

447 - PROMOVENDO A CIRCULARIDADE DOS RECURSOS: USO DE ÁGUA PARA REUTILIZAÇÃO PARA A DESOBSTRUÇÃO E LIMPEZA DE COLETORES URBANOS

Vanda Maria Pereira Sampaio⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil, com especialização em Hidráulica e Ambiente, pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal. Doutoranda em Sustentabilidade do Ambiente Construído na mesma instituição.

Sofia Vieira⁽²⁾

Engenheira Civil, com especialização em Engenharia Municipal, pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal. Diretora Geral - AGERE - Empresa de Águas, Efluentes e Resíduos de Braga, EM – Portugal.

Ana Silvia Pereira Santos⁽³⁾

Engenheira Civil, pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil – Tecnologia de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela COPPE/UFRJ. Pós-Doutorado na Universidade do Minho/Portugal. Professora Associada da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Maíra Araújo de Mendonça Lima⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista e mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Gestora Ambiental pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ).

Manuela Lima⁽⁵⁾

Engenheira Civil, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) – Portugal. Doutorada em Ciência da Engenharia pela mesma instituição. Professora auxiliar na Universidade do Minho – Campus de Azurém, Guimarães/Portugal.

Endereço⁽¹⁾: Campus de Azurém, Av. da Universidade, 4800-058 Guimarães - Portugal - Tel: +351 914583278
e-mail: id10187@alunos.uminho.pt

RESUMO

A crescente escassez de água potável e os impactos das alterações climáticas exigem soluções inovadoras para a gestão dos recursos hídricos urbanos. Neste contexto, a água para reutilização (ApR) surge como uma alternativa sustentável, promovendo a circularidade dos recursos e reduzindo a pressão sobre os sistemas de abastecimento. Este estudo aplica uma metodologia semiquantitativa de avaliação de risco microbiológico às operações de desobstrução e limpeza de coletores urbanos com ApR, realizadas pelo Centro Operacional da AGERE – Empresa de Águas, Efluentes, Resíduos – em Braga, Portugal. A análise considerou diferentes níveis de tratamento de ApR e respetivos perigos associados, avaliando os riscos para trabalhadores de exploração de saneamento e transeuntes. Os resultados demonstram que, embora a utilização de tecnologias de sucção reduza significativamente a exposição, os trabalhadores apresentam maior vulnerabilidade devido à proximidade operacional. A aplicação de tratamentos mais avançados permite mitigar os riscos a níveis desprezáveis. Este trabalho contribui para a definição de critérios técnicos e operacionais que viabilizam o uso seguro de ApR em contextos urbanos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nomeadamente o ODS 3 (Saúde e bem-estar), ODS 6 (Água potável e saneamento) e ODS 13 (Ação climática).

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de risco, saúde pública, economia circular, operações urbanas.

INTRODUÇÃO

A escassez e a degradação da qualidade da água são desafios globais, agravados por fenómenos climáticos extremos, como secas e inundações (UN-WATER, 2024). Portugal enfrenta riscos significativos devido à sua vulnerabilidade a ondas de calor, inundações e períodos prolongados de seca (SANTOS, 2024). Este cenário sublinha a necessidade de adotar práticas inovadoras que promovam uma gestão hídrica eficiente, particularmente em operações urbanas com elevado consumo de água.

A Água para Reutilização (ApR) emerge como uma solução promissora para a conservação dos recursos hídricos, ao reduzir o consumo de água potável e fomentar a economia circular (FLORIDES *et al.*, 2024). A ApR integra-se num paradigma mais amplo de economia circular, onde os recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível. No contexto urbano, esse princípio ganha relevância face à crescente pressão sobre os sistemas hídricos e à necessidade de garantir serviços resilientes e sustentáveis de saneamento (JOHANNESSEN e WAMSLER, 2017).

No contexto da limpeza urbana, a desobstrução de coletores destaca-se como uma aplicação relevante de ApR, com potencial para diminuir os custos operacionais e os impactos ambientais associados. Esta operação é essencial para o bom funcionamento do sistema de drenagem urbana e, normalmente, envolve um consumo significativo de água potável. Identificar alternativas sustentáveis, como a ApR, representa uma oportunidade estratégica para aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais e reduzir a pegada ambiental das operações municipais (BAUER *et al.*, 2020.; NIKA *et al.*, 2020).

No entanto, a implementação da ApR levanta preocupações em torno da segurança e da saúde pública, devido ao risco de exposição a contaminantes microbiológicos (LIMA *et al.*, 2022). A avaliação semi-quantitativa de risco, baseada em matrizes que analisam a qualidade da água e a probabilidade de ocorrência de perigos, constitui uma abordagem eficaz para garantir a segurança destas práticas, em conformidade com a legislação portuguesa e europeia, como o Decreto-Lei 119/2019 e as diretrizes da ISO e da União Europeia (DRE, 2019; ISO, 2020; EU, 2020/741). Essa abordagem, que utiliza a matriz de risco para analisar a qualidade da água e estimar a probabilidade e gravidade dos perigos, é considerada adequada para a reutilização de água não potável, conforme destacam estudos como os de REBELO *et al.* (2020), LIMA *et al.* (2022) e DAMACENO *et al.* (2022). A abordagem 'fit-for-purpose' garante que as medidas adotadas sejam eficazes e seguras para cada aplicação específica, promovendo uma gestão eficaz da ApR. Nesse sentido, a prevenção da saúde pública é uma preocupação central nesta abordagem de avaliação de riscos, uma vez que a contaminação da água pode representar sérios riscos para a saúde humana. Estes riscos associados à exposição de microrganismos fecais são estimados através da identificação dos perigos e das vias de exposição para os diferentes receptores, definição dos cenários de exposição de acordo com a dose e, por fim, a caracterização dos riscos (REBELO *et al.*, 2020; ZHITENEVA *et al.*, 2020; APA, 2019; KONGPRAJUG *et al.*, 2021). As bactérias indicadoras de contaminação fecal são bactérias gastrointestinais de animais de sangue quente que são utilizadas como indicadores fecais tradicionais para representar os riscos para a saúde associados a microrganismos patogénicos (KONGPRAJUG *et al.*, 2021).

A prática da reutilização está diretamente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 3 (Saúde e bem-estar), ao mitigar riscos à saúde pública; o ODS 6 (Água potável e saneamento), ao promover a gestão segura de águas residuais; e o ODS 13 (Ação climática), ao contribuir para a adaptação e mitigação dos efeitos das alterações climáticas através da redução da pressão sobre os recursos hídricos (UN-WATER, 2024).

Apesar do avanço da legislação e das tecnologias de tratamento, a aplicação da ApR em atividades como a limpeza e desobstrução de coletores ainda é pouco documentada. Este estudo representa uma contribuição relevante para colmatar essa lacuna, oferecendo um modelo técnico e metodológico que pode ser replicado por outras entidades com grande consumo de água.

Este estudo centra-se na aplicação dessa metodologia às operações de desobstrução de coletores realizadas pelo Centro Operacional da AGERE – Empresa de Águas, Efluentes, Resíduos – em Braga, Portugal. Através do acompanhamento operacional, identificam-se os principais riscos, propõem-se medidas preventivas e avalia-se a viabilidade da utilização de ApR, com o objetivo de desenvolver um modelo replicável por outras entidades, promovendo a circularidade dos recursos e a sustentabilidade na região.

OBJETIVOS

Este estudo centra-se na aplicação da metodologia de avaliação de riscos às operações de desobstrução de coletores realizadas pelo Centro Operacional da AGERE. A AGERE – Empresa de Águas, Efluentes, Resíduos -- Entidade Gestora de Abastecimento de Água, Águas Residuais, Recolha de Resíduos Urbanos, Limpeza Urbana e pelo Centro de Recolha Oficial de animais domésticos, do Município, garante um abastecimento de água seguro, uma drenagem e tratamento de água residuais sustentável, um sistema inteligente de recolha de resíduos e uma limpeza urbana eficiente. A escolha do Centro Operacional foi motivada pelo seu elevado consumo de água e pela facilidade de implementação dessa prática, devido à sua integração na estrutura da empresa, que conta com 5650 colaboradores. A proposta apresenta aplicabilidade direta e prática, sendo suportado por dados precisos fornecidos pela entidade gestora e funcionará como um projeto piloto, com o intuito de ser replicado por outros grandes consumidores, contribuindo para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de gestão de água e resíduos e promovendo uma economia circular na região.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia foi desenvolvida em duas etapas:

- a) **Caracterização da área de estudo:** Incluiu a análise da ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais), do efluente tratado e uma breve descrição da atividade operacional de desobstrução e limpeza de coletores em avaliação.
- b) **Aplicação da metodologia semiquantitativa de avaliação de riscos:** Abrangeu a atividade de desobstrução e limpeza de coletores definida no estudo, considerando o potencial uso de ApR e cumprindo as diferentes etapas estabelecidas para a avaliação de riscos.

- a) Caracterização da área em estudo

O Centro Operacional está localizado a menos de 2 km da ETAR de Frossos. O volume de ApR produzido é superior ao necessário para as atividades de limpeza urbana, e o estudo aborda somente aspectos qualitativos. A qualidade atual do efluente (nível terciário) refere-se ao seu descarte no ambiente, em conformidade com a regulamentação ao nível nacional (Portugal) e europeu. A ETAR possui uma etapa de desinfecção, utilizada para a produção de ApR. A aplicação da metodologia visa otimizar a ETAR para reutilização. A Figura 1 apresenta a rota entre a ETAR de Frossos e o Centro Operacional da AGERE, em Braga, Portugal, conforme exibido no Google Maps. A imagem destaca dois percursos possíveis, com distâncias de 2,6 km e 2,7 km, e tempos estimados de viagem entre 5 e 6 minutos de carro. Esta representação auxilia na compreensão da logística e a acessibilidade entre as instalações.

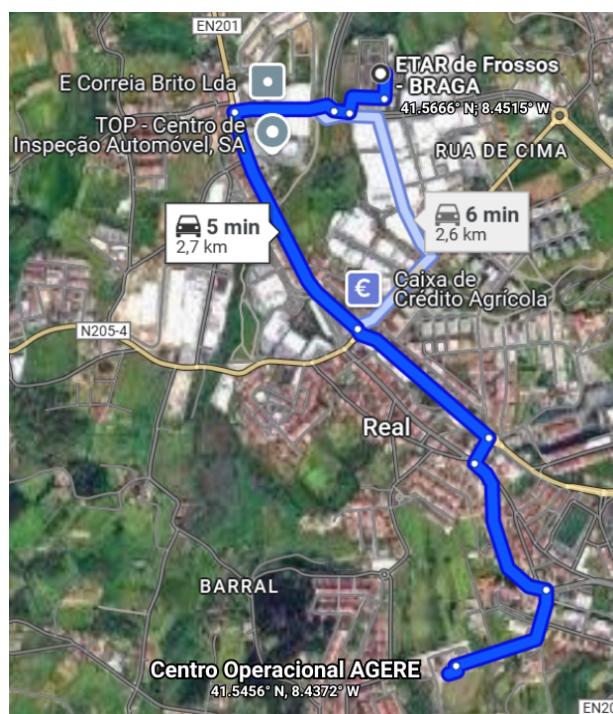


Figura 1 - Distância entre a ETAR de Frossos e o Centro Operacional da AGERE

A desobstrução e limpeza de coletores é realizada com recurso a camiões de reciclagem equipados com jatos de água a alta pressão e sistemas de sucção simultânea. A pressão da água permite desalojar os resíduos acumulados, enquanto a sucção imediata evita que as partículas e gotículas projetadas se dispersem no ar, minimizando a formação de aerossóis. Este sistema reduz o risco de inalação de partículas, promovendo um ambiente operacional mais seguro. Além disso, o bico metálico utilizado — que distribui a água de forma semelhante a uma “pipa” — contribui para o controlo do jato e a diminuição da geração de partículas finas.

b) Aplicação da metodologia semiquantitativa de avaliação de riscos

Aplicou-se a metodologia semiquantitativa para a avaliação do risco microbiológico no contexto da saúde pública, especificamente para a limpeza e desobstrução de coletores com ApR. Esta é uma exigência obrigatória em Portugal, conforme o Decreto-Lei nº 119/2019 (DRE, 2019), que regula o licenciamento de atividades de ApR. Na figura 2 apresenta-se as diferentes etapas que comportam a aplicação da metodologia de avaliação de riscos.



Figura 2 - Etapas da Metodologia de Avaliação de Riscos

De acordo com a metodologia desenvolvida por REBELO *et al.* (2020), a tabela 1 apresenta as equações implementadas neste estudo.

Tabela 1 - Equações implementadas

Vulnerabilidade por recetor	$V_{recetor} = \frac{\sum(f_{i,via\,exp} \times f_{i,cen\,exp})}{f_{normalização}}$	Equação 1
Dano	$Dano = \frac{\sum(d_i * n)}{f_{normalização}}$	Equação 2
Dano parcial	$d_i = \frac{\text{severidade dos danos} * \text{probabilidade de falha}}{5}$	Equação 3
Fator de normalização	$f_{normalização} = f_{i,máx} * \sum(f_{i,via\,exp} * n^o\,cen\,exp_i)$	Equação 4
Risco por recetor	$R_{recetor} = Perigo * V_{recetor} * Dano$	Equação 5
Risco Global	$R_{Global} = \frac{\sum R_{Recetor}}{N_{Recetores}}$	Equação 6

$f_{i,via\,exp}$ = fator de exposição de cada via de exposição
 $f_{i,cen\,exp}$ = fator de importância de cada cenário de exposição
n = número de barreiras equivalentes conforme retratado na Norma ISO 16075 – 2:2015
 $f_{i,máx}$ = valor máximo da escala de fatores de importância ($f_{i,máx} = 9$)
 $n^o\,cen\,exp_i$ = número de cenários aplicável a cada recetor

1. Os recetores mais suscetíveis ao contacto com ApR foram definidos com base numa reunião com a entidade gestora, onde se identificaram os trabalhadores responsáveis pela atividade de limpeza e desobstrução de coletores. Assim, consideraram-se os trabalhadores de exploração de saneamento e os transeuntes.
2. Foram identificados os perigos com o objetivo de reconhecer os agentes que provocam ou influenciam danos à saúde pública. Os perigos microbiológicos considerados em processos de avaliação de risco geralmente incluem organismos de contaminação fecal, com destaque para Escherichia Coli (*E.coli*). Este é considerado o indicador mais adequado de contaminação fecal, pois não se multiplica no ambiente e é facilmente detetável mesmo em altas diluições. Como está presente em grande número no trato intestinal, existem normas legais para usos urbanos não potáveis (APA, 2019; ISO, 2020). Na tabela 2 são identificados os níveis de perigo em função do tipo de tratamento e os respetivos padrões de *E.coli*, assim como a correspondente classificação numa escala de 1 a 9.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Tabela 2 - Níveis de perigo associados à prática de reutilização

Tipo de tratamento	Nível	Presença de E.Coli	Classificação
SEC	V	$\geq 10^4$	9
SEC + desinfecção	IV	$10^3 < E.coli < 10^4$	7
Avançado	III	$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5
SEC + desinfecção + pós-cloragem	II	$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3
Avançado + pós-cloragem	I	$E. coli \leq 10^1$	1

Fonte: APA (2019), ISO (2020) e (Rebelo *et al.*, 2020).

Legenda: SEC - Secundário; Avançado - combina tratamento secundário com processos como filtração e/ou desinfecção para reforço da qualidade da ApR.

Neste estudo, foram adotados valores de perigo correspondente a três tipos de tratamento: 7 (tratamento secundário + desinfecção), 5 (tratamento avançado) e 3 (tratamento secundário + desinfecção + pós-cloragem), com valores de *E.coli* específicos para cada nível.

3. Para calcular a vulnerabilidade por recetor (Tabela 1, equação 1), foi necessário definir as vias de exposição (ingestão e adsorção) que podem ser diretas ou indiretas, e os cenários de exposição, considerando o local, o tipo de ocupação e a organização do espaço em estudo. Neste estudo, os cenários de exposição adotados, foram: i) ingestão inadvertida durante a lavagem; ii) ingestão intencional da água a partir do sistema de lavagens; iii) ingestão da água por via de contacto com superfícies molhadas; iv) adsorção por contacto direto com a água de lavagem; v) adsorção por contacto com superfícies molhadas; vi) adsorção por contacto com o sistema de lavagem. Diante da definição dos cenários e das vias de exposição, atribuíram-se os fatores de importância que são suportados pela proposta de SAATY (1980), que se dividem por vários níveis.
 - Fatores de importância para as vias de exposição: Ingestão, como via de importância absoluta (9); Inalação, como via de importância absoluta em sistema de rega por aspersão (9); Absorção, como via de fraca importância devido à ausência de dados de doença ou infecção através desta via (3).
 - Fatores de importância para os cenários de exposição: Via de infecção demonstrada (9); Via de infecção possível (7); Eventual via de infecção (5); Ausência de dados sobre a via de infecção (3); Ausência de via de infecção demonstrada (1).
4. O dano foi calculado com base na definição das barreiras e as suas probabilidades de falha e severidade do dano, conforme matriz representada na Figura 3, e equação 2 apresentada na Tabela 1. As barreiras foram adotadas, tendo como base, a APA (2019), ISO (2020) e DRE (2019), de forma a adaptá-las às lavagens em questão e foram as seguintes:
 - lavagem por alta pressão (correspondente à rega por aspersão a distâncias superiores a 70 m de áreas residenciais ou espaços de uso público e adaptado de APA (2019), ISO (2020) e DRE (2019));
 - Restrição de acesso durante a lavagem. O espaço teria de ser restrito através de sinalização e interdição temporária, com o objetivo de garantir a segurança dos transeuntes e facilitar o trabalho dos trabalhadores.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



		Probabilidade de falha na barreira				
		Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
		1	2	3	4	5
Severidade dos danos	Insignificante	1	1	1	2	2
	Fraco	2	1	2	4	4
	Moderado	3	2	4	4	6
	Forte	4	2	4	6	8
	Severo	5	3	5	7	9

Figura 3 - Matriz de determinação do dano

Fonte: Adaptado de APA (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atribuição dos fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição é considerada uma tarefa subjetiva e foi realizada pelas autoras, considerando outras experiências (REBELO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2022; DAMACENO *et al.*, 2022) e o acompanhamento das lavagens tirando as ilações necessárias para esta etapa. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados dos cenários, bem como o cálculo da vulnerabilidade para os trabalhadores de exploração de saneamento e os transeuntes, respetivamente.

Tabela 3 - Resultados dos cenários e vulnerabilidade para os "Trabalhadores de Exploração de Saneamento"

Receptor	Cenários	$f_{i_{cen\ exp}}$	Via de exposição	$f_{i_{via\ exp}}$	Justificação					
Trabalhadores de Exploração de Saneamento	i	9	Ingestão direta	9	Absoluta. Sempre elevada.					
	ii	9	Ingestão direta	9	Absoluta. Pode acontecer.					
	iii	7	Ingestão indireta	9	Demonstrada. Pode acontecer devido ao contato direto com água contaminada					
	iv	7	Inalação direta	3	Demonstrada. Pode acontecer.					
	v	7	Adsorção direta	3	Demonstrada. Pode acontecer devido ao coletor se encontrar molhado.					
	vi	5	Adsorção indireta	3	Essencial ou forte. Os trabalhadores estão em contato direto.					
	$\sum f_{i_{via\ exp}} = 36$									
$\sum f_{i_{via\ exp}} \times f_{i_{cen\ exp}} = 282$										
$f_{normalização} = 324$										
Vulnerabilidade = 0,87										
Nota: Cenários de exposição → i) Ingestão inadvertida durante a lavagem; ii) Ingestão intencional da água a partir do sistema de lavagens; iii) Ingestão da água por via de contacto com superfícies molhadas; v) Adsorção por contacto direto com a água de lavagem; vi) Adsorção por contacto com superfícies molhadas; vii) Adsorção por contacto com o sistema de lavagem.										



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Tabela 4 - Resultados dos cenários e da vulnerabilidade para os Transeuntes

Receptor	Cenários	$f_i_{cen\ exp}$	Via de exposição	$f_i_{via\ exp}$	Justificação
Transeuntes	i	-	-	-	Não aplicável.
	ii	-	-	-	Não aplicável.
	iii	5	Ingestão indireta	9	Essencial ou forte. Pode acontecer ao se aproximar do coletor ainda molhado.
	iv	5	Inalação direta	3	Essencial ou forte. Pode acontecer ao se aproximar durante o processo de lavagem.
	v	5	Adsorção direta	3	Essencial ou forte. Pode acontecer ao se aproximar do coletor molhado.
	vi	-	-	-	Não aplicável.
	$\sum f_i_{via\ exp} = 15$ $\sum f_i_{via\ exp} \times f_i_{cen\ exp} = 75$ $f_{normalização} = 135$ Vulnerabilidade = 0,56				
Nota: Cenários de exposição → i) Ingestão inadvertida durante a lavagem; ii) Ingestão intencional da água a partir do sistema de lavagens; iii) Ingestão da água por via de contacto com superfícies molhadas; v) Adsorção por contacto direto com a água de lavagem; vi) Adsorção por contacto com superfícies molhadas; vii) Adsorção por contacto com o sistema de lavagem.					

Os resultados da vulnerabilidade, apresentados na tabela 3 e 4, para a limpeza e desobstrução de coletores mostram valores distintos para os dois recetores avaliados: trabalhadores de exploração de saneamento (0,87) e transeuntes (0,56), respectivamente.

Essa diferença reflete o nível de exposição direta e prolongada dos trabalhadores em comparação com a exposição mais esporádica e indireta dos transeuntes. O valor de vulnerabilidade obtido para os trabalhadores de exploração de saneamento é consideravelmente mais elevado, indicando um risco maior para este grupo. Isso é explicado pela proximidade direta com o equipamento durante a operação, pelo contato com a ApR e pela possibilidade de respingos ou pequenas falhas na sucção imediata. Além disso, o tempo de exposição prolongado ao ambiente durante as operações contribui para uma maior suscetibilidade a partículas, mesmo que a tecnologia de sucção reduza significativamente a sua formação. Por outro lado, os transeuntes apresentam uma vulnerabilidade menor, com um valor de 0,56, o que é coerente com o fato de que a exposição desse grupo é mais limitada, tanto em proximidade quanto em duração. A sucção imediata, combinada com o uso de jatos controlados de alta pressão, desempenha um papel importante na minimização do risco para este recetor.

Embora a diferença entre os dois valores seja notável, ambos destacam a necessidade de medidas de controle e prevenção. Para os trabalhadores, a implementação rigorosa de equipamentos de proteção individual, como máscaras, óculos e fatos impermeáveis, é essencial para mitigar os riscos associados à sua vulnerabilidade. Para os transeuntes, barreiras físicas e sinalização adequada durante as operações são medidas eficazes para reduzir ainda mais o risco de exposição.

Estes resultados demonstram que, embora os avanços tecnológicos empregados na limpeza e desobstrução de coletores sejam eficazes para não haver a formação de aerossóis, os trabalhadores permanecem mais vulneráveis do que os transeuntes, exigindo atenção contínua às medidas de proteção e boas práticas operacionais. A Tabela 5 apresenta os resultados do risco para as diferentes classificações de perigo mencionadas previamente.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



Tabela 5 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Exploração de saneamento	0,87	1,00	6,09	Aceitável
		Transeuntes	0,56	1,00	3,92	Aceitável
		Risco Global			5,01	Aceitável
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Exploração de saneamento	0,87	1,00	4,35	Aceitável
		Transeuntes	0,56	1,00	2,80	Desprezável
		Risco Global			3,58	Aceitável
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Exploração de saneamento	0,87	1,00	2,61	Desprezável
		Transeuntes	0,56	1,00	1,68	Desprezável
		Risco Global			2,15	Desprezável

Os valores de risco foram obtidos para os dois grupos de recetores – trabalhadores de exploração de saneamento e transeuntes – considerando três níveis de tratamento de ApR e os respetivos perigos microbiológicos, definidos pelas concentrações de *E. coli* em ufc/100mL. Estes níveis de tratamento são categorizados como secundário + desinfecção ($10^3 < E. coli \leq 10^4$, associado a um nível de perigo 7), avançado ($10^2 < E. coli \leq 10^3$, associado a um nível de perigo 5) e secundário + desinfecção + pós-cloragem (concentração de $10^1 < E. coli \leq 10^2$, associado a um nível de perigo 3).

Para o nível de tratamento secundário + desinfecção (perigo 7), o risco calculado para os trabalhadores de exploração de saneamento foi de 6,09, enquanto para os transeuntes foi de 3,92. Neste cenário, ambos os riscos foram classificados como aceitáveis. Já o risco global, considerando ambos os recetores, foi de 5,01, igualmente enquadrado como aceitável. Este resultado reflete uma exposição significativa, especialmente para os trabalhadores, que enfrentam o maior valor de risco devido ao seu contacto mais direto com o ambiente operacional.

Com o tratamento avançado (perigo 5), os valores de risco diminuíram. Para os trabalhadores, o risco foi de 4,35, ainda classificado como aceitável, enquanto para os transeuntes foi reduzido para 2,80, sendo este classificado como desprezável. O risco global, por sua vez, foi de 3,58, permanecendo na categoria de risco aceitável. Este nível de tratamento revelou-se mais eficaz, principalmente na redução da exposição dos transeuntes, resultando numa melhoria significativa nos níveis de risco.

Finalmente, com o nível de tratamento mais avançado, que inclui as etapas de secundário + desinfecção + pós-cloragem (perigo 3), os valores de risco atingiram os níveis mais baixos. O risco para os trabalhadores foi de 2,61, enquanto para os transeuntes foi de 1,68. Ambos os valores foram classificados como desprezáveis. O risco global, de 2,15, também foi considerado desprezável, destacando a eficácia deste nível de tratamento na minimização dos perigos microbiológicos.

As interpretações destes resultados permitem confirmar que níveis mais avançados de tratamento desempenham um papel essencial na redução do risco microbiológico para todos os recetores. A AGERE, enquanto entidade gestora, deve realizar uma análise cuidadosa para determinar qual nível de tratamento melhor se alinha aos seus interesses e objetivos, levando em consideração tanto os custos quanto os benefícios em termos de redução dos riscos para a saúde pública.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos riscos à saúde pública associados às operações de desobstrução e limpeza de coletores realizadas no Centro Operacional da AGERE revelou algumas conclusões importantes. Em primeiro lugar, os resultados da avaliação de riscos confirmaram, de forma quantitativa, que os trabalhadores de exploração de saneamento apresentam maior vulnerabilidade, devido ao contato direto com a água de lavagem, potencialmente contaminada com agentes patogénicos. Esta exposição coloca-os em maior risco em comparação com os transeuntes na operação. Este resultado, embora esperado, reforça a necessidade de adotar medidas específicas de proteção para

este grupo, como o uso rigoroso de equipamentos de proteção individual (EPI), programas de vacinação e práticas operacionais seguras.

Além disso, observou-se que os diferentes níveis de tratamento da água têm um impacto direto na redução dos riscos à saúde pública. Tratamentos mais avançados, como secundário + desinfecção + pós-cloragem, demonstram um potencial significativo para reduzir os riscos a níveis muito mais baixos. No entanto, é importante reconhecer que nem todos os tratamentos mais complexos são necessários em todos os contextos, especialmente quando os riscos são gerenciáveis com processos mais simples.

Embora os resultados iniciais indiquem uma redução considerável nos riscos, é fundamental que a AGERE continue com uma avaliação contínua das medidas implementadas, garantindo a sua adaptação às necessidades atuais. A monitorização regular dos parâmetros de risco e o acompanhamento da medicina no trabalho são indispensáveis para garantir que a saúde e a segurança dos envolvidos. Adicionalmente, a metodologia aplicada neste estudo revela-se uma ferramenta robusta e adaptável, podendo ser replicada em outros contextos urbanos e por entidades gestoras de água e saneamento, nomeadamente em países como o Brasil, onde o uso de água para reutilização também se encontra em expansão.

Assim, a avaliação de riscos constitui uma base sólida para a gestão eficaz da segurança e saúde pública nas operações de desobstrução e limpeza de coletores com ApR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA. (2019). *Guia para a Reutilização de Água - Usos não potáveis*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- BAUER, S.; LINKE, H. J.; WAGNER, M. (2020). Combining industrial and urban water-reuse concepts for increasing the water resources in water-scarce regions. *Water Environment Research*, 92(7), 1027–1041.
- DAMACENO, M. G. S.; CRUVINEL, K. A. S.; SANTOS, A. S. P. (2022). Semiquantitative microbiological risk assessment for water reuse in agriculture: a case study in Brazil. *Water Supply*, 22(9), 7375–7386.
- Decreto Lei n.º 119 de 21 de agosto de 2019. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Lisboa, 2019.
- European Union. *Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on Minimum Requirements for Water Reuse*, 2020, pp. 32–55.
- FLORIDES, F.; GIANNAKOUDI, M.; IOANNOU, G.; LAZARIDOU, D.; LAMPRINIDOU, E.; LOUKOUTOS, N.; SPYRIDOU, M.; TOSOUNIDIS, E.; XANTHOPOULOU, M.; KATSOYIANNIS, I. A. (2024). Water reuse: a comprehensive review. *Environments*, 11(4), 81.
- ISO. (2020). *Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation*. International Organization for Standardization, Geneva.
- JOHANNESSEN, Å.; WAMSLER, C. (2017). What does resilience mean for urban water services? *Ecology and Society*, 22(1).
- KONGPRAJUG, A.; DENPETKUL, T.; CHYEROCHANA, N.; MONGKOLSUK, S.; SIRIKANCHANA, K. (2021). Human fecal pollution monitoring and microbial risk assessment for water reuse potential in a coastal industrial–residential mixed-use watershed. *Frontiers in Microbiology*, 12.
- LIMA, M. A. D. M.; SANTOS, A. S. P.; REBELO, A.; LIMA, M. M.; VIEIRA, J. M. P. (2022). Water reuse in Brazilian rice farming: application of semiquantitative microbiological risk assessment. *Water Cycle*, 3, 56–64.
- NIKA, C.; VASILAKI, V.; EXPÓSITO, A.; KATSOU, E. (2020). Water cycle and circular economy: developing a circularity assessment framework for complex water systems. *Water Research*, 187, 116423.
- REBELO, A.; QUADRADO, M.; FRANCO, A.; LACASTA, N.; MACHADO, P. (2020). Water reuse in Portugal: new legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, 41–53.
- SANTOS, E. (2024). Are climate change strategies effective in managing urban water resources? the case of Portugal. *Sustainability*, 16(22), 9664.
- SAATY, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, NY.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. (2024). *The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace*.
- ZHITENEVA, V.; HÜBNER, U.; MEDEMA, G. J.; DREWES, J. E. (2020). Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: a review. *Microbial Risk Analysis*, 16, 100132.