

VI-08 – REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA EM PORTUGAL NUM CAMPO DE GOLFE: APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO SEMI-QUANTITATIVA DO RISCO MICROBIOLÓGICO

Vanda Sampaio¹
Maíra Lima², Ana Santos², Manuela Lima¹

Endereço⁽¹⁾: CTAC – Centro de Território, Ambiente e Construção, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães/Portugal, id10187@alunos.uminho.pt; mmlima@civil.uminho.pt

Endereço⁽²⁾: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mairalima.90@gmail.com; ana.pereira@eng.uerj.br

RESUMO

A água é um recurso escasso devido às alterações climáticas, ao crescimento populacional e ao seu desperdício. Nesse sentido, há a necessidade de encontrar novas fontes alternativas. A água para reutilização resulta do tratamento de águas residuais e enquadra-se neste tipo de solução, pois reduz as necessidades de captação e reforça a recuperação de nutrientes no caso de uso para irrigação. No entanto, a utilização deste recurso não pode ser dissociada de necessidade de promover o seu uso seguro, sendo necessário proceder a uma avaliação do risco para a saúde pública. Em Portugal, a legislação (Decreto-Lei 119/2019) incentiva o uso de água não potável, alinhado com diretrizes da União Europeia e normas ISO. O presente trabalho tem por objetivo a aplicação de uma metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco microbiológico da rega por aspersão com Água para Reutilização (ApR) num campo de golfe. A metodologia foi aplicada em duas etapas: i) na primeira, com base nos cenários de exposição associados a essa prática, para cinco recetores (trabalhadores, jogadores e visitantes de diferentes faixas etárias: adultos, crianças/adolescentes e idosos) e três barreiras (rega por aspersão; pós-cloragem; restrição de acesso durante as horas de rega no campo de golfe sem horário específico), determinaram-se os valores do risco por recetor e global; ii) na segunda, com a intenção de os reduzir, foram realizadas reavaliações iterativas considerando alterações nas barreiras e fatores de importância. Os resultados mostram que os trabalhadores, jogadores e crianças/adolescentes são os mais vulneráveis, mas o risco pode ser minimizado com tratamentos avançados da água. Esta metodologia apresenta uma excelente ferramenta técnica de decisão face ao risco estimado sobre o uso seguro de ApR, ponderando os custos inerentes e as vantagens e desvantagens das alternativas de cada barreira e dos diferentes níveis de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Aceitação Social, Água para Reutilização, Gestão de Riscos, Risco Microbiológico, Saúde Pública.

INTRODUÇÃO

A água está a tornar-se um recurso escasso devido às alterações climáticas, ao crescimento populacional e ao seu desperdício (IPCC, 2023). Por isso, é necessário encontrar novas fontes alternativas de água. A água proveniente do tratamento de águas residuais é uma dessas soluções, reduzindo as necessidades de captação e recuperando nutrientes na irrigação (Rebelo et al., 2020; Vinayagam et al., 2024). No entanto, usar esta água requer precaução quanto ao risco para a saúde pública e ao meio ambiente (Nika et al., 2020; Lima et al., 2022; Tzanakakis et al., 2023).

Em Portugal, o Decreto-Lei 119/2019 promove a utilização de água de diversas fontes para fins não potáveis, em conformidade com diretrizes da União Europeia e normas ISO (DRE, 2019; ISO, 2020; EU, 2020/741).



Este estudo visa aplicar a metodologia semiquantitativa para avaliar o risco microbiológico em seres humanos da água para reutilização para rega de um campo de golfe. Esta metodologia apoia a aplicação do princípio de adequação ao fim pretendido, descrito nas normas ISO para Água para Reutilização (ApR) (ISO, 2020). Nesse contexto, foram produzidos cenários que foram avaliados com o intuito de identificar alternativas para os tomadores de decisão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Adotou-se a metodologia semi-quantitativa para a avaliação do risco microbiológico da rega por aspersão com ApR um campo de golfe, que é um dos requisitos obrigatórios em Portugal, conforme o Decreto-Lei 119/2019 para o licenciamento de atividades de reutilização de água.

O risco microbiológico (por recetor ou global) resulta do produto entre o valor do perigo, a vulnerabilidade do receptor e o dano. No caso da rega com ApR o perigo é microbiológico e pode variar de 1 a 7 em função do tipo de tratamento da água residual e os respetivos padrões de E.coli (APA, 2019; ISO, 2020; Rebelo et al., 2020). Apresentaram-se os cálculos para as várias classificações de perigo. A vulnerabilidade dos recetores surge em função das vias e dos cenários de exposição, dependendo das probabilidades de ocorrência destes últimos (equações 1 e 2). O dano (equação 3) é determinado com base na probabilidade de falha nas barreiras identificadas para cada cenário de exposição. Estas barreiras têm como objetivo reduzir a exposição ao contacto direto com a ApR. Os danos parciais (di) são obtidos de acordo com as normas ISO, que apresenta uma relação com base na probabilidade de falha na barreira em função da severidade dos danos, caso a falha ocorra (equação 4).

A metodologia foi aplicada em duas etapas (tabela 1):

1. Adotaram-se características iniciais para determinar os valores de risco:
Analisaram-se os cenários de exposição relacionados a essa prática para cinco recetores (trabalhadores, jogadores e visitantes de diferentes faixas etárias: crianças/adolescentes, adultos e idosos) e três barreiras (rega por aspersão; pós-cloragem; restrição de acesso durante as horas de rega sem horário específico). Calcularam-se os níveis de risco por recetor e global;
2. Realizaram-se reavaliações iterativas para reduzir esses riscos, incorporando alterações nas barreiras e fatores de importância.

Tabela 1: Características iniciais e barreiras implementadas nas Etapas 1 e 2.

Características iniciais	
Acesso	Restrições de acesso somente a animais de companhia.
Funcionamento	Aberto ao público das 9h às 19h.
Recetores	Trabalhadores, jogadores e visitantes (crianças/adolescentes e adultos).
Vias de exposição	Ingestão, inalação ou adsorção.
Cenários de exposição	a) Ingestão da água durante a rega (via direta); b) Ingestão do solo com o contacto com o equipamento de golfe (via indireta); c) Inalação de aerossóis durante a rega (via direta); d) Adsorção por contacto direto com a ApR (via direta); e) Adsorção por contacto com sistema de rega (via direta); f) Adsorção por contacto com vegetação (via direta); g) Adsorção por contacto com o equipamento de golfe com o solo (via indireta).
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).
Fatores de importância para as vias de exposição	Ingestão direta/indireta – 9 (como via de importância absoluta); Inalação direta/indireta – 9; Adsorção direta/indireta – 3 (como via de fraca importância devido à ausência de dados de doença ou infecção através desta via).
Níveis do risco	$0 < R_{\text{global}} < 3$ (risco desprezável); $3 \leq R_{\text{global}} < 7$ (risco aceitável); $7 \leq R_{\text{global}} < 9$ (risco inaceitável)
Equações implementadas	$V_{\text{recetor}} = \frac{\sum(f_{\text{via exp}} \times f_{\text{cen exp}})}{f_{\text{normalização}}}; f_{\text{normalização}} = f_{i_{\text{máx}}} * \sum(f_{\text{via exp}} * n^{\text{o cen exp}}); \text{Dano} = \frac{\sum(d_i * n)}{f_{\text{normalização}}}; d_i = \frac{\text{severidade dos danos} * \text{probabilidade de falha}}{5}; R_{\text{recetor}} = \text{Perigo} * V_{\text{recetor}} * \text{Dano}; R_{\text{global}} = \frac{\sum R_{\text{recetor}}}{N_{\text{recetores}}}$
Etapas	
Barreiras	a) Rega por aspersão; b) Pós-cloragem; c) Restrição de acesso durante as horas de rega no campo de golfe (sem horário específico).
Etapas	
Reavaliação 1	a) Encamisamento dos aspersores no final da rega; b) Pós-cloragem, c) Restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização;
Reavaliação 2	a) Incremento de EPI's (Equipamentos de proteção individual), nomeadamente máscara, luvas e fato impermeável; b) Rega por aspersão; c) Pós-cloragem; d) Restrição de acesso durante as horas de rega sem horário específico.
Reavaliação 3	a) Incremento de EPI's na classe dos trabalhadores; b) Encamisamento dos aspersores no final da rega; c) Pós-cloragem; d) Restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização.

Onde: $f_{\text{via exp}}$ = fator de importância de cada via de exposição; $f_{\text{cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição; $f_{\text{normalização}}$ = fator de normalização; $n = n^{\text{o}}$ de barreiras equivalentes de acordo com ISO (2015); $f_{i_{\text{máx}}}$ = valor máximo da escala de fatores de importância ($f_{i_{\text{máx}}} = 9$); $n^{\text{o cen exp}}$ = n^{o} de cenários aplicável a cada recetor.

RESULTADOS

- Os resultados da vulnerabilidade, apesar de não apresentados, indicaram que os trabalhadores, jogadores e crianças/adolescentes são os mais suscetíveis ao risco.
- Globalmente, as duas etapas do estudo (tabela 2) permitem aos decisores avaliar a variação do risco por recetor e global, considerando diferentes níveis de tratamento de água.
- Um tratamento superior, como Secundário + Desinfecção + Pós-cloragem ou Avançado + Pós-cloragem, conforme definido na tabela 2, pode classificar o risco como desprezável para todos os recetores, embora seja mais dispendioso.
- Os recetores adultos e idosos apresentam valores de risco desprezáveis a partir do nível de perigo 5.



- Se um nível de risco aceitável (perigo 7 ou 5) for considerado suficiente, as reavaliações ajudam a equilibrar os custos e os benefícios de cada opção de tratamento.

Tabela 2: Resultados do valor do risco por recetor e global para ambas as etapas.

Norma de qualidade (<i>E. Coli</i>) UFC/100mL	Perigo	Recetor	Risco por recetor			
			Etapa 1	Etapa 2		
				Reavaliações		
				1	2	3
$10^3 < E. coli < 10^4$ Tratamento: SEC + D	7	T	6,37	5,92	4,83	4,49
		J	5,95	5,53	5,95	5,27
		C/Adol	5,46	5,08	5,46	4,82
		A	3,92	3,65	3,92	3,39
		I	4,90	4,56	4,90	4,36
		Rg	5,32	4,95	5,01	4,47
$10^2 < E. coli \leq 10^3$ Tratamento: Avançado	5	T	4,55	4,23	3,45	3,21
		J	4,25	3,95	4,25	3,77
		C/Adol	3,90	3,63	3,9	3,44
		A	2,80	2,60	2,80	2,42
		I	3,50	3,26	3,50	3,12
		Rg	3,80	3,53	3,58	3,19
$10^1 < E. coli \leq 10^2$ Tratamento: SEC + D + Pós-cloragem	3	T	2,73	2,54	2,07	1,93
		J	2,55	2,37	2,55	2,26
		C/Adol	2,34	2,18	2,34	2,06
		A	1,68	1,56	1,68	1,45
		I	2,10	1,95	2,10	1,87
		Rg	2,28	2,12	2,15	1,91
$E. coli \leq 10^1$ Tratamento: Avançado + Pós-cloragem	1	T	0,91	0,85	0,69	0,64
		J	0,85	0,79	0,85	0,75
		C/Adol	0,78	0,73	0,78	0,69
		A	0,56	0,52	0,56	0,48
		I	0,70	0,65	0,70	0,62
		Rg	0,76	0,71	0,72	0,64

Legenda:

T – Trabalhadores;

J – Jogadores;

C/Adol - Crianças/Adolescentes;

A – Adultos;

I – Idosos;

Rg – Risco Global;

SEC – Secundário;

D - Desinfecção

■ Risco aceitável

■ Risco desprezável



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia semi-quantitativa do risco microbiológico é uma ferramenta valiosa para as entidades competentes no processo de tomada de decisões, pois permite avaliar os prós e contras de todas as alternativas. Este estudo pode também contribuir para a aceitação pública, uma vez que é um processo de fácil compreensão, que analisa a vulnerabilidade dos recetores, os possíveis danos e as barreiras implementadas para reduzir o risco.

Na primeira etapa, os valores do risco por recetores variaram entre 3,92 e 6,37, resultando num risco global de 5,43, classificado como aceitável. A segunda etapa, que incluiu três reavaliações, conduziu a menores valores de risco, conforme esperado. Assim, o campo de golfe pode selecionar a opção que melhor se adequa, baseada na relação entre a qualidade de ApR e a classe definida pelo Decreto-Lei 119/2019. Além disso, outras considerações, como o custo, a complexidade operacional, a aceitação social e os impactos ambientais, também são fatores importantes a serem avaliados.

Além disso, recomenda-se a realização de uma análise de ciclo de vida (LCA) e de custo de ciclo de vida (LCC). A LCA permite avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas de um processo, desde a extração de matérias-primas até ao seu fim de vida, enquanto a LCC analisa os custos totais envolvidos ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço. Estas análises fornecem uma visão mais abrangente e detalhada dos benefícios e desvantagens ambientais e económicos das diferentes opções, ajudando a tomar decisões mais sustentáveis e economicamente viáveis a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APA (2020) Guia para a Reutilização de Água – Usos não potáveis. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa.
2. 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;
3. IPCC. (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change;
4. 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;
5. 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 semi-quantitative microbiological risk assessment. *Water Cycle*, 3, 56–64.
6. 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;
7. Rebelo, A., Quadrado, M., Franco, A., Lacasta, N. e Machado, P. (2020). Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, p. 41-53;
8. Silva, J. A. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature review. *Sustainability*, 15(14), 10940.
9. Tzanakakis, V. A., Capodaglio, A. G., & Angelakis, A. N. (2023). Insights into Global Water Reuse Opportunities. *Sustainability*, 15(17), 13007;
10. Vinayagam, V., Sikarwar, D., Das, S., & Pugazhendhi, A. (2024). Envisioning the innovative approaches to achieve circular economy in the water and wastewater sector. *Environmental Research*, 241, 117663
11. WHO (2016) Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito da bolsa de doutoramento atribuída ao abrigo do Protocolo de Colaboração para Financiamento do Plano Plurianual de Bolsas de Investigação para Estudantes de Doutoramento, celebrado entre a FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP e a Unidade de I&D Centro de Território, Ambiente e Construção (4047) e financiada pela FCT e pelo NORTE2020 – Programa Operacional Regional do Norte.