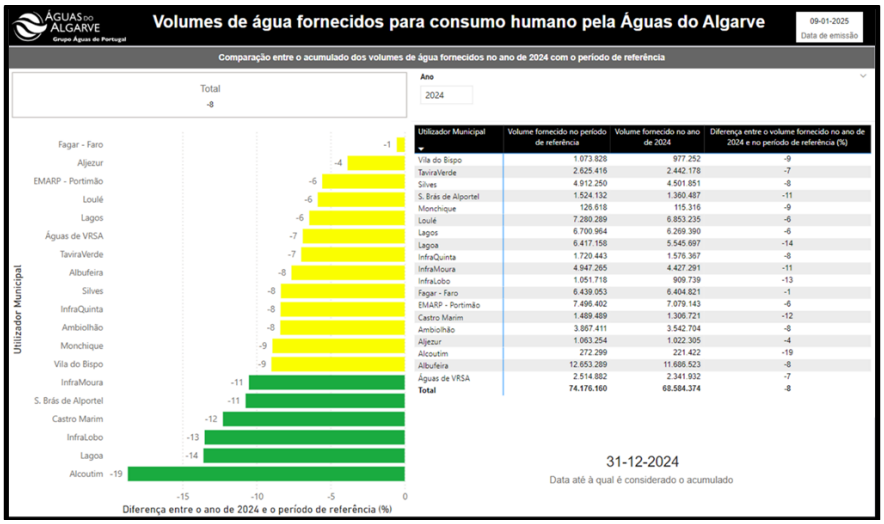


Figura 7. *Dashboard* de reporte dos volumes para consumo humano fornecidos pela Águas do Algarve

Salienta-se que este *dashboard* serviu de suporte para o acompanhamento da situação e o reporte a várias entidades dos volumes para consumo humano fornecidos pela Águas do Algarve, no âmbito do Grupo de Trabalho III - Abastecimento Público sobre a situação de alerta na região do Algarve por motivo de Seca, que constitui um dos grupos de trabalho para coordenação da implementação das medidas definidos na RCM n.º 80/2024 de 21 de junho

Deste modo, foi possível verificar que no final do ano de 2024 a poupança de água face ao período homólogo totalizou cerca de 6 hm^3, obtendo-se uma redução do volume de água fornecido pela Águas do Algarve à totalidade das Entidades Gestoras em 8% no ano 2024. Note-se que foi reduzido o volume de água fornecido a todas as Entidades Gestoras, e que 6 das 19 Entidades Gestoras alcançaram uma redução superior a 10% do volume do período de referência de acordo com a RCM n.º 80/2024 de 21 de junho.

4. Um *dashboard* relativo ao balanço hídrico, apresentado na Figura 8, com a descrição dos pressupostos do cenário para o qual é estimado, gráficos com a distribuição no ano dos usos da água por tipologias e com a evolução dos volumes úteis nas albufeiras do Barlavento e Sotavento.

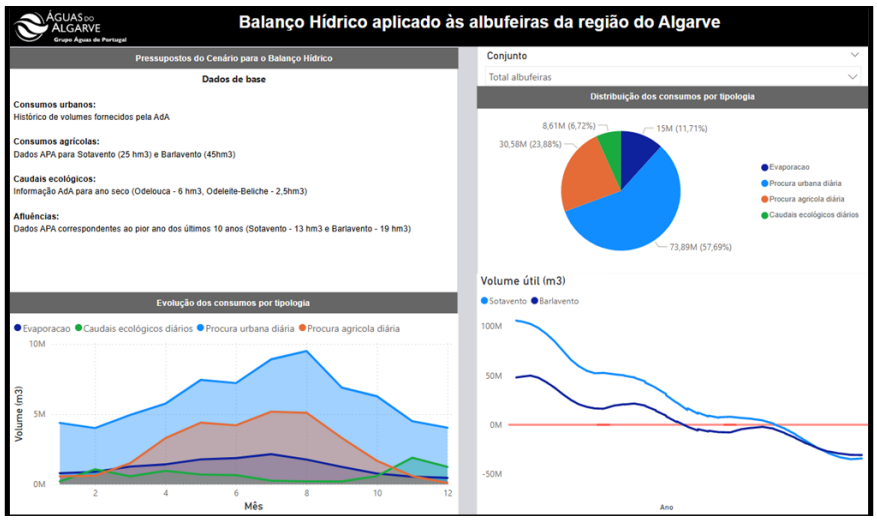


Figura 8. *Dashboard* do balanço hídrico nas albufeiras do Barlavento e Sotavento

©APESB

4 Considerações finais

A gestão da água na região do Algarve constitui um desafio muito exigente devido à seca hidrológica, com tendência para o seu agravamento no futuro tendo em conta o efeito expectável das alterações climáticas. Efetivamente, os impactos muito significativos na economia, no bem-estar das populações, nos ecossistemas e no aumento da pressão sobre as massas de água, traduzindo-se em menor disponibilidade de água nas albufeiras e aquíferos, requerem uma gestão criteriosa da água que permita garantir o abastecimento público de água à região do Algarve. Para poder planear essa gestão da água e definir medidas que contribuam para minimizar esses impactos, é fundamental que haja acesso à informação de uma forma sistematizada para que possa ser transmitida com transparência entre as várias entidades do setor.

Nesse sentido a Águas do Algarve, no âmbito do Plano de Ação para a Situação de Emergência do Abastecimento de Água ao Algarve em 2024, previu o desenvolvimento de um *dashboard* de monitorização das origens de água do SAAA e dos volumes de água fornecidos para abastecimento público, desagregados pelos diferentes utilizadores municipais e respetivos pontos de entrega. Tal como é referido no PENSAARP 2030, a digitalização do setor (incluindo os sistemas de informação, monitorização remota, gestão ou controlo em tempo real) é imprescindível à gestão eficiente, à resiliência e à segurança dos sistemas: implica alterar os processos internos para o digital, através da sua cadeia de valor, em interação com o ecossistema envolvente, obrigando à alteração da cultura ou inovação organizacional. Efetivamente, o desafio de desenvolver um *dashboard* que integrasse a informação relativa às disponibilidades de água e consumos de água para abastecimento público, assegurando em permanência o acesso a informação atualizada para apoiar a tomada de decisão, foi possível graças aos esforços realizados pela Águas do Algarve a vários níveis.

Por outro lado, o reporte da informação que resultou do desenvolvimento do *dashboard* constituiu no âmbito do Grupo de Trabalho III - Abastecimento Público sobre a situação de alerta na região do Algarve por motivo de Seca, um exemplo de sistematização de informação com a sua integração numa só plataforma, permitindo o acesso expedito para facilitar e otimizar o processo de tomada de decisão. Acresce que esta ferramenta facilitou a cooperação e transparência na comunicação, resultando num exemplo também de boa prática na relação com as entidades, nomeadamente com os municípios, com vista a acompanhar a sua evolução e os resultados das ações comuns de redução de consumos para abastecimento público. Note-se que o *dashboard* encontra-se atualmente em uso e estão previstas várias melhorias futuras.

Em suma, a criação de uma ferramenta informática com *dashboards* gráficos para recolha e análise automática de dados de disponibilidades hídricas e consumos de água para abastecimento público revelou-se uma solução estratégica com múltiplas vantagens:

1. Monitorização em Tempo Real - A ferramenta permite a monitorização em tempo real das disponibilidades hídricas e dos consumos de água para abastecimento público. O acesso a dados atualizados, permite uma visão precisa e imediata da situação atual, facilitando a identificação de tendências e anomalias/desvios, aspetos essenciais para a tomada de decisões rápidas e informadas em situações de escassez ou emergência.

2. Análise de Dados Automatizada - A análise automática de grandes volumes de dados, facilita a compreensão dos padrões de consumo e das disponibilidades de água.

3. Suporte à Tomada de Decisão - *Dashboards* gráficos intuitivos e interativos proporcionam uma representação visual clara e compreensível dos dados, facilitando a interpretação dos resultados e a tomada de decisões estratégicas por parte dos gestores.

4. Melhoria na Comunicação com os Utilizadores – a disponibilização de *dashboards* gráficos intuitivos ajuda a melhorar a comunicação com os utilizadores de água. O acesso

a informação transparente e fácil de entender ajuda a promover a consciencialização e a incentivar o uso sustentável e eficiente da água.

5. Apoio no Planeamento e Gestão Proativa - A ferramenta facilita o planeamento e gestão proativa dos recursos hídricos. Ao detetar desvios e tendências, é possível antecipar potenciais problemas e permitir aos gestores implementarem medidas preventivas e de mitigação dos impactos negativos, com vista a assegurar a continuidade do abastecimento público de água e a proteção dos recursos hídricos.

6. Eficiência Operacional - A automatização da recolha e análise de dados reduz a necessidade de intervenções manuais, aumentando a eficiência operacional. Os recursos humanos podem ser redirecionados para outras atividades estratégicas, enquanto a ferramenta garante a precisão e fiabilidade dos dados recolhidos.

7. Monitorização do cumprimento das medidas da Resolução do Conselho de Ministros - A ferramenta ajuda a monitorizar o cumprimento das medidas da RCM e a sua eficácia.

Agradecimentos

Um agradecimento às equipas da Águas do Algarve, Águas de Portugal e AdP VALOR que contribuíram para que fosse possível o desenvolvimento do *dashboard*.

Referências

AdA (2024). Plano de Ação para a Situação de Emergência do Abastecimento de Água ao Algarve em 2024. Águas do Algarve, AdP VALOR.

APA & DGADR (2020). Bases do Plano Regional de Eficiência Hídrica Região do Algarve. Volume I - Memória descritiva. Agência Portuguesa do Ambiente, Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.

Presidência do Conselho de Ministros (2024). Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2024. Diário da República, 1.ª série n.º 119.

República Portuguesa (2024). Plano Estratégico para o Abastecimento de Água e Gestão de Águas Residuais e Pluviais 2030 (PENSAARP 2030). Serviços de Águas de excelência para todos e com contas certas. Volume 1: Plano Estratégico. República Portuguesa. Ambiente e Ação Climática. Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 23/2024, de 5 de fevereiro.

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04 **Data de Publicação** dezembro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

Consigo, continuaremos a transformar resíduos em recursos

MUSAMI
OPERAÇÕES MUNICIPAIS DO AMBIENTE E.I.M., S.A.

Geramos valor para a natureza

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04 **Data de Publicação** dezembro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb



Eventos Bienais

JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS
11th International Technical Waste Conference

ENASB
ENCONTRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Áreas de Interesse

- Abastecimento e Tratamento de Águas;
- Sistemas de Águas Residuais;
  (drenagem, tratamento e destino final)
- Qualidade da Água e Controlo da Poluição
- Residuos Sólidos
  (recolha tratamento e rejeição)
- Ambiente e Saúde Pública

Representante Nacional

CNAIA
Comissão Nacional da Associação Internacional da Água
www.aprh.pt/CNAIA

EWA EUROPEAN WATER ASSOCIATION
www.ewa-online.eu

IWA the international water association
www.iwa-network.org

ISWA International Solid Waste Association
www.iswa.org

Water Environment Federation the water quality people
www.wef.org/

Av. do Brasil, 101
(Edifício NES)
1700-066 Lisboa
PORTUGAL

T. +351 21 844 3849
F. +351 21 844 3048
E. apesb@apesb.pt
www.apesb.org



Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04
Data de Publicação dezembro 2025

ÁGUAS & RESÍDUOS
UMA REVISTA apesb



Instruções para a submissão de trabalhos

A revista Águas & Resíduos publica trabalhos com arbitragem científica em todas as áreas de engenharia sanitária e ambiental, designadamente, projetos de engenharia, trabalhos de ciência e tecnologia, política, gestão, economia, saúde, direito, sociologia e comunicação. Trabalhos sobre teses de doutoramento e mestrado, projetos de I&D&I (investigação, desenvolvimento e inovação) e projetos de implementação à escala real são particularmente encorajados.
As instruções para os autores e o template para a formatação estão disponíveis em http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html, onde deverá também fazer a submissão do trabalho. Na submissão deve incluir um texto com até 300 caracteres para inclusão no índice para, em complemento ao título, atrair o interesse dos leitores.
Outras informações e esclarecimentos adicionais podem ser solicitados a:

APESB
Av. Brasil 101 (Edifício NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49



Instructions for submissions

The submissions to "Águas & Resíduos" are classified as "Papers" or "Technicals Notes" (in principle, up to 8 pages or 4 pages, respectively). The decision about the submission will be taken by the Editors based on the evaluation of, at least, two reviewers.
The instructions for authors and the template for formatting the manuscripts may be downloaded from http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html, where the manuscript should also be submitted. With the submission, the author(s) should supply a text with up to 300 characters for insertion in the contents, after the title, to attract the readers interest.
For more information, please contact:

APESB
Av. Brasil 101 (Edifício NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49



Torne-se membro da APESB aqui

APESB
Av. Brasil 101 (Edifício NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49

apesb
associação portuguesa de engenharia sanitária e ambiental

ÁGUAS&RESÍDUOS

Série V - N.º 04

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Lígia Pinto **Co-editores** António Albuquerque, Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Nídia Caetano, Pedro Álvaro, Isabel Brás, António Martins, João Dias **DOI** 10.22181/aer.2025.04
Data de Publicação dezembro 2025