UMA REVISTA apesb

A&R ÁGUAS & RESÍDUOS

Série V - N.º 02 | **janeiro** 2025

Mitigação de alterações climáticas – projetos de saneamento em cidades costeiras do norte de Angola
Pág. 6 - 13

Um método expedito para avaliar o cumprimento de critérios de segurança de pessoas em ruas inundadas
Pág. 14 - 20

Soluções e tecnologias de saneamento a seco - uma ferramenta simplificada de apoio à decisão
Pág. 21 - 29

O canal HORECA e os desafios de gestão de biorresíduos
Pág. 30 - 37

Adoção de tecnologias para reutilização de água tratada – uma avaliação numa ETAR urbana
Pág. 38 - 47

NOTA TÉCNICA
Monitorização online da qualidade dos efluentes por espectrometria na deteção de descargas industriais indevidas
Pág. 48 - 54

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

Editorial

Edição e Propriedade
© APESB

Editor
António Albuquerque

Co-editores
Leonor Amaral
Paulo Ramísio

Comissão Executiva
Lígia Costa Pinto
Nídia Caetano
Bárbara Rodrigues
Pedro Álvaro

DOI
10.22181/aer.2025.01

Data de Publicação
janeiro de 2025

A presente edição reúne seis artigos que ilustram a diversidade e a inovação das respostas científicas e técnicas aos desafios ambientais do setor das águas e resíduos em contexto urbano, com enfatizando a sustentabilidade, segurança e eficiência dos sistemas de saneamento e gestão de resíduos.

Mitigação das Alterações Climáticas – Projetos de Saneamento em Cidades Costeiras do Norte de Angola
O primeiro artigo destaca a necessidade de integrar a mitigação das alterações climáticas no planeamento das infraestruturas de saneamento em cidades costeiras do norte de Angola. Propõe uma abordagem de "saneamento inclusivo à escala da cidade", promovendo a gestão da cadeia de lamas fecais em paralelo com os sistemas tradicionais de drenagem e tratamento de águas residuais. Privilegiam-se soluções baseadas na natureza, como lagoas e zonas húmidas construídas, que minimizam o consumo de energia e recursos, permitindo ainda a criação de microempresas para a recolha e transporte de lamas, bem como a reutilização de efluentes tratados para potenciar a atividade agrícola local.

O Canal HORECA e os Desafios de Gestão de Biorresíduos
O segundo artigo aborda os desafios da implementação da recolha seletiva de biorresíduos no setor HORECA no concelho de Silves, Algarve. A investigação revela que apenas uma minoria dos estabelecimentos recupera resíduos para alimentação animal, evidenciando a necessidade de sistemas de recolha seletiva eficazes e adaptados. O estudo propõe uma calendarização otimizada da recolha e a alocação adequada de contentores, com base em dados de campo e na participação ativa dos estabelecimentos, contribuindo para o cumprimento das metas regionais de sustentabilidade.

Método Expedito para Avaliar o Cumprimento de Critérios de Segurança de Pessoas em Ruas Inundadas
O terceiro artigo apresenta um método expedito para avaliar o cumprimento dos critérios de segurança em ruas inundadas, utilizando o produto da profundidade e velocidade da água como indicador de risco. O método permite estimar rapidamente o risco de instabilidade para pessoas e veículos, recorrendo a modelos simplificados de escoamento ou simulações de transbordo em redes de drenagem, facilitando a tomada de decisões em contextos urbanos sujeitos a cheias.

Soluções e Tecnologias de Saneamento a Seco – uma Ferramenta Simplificada de Apoio à Decisão
O quarto artigo introduz uma ferramenta digital de apoio à decisão para a seleção de tecnologias de saneamento seco, baseada numa análise multicritério que abrange aspetos sociais, económicos, técnicos e ambientais. A interface permite comparar diferentes soluções de latrinas, sendo especialmente relevante para países em desenvolvimento, onde o saneamento seco é predominante em áreas rurais e periurbanas. Esta abordagem facilita o planeamento inicial de infraestruturas, promovendo escolhas sustentáveis e adaptadas às populações mais vulneráveis.

Adoção de Tecnologias para Reutilização de Água – uma Avaliação numa ETAR Urbana
O quinto artigo explora a aplicação de tecnologias de tratamento terciário e suas combinações para a produção de água para reutilização (ApR) numa estação de tratamento de águas residuais urbanas. Os ensaios demonstram que a combinação de separação por membranas e ozonização permite obter ApR de elevada qualidade para usos agrícolas e urbanos. A análise de custos operacionais destaca a ultrafiltração como a tecnologia mais eficiente nas condições testadas, promovendo uma gestão sustentável da água face à sua crescente escassez.

Monitorização Online da Qualidade dos Efluentes por Espectrometia na Deteção de Descargas Industriais Indevidas
O sexto artigo sublinha a importância da monitorização contínua da qualidade dos efluentes, recorrendo à espectrofotometria UV-Vis, para detetar descargas industriais que possam comprometer o funcionamento das ETAR ou a reutilização da água. A monitorização em tempo real permite uma resposta imediata a eventuais contaminações, assegurando elevados padrões de qualidade e proteção ambiental.

Conclusão
Em conjunto, estes artigos refletem a evolução global para abordagens integradas, eficientes e tecnologicamente avançadas nos setores das águas, águas residuais e resíduos. Das infraestruturas resilientes em Angola à inovação na gestão de resíduos e reutilização de água em Portugal, a investigação aqui reunida evidencia a necessidade de soluções adaptativas para enfrentar os desafios do século XXI, promovendo ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes.

Lígia Pinto
Equipa Editorial

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.02 (2024)

06 **Mitigação de alterações climáticas – projetos de saneamento em cidades costeiras do norte de Angola**
Rita Ventura Matos, Filipa Ferreira, Liliana Alves, Margarida Dolores, Pau-la Ferraz, Elsa Ramos, Lucrécio Costa, José Saldanha Matos

O artigo apresenta soluções de saneamento sustentável para quatro cidades costeiras no norte de Angola. O foco está na gestão integrada de lamas fecais e águas residuais, utilizando sistemas naturais de baixo custo, visando minimizar o impacto ambiental e fomentar a economia circular.

14 **Um método expedito para avaliar o cumprimento de critérios de segurança de pessoas em ruas inundadas**
Luís Mesquita David, Rita Fernandes de Carvalho

Apresenta-se um método expedito para avaliar o cumprimento do critério de risco dado pelo produto da profundidade e da velocidade da inundação (hV). Considera a secção das ruas e os caudais de inundação (sem conhecer h e V) e é válido em regimes rápidos e lentos, exceto em transições bruscas.

21 **Soluções e tecnologias de saneamento a seco - uma ferramenta simplificada de apoio à decisão**
Margarida Santos, Rita Matos, Liliana Alves, José Saldanha Matos

Neste artigo apresenta-se uma ferramenta simplificada de apoio à decisão, para a seleção de tecnologias de saneamento a seco. A ferramenta baseia-se em análise multicritério, sendo particularmente útil em fases precoces do planeamento das infraestruturas, ao serviço de populações vulneráveis, de baixo rendimento.

30 **O canal HORECA e os desafios de gestão de biorresíduos**
João Vaz, Olga Ganziuc, Margarida Benvindo, Fernanda Almeida, Ricardo Santos, José Pinto

A auscultação aos estabelecimentos HORECA do município de Silves sobre hábitos de deposição de resíduos e a quantificação de resíduos alimentares gerados por refeição, permitiu dimensionar o sistema e envolver os estabelecimentos na recolha seletiva porta-a-porta de biorresíduos.

38 **Adoção de tecnologias para reutilização de água tratada – uma avaliação numa ETAR urbana**
Luís Marinheiro, Ruben Jorge, Inês Baptista, Luísa Lopes, João Vilaça, Rui Sampaio, Stefan Löblich

Estudo comparativo da aplicação de tecnologias de tratamento terciário para produção de água para reutilização (ApR) em ambiente real numa ETAR urbana. São apresentados e comparados resultados da qualidade das ApR, classificação para diferentes usos e custos operacionais.

48 NOTA TÉCNICA
Monitorização online da qualidade dos efluentes por espectrometria na deteção de descargas industriais indevidas
Cristina Caldas, Pedro Fernandes, António Soares, Adélio Neto

Descubra como a espectrometria UV-Vis revoluciona a monitorização da qualidade da água, permitindo a deteção imediata de descargas industriais ilegais e garantindo o cumprimento da legislação ambiental.

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

CONTENTS

V.02 (2024)

07 **Climate change mitigation – design of sanitation services in coastal cities of northern Angola**

Rita Ventura Matos, Filipa Ferreira, Liliana Alves, Margarida Dolores, Pau-la Ferraz, Elsa Ramos, Lucrécio Costa, José Saldanha Matos

The article explores sustainable sanitation solutions for four coastal cities in northern Angola. It emphasizes integrated faecal sludge and wastewater management using low-cost, nature-based systems, aiming to reduce environmental impact and boost circular economy.

15 **An expedited method to assess compliance with people safety criteria in flooded streets**

Luís Mesquita David, Rita Fernandes de Carvalho

An expedited method is presented to assess compliance with the risk criterion given by the product of flood depth and velocity (hV). It considers the street cross section and flood flows (not knowing h and V) and is valid for both supercritical and subcritical flow, except for abrupt transitions.

22 **Solutions and technologies for dry on-site sanitation – a simplified supporting decision tool**

Margarida Santos, Rita Matos, Liliana Alves, José Saldanha Matos

This paper presents a simplified decision support tool for dry-sanitation options. The developed tool, based on a multicriteria approach, is particularly useful in early stages of urban sanitation planning, for the benefit of the most poor and vulnerable.

31 **The HORECA channel and biowaste management challenges**

João Vaz, Olga Ganziuc, Margarida Benvindo, Fernanda Almeida, Ricardo Santos, José Pinto

Consulting the HORECA establishments of the municipality of Silves on waste disposal habits and the quantification of food waste generated per meal, allowed to size the system and involve the establishments in the door-to-door selective collection of biowaste.

39 **Adoption of water reuse technologies – an evaluation at an urban WWTP**

Luís Marinheiro, Ruben Jorge, Inês Baptista, Luísa Lopes, João Vilaça, Rui Sampaio, Stefan Löblich

Comparative study on the application of tertiary treatment technologies to produce water for reuse (ApR) at an urban WTTP under real environment conditions. ApR quality results, classification for different uses and operating costs are presented and compared.

49 TECHNICAL NOTE

Online monitoring of effluent quality using spectrometry to detect undue industrial discharges

Cristina Caldas, Pedro Fernandes, António Soares, Adélio Neto

Discover how UV-Vis spectrometry revolutionizes water quality monitoring, enabling immediate detection of illegal industrial discharges and ensuring compliance with environmental regulations.

Published by © APESB **Address** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Executive Board** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Publication date** january 2025

Mitigação de alterações climáticas – projetos de saneamento em cidades costeiras do norte de Angola

Rita Ventura Matos [a], Filipa Ferreira [b], Liliana Alves [c], Margarida Dolores [c], Paula Ferraz [c], Elsa Ramos [c], Lucrécio Costa [c], José Saldanha Matos [b]*

[a] Hidra, Hidráulica e Ambiente, Lda, Av. Defensores de Chaves 31, 1ºE, Lisboa, Portugal

[b] CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal

[c] Ministério de Energia e Águas - Direcção Nacional de Águas, Via S8 Condomínio Dolce Vita, Ed. 1D, Talatona, Luanda, Angola

Resumo

No âmbito deste artigo apresentam-se princípios e elementos dos projetos de saneamento desenvolvidos para quatro povoações costeiras no norte de Angola, com foco na implementação de uma cadeia de gestão de lamas fecais, paralelamente aos sistemas tradicionais de drenagem e tratamento de águas residuais, numa perspetiva de "saneamento inclusivo à escala da cidade" e minimização da exigência de recursos, nomeadamente energéticos e de mitigação de emissão de gases com efeito de estufa (GEE). As águas residuais geradas nos centros urbanos de maior densidade populacional, e com abastecimento de água, serão encaminhadas para tratamento dedicado ou co-tratamento com as lamas fecais, produzidas em sistemas de saneamento on-site (fossas e latrinas). O tratamento dos efluentes baseia-se em sistemas de base natural, de baixos consumos em reagentes, energia, materiais e equipamentos, através fundamentalmente de lagunagem e zonas húmidas construídas. O sistema potenciará a criação de micro negócios de recolha e transporte das lamas fecais por meio de veículos, preconizando-se também a reutilização das lamas higienizadas e dos efluentes desinfetados, para potenciação da atividade agrícola local.

Palavras-Chave: Economia circular, gestão de lamas fecais, saneamento inclusivo, saneamento a seco.

doi: 10.22181/aer.2025.0101

* *Autor para correspondência*
E-mail: r.matos@hidra.pt

Climate change mitigation – design of sanitation services in coastal cities of northern Angola

Rita Ventura Matos [a], Filipa Ferreira [b], Liliana Alves [c], Margarida Dolores [c], Paula Ferraz [c], Elsa Ramos [c], Lucrécio Costa [c], José Saldanha Matos [b]*

[a] Hidra, Hidráulica e Ambiente, Lda, Av. Defensores de Chaves 31, 1ºE, Lisboa, Portugal

[b] CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal

[c] Ministério de Energia e Águas - Direcção Nacional de Águas, Via S8 Condomínio Dolce Vita, Ed. 1D, Talatona, Luanda, Angola

Abstract

This paper presents the rationale and elements of the sanitation projects developed for four coastal towns in northern Angola, focusing on the implementation of a faecal sludge management chain, in parallel to traditional drainage and wastewater treatment systems, in a "city wide inclusive sanitation" perspective, while minimizing the demand for resources, namely energy, and mitigation of greenhouse gas (GHG) emissions. Wastewater generated in urban centres, with higher population density and water supply, will be conveyed for dedicated treatment or co-treatment with the faecal sludge produced in on-site sanitation systems (pits and latrines). Effluent treatment is based on nature-based systems, with low consumption of chemicals, energy, raw materials, and equipment, mainly through ponds and constructed wetlands. The system will allow for the creation of micro-businesses for the collection and transport of faecal sludge by means of vehicles, also promoting the reuse of sanitized sludge and disinfected effluents, to enhance local agricultural activity.

Keywords: Circular economy, faecal sludge management, inclusive sanitation, dry sanitation.

doi: 10.22181/aer.2025.0101

* *Corresponding author*
E-mail: r.matos@hidra.pt

©APESB

1 Introdução

Nos últimos anos o Governo de Angola tem realizado um esforço apreciável no sentido de melhorar o acesso seguro à água em cidades e aglomerados populacionais de Angola. Contudo, a implementação de sistemas de saneamento nem sempre tem acompanhado as iniciativas de implementação de sistemas de abastecimento de água. A generalidade dos sistemas de drenagem convencionais dos centros urbanos datam do período colonial, e são geralmente insuficientes, encontrando-se em acentuado estado de degradação. A maioria das cidades compreende grandes áreas periurbanas, onde prevalecem soluções de saneamento a seco, na sua maioria sob a forma de latrinas tradicionais unifamiliares ou multifamiliares. Adicionalmente, estima-se que atualmente apenas 66% das habitações no país incluam instalações sanitárias adequadas (INE, 2014).

No âmbito do Projeto "*Support to Urban Water Supply and Sanitation Service Delivery (ISSUWSSSD)*", financiado pelo Banco Africano de Desenvolvimento (AfDB) e pelo Governo de Angola, esta lacuna foi identificada, tendo sido lançados concursos para a realização de estudos e projetos de execução e de conceção-construção, para identificar as melhores soluções de saneamento para as cidades costeiras. O presente trabalho enquadra-se no ISSUWSSSD, e refere-se aos Estudos no Âmbito da Recolha e Tratamento de Águas Residuais das Cidades Costeiras de Lândana, N'Zeto, Cabinda e Soyo, no norte de Angola, cujos objetivos estratégicos se referem sobretudo à universalidade, continuidade e qualidade de serviço; proteção dos valores ambientais, e sustentabilidade do sector (através da otimização da gestão operacional e dinamização do tecido empresarial local e nacional).

Os principais objetivos específicos para o projeto consistiram sobretudo em garantir, até 2030 a erradicação da defecação a céu aberto na área do projeto, bem como a cobertura total do serviço, através de uma abordagem integrada de saneamento, conciliando soluções tradicionais, isto é drenagem e tratamento de águas residuais em zonas urbanas com rede pública de abastecimento de água, com soluções de gestão sustentável de lamas fecais, incluindo a recolha, reserva, transporte, tratamento e deposição final.

Por um lado, o contexto socioeconómico do país (elevada densidade populacional, baixo desenvolvimento económico, fraco planeamento territorial com tecido urbano não estruturado, baixo índice de desenvolvimento humano) apresenta claros desafios para a implementação a larga escala de infraestruturas públicas complexas e onerosas. Contudo, esse mesmo contexto pode potenciar uma mudança de paradigma no sentido de opções de saneamento mais sustentáveis, nomeadamente soluções de base natural e cadeias de gestão de lamas fecais, que representam usualmente soluções mais viáveis em diversas zonas da África subsaariana (Strande et al., 2014).

Não obstante, o planeamento urbano dos serviços de saneamento é complexo, pois envolve diferentes escalas, uma grande variedade de intervenientes (*stakeholders*) e opções técnicas elegíveis para tecnologias de tratamento, para além de diferentes modelos de negócio para a recolha e transporte de lamas fecais. Este processo apresenta frequentemente objetivos contrastantes, exigindo assim a capacidade de tomar decisões informadas numa fase inicial de planeamento, sendo cada vez mais comum a utilização de metodologias e modelos multicritério de apoio à decisão.

Pretendeu-se com o projeto maximizar as potencialidades da economia circular, com a possibilidade de reutilização de efluente desinfetado para usos compatíveis, bem como dos subprodutos gerados, nomeadamente dos biosólidos para aplicação na agricultura e espalhamento em solos.

©APESB

2 Materiais e Métodos

2.1 Caracterização sumária das cidades costeiras do caso de estudo

As quatro povoações costeiras de estudo de caso são localizadas no norte de Angola, onde prevalecem as soluções de saneamento a seco, na sua maioria sob a forma de latrinas de fossa tradicionais, sobretudo nas zonas periurbanas. Os sistemas de drenagem de águas residuais existentes datam, em grande parte, do período colonial, encontrando-se em regra em avançado estado de degradação.

Soyo é uma cidade que se desenvolve na margem esquerda do estuário do rio Congo, com uma área de cerca de 31 km^2, uma população estimada de 180 300 habitantes em 2025, e com uma forte presença da indústria do petróleo e gás. A região apresenta um dos maiores ecossistemas de mangais de Angola. O desenvolvimento de aglomerados populacionais informais junto destas massas de água tem vindo a aumentar, o que combinado com a falta de acesso seguro à água e saneamento, tem contribuído para uma forte incidência de doenças gastrointestinais, incluindo surtos de cólera em anos recentes (2016/2017) (MSF, 2021).

Cabinda é a capital da província com o mesmo nome, um enclave angolano que faz fronteira com a República do Congo e a República Democrática do Congo. A cidade apresenta uma área total de cerca de 91 km^2, e uma população estimada de próximo de 761 500 habitantes em 2025 O centro da cidade é rodeado por colinas íngremes ocupadas por povoações informais, com difícil acesso a veículos para recolha de lamas, onde as latrinas tradicionais ou a defecação a céu aberto são as práticas mais comuns. Nas zonas centrais urbanizadas, existem fossas sépticas em edifícios comerciais e residenciais maiores. No entanto, as linhas de água da cidade e os canais de águas pluviais são frequentemente utilizados para descarga direta de águas residuais não tratadas e deposição de resíduos sólidos urbanos.

Lândana e N'Zeto são vilas relativamente mais pequenas, com populações a servir inferiores a 50 000 habitantes. Lândana tem cerca de 5 km^2, uma população de perto de 23 000 habitantes em 2025, e encontra-se localizada na Baía da Lândana, numa área caracterizada por ravinas íngremes e erosão costeira. N'Zeto, trata-se duma vila piscatória, com cerca de 38 000 habitantes em 2025, e é caracterizada por praias arenosas, com algumas lagoas e salinas influenciadas pelo mar. Ambas dependem de soluções de saneamento a seco na maioria dos bairros, com ocasionais fossas sépticas em pequenas áreas consolidadas com abastecimento de água canalizada.

2.2 Critérios para definição de soluções

A definição de soluções teve por base uma abordagem multicritério (cuja descrição detalhada pode ser consultada em Matos et al., 2021), para a) soluções de drenagem ou recolha de lamas fecais e tratamento on-site, e b) soluções de tratamento offsite.

No que se refere às primeiras, os critérios tidos em conta referem-se às capitações de água de consumo, à densidade populacional e á cota topográfica. No caso de elevada densidade populacional (acima de 150 hab/ha) e consumo de água per capita acima de 30 l/(hab/dia), a solução tipicamente mais adequada, em termos económicos, é a de rede de saneamento gravítica afluente a uma ETAR. Esta situação resulta do facto de não existirem áreas disponíveis para acomodar mais fossas sépticas ou áreas de disposição final adequadas.

No entanto, quando os consumos de água são elevados, mas a densidade de ocupação ainda é muito baixa, deve em regra manter-se, do ponto de vista técnico, económico e ambiental, o uso de fossas sépticas. Para baixos consumos de água, vigoram as soluções de latrina, sem

©APESB

esvaziamento (zonas rurais), e com esvaziamento e transporte das lamas a tratamento, em função da densidade de ocupação do território.

As soluções *on-site* acima do nível do solo devem ser consideradas em função do tipo de solo e dos níveis do lençol freático. Para tal, foi utilizado um software SIG de código aberto (QGis) para identificar os bairros localizados a cotas topográficas mais baixas, através de modelos digitais do terreno (DTM), e que possam estar sujeitos a níveis freáticos elevados, ou à subida do nível médio do mar (N.M.M), para evitar a contaminação fecal desses meios hídricos e garantir a proteção de águas subterrâneas e costeiras.

Em zonas sem acessibilidade a veículos pesados para recolha de lamas, preconiza-se a recolha primária das lamas das fossas sépticas e latrinas por micro operadores dotados de um veículo do tipo *VacuTug* ou equivalente (veículos de pequenas dimensões, capazes da recolha de lamas fecais de fossas ou latrinas, por meios manuais ou mecânicos). As lamas serão depositadas provisoriamente numa estação de transferência de lamas (ETL), que inclui um reservatório enterrado, cuja localização tem de ser acessível a veículos motorizados. Posteriormente será efetuada uma recolha secundária das lamas da ETL até às estações de tratamento por veículos de maiores dimensões (limpa-fossas ou camiões-cisterna).

As soluções de tratamento de efluentes têm como critério a adoção de soluções de base natural ("*Nature-based solutions*"), de forma a minimizar consumos de energia, reagentes e mão de obra especializada (Libhaber and Jaramillo, 2012; Rizzo et al*.,* 2018). Sempre que possível adotaram-se soluções por lagunagem para co tratamento de águas residuais e lamas fecais na mesma instalação, exceto no caso de Cabinda, que devido à elevada população a servir (cerca de 1 milhão de habitantes equivalentes no ano horizonte de 2040), justifica a consideração de duas instalações separadas. Neste caso, previu-se uma ETAR de lagunagem para os efluentes líquidos e uma Estação de Tratamento de Lamas Fecais (ETLF) dedicada, em sistema híbrido, com lagunagem e zonas húmidas construídas.

As linhas de tratamento adotadas nas ETAR configuram geralmente uma sequência de lagoas anaeróbias, lagoas facultativas com plantas macrófitas flutuantes, para aumento da eficiência de remoção de azoto, e lagoas de maturação para desinfeção do efluente. O tratamento de fase sólida é preconizado por leitos de secagem e plataformas de estabilização de lamas. Para o tratamento dedicado de lamas fecais na estação dedicada de Cabinda, através de sistema híbrido, a fase líquida será submetida a tratamento em tanques de sedimentação, tanques anaeróbios e zonas húmidas (leitos de macrófitas) operadas em sistema francês (para cumprimento do requisito legal de remoção de azoto). As lamas do processo serão igualmente desidratadas em leitos de secagem e estabilizadas.

Todas as ETAR serão dotadas de soluções de desinfeção de efluentes, para reutilização com usos compatíveis. A percentagem de efluente a desinfetar depende dos caudais a tratamento, das necessidades locais e disponibilidade hídrica. Optou-se pela possibilidade de desinfeção total dos efluentes de N'Zeto e Lândana em lagoas de maturação, e desinfeção parcial em Soyo e Cabinda, para reutilização interna e irrigação agrícola dos terrenos adjacentes. Todas as instalações preconizam também a estabilização e higienização das lamas fecais e lamas resultantes do processo de tratamento, numa plataforma de compostagem (com opção de adição de cal viva, se necessário). Esta etapa permite também potenciar o aproveitamento dos biosólidos para uso agrícola e enriquecimento de solos, nas fazendas agrícolas e pequenos lotes de agricultura de subsistência familiar ("lavras") na região.

De forma a contribuir para o sucesso de implementação e futura operação dos sistemas, foram realizadas diversas sessões de consulta às partes interessadas, incluindo a representantes da sociedade civil, entidades religiosas, ONGs, etc., e workshops onde se realizaram os processos de elicitação de preferências e discussão de alternativas para aplicação do modelo multicritério. Adicionalmente, foram desenvolvidas várias ações de formação e capacitação, dirigidas

sobretudo aos técnicos das recém-formadas entidades gestoras (EPAS - Empresas Públicas de Águas e Saneamento de Angola) e administração municipal e central.

3 Análise de Resultados

Apresentam-se na Figura 1 os dados ou elementos-chave dos projetos de saneamento dos 4 aglomerados populacionais.

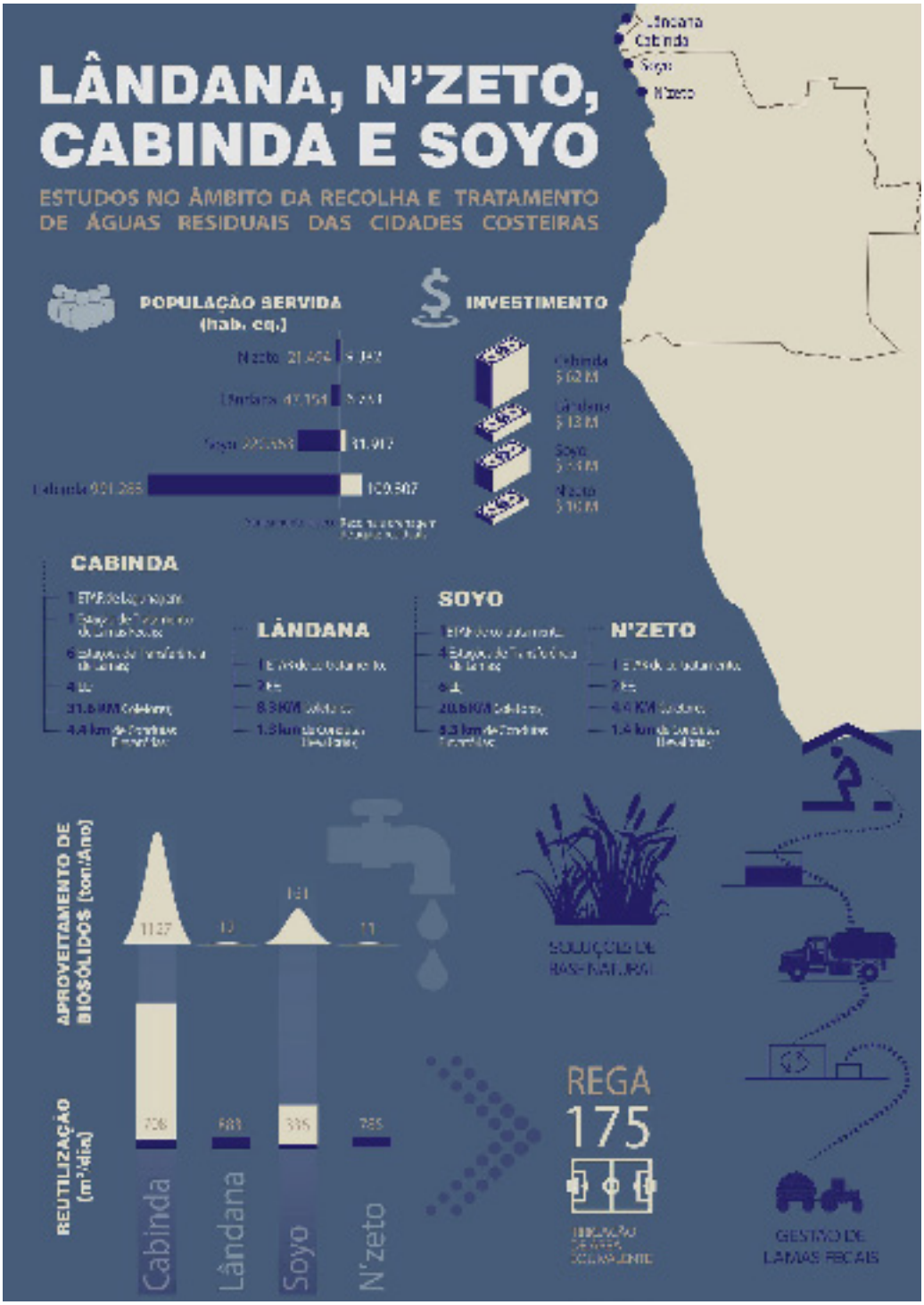


Figura 1. Dados chave dos projetos de saneamento das cidades de Lândana, N'Zeto, Cabinda e Soyo

©APESB

Os projetos foram desenvolvidos para o ano horizonte de 2040, com possibilidade de expansão para o ano horizonte de 2060.

As quatro cidades do caso de estudo apresentam acentuadas diferenças em termos de população servida, área de implantação, densidade populacional e tipologia de malha urbana e peri-urbana. No entanto, para todas elas, as soluções basearam-se nos pressupostos descritos anteriormente, com foco em garantir a implementação prioritária de uma cadeia de gestão de lamas fecais, para servir os mais frágeis, isto é, a população residente no peri-urbano sem qualquer acesso a serviços de água ou saneamento, exposta a maiores riscos de saúde pública. Admitindo a cobertura total da população por serviço de saneamento em ano horizonte, a frequência diária máxima de descarga de lamas fecais por camião nas instalações pode variar de 8 - 25 camiões (de 5 m^3) por dia nas vilas de N'Zeto e Lândana, a mais de 100 descargas diárias na cidade de Cabinda.

Estando coberta a necessidade prioritária, a preocupação seguinte prendeu-se com a provisão de serviço de rede tradicional de drenagem (através de coletores, estações elevatórias e condutas gravíticas) nos centros populacionais urbanos, tipicamente com serviço de abastecimento de água, onde os caudais gerados são previsivelmente superiores.Nas cidades maiores, nomeadamente Cabinda e Soyo, teve-se igualmente a preocupação de proteção das linhas de água, atualmente usadas como meio recetor de descargas incontroladas de efluentes brutos (e resíduos sólidos urbanos), através do interseção e desvio desses efluentes para tratamento adequado nas ETAR previstas em cada cidade.

A linha de tratamento de fase líquida das ETAR, composta por lagoas anaeróbias, lagoas facultativas com macrófitas flutuantes e lagoas de maturação, permite a remoção eficiente de poluentes e desinfeção de efluentes, tornando-os seguros para reutilização agrícola. A escolha destas tecnologias foi motivada pela sua adaptabilidade às condições locais e pela comprovada eficácia em projetos similares no sul global. No entanto, a área necessária para a sua implantação aumenta consideravelmente, face a soluções de tratamento convencionais. Como exemplo, a área prevista para a ETAR de N'Zeto (incluindo reserva para expansão) resultou em 6.7 ha, sendo que para a de Cabinda ascendeu a perto de 17 ha.

Esta abordagem integrada (da utilização de sistemas de gestão de lamas fecais com sistemas de drenagem tradicionais) permite não só garantir, de forma sustentada, o acesso ao serviço a toda a população das áreas de estudo, mas também minimizar os custos de investimento e operação, que nos sistemas tradicionais são tipicamente superiores por várias ordens de grandeza, devido à necessidade de coletores de grandes diâmetros e/ou profundidades de escavação, estações elevatórias para a elevação de efluentes e soluções de tratamento de efluentes de elevado consumo energético.

Os projetos para as quatro cidades foram igualmente alvo de avaliação de impacte ambiental, (tendo um deles sido adicionalmente alvo de um Plano de Reassentamento) tendo em conta os requisitos legais nacionais e o quadro de salvaguardas ambientais e sociais do Banco Africano de Desenvolvimento.

4 Conclusões

O projeto desenvolvido, que decorreu até ao início do ano de 2022, visa o estabelecimento de serviços de saneamento adequados, com satisfação da legislação em vigor, suportado por práticas sustentáveis nas vertentes técnicas, sociais, ambientais e económicas.

A implementação do projeto é fundamental para ajudar o país a alinhar-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU em 2020-2030. A necessidade de aumentar e melhorar consideravelmente o setor e serviços de saneamento é uma condição prévia para melhorar as condições de desenvolvimento do país, nomeadamente de saúde pública, condições socioeconómicas e promover melhores condições ambientais.

©APESB

O contexto nacional em que se insere faz com que seja prioritário o desenvolvimento de sistemas de gestão de lamas fecais, ao longo de toda a cadeia, de forma a promover o acesso generalizado a serviços seguros de saneamento, e a proteção do meio ambiente (recursos hídricos subterrâneos e costeiros), com o capital económico e humano disponível.

Pretende-se igualmente, com a implementação do projeto, a capacitação do setor, e a criação de valor, através da reutilização de subprodutos gerados, bem como a potenciação de criação de modelos de negócio associados ao transporte de lamas e reutilização dos biosólidos, que poderá ser levada a cabo por micro empreendedores locais. Desta forma obtém-se potencialmente desde cerca de 11 t/ano (N'Zeto) a mais de 1170 t/ano (Cabinda) de biosólidos para utilização como composto, bem como cerca de 330 a mais de 750 m^3/dia de água desinfetada para irrigação irrestrita de culturas agrícolas na região norte de Angola.

Não obstante os desafios à sua implementação, a demonstração da aplicabilidade das linhas orientadoras gerais do projeto a cidades de diferentes dimensões e características permite equacionar abordagens alternativas ao setor do saneamento em países em desenvolvimento, com base em baixos consumos energéticos e reduzidas necessidades de operação e manutenção. Considera-se que a abordagem proposta pode ser facilmente replicada, noutros contextos da realidade angolana e de outros países de baixo e médio rendimento.

Revelou-se vantajosa a utilização do modelo multicritério como base para apoio e comunicação da decisão a partes interessadas, não descurando os desafios de capacitação técnica, adesão da população e de financiamento.

Referências

INE – Instituto Nacional de Estatística. Resultados definitivos do recenseamento geral da população e da habitação de Angola 2014. Obtido em: www.ine.gov.ao, a 12 dezembro, 2019.

Libhaber, M. and Orozco-Jaramillo, A. Sustainable treatment and reuse of municipal wastewater – for decision makers and practicing engineers. IWAP, June 2012. 576pp. ISBN: 9781780400167

Matos R. V., Ferreira F., Alves L., Ramos E., Costa L., Matos J. S. (2021). Multi-Criteria Framework for Selection of City-Wide Sanitation Solutions in Coastal Towns in Northern Angola, *Sustainability* 13(10), 5627.

MSF – Médecins Sans Frontiérs International Activity Report 2017 – obtido em https://www.msf.org/sites/msf.org/files/2018-08/msf-international-activity-report-2017_1.pdf, a 15 março, 2021.

Rizzo, A., Bresciani, R., Martinuzzi, N., & Masi, F. French Reed Bed as a Solution to Minimize the Operational and Maintenance Costs of Wastewater Treatment from a Small Settlement: An Italian Example. Water, 2018, 10. doi:10.3390/w10020156 doi:10.3390/w10020156

Strande, L., Ronteltap, M. e Brdjanovic, D. (2014). Faecal Sludge Management - Systems Approach for Implementation and Operation. IWA Publishing UK. doi: 10.2166/9781780404738

©APESB

Um método expedito para avaliar o cumprimento de critérios de segurança de pessoas em ruas inundadas

Luís Mesquita David[a, *], *Rita Fernandes de Carvalho*[b]

[a] LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

[b] MARE, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal

RESUMO

O produto da profundidade e da velocidade da inundação (hV) é o critério mais utilizado para definir os limiares da estabilidade e segurança de pessoas e viaturas face à ação dos caudais de inundação. Na maioria dos casos, os critérios de segurança têm limitado hV a valores entre 0,4 e 0,5 m²/s, embora estudos recentes proponham uma redução que vai até 0,22 m²/s em áreas urbanas. Neste artigo apresenta-se um método expedito que permite aferir o cumprimento de limites pré-estabelecidos do produto hV a partir unicamente dos caudais de inundação em arruamentos, isto é, sem se conhecer diretamente h e V, e de caraterísticas facilmente quantificáveis do arruamento. Os caudais de inundação podem ser estimados através de modelos simplificados do escoamento superficial ou a partir dos extravasamentos simulados com modelos da rede de coletores. Apesar de ter sido concebido considerando o escoamento em regime rápido, o método mostrou-se válido para um conjunto diversificado de condições de escoamento, tanto em regime rápido como lento, exceto para situações de variação rápida do regime de escoamento.

Palavras-Chave: inundações, critérios de segurança, drenagem urbana, incerteza, método expedito.

doi: 10.22181/aer.2025.0102

[*] *Autor para correspondência*
E-mail: ldavid@lnec.pt

An expedited method to assess compliance with people safety criteria in flooded streets

Luís Mesquita David[a, *], *Rita Fernandes de Carvalho*[b]

[a]LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

[b]MARE, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal

ABSTRACT

The product of flood depth and velocity (hV) has been the most widely used criterion for defining stability thresholds for people and vehicles in flooding conditions. In most cases, safety criteria have limited hV to values between 0.4 and 0.5 m^2/s, although recent studies propose a reduction down to 0.22 m^2/s in urban areas. In this paper, an expedited method is presented to verify compliance with pre-established thresholds of the hV product based solely on the flood flow rates in streets (that is, without directly knowing h and V) and on easily quantifiable characteristics of the street. Flood flow rates can be estimated using simplified runoff models or derived from simulated overflows in sewer network models. Despite being conceived for supercritical flow, the method proved valid for a diverse set of flow conditions, including both supercritical and subcritical flow, except for rapidly varying flow conditions.

Keywords: flooding, safety criteria, urban drainage, uncertainty, expedited method.

doi: 10.22181/aer.2025.0102

* Corresponding author
E-mail: ldavid@lnec.pt

©APESB

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem crescido a preocupação com o risco de inundações nas cidades. Por um lado, a expansão urbana, a impermeabilização do solo e as alterações climáticas têm levado ao aumento dos caudais pluviais. Por outro, há uma maior consciência da necessidade da preparação para fazer frente a chuvadas com elevados períodos de retorno, isto é, a eventos que excedem a capacidade de transporte dos coletores. Nesse sentido, têm sido feitos esforços para avaliar o risco das inundações no espaço urbano e para encontrar soluções para as acomodar (David, 2019).

Dado que, durante as inundações urbanas, as ruas funcionam como uma rede de drenagem superficial, tem sido desenvolvida investigação experimental e teórica para estabelecer critérios de segurança para os transeuntes. Esses critérios devem ser diferentes dos usados para as cheias fluviais. Shand et al. (2011) e Russo et al. (2013) reveem várias expressões propostas para o limiar de estabilidade de pessoas e viaturas face às inundações em arruamentos urbanos. Cada vez mais, algumas dessas expressões vão sendo incluídas em guiões de projeto, manuais de boas práticas, normas e especificações municipais (Balmforth et al., 2006; Melbourne Water, 2015).

Essas expressões geralmente estabelecem limites para a profundidade da inundação (h) e para a velocidade da inundação (V), ou para uma relação entre essas duas variáveis. Na maioria dos casos, o produto das profundidades e velocidades da inundação (hV) é limitado a valores entre 0,4 e 0,5 m^2/s. No entanto, estudos recentes têm enfatizado a necessidade de se usarem limites inferiores para as áreas urbanas. Chanson e Brown (2018) recomendam valores abaixo de 0,3 m^2/s e Martinez et al. (2016) propõem o limiar de 0,22 m^2/s.

No entanto, a determinação da velocidade e da profundidade da inundação exige modelos determinísticos do escoamento superficial, que são complexos e requerem dados de elevada precisão.

Neste artigo apresenta-se um método expedito que permite verificar limiares pré-estabelecidos de hV a partir unicamente dos caudais de inundação em arruamentos. Esses caudais podem ser estimados por métodos simplificados ou pelos caudais extravasados em modelos da rede de coletores. O método foi concebido para escoamentos rápidos, mas foi validado para um conjunto diversificado de escoamentos em regime lento (David e Carvalho, 2021).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A forma da secção transversal da maioria dos arruamentos assemelha-se ao esquema da esquerda da Figura 1. Esta secção transversal e outras variantes de secções compostas podem ser representadas, de forma mais simples, por uma secção transversal triangular-retangular equivalente, conforme representado no esquema central da Figura 1.

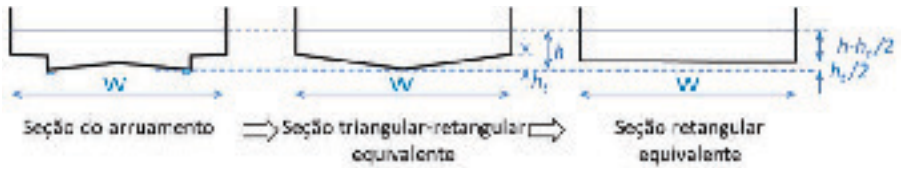


Figura 1. Perfil transversal do arruamento (David, 2019)

A lei de resistência do escoamento turbulento rugoso de água pode ser representada pela fórmula de Manning-Strickler (Eq. 1):

$$V/\left(K\sqrt{S}\right) = \mathrm{Q}/\left(A\,K\sqrt{S}\right) = R^{2/3} = (A/P)^{2/3} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

©APESB

em que V é a velocidade média na secção transversal ao escoamento, Q é o caudal, K é o coeficiente de rugosidade de Strickler, S é o declive longitudinal da base do arruamento, R é o raio hidráulico; A é a área da secção transversal do escoamento e P é o perímetro molhado.

Na maioria dos casos práticos, a largura da secção transversal do arruamento é significativamente superior à profundidade da inundação ($L \gg h$). Isto significa que:

I. se a secção transversal de escoamento for retangular, o raio hidráulico corresponde à profundidade da inundação ($R \approx h$);

II. se a secção transversal for triangular, o raio hidráulico corresponde a metade da profundidade da inundação ($R \approx h/2$);

III. se a secção for triangular-retangular com altura da parte triangular (h_t) inferior à profundidade da inundação (h) (perfil ao centro da Figura 1), o caudal e a velocidade média de escoamento nessa secção são iguais ao caudal e à velocidade média numa secção retangular com a mesma largura e altura $h_{eq} = h - h_t/2$ (perfil da direita da Figura 1).

Para o estabelecimento do método expedito vai-se utilizar a seguinte metodologia:

- Consideração do escoamento numa secção triangular-retangular para toda a gama viável de declives transversais da base triangular (ou de valores de h_t): desde o declive nulo, que corresponde a uma secção retangular (h_t=0), até um declive suficientemente elevado em que todo o escoamento passa a ocorrer apenas na parte triangular (h=h_t).
- Utilização do conceito da secção retangular equivalente para obtenção de relações analíticas e gráficas entre h_t, $K\sqrt{S}$ e Q que verificam a condição $hV \leq limA$, para diferentes valores de $limA$ entre 0,22 e 0,5 m²/s.
- Estabelecimento de curvas de regressão para as relações anteriores e, de seguida, de uma expressão única que permita avaliar o cumprimento do critério $hV \leq limA$ apenas com base no conhecimento do caudal, i.e., sem o conhecimento direto de h e de V.

3 RESULTADOS

3.1 Expressões analíticas para *h*, *V* e *Q/W*

No Quadro 1 apresentam-se as fórmulas de h, V e Q/W para a condição do critério A, para as secções retangular, triangular e composta (Eq. 2 a Eq. 12). Uma discussão mais aprofundada sobre estas fórmulas e as de outro método é apresentada em David (2019).

©APESB

Quadro 1. Fórmulas de h, V e Q/W que verificam o critério (adaptado de David, 2019)

Secção retangular	$h \leq limA\left(K\sqrt{S}\right)^{-3/5}$	(Eq. 2)
	$V \leq limA^{2/5}\left(K\sqrt{S}\right)^{3/5}$	(Eq. 3)
	$Q/W \leq limA$	(Eq. 4)
Secção triangular	$h \leq 2^{2/5} limA^{3/5}\left(K\sqrt{S}\right)^{-3/5}$	(Eq. 5)
	$V \leq 2^{-2/5} limA^{2/5}\left(K\sqrt{S}\right)^{3/5}$	(Eq. 6)
	$Q/W \leq limA/2$	(Eq. 7)
Secção triangular-retangular	**Válida se** $\boldsymbol{h_t \leq 2^{2/5} limA^{3/5}\left(K\sqrt{S}\right)^{-3/5}}$	(Eq. 8)
	Cálculo iterativo:	
	$h \leq limA\left(K\sqrt{S}\right)^{-1}(h - h_t/2)^{-2/3}$	(Eq. 9)
	$V \leq limA/h$	(Eq. 10)
	$Q/W \leq limA\ (h - h_t/2)/h$	(Eq. 11)
	Se a Eq. 8 não for válida, o escoamento dá-se só na parte inferior triangular, logo:	
	$Q/W \leq 2^{-3/5} limA^{8/5}\left(K\sqrt{S}\right)^{-3/5} {h_t}^{-1}$	(Eq. 12)

3.2 Variação de Q/W em função de h_t e de $K\sqrt{S}$

O gráfico da Figura 2 representa a variação de Q/W em função da altura da secção triangular da base da secção composta (h_t), para diferentes valores de $K\sqrt{S}$ e para $h.V = 0{,}4$ m²/s. O eixo das ordenadas corresponde à situação da secção retangular ($h_t = 0$).

Este gráfico permitir avaliar a redução significativa de Q/W com o efeito combinado do aumento de h_t e do aumento de $X = K\sqrt{S}$ (ou do declive, para valores de K idênticos).

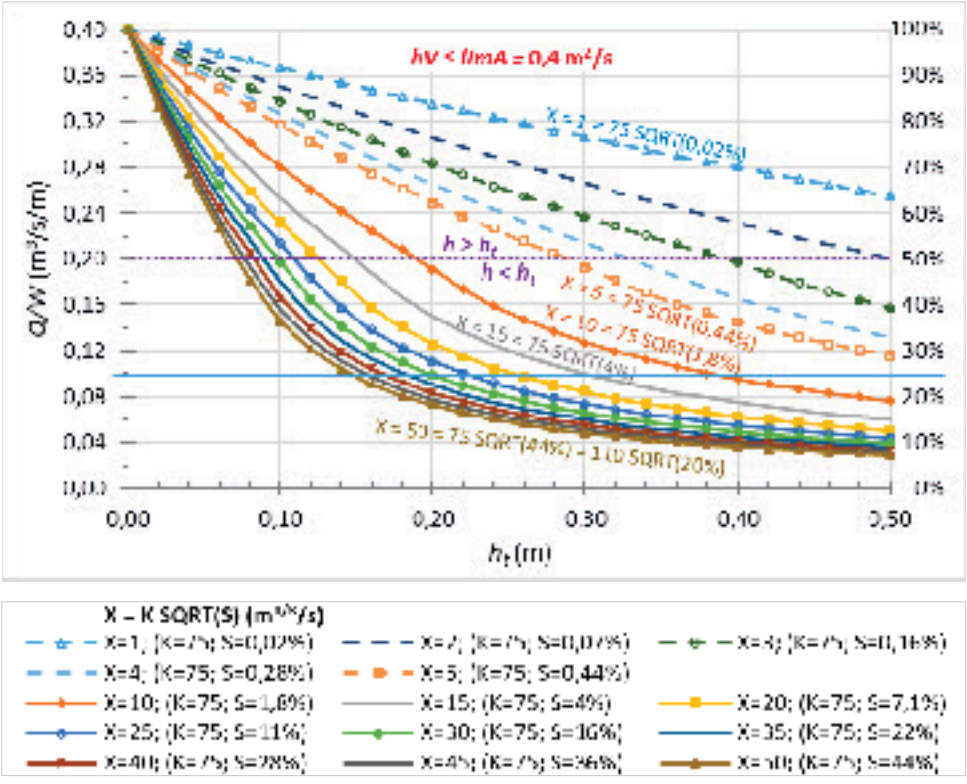


Figura 2. Variação Q/W em função de h_t para diferentes valores de $K.\sqrt{S}$

©APESB

3.3 Equação de regressão para obtenção de *Q/W*

Obteve-se a equação de regressão dos valores de Q/W para a secção transversal triangular-retangular, em função de h_t, de $X = K\sqrt{S}$ e de $limA$ (Eq. 13).

$$Q/W = 1/\left(a_2 X^2 {h_t}^3 + (b_1 X + b_0){h_t}^2 + (c_2 X^2 + c_1 X + c_0)h_t + 1/limA\right) \quad \text{(Eq. 13)}$$

Os valores dos coeficientes a_i , b_i e c_i são obtidos em função de $limA$, através de equações do tipo $a_2 = 0{,}023\, limA^{-2.867}$, que se apresentam em David e Carvalho (2021). Estas equações apresentam erros de regressão inferiores a ±3,3% dentro das seguintes condições:

$h_t \leq 0{,}5$ m , $1\ \mathrm{m}^{1/3}/s \leq X = K\sqrt{S} \leq 50\ \mathrm{m}^{1/3}/s$ e $0{,}22\ \mathrm{m}^2/s \leq limA = K\sqrt{S} \leq 0{,}5\ \mathrm{m}^2/s$.

3.4 O método expedito

O cálculo de Q/W pode ser facilmente implementado numa folha de cálculo, em função do valor pré-estabelecido para $limA$ e dos valores de h_t e $X = K\sqrt{S}$ em cada rua, bastando utilizar a Eq. 13 ou a Eq. 12, consoante a Eq. 8 seja válida ou não, respetivamente.

Assim, se se dispuser de uma estimativa dos caudais máximos de inundação, obtida a partir de modelos mais ou menos simplificados do escoamento superficial ou do extravasamento da rede de coletores, estas 3 equações são suficientes para fornecer as larguras mínimas das ruas (W_{min}) que atendem ao critério $hV \leq limA$, para um valor de $limA$ pré-estabelecido.

3.5 Validação do método

As expressões apresentadas foram deduzidas considerando escoamento em regime rápido, para as gamas de valores de h_t, de $X = K\sqrt{S}$ e de $limA$ indicadas na secção 4.3.

Não obstante, esta metodologia foi testada em um caso de estudo hipotético, em que se utilizou um modelo hidrodinâmico para simular o escoamento na rede de coletores e das inundações nos arruamentos de um sistema complexo. A aplicação da metodologia permitiu obter resultados bastante aceitáveis para um conjunto diversificado de situações de regime lento, e de alternância entre os regimes rápido e lento (David e Carvalho, 2021). Para praticamente todos os arruamentos do caso de estudo, tanto com regime rápido como com regime lento, a largura do arruamento (W) calculada com base nos resultados de Q e de hV obtidos da simulação foi bastante próxima da largura considerada no modelo hidrodinâmico. No entanto, obtiveram-se valores de W superiores, com algum significado, nos trechos de transição do regime rápido para lento, e valores de W inferiores nos trechos de transição do regime lento para o rápido (em princípio, devido ao efeito da passagem pelo regime crítico, neste último caso).

4 Conclusões

O perfil da seção transversal das ruas desempenha um papel relevante no cumprimento dos critérios de segurança face a inundações, que é quantificado gráfica e analiticamente neste trabalho. Por exemplo, uma rua com declive longitudinal de 1,5%, $K \approx 75\ \mathrm{m}^{1/3}/\mathrm{s}$ e secção transversal retangular cumpre o limiar $hV = 0{,}4\ \mathrm{m}^2/\mathrm{s}$ para o dobro do caudal de uma rua com a mesma largura, mas com uma secção transversal convencional e $h_t = 0{,}2$ m. O caudal é quatro vezes superior para uma rua com declive de 16% (Figura 2).

É apresentado um método para verificação analítica e expedita do cumprimento de critérios de segurança das pessoas face ao risco de inundações em arruamentos. O método permite a estimativa da largura mínima da via ($Wmin$) que assegura o cumprimento do critério de segurança $hV \leq limite$ apenas com base no conhecimento do caudal de inundação (Q) e de caraterísticas facilmente quantificáveis do arruamento ($K\sqrt{S}$ e h_t).

©APESB

O método revelou-se válido para a maioria das condições de escoamento, tanto em regime rápido como lento, exceto para situações de variação rápida do regime de escoamento.

AGRADECIMENTOS

Parte deste trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto SINERGEA (ANI, Projeto n.º 33595), financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através dos Programas Operacionais POR Lisboa2020 e CrescAlgarve2020.

REFERÊNCIAS

Balmforth D., Digman C., Kellagher R., Butler D. (2006). *Designing for exceedance in urban drainage – good practice*. CIRIA C635, London, UK.

Chanson H., Brown R. (2018). Stability of Individuals during Urban Inundations: What Should We Learn from Field Observations? *Geosciences* 8(9), 341. doi: 10.3390/geosciences8090341.

David L.M. (2019). Projetar para inundações – efeito do perfil, rugosidade e declive das ruas nos critérios de segurança. *Águas&Resíduos* IV(4), 37-47. doi: 10.22181/aer.2019.0404.

David L.M., Carvalho R.F. (2021). Designing for People's Safety on Flooded Streets: Uncertainties and the Influence of the Cross-Section Shape, Roughness and Slopes on Hazard Criteria. *Water* 13(15), 2119. doi: 10.3390/w13152119.

Martínez-Gomariz E., Gómez M., Russo B. (2016). Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding. *Nat Hazards* 82, 1259-1278. doi: 10.1007/s11069-016-2242-z.

Melbourne Water (2015). Standards and specifications. Design. General guidance. Melbourne, Australia. Guideline General approach to drainage systems e Guideline Floodway safety criteria. https://www.melbournewater.com.au/planning-and-building/developer-guides-and-resources/standards-and-specifications, acedido a 14 de outubro de 2022.

Russo B., Gómez M., Macchione F. (2013). Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. *Natural Hazards* 69, 251-265. doi: 10.1007/s11069-013-0702-2.

Shand T.D., Smith G.P., Cox R.J., Blacka M.J. (2011). Development of Appropriate Criteria for the Safety and Stability of Persons and Vehicles in Floods. In Proc. 34th IAHR Conf. Brisbane, Australia, 9 p.

Soluções e tecnologias de saneamento a seco - uma ferramenta simplificada de apoio à decisão

Margarida Santos [a,*], *Rita Matos*[b], *Liliana Alves*[c], *José Saldanha Matos* [a,b]

[a] CERIS _ Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

[b] HIDRA, Hidráulica e Ambiente Lda, AV Defensores de Chaves, nº31 1º Esq.do Lisboa

[c] DNA - Direcção Nacional das Águas de Angola, Via S8 Condomínio Dolce Vita, Ed. 1D, Talatona, Luanda, Angola, Luanda, Angola

Resumo

Neste artigo são apresentadas as bases de uma ferramenta simplificada de apoio à decisão, para a seleção de tecnologias de saneamento a seco. A ferramenta baseia-se numa análise multicritério que inclui critérios em quatro vertentes: social (S), económica (E), técnica (T) e ambiental (A), permitindo comparar as várias opções elegíveis, com potencial aplicação nomeadamente a países em vias de desenvolvimento onde prevalece, em grande parte, a condição de saneamento a seco, com latrinas de diversos tipos, não só em meio rural como em meio periurbano. A interface consiste num formulário digital a preencher pelo utilizador. Após o preenchimento, o utilizador pode, na mesma interface, acionar a ferramenta. Com o acionamento é preenchida uma matriz, com valores de 1 a 5, com “inputs” do utilizador, respeitando a valoração dos critérios de avaliação de cada uma das tecnologias. No artigo é exemplificada a aplicação do modelo multicritério a quatro cenários distintos, com variação de variáveis como a distância do solo ao nível freático, o tipo de solo (escavável ou não) e a densidade populacional. A ferramenta desenvolvida permite aplicar, de forma rápida e sistematizada, um mesmo raciocínio de decisão a vários contextos, sendo particularmente útil em fases precoces do planeamento de infraestruturas de saneamento, para servir populações vulneráveis, de baixo rendimento.

Palavras-Chave: Aplicação multicritério, ferramenta de decisão, gestão de lamas fecais, países em vias de desenvolvimento, saneamento a seco.

Doi: 10.22181/aer.2025.0103

* *Autor para correspondência*
E-mail: jose.saldanha.matos@tecnico.ulisboa.pt

©APESB

Solutions and technologies for dry on-site sanitation – a simplified supporting decision tool

Margarida Santos [a,*], *Rita Matos*[b], *Liliana Alves*[c], *José Saldanha Matos* [a,b]

[a] CERIS _ Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

[b] HIDRA, Hidráulica e Ambiente Lda, AV Defensores de Chaves, nº31 1º Esq.do Lisboa

[c] DNA - Direcção Nacional das Águas de Angola, Via S8 Condomínio Dolce Vita, Ed. 1D, Talatona, Luanda, Angola, Luanda, Angola

Abstract

This paper presents the basis of a simplified decision support tool, based on a multi-criteria analysis that includes criteria in four aspects: social (S), economic (E), technical (T) and environmental (A), allowing comparison of the various eligible technologies for dry sanitation facilities, with potential application especially for developing countries, where dry sanitation (various types of latrines) still prevails, not only in rural but also in peri-urban areas. The interface consists of a digital form to be filled in and activated by the user. Following activation, a matrix, that matches the evaluation criteria to each of the dry sanitation technologies is filled in with values from 1 to 5, depending on the verification of specific conditions, which are specified by the user inputs. The application of the multicriteria model is exemplified for four different scenarios. The developed tool, which is still evolving, allows the use of the same decision reasoning to various contexts, rapidly and systematically, and it is particularly useful in early stages of urban sanitation infrastructures, for serving the most poor and vulnerable.

Keywords: Decision tool, developing countries, dry sanitation; faecal sludge management, Multicriteria application.

Doi: 10.22181/aer.2025.0103

* *Corresponding author*
E-mail: jose.saldanha.matos@tecnico.ulisboa.pt

©APESB

1 Introdução

O saneamento seguro define-se como o acesso a soluções de saneamento que permitem separar o excreta do contacto humano, e ainda que não tenha lugar a partilha de instalações entre famílias e em que se proceda a uma gestão adequada do excreta (fezes e urina), em termos de saúde pública e proteção do ambiente. Em 2020, 54% da população mundial tinha acesso a saneamento seguro, enquanto 6%, sobretudo na África subsariana, ainda praticava defecação a céu aberto, cuja intenção de total erradicação está expressamente mencionada no Objetivo 6 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que se refere a água e saneamento, dado assumir um papel relevante na cadeia de transmissão de doenças (WHO & UNICEF, 2021).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), melhores condições de água potável, saneamento e higiene poderiam evitar a morte anual de 297 000 crianças com idade inferior a 5 anos (WHO, 2022). Melhores condições de saneamento são também benéficas a nível económico e para o desenvolvimento da sociedade. Em Hutton (2012), afirma-se que por cada dólar investido em saneamento, resulta um retorno de 5,5 dólares para a sociedade, por poupança noutros setores, como o da saúde ou da educação. No entanto, à escala do setor da água (e saneamento), a sustentabilidade financeira dos serviços pode constituir um desafio especialmente difícil de alcançar, se se pretender que resulte exclusivamente de tarifas ou taxas a aplicar a populações especialmente pobres e vulneráveis (Perard, 2018).

O saneamento seguro encontra-se tradicionalmente associado a redes de coletores e estações de tratamento de águas residuais. No entanto, o saneamento a seco pode constituir a alternativa segura mais viável e sustentável, especialmente no caso de populações de baixo rendimento e sem distribuição de água ao domicílio. O saneamento a seco caracteriza-se por utilizar pouca ou nenhuma água na sua operação, e por gerar, assim, maioritariamente, apenas lamas fecais. Um serviço seguro de saneamento a seco requer, em regra e em meio urbano densamente ocupado, uma cadeia de serviços completa, ou seja, para além da manutenção das latrinas propriamente ditas, uma cadeia de serviços de gestão de lamas fecais que assegurem, periodicamente, a recolha, o transporte, o tratamento e eventual valorização das lamas. Uma latrina em meio urbano densamente ocupado que não seja complementada com serviços adequados de gestão pode transbordar, acabando as lamas fecais por serem ilegalmente descarregadas no meio ambiente (Strande et al., 2014).

Neste artigo apresenta-se e discute-se uma ferramenta multicritério de apoio à decisão, para a seleção da tecnologia de saneamento a seco mais apropriada, com potencial aplicação nomeadamente a regiões desfavorecidas (sem abastecimento de água ao domicílio) de países em vias de desenvolvimento. A ferramenta inclui critérios nas vertentes sociais, ambientais, técnicas e económicas, e foi preparada para facilitar e sistematizar a decisão multicritério, permitindo aplicar, de forma simples, automática e expedita, um mesmo critério de decisão a diferentes situações e contextos.

2 Metodologia

2.1 Desenvolvimento da ferramenta

A informação de base relativa às características das diversas soluções de saneamento a seco (diversos tipos e opções de latrinas) foi adquirida por consulta e análise de bibliografia da especialidade e pela experiência de co-autores do artigo em vários projetos na Africa Subsariana em que intervieram na última década, nomeadamente em Moçambique e Angola, e beneficiou de trabalho desenvolvido no âmbito de um grupo de trabalho da International Standardization

©APESB

Organization (ISO), o grupo ISO/TC 224/WG 8, relativo a *"Onsite domestic wastewater management".*

A ferramenta de decisão foi preparada em Microsoft Excel VBA. O primeiro passo para o desenvolvimento da ferramenta foi selecionar as tecnologias mais comuns de saneamento a seco. Teve-se em conta, fundamentalmente, as opções a seco apresentadas em Tilley et al.(2014), nomeadamente as seguintes: Latrina seca melhorada, Latrina seca ventilada, Latrina dupla ventilada, Fossa alterna e Latrina ecológica (em alternativa à latrina elevada, em que não tem lugar a separação de urina e fezes). Considerou-se, ainda, uma alternativa à Latrina ecológica referida naquela publicação, designada neste artigo como Latrina de Confinamento em Recipiente, LCR (em linguagem anglo-saxónica "CBS- Container based sanitation"), que assume a separação de urina, mas é mais viável economicamente do que a solução tradicional de Latrina ecológica (Remington et al. 2016). O recipiente é usualmente metálico ou de plástico, e recuperável, munido de ganchos e argolas para mais fácil movimentação. Os LCR são recolhidos porta a porta, quando cheios, sendo então substituídos por recipientes vazios. Existe um recipiente para as fezes e outro para a urina que, após a recolha, devem ser encaminhados para uma estação de tratamento de lamas fecais (ETLF) ou para uma Estação de tratamento de águas residuais, com co-tratamento de lamas.

A Latrina seca melhorada consiste numa simples abertura por escavação no solo onde as fezes e a urina (excreta) e materiais de limpeza se acumulam, e que é coberta por uma laje, frequentemente em cimento. A latrina tradicional, sem a cobertura apropriada e que não permite a separação efetiva das pessoas do excreta (separação sanitária) não é considerada como saneamento seguro, e não se considera elegível no âmbito deste artigo.

A Latrina seca ventilada é semelhante à latrina seca melhorada, mas inclui uma superestrutura equipada com um sistema de ventilação, em regra uma tubagem protegida com rede, para evitar mosquitos e outros vetores. Consoante a densidade populacional e a disponibilidade de terrenos, quer a Latrina seca melhorada quer a Latrina seca ventilada podem dispensar o esvaziamento periódico, se houver espaço suficiente para construir, ao lado, novas infraestruturas, que entram em serviço quando a anterior se encontrar totalmente preenchida. A Fossa alterna é uma dupla Latrina seca melhorada, com utilização alternada sequencial. Enquanto uma das Latrinas está em uso, as lamas fecais acumuladas na outra latrina continuam em processo de desidratação e estabilização biológica. A Latrina dupla ventilada funciona, tal como a fossa alterna, sequencialmente, mas cada uma das duas latrinas é uma Latrina seca ventilada, muitas vezes com aproveitamento da mesma superestrutura móvel (Tilley et al. 2014).

O código do programa está organizado em três secções principais: a) a seção de seleção das tecnologias elegíveis e de eliminação das tecnologias não elegíveis; b) a seção de avaliação das tecnologias de acordo com os critérios pré-definidos, e c) a seção de aplicação da análise multicritério, para efeitos da recomendação da tecnologia a selecionar.

Na secção a), para a identificação das tecnologias não elegíveis, são usados os seguintes cinco parâmetros:

1 - *Elevado nível freático*, que exclui as tecnologias que necessitem de escavação profunda, ou seja, praticamente todas as opções exceto as de Latrina de confinamento em recipientes, e a latrina ecológica, e que tem lugar quando a distância do nível do solo ao nível freático é menor do que 2 metros, nalgum período do ano.

2- *Risco de inundações*, ou seja, relacionado com a frequência de eventos de cheias, e que conduz à exclusão de praticamente todas as tecnologias elegíveis, exceto a de Latrina de

confinamento em recipiente e a latrina ecológica/latrina elevada, e que tem lugar quando se prevê inundação para um período de retorno da cheia igual a 5 anos.

3- Não disponibilidade de espaço, quando a área de implementação disponível é inferior à área exigida pela tecnologia.

4 -Elevada densidade populacional, que exclui, essencialmente por razões económicas, a Fossa alterna e Latrina dupla ventilada, caso se verifique uma densidade populacional inferior a 200 habitantes por hectare.

5 –Não existência de uma cadeia de serviço que, se essa opção for selecionada pelo utilizador, resulta na exclusão de tecnologias que necessitem de recolha, transporte e tratamento posterior das lamas fecais, isto é, exclui a opção de Latrina de confinamento em recipientes e, no caso da densidade populacional da zona ser superior a 200 hab/ha ,as opções de Latrina seca melhorada e de Latrina seca ventilada.

Na figura 1 é apresentado um esquema simplificado de seleção de opções gerais de saneamento a seco e a água, em função da densidade populacional e da capitação. As tecnologias de saneamento a seco consideram-se genericamente viáveis quando os consumos de água per capita são muito baixos, isto é, inferiores a 30 a 50 l/hab/dia.

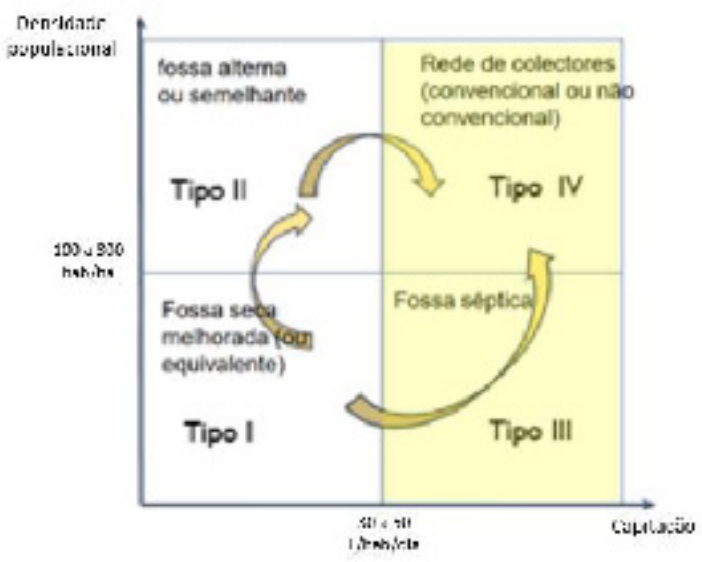


Figura 1. Elegibilidade de tecnologias de saneamento, em função da densidade populacional e da capitação de água

As vertentes e critérios de avaliação das diversas opções tecnológicas são organizados numa matriz. A matriz consta em folha de Excel tornada invisível e que e é preenchida com classificações, para cada tecnologia e critério, que variam entre 1 e 5.

Os critérios de avaliação constam para as quatro vertentes ou dimensões consideradas: **S**ocial, **E**conómica, **T**écnica e **A**mbiental. A ferramenta aplica-se exclusivamente a opções de Saneamento a Seco, e designa-se como SETA@ss. A vertente económica subdivide-se em custos de investimentos e encargos de operação e manutenção, ao longo do horizonte de projeto (Matos et al. 2021).

No modelo, os critérios de índole social são os seguintes:

S.1 – Potencial de odores ofensivos

S.2 – Riscos para a saúde pública, avaliados em termos de potencial de contacto humano com

©APESB

lamas fecais não estabilizadas

S.3 – Riscos para a saúde pública, avaliados em termos de potencial de desenvolvimento de insetos e mosquitos

S.4 – Potencial de criação de emprego, e fomento de empreendedorismo e desenvolvimento

Ao nível económico:

E1 – Investimentos, que são estimados, na falta de dados específicos, em curvas de custo adaptadas de bibliografia da especialidade, e que constam na ferramenta de cálculo.

E2 – Encargos de operação e manutenção, que são estimados, na falta de dados específicos, em curvas de custo adaptadas de bibliografia da especialidade, e que também constam na ferramenta

E3 – Benefícios económicos decorrentes de reutilização dos biosólidos, ou seja, das lamas estabilizadas.

Ao nível de desempenho técnico:

T1 – Proximidade física à Estação de Tratamento de Lamas Fecais (ETLF)

T2 – Complexidade e dificuldade de construção da infraestrutura

T3 – Dificuldade em operar e manter a infraestrutura

Ao nível de impacte ambiental:

A1 – Riscos de contaminação de águas subterrâneas

A2 – Riscos de contaminação do solo ou do meio hídrico recetor

A3 – Potencial de “circularidade” de recursos (i.e. de recuperação de energia, de materiais, ou de nutrientes para a fertilização de solos)

Na ferramenta, uma vez preenchida a matriz é determinada a média dos valores assumidos pelos diferentes critérios, por vertente e tecnologia, e é seguidamente calculada a média ponderada, de acordo com os pesos assumidos pelo utilizador para cada uma das vertentes. Ou seja, assume-se, simplificadamente, na versão desenvolvida, que os critérios pertencentes a uma mesma vertente assumem todos o mesmo peso. Do resultado ponderado e normalizado resulta uma pontuação final entre 1 e 5 para cada tecnologia, sendo naturalmente recomendada a tecnologia, para cada zona ou área especifica de implantação, a que obtiver a pontuação mais elevada.

Como anteriormente referido, precedendo a fase de avaliação e seleção da tecnologia, existiu, para a formação do modelo multi-criterio, um trabalho de seleção das tecnologias de saneamento a seco potencialmente elegíveis, no geral, e das tecnologias elegíveis em função dos contextos específicos, seja de profundidade ao nível freático, e risco de inundações, densidade populacional, e distancia à ETLF, entre outras.

Na figura 2 apresenta-se um esquema que permite visualizar, de forma sucinta, as diversas vertentes e critérios do modelo, por forma a que, por ponderação de cada critério, se valoriza a solução em análise.

©APESB

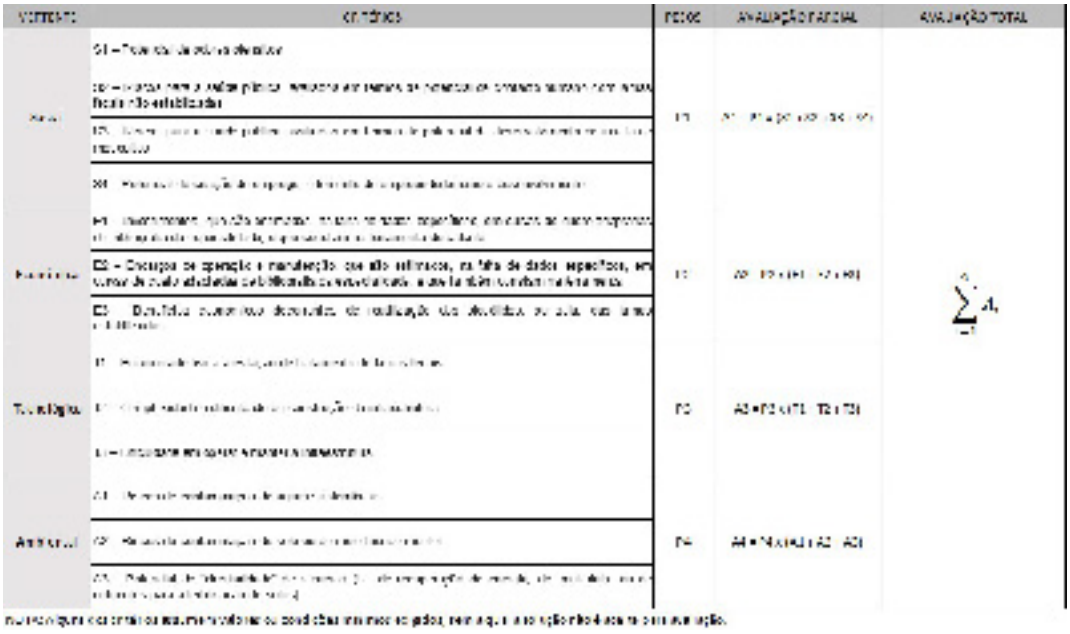


Figura 2. Esquema de avaliação de modelo multicritério SETA@ss

3 Resultados e Discussão

No Quadro 1 apresentam-se, a titulo exemplificativo, os dados para aplicação do instrumento multicritério de decisão a quatro cenários distintos (Cenário 1 a Cenário 4).

Quadro 1. "Inputs" do utilizador relativamente a quatro potencias cenários do exemplo

Características	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Contexto favorável a reutilização de produtos (urina ou biosolidos) ?	não	não	não	não
Condutividade hidráulica do solo (K (m/s))	$<10^{-9}$	$<10^{-9}$	$<10^{-9}$	$<10^{-9}$
Profundidade do nível freático (m)	10	10	10	10
É dispensavel uma cadeia de serviços para as lamas fecais?	Não	Não	Sim	Sim
Período de retorno de inundações do local (T, anos)	10	10	10	10
Distância à ETLF (m)	1000	1000	1000	1000
Tipo de transporte de lamas	manual	mecânico	mecânico	mecânico
Densidade populacional (hab/ha)	300	300	150	150
Peso da vertente social	25	25	25	10
Peso da vertente económica (I+O&M)	12.5+25	12.5+25	12.5+25	35+35
Peso da vertente técnica	12.5	12.5	12.5	10
Peso da vertente ambiental	25	25	25	10

Os quatro cenários variam conforme variáveis locais e de contexto, incluindo nomeadamente: a) se o contexto é favorável a reutilização de produtos (urina ou bio sólidos); b) a condutividade hidráulica dos solos; c) a distancia ao nível freático; d) se é dispensável uma cadeia de serviços de gestão de lamas fecais; e) nível de risco de inundações (T), f) e g) distancia à Estação de Tratamento de Lamas Fecais (ETLF) e tipo de transporte das lamas (manual ou mecânico) e h) densidade populacional na área a servir.

©APESB

No exemplo, também variam os pesos assumidos para as diversas vertentes, desde o Cenário 1, em que as vertentes social e ambiental tem o mesmo peso (25%), a vertente económica tem o peso 32,5% (12,5 % para o investimento e 25% para os custos de operação e manutenção) e a vertente técnica 12,5%, até ao cenário 4, em que a vertente económica assume grande relevância (peso 70%) e as outras vertentes assumem um peso reduzido (10%).

No exemplo assume-se que o contexto social e económico não é favorável à reutilização de produtos (urina e lama estabilizada, i.e. biosólido) ficando excluída, por exemplo, a solução de latrina ecológica. Ao contrario dos cenários 1 e 2, nos cenários 3 e 4 , em face também da relativamente baixa densidade populacional (menor que 200 hab/ha) não se requer uma cadeia de serviços de lamas fecais, ou seja, a necessidade de operações de esvaziamento, transporte e tratamento final das lamas. Nesse caso, e tal como ocorre normalmente em meio rural, depois de uma latrina estar cheia tapa-se e abre-se outra ao lado.

No Quadro 2 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo multicritério aos quatro cenários.

Quadro 2. Resultados da aplicação do modelo multicritério aos quatro cenários.

Cenário	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tecnologia recomendada	Fossa alterna	Latrina de confinamento em recipiente	Latrina seca ventilada	Latrina seca melhorada

Os resultados que constam do Quadro 2 resultam da aplicação de critérios de exclusão das tecnologias em face das características e condições do local, e dos valores, entre 1 e 5, atribuídos a cada um dos critérios de valoração, assumidos no modelo para as diversas tecnologias.

Na Simulação-Cenário 1, a zona a servir corresponde a uma área urbana com ocupação elevada, o que obriga a ter uma cadeia de serviços, com condições viáveis para escavação (terra), e com baixo risco de inundações, mas sem potencial de reutilização dos produtos - nesse caso, o resultado da aplicação do modelo, em face da valoração dos diversos critérios, e dos pesos das diversas vertentes, recomenda a opção “Fossa alterna”.

No exercício da Simulação-Cenário 2 varia, relativamente à Simulação-Cenário 1, o modo de transporte de lamas fecais, que passa de manual a mecânico, por opção do utilizador. Nesse caso, a solução recomendada passa a ser a “LCR- Latrina de Confinamento em Recipiente”, uma vez que a condição de transporte manual a uma distância superior a 500 m deixa de se verificar e condiciona essa opção. No caso do LCR, esse critério de exclusão não se aplica, e a solução LCR torna-se preferível por razões essencialmente económicas.

No exercício da Simulação-Cenário 3, a densidade populacional é menor, e a recomendação recai em “Latrina seca ventilada”, dado não ser exigível uma cadeia de serviços de esvaziamento, transporte e tratamento das lamas fecais, e a vertente económica ganha relevância, em face dos pesos das diversas vertentes.

No exercício da Simulação-Cenário 4 altera-se, face à Simulação-Cenário 3, a distribuição dos pesos das diferentes vertentes, dando-se muito mais peso à vertente económica. Em face dessa opção do utilizador, a aplicação do modelo resulta na recomendação da “Latrina seca melhorada”, e vez de “latrina seca ventilada” dado que embora seja pior avaliada em termos ambientais e sociais, apresenta menores custos, que se revela crucial para a recomendação, em face do peso da vertente económica.

Estes exercícios revelam, que diferentes condições de contexto resultam em diferentes opções tecnológicas, e que as soluções tecnológicas podem variar, em função da importância e peso dado a cada uma das quatro vertentes.

©APESB

O modelo multicritério apresenta, ainda assim, um número restrito de vertentes e de critérios, sendo igualmente relativamente pouco exigente no que respeita aos dados de base e informação requerida.

4 Conclusões

O modelo ou ferramenta de calculo automático SETA@SS, embora de limitada complexidade, pode ser útil para, ainda numa fase precoce do planeamento, levar a cabo de forma automatizada a análise qualitativa e comparativa das diversas opções tecnológicas de saneamento a seco num dado território. O recurso ao SETA@SS pode ser particularmente útil para o planeamento do saneamento em espaços periurbanos de cidades em desenvolvimento, onde se concentra a maior parte da população vulnerável, a viver muitas vezes em condições de pobreza extrema. O facto de se tratar de uma ferramenta simples, com pouca exigência em termos de dados e de informação, permite a sua aplicação expedita a diferentes zonas ou bairros das cidades.

No futuro, será interessante fazer evoluir a ferramenta para incluir informação adicional relativamente aos benefícios económicos de recuperação de recursos (biosólidos), para proceder a estimativa mais realista de custos totais atualizados de cada opção tecnológica, e a alargar o exercício não só à escolha do tipo de latrina, mas também à escolha de opções para os outros segmentos da cadeia de serviços de gestão, nomeadamente do esvaziamento, do transporte e do tratamento e valorização das lamas fecais.

Referências

Hutton, G. (2012). Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage. WHO.

Matos R., Ferreira F., Alves L., Ramos E., Costa L., Matos J. (2021). Multi-Criteria Framework for Selection of City-Wide Sanitation Solutions in Coastal Towns in Northern Angola doi: https://doi.org/10.3390/su13105627

Perard, E. (2018). Economic and financial aspects of the sanitation challenge: A practitioner approach.

Remington C., Cherrak M., Preneta N., Kramer S., Mesa B. (2016) A social business model for the provision of household ecological sanitation services in urban Haiti

Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). Faecal Sludge Management - Systems Approach for Implementation and Operation. londres: IWA Publishing

Tilley E., Lüthi C., Morel A., Zurbrügg C., Schertenleib R. (2014). Compendium of Sanitation Systems. IWA Publishing.

WHO. (2022). Sanitation:key factshttps://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation. Consultado a 31 de março de 2023.

WHO & UNICEF. (2021) Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020 Five years into the SDGs. WHO

Tilley E., Lüthi C., Morel A., Zurbrügg C., Schertenleib R. (2014). Compendium of Sanitation Systems. IWA Publishing.

WHO (2022). Sanitation:key factshttps://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation. Consultado a 31 de março de 2023.

WHO & UNICEF. (2021) Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020 Five years into the SDGs. WHO

O canal HORECA e os desafios de gestão de biorresíduos

João Vaz [a,], Olga Ganziuc [a], Margarida Benvindo[a], Fernanda Almeida[a], Ricardo Santos[a], José Pinto [b]*

[a] ECOGESTUS, Rua Dom Afonso IV, 23, 3080-328 Figueira da Foz, Portugal

[b] Câmara Municipal de Silves, Largo do Município, 8300-117 Silves, Portugal

Resumo

A implementação da recolha seletiva de biorresíduos no canal HORECA representa um passo importante para a Câmara Municipal de Silves e região do Algarve para atingir os objetivos PERSU 2030. Neste âmbito iniciou-se a preparação da recolha seletiva pela aquisição de informação sobre restaurantes. Nas freguesias de Silves e Armação de Pêra foram identificados e contactados 136 estabelecimentos dos 255 registados. As respostas obtidas ao inquérito realizado evidenciaram que somente 6% (n=8) dos estabelecimentos valoriza os resíduos para a alimentação de animais, concluindo-se que 94% dos que responderam têm necessidade de recolha seletiva. A aceitação da recolha de biorresíduos foi também alvo de estudo, analisando-se as condições técnicas e logísticas que conduzam a um sistema cómodo e eficaz. Concluiu-se pela definição de uma frequência e horário de recolha ótimos (18h-00h, 48h de intervalo, 3x/semana), segundo os restaurantes/cafés questionados e ainda a atribuição de contentores (23 L ou 120 L). De forma a quantificar os resíduos alimentares por refeição, foram realizadas 64 pesagens de refeições em restaurantes e 22 em cafés, obtendo-se valores entre os 0,1-0,3 kg/refeição. O trabalho de campo permitiu o envolvimento dos estabelecimentos na definição do sistema de recolha seletiva de biorresíduos no canal HORECA em Silves.

Palavras-Chave: Biorresíduos, desafios, desvio de aterro, recolha seletiva, setor não-doméstico.

doi: 10.22181/aer.2025.0104

* *Autor para correspondência*
E-mail: joao.vaz@ecogestus.com

The HORECA channel and biowaste management challenges

João Vaz [a,], Olga Ganziuc[a], Margarida Benvindo[a], Fernanda Almeida[a], Ricardo Santos[a], José Pinto [b]*

[a] ECOGESTUS, Rua Dom Afonso IV, 23, 3080-328 Figueira da Foz, Portugal

[b] Câmara Municipal de Silves, Largo do Município, 8300-117 Silves, Portugal

Abstract

The implementation of the selective collection of biowaste in the HORECA channel represents an important step for the Municipality of Silves and the Algarve region to achieve the PERSU 2030 goals. In this context, the preparation of the selective collection was initiated by acquiring information about the establishments. In the parishes of Silves and Armação de Pêra, 136 establishments of the 255 registered establishments were identified and contacted. The responses obtained showed that only 6% (n=8) of the establishments recover the waste for animal feed, concluding that 94% of those who responded need the selective collection. The acceptance of the biowaste collection was also a subject of the study, with the analysis of the technical and logistical conditions that lead to a comfortable and effective system. It was concluded that by defining an optimal frequency and collection time (18h-00h, 48h interval, 3x/week), according to the restaurants/cafes questioned and the allocation of containers (23 L or 120 L). To quantify the food waste per meal, 64 meal weighings were carried out in restaurants and 22 in cafes, obtaining values between 0.1.-0.3 Kg/meal . The fieldwork allowed the involvement of the establishments in the definition of the biowaste selective collection system for the HORECA channel in Silves.

Keywords: Biowaste, challenges, landfill diversion, selective collection, non-domestic sector.

doi: 10.22181/aer.2025.0104

* *Corresponding author*
E-mail: joao.vaz@ecogestus.com

©APESB

1 Introdução

Na Europa estima-se um desperdício alimentar de 179 kg/habitante/ano, sendo 14% atribuído à restauração (ACFMNPortugal, 2022). Assim, o presente trabalho pretende resumir e analisar a recolha de informações sobre estabelecimentos do canal HORECA no município de Silves (entre setembro e dezembro de 2020), dados que permitiram dimensionar e modelar o sistema de recolha de biorresíduos implementado em 2021 para entrega na Central de Valorização Orgânica da ALGAR.

Pretende-se também sumarizar quais os constrangimentos técnicos e sociais encontrados no momento de implementação do projeto, para perceber os desafios encontrados nesse setor, que é uma fonte significativa da geração de biorresíduos.

2 Materiais e Métodos

2.1 Potencial de biorresíduos nos indiferenciados

A caracterização física de resíduos feita pela ALGAR (2021) para o ano de 2020, que inclui os resíduos produzidos pelo Concelho de Silves, e como único estudo disponível na altura do dimensionamento (Setembro a Dezembro de 2020) mostra que a fração “biorresíduos” correspondia a cerca de 49% dos resíduos, havendo um elevado potencial de quantitativos a recolher seletivamente.

2.2 Identificação de produtores de biorresíduos no município de Silves

O projeto delineado de recolha porta-a-porta de biorresíduos começa pela separação de restos de comida em produtores comerciais que, não sendo grandes produtores (>1 100 litros por dia), possuem elevado potencial de produção: restaurantes, cafés, pastelarias nas freguesias de Silves e Armação de Pêra. A recolha consiste na atribuição de contentores individuais identificados e reservados a um utilizador específico.

Nas freguesias de Silves e Armação de Pêra foram identificados e geolocalizados 255 restaurantes e cafés. Deste universo, foi estabelecido contacto com 136 produtores comerciais por via telefónica, visitas pessoais e realização de inquéritos. Foram contactados 136 dos estabelecimentos registados, uma vez que alguns destes estavam fechados, tanto para férias como permanentemente. Alguns estabelecimentos também não atenderam o telefone ou recusaram-se a responder ao questionário. De forma a aumentar o número de respostas em estudos futuros, deve ter-se em consideração a época do ano, realizando o questionário no verão, quando há mais estabelecimentos abertos. Considerou-se que a mobilização de produtores é chave para o sucesso da recolha de biorresíduos e requer um rigoroso levantamento de informação, através de inquéritos e pesagens aos restos de comida gerados nos estabelecimentos HORECA.

Este trabalho de diagnóstico teve assim dois componentes principais:

Identificação de produtores - foram identificados e georreferenciados 255 produtores comerciais de resíduos alimentares

Estimativa de produção – pesagem e questionário aos estabelecimentos

2.3 Metodologia de quantificação

A amostra escolhida (n = 8 restaurantes e n= 3 cafés/pastelarias) teve como objetivo a observação direta de produção de resíduos alimentares, através de visitas para realizar as pesagens (Figura 1).

©APESB

A equipa realizou um levantamento empírico de dados (duas réplicas, a primeira com duração de 3 dias e a segunda com duração de 7 dias) assente nas seguintes fases:

Preparação e distribuição de baldes por 11 diferentes produtores comerciais (no total 3 cafés/pastelarias e 8 restaurantes tradicionais);

A cada produtor participante foi fornecido um contentor próprio para deposição de resíduos alimentares e pedido para colocarem os resíduos alimentares por si produzidos durante o serviço;

No final de cada serviço de almoço ou jantar, um técnico visitou cada estabelecimento participante, realizou a pesagem dos resíduos depositados e uma inspeção visual do volume de resíduos no contentor oferecido.

Figura 1. Quantificação realizada em Silves: (a) pesagem após horário (b) registo de pesagem (c) balde disponibilizado (d) colocação estratégica do balde fornecido

Apresentam-se, de seguida, os resultados da observação expressos em resíduos produzidos por refeição servida:

A. Restaurantes: 0,31 kg/refeição, equivalente a 0,775 L/refeição
   - 64 pesagens para 1 430 refeições servidas,

B. Cafés/pastelarias: 0,11 kg/refeição, equivalente a 0,275 L/refeição
   - 22 pesagens para uma contagem de 602 refeições servidas

Para a determinação do volume dos resíduos, foi considerado uma densidade de 400 Kg/m3.

©APESB

Apesar do número limitado de estabelecimentos do canal HORECA, realizaram-se 86 pesagens, sendo o número de refeições significativo, 2 032.

Estes resultados estão em linha com estudos anteriores que apontam para uma média de 0,1 a 0,4 kg por refeição, dependendo de vários fatores (Mariosa e Alves, 2019).

2.4 Questionário

Os resultados dos inquéritos mostram que 42% dos inquiridos afirmam fazer a separação voluntária de resíduos alimentares (n= 57).

Os resultados obtidos através dos questionários estão em consonância com algumas observações feitas no terreno:

i. Os restaurantes afirmam adotar hábitos de separação de resíduos desde que não seja prejudicado o funcionamento (operação) da sua atividade.

ii. Somente 6% (n=8) valoriza os resíduos alimentares em alimentação de animais.

A definição de um horário ótimo para a recolha porta-a-porta requer uma análise cuidada de incentivos e expectativas. Cerca de 75% (n= 102) inquiridos prefere fazer a remoção dos seus resíduos a partir das 18h. Mais de metade (52 %) demonstrou preferência por fazer a remoção dos seus resíduos a partir das 21h. Do ponto de vista dos restaurantes, a utilização dos intervalos horários normalmente utilizados para remoção de resíduos será um bom ponto de partida.

Os resultados dos inquéritos quanto à frequência de recolha, horário e afetação de equipamentos teve como consequência as seguintes opções ótimas:

i. Recolha de biorresíduos a decorrer de 48 em 48 horas entre segundas-feiras e sábados das 18h até às 00h, com possibilidade de ajustes e recolhas excecionais quando justificado,

ii. Atribuição de contentores com volumes de 23 e 120 litros pelos diferentes produtores comerciais do município.

3 Análise de Resultados

O trabalho de diagnóstico mostra que uma parte significativa (42%) dos inquiridos revela vontade de participar na recolha de biorresíduos porque afirma já faz a separação dos resíduos alimentares com vários destinos (“leva para casa”; “é recolhido por particular; etc).

Segundo as pesagens efetuadas aos restos de comida, incluindo a confeção, a quantidade por refeição servida é de cerca de 0,3 kg, o que representará cerca de 30 kg ou 75 L por dia para um restaurante de média dimensão com 100 refeições por dia. Esta massa é acomodável num contentor de 120 litros.

©APESB

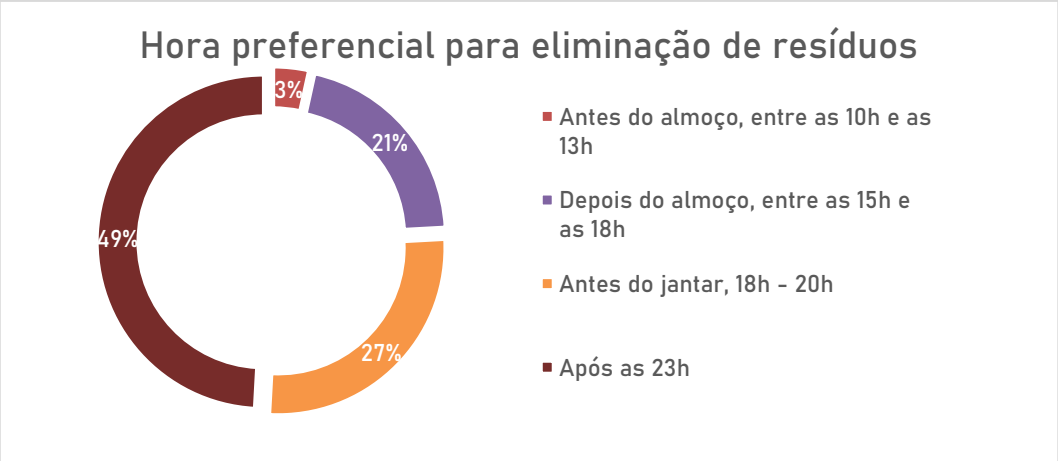


Figura 2. Horário de recolha preferido para eliminação de resíduos pelos restaurantes

Como evidenciado na Figura 2, o horário de recolha preferido é após as 18h até à hora do fecho da maioria do estabelecimento, pela facilidade em trazer para a rua e controlar os resíduos.

Na introdução da recolha de biorresíduos ao setor HORECA é fundamental comunicar bem e continuamente, sendo igualmente importante clarificar até que ponto a adesão deve ser obrigatória e como bonificar quem participa e penalizar quem não faz a separação.

Faltará quantificar as quantidades de indiferenciados, após separação dos biorresíduos, para que seja possível perceber o que efetivamente é gerado pelo setor HORECA em termos de indiferenciados.

Assim, o estudo realizado permitiu elaborar uma análise SWOT (FOFA - Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) à operação de recolha de biorresíduos no setor não-doméstico (Quadro 1).

©APESB

Quadro 1. Análise SWOT

S Forças	- Maior responsabilização individual dos estabelecimentos pela produção de biorresíduos, - Controlo da contaminação no sistema porta-a-porta com possibilidade de identificar quem produz o quê - Aumento das condições salubridade gerais resultantes da menor acumulação de resíduos em contentores indiferenciados, - Menor desgaste e consequente redução dos custos de manutenção dos contentores de resíduos indiferenciados, - Passo significativo na antecipação das metas do PERSU+ para 2023, - Separação de biorresíduos no local de produção, assim permitindo a valorização de recursos que outrora iriam diretamente para aterro, - Aumento de tempo de vida útil de aterros, o que contribui também para a redução da emissão de gases com efeito de estufa
W Fraquezas	- Rigidez na adaptação a eventos inesperados ou alterações de contexto, - Dificuldades acrescidas na recolha porta-a-porta em locais de acesso condicionado (por exemplo, restaurantes do centro histórico de Silves), - O Regulamento Municipal de Silves para a Gestão de Resíduos, Higiene e Salubridade encontra-se desatualizado e não prevê mecanismos eficazes para estabelecimento de protocolos ou de incentivos à adesão à recolha porta-a-porta.
O Oportunidades	- Economias de escala resultantes da cooperação entre ALGAR e CM Silves, - Crescente tendência cultural da população geral para considerar o fator sustentabilidade, - Potenciais benefícios sociais e económicos resultantes do estatuto de pioneiro na região Algarvia: publicidade ao município, acesso privilegiado a financiamento ambiental, turismo, etc... - Promoção de alterações tarifárias e regulamentares, criando maior justiça e equidade entre o que se produz e o que se paga - Potencial de expansão para a adoção de recolha porta-a-porta residencial.
T Ameaças	- Baixa taxa de adesão devido à inexistência de obrigação legal e tarifário indiferente à separação, não participação dos agentes económicos - Atrasos no início de atividade da nave de Tratamento de Biorresíduos nas instalações do Aterro Sanitário do Barlavento, - Má separação de biorresíduos, sem necessário quadro regulamentar e tarifário - Perda de confiança da comunidade na capacidade de resposta do sistema de recolha, se for interrompida a recolha - Influência de fatores sazonais pode levar à produção de quantidades de biorresíduos superiores ao dimensionamento inicial do sistema, - Desmotivação e indiferença resultantes do impacto da crise sanitária e económica - surto pandémico Covid-19, - Limitações na disponibilidade de recursos materiais e humanos por parte da entidade públicas.)

©APESB

4 Conclusões

Os restaurantes e cafés são grandes produtores de biorresíduos, havendo um grande potencial para a sua recolha seletiva.

O estudo realizado selecionou uma amostra de cafés e restaurantes, concluindo que existe uma uma produção de resíduos alimentares entre 0,1 a 0,3 kg/ refeição ou 0,275 a 0,775 L/ refeição. Propôs-se, assim, a utilização de contentores de 23 ou 120 litros dependendo do número de refeições servidas por dia.

Em estudos futuros será benéfico realizar-se o questionário na época alta, uma vez que haverá mais estabelecimentos abertos, permitindo um maior número de respostas.

Referências

ACFMNPortugal (2022) Desperdício Alimentar na Europa. Obtido de ACFMN Portugal: https://www.acfmnportugal.pt/direito-a-alimentacao-e-seguranca-alimentar/desperdicio-alimentar/na-europa (15 de setembro de 2022)

ALGAR (2021) Caracterização Física de Resíduos Urbanos do Sistema Multimunicipal do Algarve – Relatório Final 2020. Obtido em: https://www.algar.com.pt/media/3s3beaey/caracterizacao_fisica_de_residuos20.pdf

Mariosa S. T., Alves M. K. (2019) Identificação de Resíduos em uma Unidade de Alimentação e Nutrição. *Ensaios e Ciênc.* 2, 161-165 https://doi.org/10.17921/1415-6938.2019v23n2p161-165

Adoção de tecnologias para reutilização de água tratada – uma avaliação numa ETAR urbana

Luís Marinheiro [a, *], *Ruben Jorge* [b], *Inês Baptista* [b], *Luísa Lopes* [c], *João Vilaça* [c], *Rui Sampaio* [a], *Stefan Löblich* [a]

[a] AST – Soluções e Serviços de Ambiente, Lda., Rua do Bairro 400, 4485-010 Aveleda, Portugal

[b] Wedotech, Lda., Rua do Seixal 108, 4000-521 Porto, Portugal

[c] Simdouro, S.A., Rua Alto das Chaquedas, s/n, Canidelo, 4400-356 Vila Nova de Gaia, Portugal

Resumo

Atualmente, a escassez de água potável é um problema transversal que torna necessário explorar fontes alternativas para usos não potáveis, como a reutilização de águas residuais. O presente estudo teve por objetivo investigar e comparar a aplicação de diversas tecnologias, e suas combinações, como tratamento terciário na produção de água para reutilização (ApR), tendo em vista a obtenção de ApR com qualidade diferenciada para servir diferentes usos. Foram conduzidos ensaios à escala piloto e industrial em condições reais numa estação de tratamento de águas residuais (ETAR) urbana, com aplicação de tecnologias de tratamento com diferentes mecanismos de atuação, nomeadamente processos de filtração, separação por membranas, desinfeção e oxidação avançada. Obtiveram-se ApR com qualidade diversificada, com diferentes classes de qualidade para rega e usos em contexto urbano. A aplicação de tecnologias de separação por membrana e ozonização permitiram obter a ApR de qualidade mais elevada. A análise de comparativa de custos operacionais realizada demonstrou, nas condições testadas, que a ultrafiltração foi a tecnologia que apresentou melhor relação entre qualidade ApR e custos operacionais.

Palavras-Chave: Reutilização de água, economia circular, desinfeção, ultrafiltração, osmose inversa, ozonização.

doi: 10.22181/aer.2025.0105

* *Autor para correspondência*
E-mail: lmarinheiro@ast-ambiente.com

©APESB

Adoption of water reuse technologies – an evaluation at an urban WWTP

Luís Marinheiro [a, *], *Ruben Jorge* [b], *Inês Baptista* [b], *Luísa Lopes* [c], *João Vilaça* [c], *Rui Sampaio* [a], *Stefan Löblich* [a]

[a] AST – Soluções e Serviços de Ambiente, Lda., Rua do Bairro 400, 4485-010 Aveleda, Portugal

[b] Wedotech, Lda., Rua do Seixal 108, 4000-521 Porto, Portugal

[c] Simdouro, S.A., Rua Alto das Chaquedas, s/n, Canidelo, 4400-356 Vila Nova de Gaia, Portugal

Abstract

Currently, the scarcity of potable water is a worldwide problem that makes it necessary to explore alternative sources for non-potable uses, such as the reuse of treated wastewater. The present study aimed to investigate and compare the application of the combination of several tertiary treatment technologies, and its combinations, in the production of water for reuse (ApR), to obtain ApR with differentiated quality to serve different uses. Pilot and industrial scale tests were carried out under real conditions in an urban wastewater treatment plant (WWTP), with the application of treatment technologies with different mechanisms of action, namely filtration processes, membrane separation, disinfection and advanced oxidation. ApR were obtained with diversified quality, with different classes for irrigation and uses in urban context. The application of membrane separation and ozonation technologies allowed the production of ApR with superior quality for irrigation application. The comparative analysis of operating costs carried out demonstrated, under the tested conditions, that ultrafiltration was the technology that presented the best relationship between ApR quality and operating costs.

Keywords: water reuse, circular economy, disinfection, ultrafiltration, reverse osmosis.

doi: 10.22181/aer.2025.0105

[*] *Corresponding author*
E-mail: lmarinheiro@ast-ambiente.com

©APESB

1 Introdução

Atualmente, os recursos hídricos estão sob pressão crescente, assistindo-se ao aumento da escassez da água e à deterioração da sua qualidade (EC, 2020). Neste contexto, torna-se urgente promover uma utilização mais racional deste recurso, e a exploração de fontes alternativas de água para fins não potáveis. A reutilização de água tratada das Estações de tratamento de águas residuais (ETAR) constitui uma origem alternativa, que promove uma utilização mais sustentável deste recurso, reduzindo as necessidades de captação de água e promovendo uma maior circularidade deste recurso (Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de Agosto).

O Decreto-Lei n.º 119/2019, veio estabelecer o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Em 2021 foram tratados em Portugal mais de 700 milhões de m^3 de águas residuais, no entanto apenas 1.2% deste volume de águas foi reutilizado, sendo que 87% desta reutilização foi para uso interno das entidades gestoras de águas residuais e apenas 13 % para outras aplicações (ERSAR, 2022). Em comparação, em Espanha esta percentagem de reutilização situava-se já perto dos 10% em 2016 (Jodar-Abellan et al., 2019).

Para promover a reutilização de águas tratadas (ApR), é necessário que as ETAR estejam equipadas com nível de tratamento que permita a produção de ApR compatível com os níveis de qualidade exigidos para diferentes usos. É também necessária a conjugação da flexibilidade operacional, para acomodar diferentes necessidades de utilização, com a permanente garantia da qualidade da ApR - só possível caso se disponha de tecnologia de tratamento robusta e fiável. Impõe-se assim neste sector a necessidade de se explorarem soluções complementares para o *upgrade* da qualidade e flexibilidade de tratamento nestas instalações. Adicionalmente, os custos operacionais associados a este *upgrade* tecnológico são de elevada importância para viabilizar este mercado de ApR.

Os efluentes secundários contêm contaminantes residuais que geralmente não permitem a sua aplicação direta para reutilização como ApR. Estes podem ser agrupados em 4 grupos (Metcalf e Eddy, 2014): i) partículas em suspensão e coloidais, orgânicas e inorgânica (p.ex. sólidos em suspensão - SST); ii) contaminantes orgânicos dissolvidos (e.g. CBO_5); iii) contaminantes inorgânicos dissolvidos (p.ex. azoto e fósforo); e, iv) contaminantes biológicos (p.ex. bactérias e vírus). Existem várias tecnologias de tratamento terciário com diferentes mecanismos de atuação que permitem atuar sobre esta variedade de contaminantes.

A filtração por leito granular, como filtros de areia (FA), é uma operação unitária que permite a remoção de sólidos e partículas em suspensão. Este processo consiste na passagem da água a tratar através de um meio filtrante, por ação da gravidade ou por pressurização, onde ocorre a retenção de sólidos suspensos que têm maior dimensão que os poros existentes no meio filtrante ao longo da profundidade do leito. Podem ser usados como pré-tratamento para processos de desinfeção ou oxidação avançada. Os processos de membranas permitem a separação de matéria coloidal, partículas, componentes dissolvidos (p.ex. sais, nutrientes, poluentes orgânicos), e também contaminantes biológicos (p.ex. bactérias e vírus). O elemento central destes processos é a membrana que atua como uma barreira física seletiva para os contaminantes presentes na água a tratar, permitindo, em função das suas características, a passagem ou retenção destes vários contaminantes. Com base no tamanho dos poros ou densidade das membranas, estes processos podem ser ainda classificados, por ordem decrescente de porosidade: Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). Esta tecnologia permite remover desde sólidos em suspensão com MF até à remoção de sais com OI.

A radiação ultravioleta (UV) é a forma mais comum de radiação eletromagnética usada na desinfeção de água. Neste processo, a radiação UV penetra a parede celular dos

microrganismos e provoca danos e alterações nos ácidos nucleicos (ADN e ARN), tanto de bactérias como de vírus, o que inviabiliza os processos de síntese e replicação celular, mas sem destruição das células (Metcalf e Eddy, 2014). É recomendável operar estes sistemas UV com um pré-tratamento do efluente secundário, como filtros de areia, para reduzir partículas em suspensão e maximizar a ação da radiação.

O processo de ozonização consiste na desinfeção da água pela adição de ozono. Neste processo de desinfeção os agentes patogénicos são destruídos pela oxidação dos compostos que formam as membranas celulares e por destruição do ADN (Metcalf e Eddy, 2014). Adicionalmente, a decomposição parcial do ozono na água produz radicais $OH^{\bullet}$, que são altamente reativos, e que oxidam contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água.

O presente estudo teve como objetivo investigar e comparar a aplicação de diferentes tecnologias de tratamento terciário para a produção de ApR, com avaliação de qualidade obtida e custos operacionais. O estudo foi desenvolvido numa ETAR urbana, com unidades de tratamento à escala piloto e industrial, todas testadas em condições reais equivalentes e com o mesmo efluente secundário da ETAR. Pretende-se ainda que os resultados obtidos sejam um contributo para o setor do tratamento de águas residuais, e para a promoção da adoção de tecnologias de tratamento terciário para a produção de ApR.

2 Materiais e Métodos

2.1 ETAR modelo

Este estudo foi realizado numa ETAR urbana dimensionada para uma população de 300.000 habitantes, com caudal médio de tratamento de 66.700 m^3/dia. O processo de tratamento baseia-se num sistema de tratamento por lamas ativadas em regime de arejamento convencional. O nível de tratamento da ETAR é secundário, existindo uma etapa de tratamento terciário para produção de água de serviço para uso interno, composta por filtros de areia com coagulação e desinfeção UV.

2.2 Tecnologias testadas

No âmbito deste estudo foram testados os seguintes processos de tratamento: filtros de areia (FA), desinfeção por ultravioleta (UV), microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI) e ozonização (OZ), que foram aplicados de forma individual ou em combinação, conforme se descreve de seguida.

Os FA multicamada, existentes na ETAR, são compostos por duas unidades em série com capacidade unitária de 100 m^3/h. Os meios filtrantes utilizados são compostos por várias camadas de materiais e granulometria, com 1.º estágio de antracite e areia siliciosa com várias granulometrias, e 2.º estágio de areia siliciosa. Esta filtração é combinada com o doseamento de coagulante sulfato de alumínio (FAcg). A unidade de desinfeção ultravioleta (UV) existente na ETAR, em série e a jusante dos filtros de areia, é do tipo aberto, com lâmpadas de arco de mercúrio de baixa pressão de disposição horizontal, com capacidade de 100 m^3/h. Esta unidade é composta por um canal com 5 bancos x 8 lâmpadas, com emissão unitária de UV de 26,7 W, e dose de 190 microWatts/cm^2 a 1 m. Os custos operacionais de FA+UV incluem para energia os consumos com bombagem de efluente, lavagem de filtros (bomba e compressor) e funcionamento das lâmpadas UV; para reagentes o consumo de coagulante; e para consumíveis a substituição de lâmpadas UV.

A unidade de MF à escala piloto (AST – Soluções e Serviços de Ambiente, Lda.), tem caudal médio de processamento de 2,5 m^3/h, e está equipada com 2 elementos filtrantes caracterizados por elementos de feixe de fibras com porosidade de 5µm. Os custos operacionais de MF incluem para energia os consumos com bombagem de efluente e compressor de lavagem de

©APESB

membranas; para reagentes o consumo de químicos para lavagem de membranas; e para consumíveis a substituição de membranas.

A unidade de UF contentorizada, com escala industrial (AQUASMART – Water and Wastewater Treatment Solutions, Lda.), está equipada com 128 módulos de UF submersos, com superfície total de filtração ativa de 768 m^2 e caudal médio de processamento de 10 m^3/h. As membranas UF são de fibra oca de polietileno de alta densidade com diâmetro externo de 0,4 mm e distribuição média de tamanho de poro de 20 nm, operando no modo de fora para dentro. A desinfeção do permeado UF com hipoclorito de sódio (UF+NaOCl) foi realizada em batch num volume de 20 L com adição NaOCl (solução 5% de cloro residual) ao permeado até perfazer uma concentração de 0,5 mg/L de cloro residual. As amostras foram recolhidas após 30 minutos de tempo de contacto, e após período de armazenamento de 7 dias sem adição suplementar de NaOCl. Os custos operacionais de UF incluem para energia os consumos com bombagem de efluente e lavagem de membranas; para reagentes o consumo de químicos para lavagem de membranas; e para consumíveis a substituição de membranas.

A unidade de NF, à escala piloto (AST – Soluções e Serviços de Ambiente, Lda.), é composta por um módulo de membrana do tipo *spiral-wound*, com poros de dimensão 150-300 Dalton, área total ativa de 26,4 m^2, e caudal médio de processamento de 1,8 m^3/h. Os custos operacionais de NF incluem para energia os consumos com bombagem de efluente e lavagem de membranas; para reagentes o consumo de químicos para lavagem de membranas; e para consumíveis a substituição de membranas.

A unidade de OI, à escala piloto (AST – Soluções e Serviços de Ambiente, Lda.), é composta por 3 módulos de membrana do tipo *spiral-wound*, com área total ativa de membrana de 57 m^2, e caudal médio de processamento de 2,2 m^3/h. Os custos operacionais de OI incluem para energia os consumos com bombagem de efluente e lavagem de membranas; para reagentes o consumo de químicos para lavagem de membranas; e para consumíveis a substituição de membranas.

A unidade piloto de OZ (De Nora), é composta por um gerador de ozono, a partir do ar ambiente, e um reator de coluna de bolhas onde se efetua a mistura do ozono com o efluente a tratar (dose 88 gO_3/m^3 e tempo de contacto de 2 minutos). O caudal médio de processamento é de 1,2 m^3/h. O ozono foi aplicado no efluente secundário tratado na unidade filtros de areia descrita. Os custos operacionais com OZ incluem para energia os consumos com bombagem de efluente e gerador de ozono; e para reagentes o consumo de coagulante quando combinado em FAcg+OZ.

2.3 Amostragem e análises

Foram recolhidas amostras pontuais e simultâneas de água antes e após tratamento com as tecnologias, ou combinações, testadas. Foram recolhidas 6 amostras para cada esquema de tratamento, em diferentes dias, com a exceção de UF+NaOCl com 3 amostras recolhidas. As análises físico-químicas foram realizadas por laboratório acreditado de acordo com as metodologias do *Standard Methods* para análises de águas residuais (APHA, 2017). Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados foram os incluídos nas normas de qualidade constantes no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de Agosto, para reutilização para rega, usos urbanos e usos industriais, que incluem pH, carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), turvação, sólidos suspensos totais (SST), azoto total (NT), azoto amoniacal, fósforo total (PT), e *Escherichia coli* (*E. coli*).

2.4 Análise de resultados

Os resultados apresentados para cada configuração testada correspondem à média ± desvio padrão de pelo menos 3 amostragens ($n \geq 3$) realizadas em dias diferentes, com operação contínua das tecnologias. A análise estatística para apuramento da média e desvio padrão dos resultados foi realizada com recurso a Excel (versão 2406, Microsoft). Para a avaliação de custos energéticos, foi considerado para eletricidade o custo unitário de 0,12 €/kWh. Os resultados dos

custos operacionais apurados para cada esquema de tratamento testado foram normalizados pelos caudais de ApR produzidos, respetivamente, e apresentados em € por m^3 de ApR produzida.

3 Resultados e Discussão

3.1 Estudo comparativo para produção de ApR

Foram conduzidos ensaios à escala piloto e industrial numa ETAR urbana, em condições reais, com aplicação de tecnologias de tratamento terciário para produção de ApR a partir de efluente secundário. Foram selecionadas para este estudo tecnologias terciárias com diferentes mecanismos de atuação, nomeadamente processos de filtração, separação por membranas, desinfeção e oxidação avançada, que foram aplicadas individualmente ou em combinação. A Figura 1 apresenta uma seleção das tecnologias testadas no âmbito deste estudo para produção de ApR.

Figura 1. Imagens das tecnologias terciárias testadas na ETAR para produção de ApR.

São apresentados no Quadro 1 alguns resultados selecionados da caracterização físico-química e microbiológica das ApR obtidas para as diferentes tecnologias e combinações testadas, incluindo o efluente secundário sem tratamento para comparação de qualidade.

Todas as ApR produzidas aqui reportadas apresentavam um nível de carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) inferior ao limite estabelecido para usos urbanos de rega (≤ 10 mgO_2/L), com a exceção da microfiltração. Em relação aos sólidos suspensos totais (SST), obtiveram-se ApR com qualidade superior ao limite mais restrito para irrigação (≤ 10 mg/L) para todas as configurações testadas. Assim como para o parâmetro turvação (≤ 5 NTU), com a exceção dos filtros de areia com coagulação. Em relação aos parâmetros azoto total (NT) e amoniacal, todas as ApR obtidas com as diferentes combinações testadas ultrapassaram os limiares recomendados para aplicação em rega (NT ≤ 10 mg/L), com exceção da aplicação da osmose inversa. Este resultado para o azoto é justificado pela elevada concentração de azoto presente no efluente secundário, e pela baixa capacidade de remoção deste parâmetro para as

©APESB

tecnologias testadas. A redução do azoto a montante do tratamento terciário, por melhoria da nitrificação nos tanques de arejamento do tratamento biológico, seria a melhor estratégia para reduzir o teor de azoto nas ApR produzidas. Para irrigação, este é um parâmetro facultativo.

Quadro 1. Resultados selecionados da caracterização físico-química e microbiológica das ApR produzidas.

Parâmetro	Efluente	FAcg + UV	MF	UF	UF + NF	UF+ NaOCl	FAcg + OZ	UF+OI
pH	7,6±0,1	7,4±0,1	7,4±0,1	7,6±0,2	7,5±0,3	7,4±0,1	7,4±0,1	6,9±0,2
CBO_5 [mgO_2/L]	13,6±5,4	6,0±4,0	10,6±1,8	5,6±3,2	3,7±2,3	4,3±0,9	5,8±1,3	3,2±0,4
SST [mg/L]	20,4±4,8	9,0±1,0	7,7±3,2	3,4±1,8	1,9±1,5	3,3±2,1	3,3±1,1	2,7±1,4
Turvação [NTU]	9,5±2,5	6,7±2,0	4,4±1,7	1,0±1,0	0,5±0,3	0,28±0,0	1,1±0,1	0,3±0,1
NH_4^+ [mg/L]	50,7±9,0	59,4±0,7	53,9±5,0	49,6±10	32,1±8,0	52,6±2,1	52,1±7,0	2,1±0,9
NT [mg/L]	55,7±8,2	61,5±0,5	58,3±6,3	55,3±10	32,1±8,8	53,7±1,7	54,2±5,9	2,9±1,1
PT [mg(L]	2,7±0,8	3,0±0,5	2,2±0,4	2,0±0,9	0,7±0,6	2,9±0,7	0,6±0,2	<0,5±0
E. coli [logCFU/100 mL]	5,4±0,5	5,3±0,2	5,7±0,3	0,8±0,8	0, 68±0,8	0,0±0,0	0,6±0,4	0,1±0,2

Legenda: CBO_5 – carência bioquímica de oxigénio; SST – sólidos suspensos totais; NT – azoto total; PT – fósforo total.

Relativamente à qualidade microbiológica das ApR obtidas, avaliada em função da concentração de *E. coli*, a aplicação das tecnologias de membranas a partir da ultrafiltração e a ozonização permitiu obter ApR com qualidade microbiológica superior (≤ 10 CFU/100mL), compatível com a utilização de água para rega de classe A. O atual sistema de tratamento terciário existente na ETAR, com filtros de areia com coagulação, não foi eficaz para reduzir a carga microbiológica de *E. coli* e permitir a utilização da ApR diretamente para rega. Este resultado deve-se à baixa transmitância do efluente secundário, mesmo após filtração com coagulação, e possível sub-dimensionamento do sistema de desinfeção UV instalado.

A adição de NaOCl permitiu reduzir ainda mais a concentração de *E. coli* no permeado da UF, e manter esta qualidade durante 7 dias de armazenamento desta ApR. A adição de NaOCl poderá ser explorada como complemento para reduzir e controlar a carga microbiana noutras ApR produzidas, quando necessário para certas utilizações ou armazenamento. No âmbito da reabilitação do tratamento terciário existente da ETAR em estudo, está prevista iniciar-se esta adição.

A classificação das ApR produzidas de acordo com as normas de qualidade definidas para diferentes aplicações no Decreto-Lei n.º 119/2019, é apresentada no Quadro 2. Neste exercício de classificação das ApR obtidas verificou-se que o parâmetro azoto, total e amoniacal, assim como o parâmetro microbiológico *E. coli*, são os que mais condicionam as aplicações possíveis para as ApR. As unidades de tratamento por ozonização e osmose inversa, foram as que permitiram produzir ApR com melhor qualidade para irrigação e para todos os usos urbanos e industriais previstos.

Quadro 2. Classificação das ApR produzidas de acordo com as normas de qualidade apresentadas no Decreto-Lei n.º 119/2019.

©APESB

ApR	A) REGA	B) USOS URBANOS	C) USOS INDUSTRIAIS
Efluente	S/ Aplicação	Lavagem de ruas sem pressão, não manual	S/ Aplicação
MF	S/ Aplicação	Lavagem de ruas sem pressão, não manual	S/ Aplicação
UF	Classe A*	Lavagem ruas e veículos, águas combate incêndio	Todos os usos previstos
UF + NF	Classe A*	Lavagem ruas e veículos, águas combate incêndio	Todos os usos previstos
UF + NaOCl	Classe A*	Lavagem ruas e veículos, águas combate incêndio	Todos os usos previstos
FAcg + UV	S/ Aplicação	Lavagem de ruas sem pressão, não manual	S/ Aplicação
FAcg + OZ	Classe A	Todos os usos previstos	Todos os usos previstos
UF + OI	Classe A	Todos os usos previstos	Todos os usos previstos

*Apenas aplicável quando não se verifiquem restrições ao parâmetro azoto nos projetos de rega.

3.2 Estudo comparativo para avaliação de custos operacionais

No âmbito deste estudo, foi também realizada uma análise de custos de operação de cada tecnologia testada, incluindo consumo de energia, reagentes e consumíveis. Esta análise foi desenvolvida com base nas condições operacionais de cada tecnologia testada à escala aplicada, piloto ou industrial, e os resultados são apresentados na Figura 2.

Verifica-se que o ozono foi a tecnologia testada com maior consumo energético (FA+OZ), nas condições testadas, com um custo operacional global de 0,41 €/m^3 ApR. As tecnologias de membranas apresentam custos energéticos inferiores, mais elevados ao nível de consumíveis (novas membranas) e reagentes químicos (para lavagens). Embora apresentem custos operacionais superiores, estas tecnologias de membranas, nomeadamente nanofiltração e osmose inversa, poderão ter relevância em aplicações mais nobres de ApR para fins não potáveis, por permitirem complementarmente a remoção eficaz de poluentes emergentes (Baptista et al., 2023). A tecnologia de filtros de areia combinada com desinfeção UV (FAcg+UV) foi a que apresentou custo operacional global menor, mas como demonstram os resultados da qualidade da ApR (Quadro 1), esta solução não é eficaz na desinfeção do efluente, e a ApR obtida tem muitas restrições de utilização.

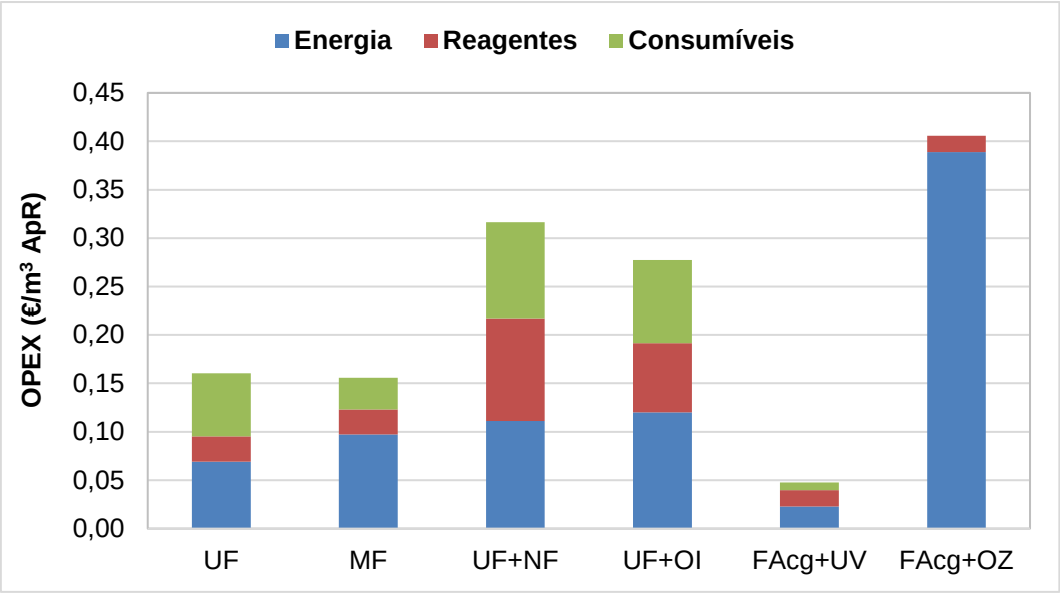


Figura 2. Custos operacionais (OPEX) associados à produção ApR nas tecnologias testadas.

©APESB

Apresenta-se na Figura 3 uma relação entre a concentração de *E. coli* nas ApR produzidas e custos operacionais para as tecnologias testadas. Destacam-se nesta representação claramente dois grupos: um primeiro com filtros de areia + desinfeção UV e microfiltração, com baixa qualidade microbiológica, e um segundo grupo com as restantes tecnologias com contaminação microbiológica inferior. No conjunto das tecnologias testadas, a ultrafiltração (UF) apresenta-se como uma solução com relação entre qualidade ApR e custo operacional equilibrada, produzindo uma ApR de elevada qualidade para diferentes usos admissíveis, com um custo operacional global reduzido, face a outras alternativas testadas para atingir nível de qualidade equivalente. Nas condições testadas, o custo de produção de ApR por ultrafiltração foi de 0,18 €/m^3 ApR.

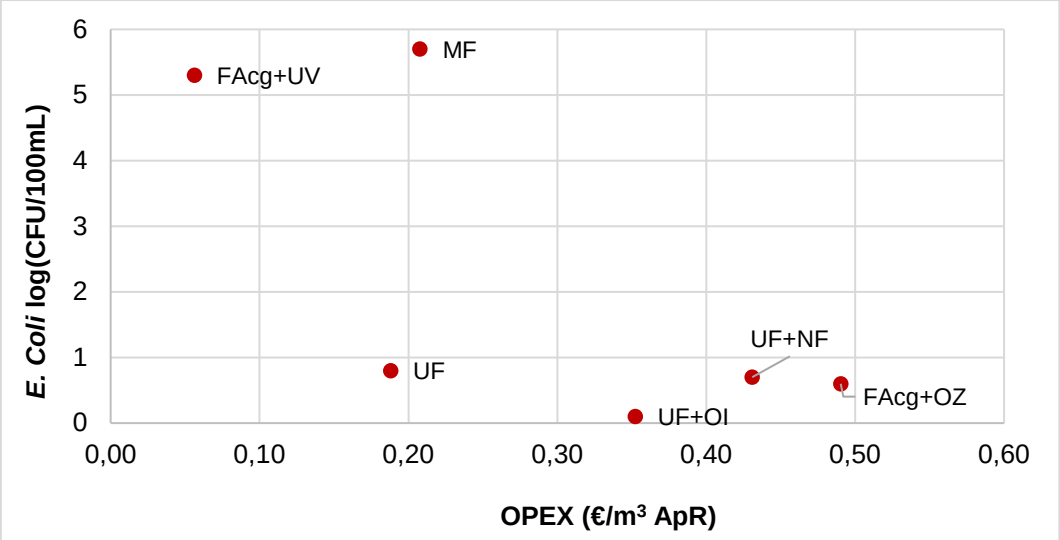


Figura 3. Relação entre concentração de *E. coli* nas ApR produzidas e custos operacionais para as tecnologias testadas.

4 Conclusões

Neste estudo, a aplicação de diferentes tecnologias terciárias no tratamento do efluente secundário, à escala piloto e industrial, permitiu obter ApR com qualidade diferenciada, adequada para diferentes usos previstos.

A qualidade microbiana das várias ApR obtidas foi o fator decisivo para a classificação das ApR, e definição dos usos possíveis. As tecnologias de membranas, incluindo aplicações de ultrafiltração e suas combinações, e ozono, produziram ApR com a melhor qualidade para irrigação e outros usos de contexto urbano. A desinfeção UV, aplicada à escala industrial, não foi eficaz na redução da carga microbiana do efluente.

A análise de custos operacionais desenvolvida neste estudo identificou diferentes custos de tratamento, desde 0,18 €/m^3 ApR para a ultrafiltração até 0,41 €/m^3 ApR para a ozonização.

A decisão da seleção da tecnologia terciária para produção de ApR deve ser realizada tendo em consideração a qualidade de ApR necessária para os usos previstos e o custo de tratamento.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto ApR-TEC (NORTE-01-0247-FEDER-047207) financiado pelo NORTE 2020 e FEDER, ao abrigo do Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico do Portugal 2020.

Referências

APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 23rd Edition.

Baptista, I., Marinheiro, L., Carviçais, I., Delerue-Matos, C., Löblich, S. (2023). Aplicação inovadora de plasma não-térmico para tratamento de fáramcos em águas residuais tratadas. *In proceedings* do 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Brasil.

Decreto-Lei n.º 119/2019. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. https://files.dre.pt/1s/2019/08/15900/0002100044.pdf

EC (2020). REGULAMENTO (UE) 2020/741 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de maio de 2020 relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água. Comissão Europeia. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32020R0741&from=PT acedido a 13 de Abril de 2023.

Jodar-Abellan, A., López-Ortiz, M. I., Melgarejo-Moreno, J. (2019) Wastewater treatment and water reuse in Spain. Current situation and perspectives. *Water,* 11(8), 1551. https://doi.org/10.3390/w11081551.

Metcalf e Eddy, (2014). Wastewater Engineering – Treatment and Resource Recovery. MacGraw Hill Education, 5thedition.

©APESB

NOTA TÉCNICA

Monitorização online da qualidade dos efluentes por espectrometria na deteção de descargas industriais indevidas

Cristina Caldas[a*], *Pedro Fernandes*[a], *António Soares*[a], *Adélio Neto*[b]

[a] *Contimetra, Carnaxide, Portugal*
[b] *Sistimetra, Maia, Portugal*

Resumo

Num mundo em que a água é cada vez mais um bem escasso e precioso, a reutilização da água residual torna-se uma realidade inevitável. A reutilização é um enorme desafio para as entidades gestoras, não só por toda a infraestrutura dispendiosa que exige, mas também devido a descargas de águas residuais industriais, sem o tratamento mínimo necessário, pondo em risco todo o processo de tratamento das ETAR. Neste artigo pretende-se demonstrar a importância da monitorização contínua da qualidade da água residual, através da espetrofotometria UV-Vis, não só à entrada das ETAR, mas também em pontos estratégicos na rede de saneamento. A espectrometria é um método tecnologicamente avançado de medir em simultâneo vários parâmetros, com base no espetro de absorção em diferentes comprimentos de onda (200-750 nm). A monitorização em tempo real da qualidade da água deve ser considerada essencial para o futuro da gestão da água residual pois permite um controlo muito mais detalhado da qualidade da água, comparativamente com as análises laboratoriais periódicas, permitindo uma tomada de decisão imediata, caso seja detetado algum contaminante na água.

Palavras-chave: Monitorização contínua da qualidade, Descargas industriais, Espetrofotometria, UV/VIS.

doi: 10.22181/aer.2025.0106

* *Autor para correspondência*
E-mail: aneto@sistimetra.pt

©APESB

NOTA TÉCNICA

Online monitoring of effluent quality using spectrometry to detect undue industrial discharges

Cristina Caldas[a*], *Pedro Fernandes*[a], *António Soares*[a], *Adélio Neto*[b]

[a] *Contimetra, Carnaxide, Portugal*
[b] *Sistimetra, Maia, Portugal*

Abstract

In a world where water is increasingly a scarce and precious commodity, the reuse of wastewater becomes an inevitable reality. Water reuse is a huge challenge for management entities, not only because of the expensive infrastructure it requires, but also due to industrial wastewater discharges without the minimum necessary treatment, jeopardizing the entire WWTP process. This article aims to demonstrate the importance of continuous monitoring of wastewater quality, through spectrophotometry UV-Vis, not only at the WWTP inlet, but also in strategic points in the sewage network. Spectrometry is a technologically advanced method of simultaneously measuring multiple parameters, based on the absorption spectrum at different wavelengths (200-750 nm). Real-time monitoring allows for much more detailed control of water quality, compared to periodic laboratory analyses, enabling immediate decision-making in case of any contamination is detected on the water.

Keywords: Continuous quality monitoring, Industrial discharges, Spectrometry, UV/VIS.

doi: 10.22181/aer.2025.0106

[*] *Corresponding author*
E-mail: aneto@sistimetra.pt

©APESB

1. Introdução

A monitorização e controlo da qualidade dos afluentes às ETARs municipais constitui uma grande preocupação das entidades gestoras, de forma a poderem garantir a qualidade dos efluentes, quer sejam devolvidos ao meio hídrico, quer seja com o objectivo cada vez mais premente da reutilização.

Os efluentes domésticos não constituem normalmente um prolema, visto que as suas características são bastante estáveis e as ETARs Municipais encontram-se preparadas para fazer o seu tratamento de forma adequada.

Dependendo do tipo de indústria, a descarga de efluentes industriais na rede de saneamento, legalmente, obriga a que estes efluentes tenham um tratamento prévio, antes de serem descarregados, de forma a cumprirem determinados limites legais a que estão sujeitos. Uma descarga industrial ilícita, sem o tratamento necessário, pode pôr em risco a qualidade do efluente tratado e a possibilidade de reutilização desta água. Numa situação mais crítica, uma descarga (contaminação) não detetada, pode pôr em risco todo o processo de tratamento e a respetiva ETAR.

Tradicionalmente, a medição dos parâmetros que permitem perceber o estado do efluente (por exemplo, CQO, CBO, SST, NO3…), antes ou depois do tratamento, é feita através de análises laboratoriais periódicas. Com este método, embora permita obter resultados de grande precisão, não é possível detetar eventuais descargas poluentes.

A utilização da espectrometria UV e visível, é um método que permite a análise contínua e em tempo real da água residual, sem recurso a reagentes. Além de permitir uma caracterização muito mais representativa da qualidade do efluente, possibilita que sejam tomadas medidas de forma a minimizar potenciais danos procedentes da presença de substâncias prejudiciais na água.

2. Espectrofotómetro (UV-VIS): Calibração e Utilização

A monitorização da qualidade da água através do espectro UV e UV-vis, de uma forma muito resumida, é fotografar a água (espetro) num determinado instante e converter essa fotografia nos parâmetros pretendidos (CQO, CBO, turvação, cor, BTX, …). Esta análise e compreensão do espectro é feita pelo instrumento de medição, com base em milhares de fotografias (medições) passadas.

O princípio fundamental da espectrometria é baseado na capacidade de o instrumento medir a quantidade de luz absorvida ao longo do espectro UV e Vis. (Fig. 1).

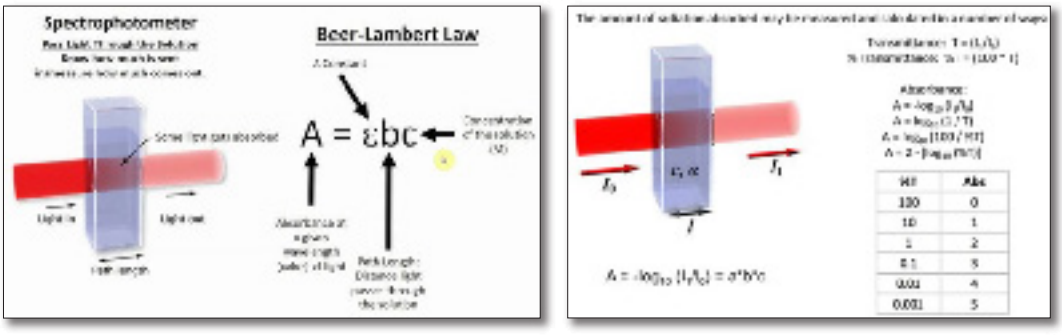


Figura 1. Princípios da absorbância de luz

O caso mais simples é quando colocamos uma substância, que absorve luz, em água destilada, que por sua vez não absorve luz. Esta substância gera tipicamente um espectro de absorção tipo Gaussiano, com base mais ou menos alargada (Fig. 2).

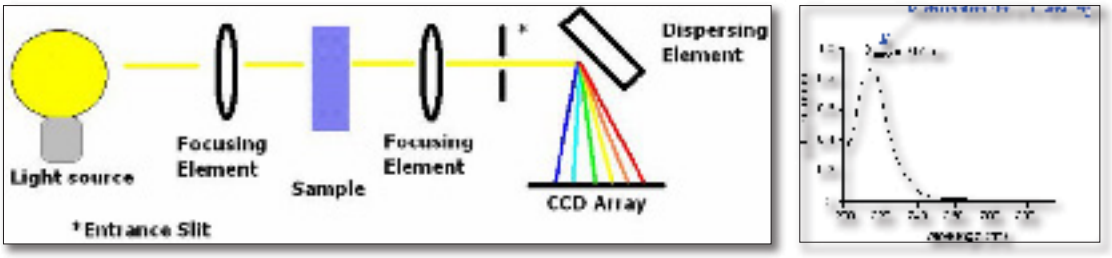


Figura 2. Esquema simplificativo da determinação do espectro de absorbância de luz

Quantos mais componentes tem a água, mais difícil é distingui-los, sendo o espectro resultante a soma da absorção de todos os componentes. Numa situação real, por exemplo em água residual, a própria água (esta já absorve luz) tem uma estrutura base própria e o espectro de absorção é o resultado de todas as substâncias presentes, que absorvem luz e da própria água.

O spectro::lyser é uma sonda para medição *in situ*, que pode ser instalada diretamente no efluente (submersa) ou numa célula de medição (bypass). Esta sonda funciona com base na espectrometria e opera no espectro completo UV e Visível (200 a 720 nm). O resultado de cada medição é um espectro da absorção ao longo de toda a gama de comprimentos de onda. Com base no espectro obtido em cada medição e em algoritmos pré-definidos, previamente carregados, são calculados os parâmetros qualitativos da água selecionados previamente (Fig. 3).

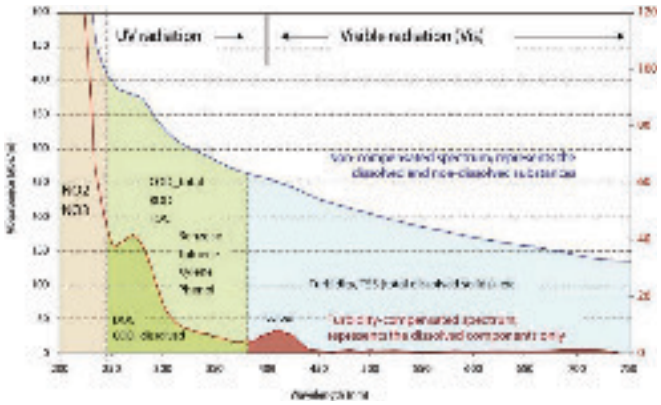


Figura 3. Espectro de absorção

Embora o algoritmo que converte o espetro de absorção em parâmetros quantificados tenha como base um histórico muito amplo, cada ponto de monitorização (seja a entrada de uma ETAR, seja num ponto estratégico na rede de saneamento) tem características próprias, o que pode levar à origem de um espectro de absorção ímpar.

Por exemplo, na análise de água limpa é fácil o espetrofotómetro ser fornecido com pré-calibrações standard para cada parâmetro e, provavelmente, a comparação com análises laboratoriais, valide esta pré-calibração. Por outro lado, nas águas residuais já não é assim tão "fácil", tornando-se estas pré-calibrações inadequadas sempre que exista uma forte influência de efluentes industriais. Nestes casos, é sempre necessária uma calibração local para cada parâmetro, por comparação com análises laboratoriais.

Ao mesmo tempo que o sensor faz a medição do espectro, é necessário retirar uma amostra para posterior análise laboratorial. Devem ser retiradas várias amostras, em diferentes espaços temporais, de forma à nova calibração ser o mais abrangente possível (Fig. 4, Fig. 5 e Quadro 1).

©APESB

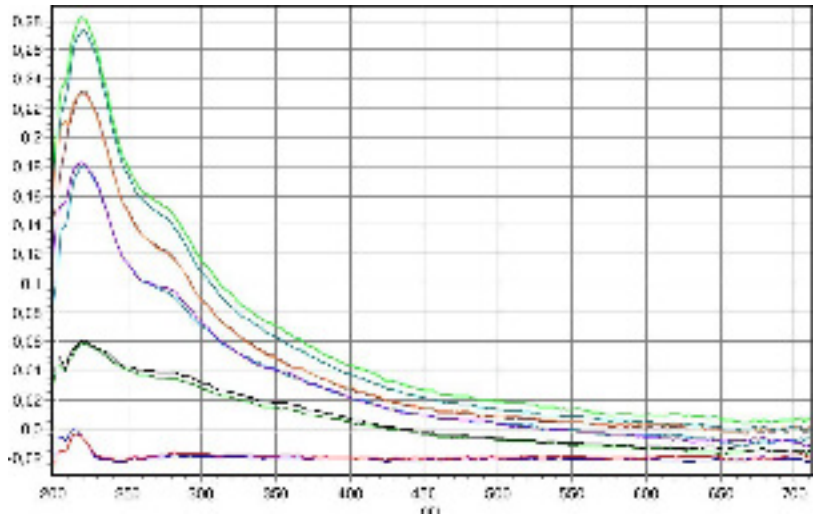


Figura 4. Espetros memorizados

Figura 5. Hora de registo do espectro

Quadro 1. Resultados laboratoriais correspondentes

Amostra	Diluição	Hora	Período	TOC – LAB [mg/l]	CSB – LAB [mg/l]	Data
1	Ro water	12:45	9:15-12:55	1,56	7,00	26.05.
2	K-pure	13:45	13:00-13:48	7,29	49,00	26.05.
3	K-clean 1:1 K-unclean	14:45	13:55-14:50	15,90	95,00	26.05.
4	K-clean 1:2 K-unclean	15:45	14:55-15:50	19,70	113,00	26.05.
5	K-clean 1:3 K-unclean	07:45	7:19-07:50	23,40	118,00	27.05.
6	K-unclean	08:30	07:54-08:35	27,10	141,00	27.05.

Concluído o período de aferição inicial, tendo valores de amostras significativos, os dados espectrais e os respetivos valores de concentração obtidos laboratorialmente são introduzidos num software específico de calibração, que calcula os coeficientes de calibração do sistema. Estão assim reunidas as condições para, em modo de funcionamento normal, se obter em tempo real o valor de cada parâmetro anteriormente calibrado.

3. A Função Deteção de Eventos

Do procedimento atrás descrito conclui-se que a utilização da análise espetral para análise de águas residuais industriais, permite grandes avanços na monitorização em tempo real da qualidade da água, mas envolve um processo algo moroso na colocação em serviço.

Por vezes, mais do que uma medição exata dos parâmetros qualitativos da água, existe a necessidade de uma monitorização temporária, por parte das entidades gestoras. Estas medições, ocorrem sobretudo devido à necessidade de identificar possíveis descargas indevidas que as indústrias entreguem para tratamento ou para o meio recetor.

A função de deteção de eventos pode ser uma ferramenta muito útil nestes casos, uma vez que permite gerar um alarme quando é detetado uma medição de espetro substancialmente diferente do padrão habitual.

Com o software ana::tool o sistema de monitorização funciona como um sistema de deteção de eventos usando espectrometria para deteção inequívoca de contaminações e aumento de informações através de padrões de comprimento de onda.

O sistema de deteção de eventos necessita de um período de aprendizagem, no qual vai percebendo o que é ou não é normal. Durante este período, normalmente a sensibilidade é maior e podem ser identificados "falsos eventos", que podem ser removidos pelos utilizadores – os dados remanescentes representam a "normalidade".

Após este período, o sistema encontra-se preparado para detetar situações que considera anormais, tanto pela análise do espetro medido, mas também pelo padrão dos parâmetros medidos. Detetada alguma anomalia, que pode indiciar uma descarga ilícita, o ana::tool produz um alarme binário, que pode ser utilizado de forma a evidenciar a descarga ou minimizar o efeito nocivo da mesma. Alguns exemplos de ações que podem ser despoletadas pelo alarme são: o envio de uma SMS para que alguém se possa deslocar ao local e atuar em conformidade; a recolha automática de uma amostra do efluente, para posterior análise laboratorial; atuar uma válvula/compartimento, de forma a desviar o efluente do seu trajeto normal.

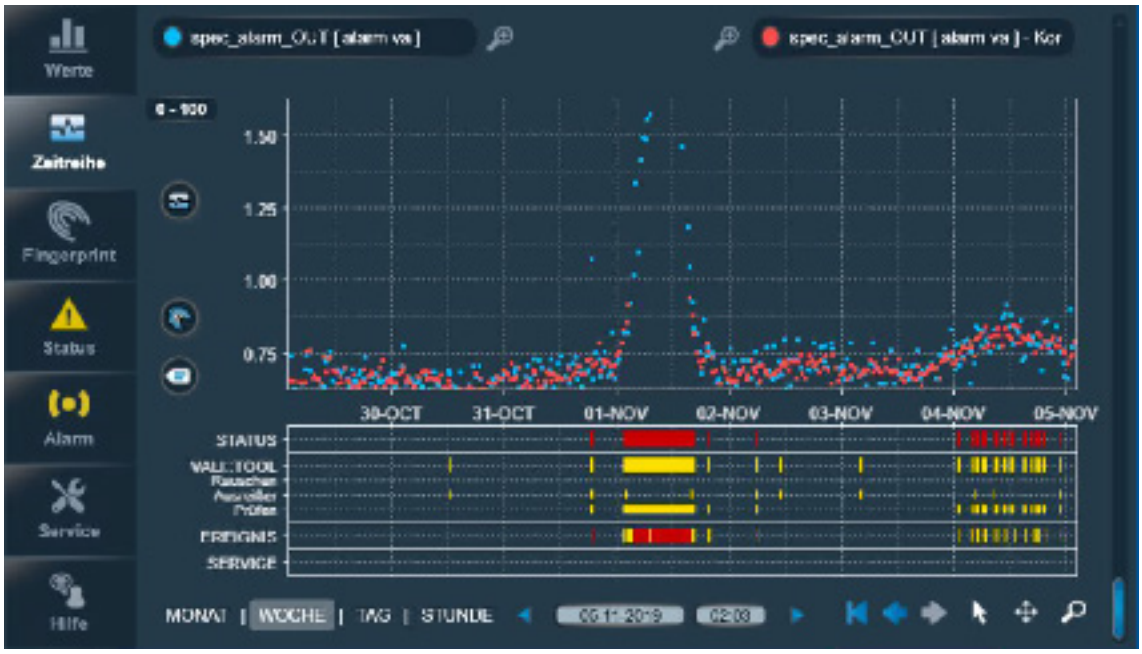


Figura 6. Deteção de eventos

Apesar de o alarme estar associado a uma saída digital (ON/OFF), que dá depois origem a uma das ações (ou outra) anteriormente mencionadas, cada alarme tem um valor numérico (Fig. 4) que indica quão longe a atual composição da água se desviou da normalidade.

Somente com um espectro UV-Vis ótico completo, tais eventos podem ser detectados com a utilização do alarme espectral s::can, pois separa completamente os eventos do fundo. (Isso seria impossível com sensores UV254 de comprimento de onda único)

Os dados históricos são memorizados e padrões de diferentes composições de água podem ser armazenados. O software ana::tool reconhece a água cuja composição corresponde a esses padrões e a sensibilidade não é afetada por mudanças entre as composições conhecidas.

Utilizando a função de aprendizagem automática, com janela de tempo móvel, o sistema adapta-se automaticamente a mudanças lentas na matriz do efluente. Durante os períodos em que a composição do efluente muda continuamente, a sensibilidade do sistema de alarme é reduzida.

©APESB

4. Conclusões

A monitorização contínua da qualidade da água residual deve ser vista como uma mais-valia para o futuro da gestão das estações de tratamento, da rede de saneamento, do meio ambiente e do próprio efluente. Apesar dos custos inerentes ao investimento inicial e do trabalho operacional, a medição permanente, comparativamente com a análise laboratorial periódica, traz sem dúvida benefícios do ponto de vista de controlo e operação.

A medição contínua vai ao encontro da necessidade, cada vez mais evidente, das entidades gestoras, de saber exatamente o que entra nas suas estações de tratamento, de forma a poderem adaptar o processo de tratamento ou tomar medidas, mediante os valores de entrada. O mesmo se aplica à saída das estações de tratamento, para o meio recetor, pois é tão ou mais importante saber o que é enviado para os rios, protegendo o meio ambiente e percebendo se o processo de tratamento pode, ou deve, ser melhorado.

Além disso, há cada vez mais apreensão relativamente às indústrias e ao efluente pré tratado (ou não) que estas descarregam para a rede de saneamento ou, em alguns casos, felizmente cada vez menos, diretamente para o meio recetor. Num universo perfeito, estas indústrias deveriam medir também de forma continua o efluente que descarregam, mas como não existe essa obrigatoriedade, pelo menos na maioria dos casos, surge a necessidade de monitorizações contínuas ou pontuais, por parte das entidades gestoras, de forma a “obrigarem” a que estas indústrias cumpram o estabelecido ou atuar em conformidade, caso isso não aconteça.

O ana::tool é um software poderoso para deteção de eventos de contaminação que, com base em inteligência artificial, identifica anomalias através do espetro completo e do histórico de padrões entre todos os parâmetros medidos. Nem sempre estes eventos fazem com que o valor dos parâmetros suba ou desça abruptamente, fazendo deste sistema incomparavelmente mais avançado do que um simples sistema alarmístico com base no valor de um parâmetro.

Um evento de contaminação pode ter consequências sérias a de longo prazo, tanto para o meio ambiente, quanto para a saúde pública. A gravidade do impacto dependerá da natureza e da quantidade do contaminante, do tempo de resposta e da eficácia das medidas de contenção. Degradação da qualidade da água e consequente impossibilidade de a tratar e reutilizar, danos nos equipamentos ou infraestruturas, risco de saúde pública e impactos ambientais são alguns exemplos de possíveis problemas causados por um evento de contaminação, sempre associados a custos económicos.

As análises periódicas são fiáveis e precisas, mas dificilmente permitirão responder atempadamente a um evento desta natureza. Posto isto, não devemos ignorar a importância de monitorizar continuamente a qualidade da água e dotar as nossas estações de tratamento de ferramentas que permitam prevenir e mitigar o impacto que uma contaminação grave pode provocar.

Referências

R.S. Brito, H.M. Pinheiro, F. Ferreira, J.S. Matos and N.D. Lourenço, “*In situ* UV-Vis spectroscopyto estimate COD and TSS in wastewaterdrainage systems”, *Urban Water J*. 11, 261–273 (2012).

R.S. Brito, F. Ferreira N.D. Lourenço H.M. Pinheiro, J.S. Matos, “Espectrofotometria para monitorização da qualidade de água residual em drenagem urbana”, APRH Vol 34 #1.

S::can Documentação diversa, www.s-can.at.

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

Braga
dá uma nova
vida às cápsulas
de café

Os Bracarenses já podem reciclar as cápsulas de café usadas, depositando-as nos contentores disponibilizados pela AGERE nas Empresas Municipais e nas Juntas de Freguesia aderentes.

recaps
Uma nova vida para as suas cápsulas de café.

agere

AICC | bellissimo. BOGANI Buondi caffè DELTA Dolce Gusto GINGA NESPRESSO Nicola Segafredo SICAL TORRIÉ UCC

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

ÁGUA é a NOSSA VIDA

A água é essencial à vida
e nós somos essenciais à água.

Como profissionais do setor, assumimos o compromisso de garantir a disponibilidade de água de qualidade, a sua valorização e preservação.
A nossa ação promove a preservação dos ecossistemas, a saúde pública, a qualidade de vida, o desenvolvimento dos territórios e um futuro sustentável.

A Água é a nossa Vida!

ÁGUAS DE PORTUGAL

portaldaagua.pt

ERSAR
ENTIDADE REGULADORA
DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS
THE WATER AND WASTE SERVICES
REGULATION AUTHORITY

Regulamos hoje
por um amanhã melhor.

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

LAVAR OS DENTES DE TORNEIRA ABERTA??

POUPA-ME!

Descobre o valor da água em **poupa-me.aguasdoporto.pt**

Porto. Águas e Energia do Porto

AMBIÁGUA

WATER TECHNOLOGY

SCAN ME!

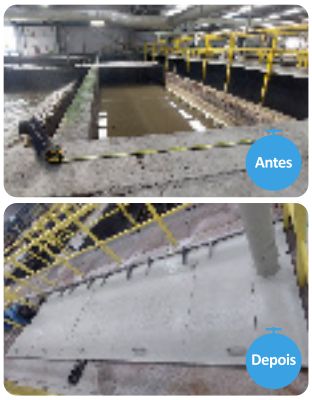
FOR MORE INFORMATION

PROTEÇÃO E SEGURANÇA EM ETAR E EE

A IMPORTÂNCIA DO VARRIMENTO DO AR E CONTROLE DE EMISSÕES

1 PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Varrimento de ar de qualidade nos espaços, implementando sistemas independentes de ventilação, para garantir maior proteção mecânica e elétrica dos equipamentos contra gases corrosivos, minimizando assim os custos de exploração.



2 SAÚDE E SEGURANÇA

Inclusão de ventilação nas áreas de trabalho é essencial para cumprir os requisitos de saúde e segurança, protegendo a saúde ocupacional dos operacionais e melhorando as condições de trabalho.

AIR

info@ambiflow.pt
+351 210 191 820
www.ambiflow.pt

AMBIFLOW

WE MAKE YOUR PROJECTS FLOW

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

ÁGUAS&RESÍDUOS

UMA REVISTA apesb

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025

ÁGUAS & RESÍDUOS
UMA REVISTA apesb

Instruções para a submissão de trabalhos

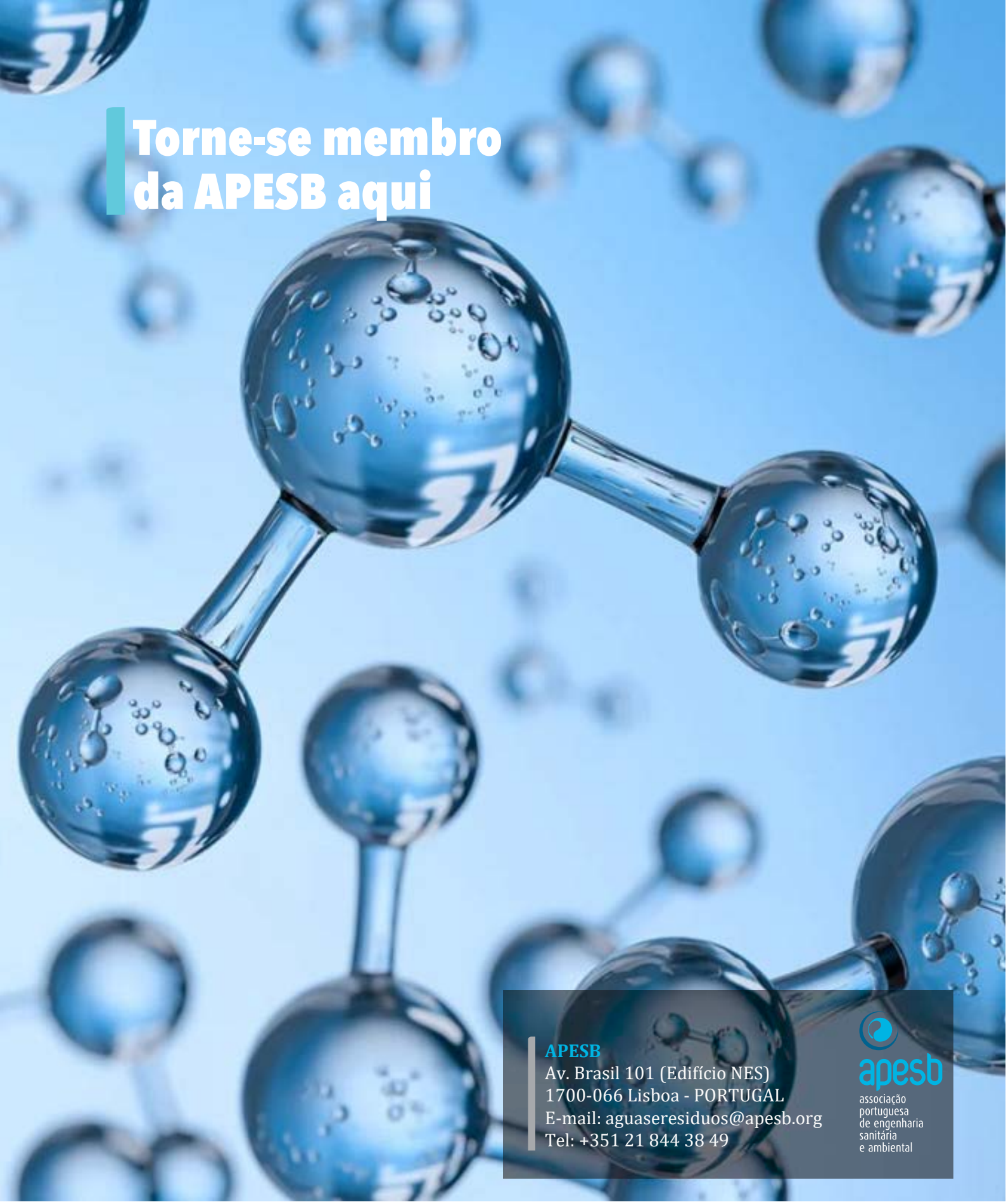
A revista Águas & Resíduos publica trabalhos com arbitragem científica em todas as áreas de engenharia sanitária e ambiental, designadamente, projetos de engenharia, trabalhos de ciência e tecnologia, política, gestão, economia, saúde, direito, sociologia e comunicação. Trabalhos sobre teses de doutoramento 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



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 02

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (Edifício NES) 1700-066 Lisboa **Editor** António Albuquerque **Co-editores** Leonor Amaral, Paulo Ramísio **Comissão Executiva** Lígia Costa Pinto, Nídia Caetano, Bárbara Rodrigues, Pedro Álvaro **DOI** 10.22181/aer.2025.01 **Data de Publicação** janeiro 2025