



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL
TRABALHO DE CULMINAÇÃO DO CURSO

**Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio,
cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-
Sábiè**



Autor: Gabriel Dos Santos Tembe

Maputo, Junho de 2025



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL
TRABALHO DE CULMINAÇÃO DO CURSO

**Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio,
cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-
Sábiè**

Autor: Gabriel Dos Santos Tembe

Supervisora: Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova

Co-Supervisor: Mestre Armando Muianga

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, **Alfredo Tomás Tembe** e **Cidália Isaías Matusse** e aos meus avós **Melita Felimone Mabunda** e **Isaías Sebastião Matusse** que muito fizeram por mim, sem eles eu não estaria aqui. Aos meus irmãos **Nilton Jorge John** e **Shelton Jorge John**, dedico-lhes este trabalho para que sirva de inspiração para o seu percurso académico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida.

À Universidade Eduardo Mondlane, em particular a Faculdade de Ciências pela oportunidade de realização do curso, agradeço igualmente à Águas da Região Metropolitana de Maputo pela aceitação do estágio laboral nas ETAs de Umbeluzi e Sábiè e consequentemente concedido espaço para a realização do meu trabalho de culminação.

À minha Supervisora Prof^a Doutora Tatiana Kuleshova, pela sua disposição, incentivo, ensinamento e acompanhamento incondicional desde a identificação e escolha do tema até à elaboração do relatório final, e ao meu Co-Supervisor Mestre Armando Muianga, Gestor do laboratório de controlo de qualidade na AdRMM-sede pelo apoio e por tornar este trabalho uma realidade.

À Mestre Noor Jehan Gulamussen pela disponibilidade e ensinamentos, que foram essenciais para a análise estatística.

Aos docentes do Departamento de Química pelos ensinamentos passados durante o curso.

Aos meus colegas e amigos, Rhindzela Tamele, Naftal Chongo, Ana Cuambe, José Tivane, Dalton Sozinho, Valeriano Nhantole, Erca Nhacumane, Areca Bacar, Edna Jone e Shélzia Natlaz pela amizade, companheirismo e auxílio em todos os aspectos.

Aos meus colegas, Alfredo Muchanga, Charlene Bero, Angélica Muianga, Joaquim Matula, Mariana da Glória, Olânia Chongo, Yolna Kaellene e Abel Cuna pelo seu apoio não só na esfera académica mas também em outras áreas da minha vida e aos demais colegas que participaram junto comigo durante a formação, foram essenciais para que eu pudesse chegar aqui.

Agradeço à Nilsa Vicente, pela amizade, companheirismo e cumplicidade.

Aos funcionários do Departamento de Química, em especial ao Sr. Ramiro Mbajaia e Sr. Francisco João.

E a todos que directa ou indirectamente me ajudaram durante a realização deste trabalho.

O meu muito Obrigado!

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Gabriel Dos Santos Tembe, declaro por minha honra que o presente trabalho é da minha autoria e resulta da minha investigação, tendo as fontes bibliográficas consultadas sido devidamente identificadas ao longo do trabalho e na parte experimental.

O autor

(Gabriel Dos Santos Tembe)

Maputo, Junho de 2025

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
DECLARAÇÃO DE HONRA	III
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMO.....	XI
ABSTRACT	XII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Objectivo geral	2
1.1.2. Objectivos específicos	2
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Perguntas de pesquisa.....	3
1.4. Metodologia.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Grupos de microrganismos presentes na água.....	5
2.1.1. Bactérias patogénicas	5
2.1.2. Vírus	6
2.1.3. Protozoários	6
2.2. Microrganismos indicadores da qualidade da água.....	6
2.2.1. Coliformes totais.....	7
2.2.2. Coliformes fecais ou termotolerantes e E. coli.....	7

2.2.3. Clostridium perfringens	8
2.2.4. Vírus entéricos e fagos de Bacteroides fragilis	8
2.2.5. Cryptosporidium e Giardia lamblia	9
2.2.6. Métodos de análise	9
2.3. Oxidantes utilizados na pré-oxidação	10
2.3.1. Cloro gasoso e dióxido de cloro	11
2.3.2. Permanganato de potássio	13
2.3.3. Ozono.....	14
2.4. Resistência relativa do microrganismo a desinfecção	16
3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO.....	18
3.1. Caracterização da ETA Sábiè	18
3.2. Processo de tratamento de água.....	20
3.2.1. Captação	21
3.2.2. Pré-oxidação	21
3.2.3. Coagulação	22
3.2.4. Floculação.....	23
3.2.5. Sedimentação.....	24
3.2.6. Filtração	25
3.2.7. Desinfecção	26
4. PARTE EXPERIMENTAL	27
4.1. Amostragem.....	27
4.2. Conservação das amostras	27
4.4. Materiais, reagentes e equipamentos	28
4.5. Procedimentos experimentais	28
4.5.1. Determinação de coliformes totais	28
4.5.2. Determinação de coliformes fecais.....	28
4.5. Determinação da eficiência de desinfecção.....	29

4.6. Tratamento estatístico dos dados	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. Apresentação dos resultados.....	32
5.1.1. Coliformes totais.....	32
5.1.2. Coliformes fecais	36
5.2. Discussão dos resultados	40
5.2.1. Coliformes totais.....	40
5.2.2. Coliformes fecais	43
5.2.3. Eficiência	45
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
6.1. Conclusões	51
6.2. Recomendações	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	A

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Condições de operação da ETA.	27
Tabela 2: Reagentes e equipamentos.....	28
Tabela 3: Resultados do cálculo da eficiência da acção de cloro gasoso para coliformes totais.	32
Tabela 4: Resultados do cálculo da eficiência da acção de permanganato de potássio para coliformes totais.	33
Tabela 5: Resultados do cálculo da eficiência da acção de ozono para coliformes totais.....	34
Tabela 6: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para determinação dos coliformes totais.	35
Tabela 7: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para os diferentes períodos (meses) de tratamento para coliformes totais.....	35
Tabela 8: Resultados do cálculo da eficiência da acção de cloro gasoso para coliformes fecais.	36
Tabela 9: Resultados do cálculo da eficiência da acção de permanganato de potássio para coliformes fecais.	37
Tabela 10: Resultados do cálculo da eficiência da acção de ozono para coliformes fecais.	38
Tabela 11: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para determinação de coliformes fecais.	39
Tabela 12: Resultados do teste de Kruskal-Wallis nos meses Agosto, Setembro, Dezembro de 2023 e Janeiro de 2024 para coliformes fecais.....	39
Tabela A1: Microrganismos patogénicos presentes na água.....	A
Tabela A2: Doenças associadas a patógenos presentes na água.	B
Tabela A3: Comparação entre os oxidantes comumente utilizados no tratamento de água para consumo humano.	C
Tabela B1: Condições de operação no mês de Agosto.....	E
Tabela B2: Condições de operação no mês de Setembro.....	F
Tabela B3: Condições de operação no mês de Dezembro.	G
Tabela B4: Condições de operação no mês de Janeiro de 2024.....	H
Tabela C1: Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para coliformes totais.....	I
Tabela C2: Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para coliformes fecais.	I
Tabela D1: Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para consumo humano.....	J

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo de inativação do DNA.	13
Figura 2: Ilustração da destruição do envelope celular, enzima e DNA por diversas ROS.	15
Figura 3: Mapa indicativo da ETA – Sábiè.	19
Figura 4: Sistema de tratamento.	20
Figura 5: Etapas de tratamento da água.	20
Figura 6: Câmara de mistura.	21
Figura 7: Injecção do oxidante na conduta de água bruta: (a) Sala de preparação do Permanganato de potássio (b) Ponto de injecção de ozono (c) Ponto de injecção de cloro gasoso (pré-oxidante).	22
Figura 8: Ponto de doseamento do coagulante (sulfato de alumínio) na câmara de mistura.	23
Figura 9: Decantadores.	24
Figura 10: Ilustração dos filtros: (a) Galeria de filtros (b) Filtros.	25
Figura 11: Sistema de doseamento do desinfectante: (a) Linha doseadora 1 e 2 de cloro gasoso (desinfecção) (b) Sala de cilindros de cloro gasoso (desinfecção).	26
Figura 12: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando cloro gasoso como oxidante.	40
Figura 13: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando permanganato de potássio como oxidante.	41
Figura 14: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando ozono como oxidante.	42
Figura 15: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando cloro gasoso como oxidante.	43
Figura 16: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando permanganato de potássio como oxidante.	43
Figura 17: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando ozono como oxidante.	44
Figura 18: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando cloro como oxidante.	45
Figura 19: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando permanganato de potássio como oxidante.	46

Figura 20: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando ozono como oxidante.	47
Figura 21: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando cloro gasoso como oxidante.....	48
Figura 22: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando permanganato de potássio como oxidante.....	49
Figura 23: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando ozono como oxidante.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Microrganismos, doenças associadas e oxidantes usados no tratamento da água para o consumo humano	A
ANEXO B. Condições de operação da ETA.....	E
ANEXO C. Análise estatística	I
ANEXO D. Padrões de potabilidade.....	J

RESUMO

A água potável é um recurso essencial para a saúde humana e o desenvolvimento socio-económico, mas a crescente demanda e a poluição das fontes hídricas tornam o seu tratamento de elevada importância. A etapa de pré-oxidação no tratamento é um desafio crucial. A etapa de pré-oxidação no tratamento de água desempenha um papel fundamental na remoção de microrganismos patogénicos e na melhoria da qualidade da água. O estudo comparou a eficiência de três oxidantes (permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono) na etapa de pré-oxidação da água na Estação de Tratamento de Água Sábiè, localizada na região de Corumana, província de Maputo. Foram colectadas 90 amostras de água ao longo de 4 meses (Agosto de 2023 a Janeiro de 2024 com excepção de Outubro e Novembro), abrangendo diferentes condições de carga microbiológica. As amostras foram analisadas para presença de coliformes totais e fecais utilizando o método de multipóços e a eficiência dos oxidantes foi calculada com base na redução decimal e na percentagem de remoção de microrganismos. A análise estatística para coliformes totais revelou existência de diferenças significativas entre os resultados de água bruta obtidos para os diferentes oxidantes, assim como nos diferentes meses de tratamento em um nível de confiança de 95%. Para coliformes fecais, revelou existência de diferença significativa entre oxidantes, contudo, no mesmo nível de confiança, os resultados de água bruta obtidos ao longo dos meses em estudo, mostraram-se significativamente iguais. Os resultados mostraram que o ozono foi o oxidante mais eficaz, com uma eficiência média de 97,28% na remoção de coliformes totais, 87,44% para o cloro gasoso e 81,88% para o permanganato de potássio. O ozono é o oxidante mais recomendado para estações de tratamento que priorizam a eficiência na desinfecção, embora seu custo e complexidade de implementação possam ser limitantes. O cloro gasoso, amplamente utilizado devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação, continua sendo uma opção viável, mas requer monitoramento rigoroso para garantir sua eficácia. O permanganato de potássio, embora menos eficaz na desinfecção, pode ser utilizado como complemento em sistemas de tratamento que visam a remoção de compostos inorgânicos.

Palavras-chave: Tratamento de água, pré-oxidação, coliformes totais, coliformes fecais, eficiência de desinfecção.

ABSTRACT

Drinking water is an essential resource for human health and socioeconomic development, but increasing demand and pollution of water sources make its treatment of great importance. The pre-oxidation step in treatment is a crucial challenge. The pre-oxidation step in water treatment plays a key role in removing pathogenic microorganisms and improving water quality. The study compared the efficiency of three oxidants (potassium permanganate, chlorine gas and ozone) in the pre-oxidation step of water at the Sábiè Water Treatment Plant, located in the Corumana region, Maputo province. A total of 90 water samples were collected over 4 months (August 2023 to January 2024 excluding October and November), covering different microbiological load conditions. The samples were analyzed for the presence of total and fecal coliforms using the multiwell method, and the efficiency of the oxidants was calculated based on the decimal reduction and the percentage of microorganism removal. The statistical analysis for total coliforms revealed significant differences between the raw water results obtained for the different oxidants, as well as in the different months of treatment at a 95% confidence level. For fecal coliforms, there was a significant difference between oxidants; however, at the same confidence level, the raw water results obtained over the months under study were significantly equal. The results showed that ozone was the most effective oxidant, with an average efficiency of 97,28% in the removal of total coliforms, 87,44% for chlorine gas and 81,88% for potassium permanganate. Ozone is the most recommended oxidant for treatment plants that prioritize disinfection efficiency, although its cost and implementation complexity may be limiting. Chlorine gas, widely used due to its low cost and ease of application, remains a viable option, but requires rigorous monitoring to ensure its effectiveness. Potassium permanganate, although less effective in disinfection, can be used as a complement in treatment systems aimed at removing inorganic compounds.

Keywords: Water treatment, pre-oxidation, total coliforms, fecal coliforms, disinfection efficiency.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AB	-	Água Bruta
AdRMM	-	Águas da Região Metropolitana de Maputo
AO	-	Água Oxidada
AT	-	Água Tratada
AOPs	-	Processos Oxidativos Avançados (<i>Advanced Oxidation Processes</i>)
CAT	-	Catalase
CoA	-	Coenzima A
DBPs	-	Subprodutos de desinfecção (<i>Disinfection Byproducts</i>)
DNA	-	Ácido Desoxirribonucleico (<i>Desoxyribonucleic Acid</i>)
ETA	-	Estação de Tratamento de Água
GR	-	Glutathione Redutase
HPI, HPII	-	Hidroperoxidases
MF	-	Membrana Filtrante
NMP	-	Número Mais Provável (<i>Most Probable Number</i>)
NOM	-	Matéria Orgânica Natural (<i>Natural Organic Matter</i>)
P-A	-	Presença – Ausência
ROS	-	Espécies Reactivas de Oxigénio (<i>Reactive Oxygen Species</i>)
SOD	-	Superóxido Redutase
THM	-	Trihalometanos (<i>Trihalomethanes</i>)
UFC	-	Unidades Formadoras de Colónias
UV	-	Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

A água potável é essencial à saúde humana, figura como uma necessidade fundamental e um componente primordial na protecção à saúde, e ainda que seja abundante na terra, os seus principais reservatórios correspondem a fontes que não são directamente usadas pelos seres humanos, como águas salgadas dos oceanos e mares (97,2% da massa total de água), e glaciais (2,15%). Somente cerca de 0,65% da massa total de água pode ser directamente usada pelo homem (Morselli et al., 2022; Oturan & Aaron, 2014).

O aumento da população mundial gera em conjunto, maior demanda por água potável. O processo de tratamento de água é compreendido pelas seguintes etapas: captação, pré-oxidação, coagulação/floculação, decantação e filtração (Bitencourt & Monteiro, 2021; Lucon et al., 2016).

As estações de tratamento de água (ETA) geralmente têm como pré-oxidação, uma etapa de oxidação química para desinfecção, remoção de micropoluentes orgânicos, remoção da cor, sabor e controlo de odor. Entre os oxidantes comumente usados estão o dióxido de cloro (ClO_2), cloro (como ácido hipocloroso, HOCl e OCl^-) e ozono (O_3) (Wenk et al., 2013).

O processo de desinfecção da água é o mais importante, porque a água bacteriologicamente contaminada leva à propagação de várias doenças de veiculação hídrica incluindo cólera, febre tifoide e disenteria amorba e suas epidemias, colocando em perigo a saúde pública (Hu et al., 2018; Kumar, 2021).

Com o aumento da eutrofização e mudanças climáticas, o aumento rápido das cianobactérias em água doce leva a frequente proliferação de algas nocivas no mundo. Durante a proliferação de algas, quantidades excessivas de metabólitos de algas, como matéria orgânica e cianotoxinas, podem ser geradas por cianobactérias e lançadas nas águas, que subsequentemente constituem desafio para o tratamento e fornecimento de água potável (Piezer et al., 2021).

Dentre vários métodos de tratamento explorados, a pré-oxidação tem sido considerada como uma solução para resolver as limitações das estações convencionais de tratamento de água na remoção de cianobactérias sem a implementação de novos processos de tratamento (Piezer et al., 2021). Além disso, a pré-oxidação é considerada eficaz na promoção da coagulação de células de algas e sua matéria orgânica (Xie et al., 2013). É geralmente usada para destruir o revestimento aderido à superfície das partículas. Além disso, é usado para controlar sabor, odor, crescimento de algas e oxidação de manganês e ferro (Gad & El-Tawel, 2016).

Os pré-oxidantes frequentemente aplicados incluem cloro, ozono, permanganato e dióxido de cloro (Yang et al., 2013). Foi relatado que a pré-oxidação por ozono, cloro, dióxido de cloro, permanganato ou ferrato (IV) altera o potencial zeta e a estrutura celular das algas e desactiva as células para promover a sua segregação. A pré-oxidação pelo permanganato também gera dióxido de manganês *in situ*, que pode aderir às células e promover a sua sedimentação. No entanto, a oxidação por cloro ou dióxido de cloro forma DBPs indesejáveis, como organoclorados, clorato e clorito. A pré-oxidação por ozono, cloro ou ferrato pode induzir a lise de células das algas e libertar matéria orgânica intracelular para a fase dissolvida, que pode incluir toxinas de algas, precursores de DBP, sabor e odor. Ozono e permanganato são os oxidantes mais eficazes na promoção da coagulação, e formam menos subprodutos tóxicos. No entanto, os impactos da pré-oxidação com estes dois oxidantes, especialmente o permanganato nas características da matéria orgânica libertada pelas células das algas permanecem pouco claros (Xie et al., 2013).

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

- Avaliar a eficiência de desinfecção com cloro gasoso, permanganato de potássio e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA Sábiè.

1.1.2. Objectivos específicos

- Determinar o número de coliformes totais e fecais na água bruta e oxidada;
- Determinar a taxa de redução microbiológica aplicando cada oxidante em relação a coliformes totais e fecais;
- Comparar a eficiência de acção do permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono na remoção de coliformes totais e fecais;
- Estudar a viabilidade e sustentabilidade de cada oxidante para uso em sistemas de tratamento.

1.2. Justificativa

A água é um recurso natural essencial para a vida humana e para o desenvolvimento socioeconómico de uma nação. No entanto, a crescente demanda por água potável, aliada à crescente poluição das fontes de água, torna a purificação da água em desafio crucial. Existem diversas técnicas de purificação da água, mas a escolha do método ideal depende de diversos factores, como a natureza dos contaminantes, a disponibilidade de recursos e custos de operação.

Os pré-oxidantes são usados por várias razões como: controlar mexilhões na ingestão de estações de tratamento, reduzir problemas de odor e sabor, oxidar espécies de ferro e manganês, minimizar o crescimento de algas em tanques de tratamento, melhorar a desinfecção (Selbes et al., 2014).

A presença de microrganismos patogénicos, incluindo cianobactérias no abastecimento de água potável pode criar um risco à qualidade da água porque produzem metabólitos ou toxinas que são de difícil remoção por métodos convencionais de tratamento da água. A opção preferida para a remoção de toxinas, sabor e odor de cianobactérias envolve a remoção de células inteiras e intactas para evitar a libertação de metabólitos intracelulares nas águas circundantes. No entanto, para alcançar outros objectivos de qualidade da água se faz necessária a utilização de um oxidante como pré-tratamento que pode afectar a integridade celular das cianobactérias (Fan et al., 2013).

Na ETA Sábiè são utilizados três pré-oxidantes: cloro gasoso, permanganato de potássio e o ozono. O sistema de tratamento da água da ETA Sábiè é novo (inaugurado em 2021), pelo que nunca foi estudado oxidante mais eficiente para ser usado na etapa de pré-oxidação. Desta forma, o presente estudo teve como principal objectivo, realizar uma análise comparativa dos três oxidantes utilizados na etapa de pré-oxidação, tendo sido escolhidos os parâmetros microbiológicos coliformes fecais e totais por estes serem um parâmetro bastante sensível nesta etapa.

Os resultados deste estudo fornecerão informações valiosas para a tomada de decisões sobre a escolha do oxidante ideal para a pré-oxidação da água, que é fundamental para garantir a eficiência e a viabilidade do processo.

1.3. Perguntas de pesquisa

- [1] Quais são os oxidantes aplicados no processo de tratamento de água?
- [2] Qual é o mecanismo de acção de cada oxidante?
- [3] Qual é o oxidante mais eficiente?

1.4. Metodologia

A realização deste trabalho, obedeceu, a seguinte metodologia:

- **Revisão bibliográfica**

A elaboração da revisão bibliográfica consistiu na recolha de informações sobre o tema em artigos de revistas, trabalhos de licenciatura, mestrado e doutoramento, publicações em periódicos e materiais disponíveis nas plataformas Google Académico, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Elsevier, ScienceDirect e SpringerLink.

- **Trabalho de campo**

O trabalho do campo consistiu no mapeamento do local do estudo, concretamente do sistema de tratamento de água. O trabalho de campo culminou com a colecta de amostras de água na etapa de pré-oxidação durante 4 meses.

- **Trabalho laboratorial**

As análises laboratoriais foram realizadas nos laboratórios da AdrMM, de acordo com os procedimentos no manual de análises laboratoriais da AdrMM. Na análise das amostras foram determinados os seguintes parâmetros: coliformes totais e coliformes fecais (método de multipóços).

- **Tratamento dos resultados**

Os resultados compilados foram apresentados sob a forma de gráficos e tabelas.

- **Elaboração do relatório final**

O relatório final, engloba toda a informação relevante ao estudo desde a revisão da literatura, tratamento dos resultados experimentais, foi elaborado obedecendo às regras de elaboração do Trabalho de Licenciatura em vigor no Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Grupos de microrganismos presentes na água

A água contaminada é um importante veículo na transmissão de uma vasta variedade de doenças e a sua qualidade microbiológica é indispensável para a saúde pública. A contaminação da água ocorre principalmente através de matéria proveniente do homem, dos animais, solo e vegetais, contribuindo para a formação de condições propícias para a persistência e/ou desenvolvimento de microrganismos patogénicos que podem transmitir doenças ao homem (Ramos et al., 2008).

A contaminação microbiológica é responsável por mais de 90% das intoxicações e transmissão de doenças pela água (Pullés, 2014). Os riscos à saúde relacionados ao consumo de água, podem ser divididos em duas categorias: a) riscos derivados de poluentes químicos; b) riscos relacionados à ingestão de água contaminada por agentes biológicos como vírus, bactérias e parasitas, por meio de contacto directo ou insectos/vectores que necessitam da água no seu ciclo biológico (Dantas et al., 2010). Os principais microrganismos associados à transmissão de doenças por via hídrica são as bactérias (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*), vírus (*Enterovirus*, *rotavírus*, *adenovírus*), protozoários (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*), helmintos (*Ascaris lumbricoides*) e cianobactérias, sendo estes transmitidos principalmente pela rota fecal-oral (Dantas et al., 2010; Pulido et al., 2005; Pullés, 2014). Estes microrganismos podem causar doenças com diferentes níveis de gravidade, desde gastroenterite simples até quadros graves de diarreia, disenteria, hepatite ou febre tifóide (Pulido et al., 2005). Uma lista mais longa dos microrganismos patogénicos e as doenças associadas pode ser encontrada nas Tabelas A1 e A2.

2.1.1. Bactérias patogénicas

As bactérias encontradas com frequência na água são as bactérias entéricas que colonizam o trato gastrointestinal humano e são eliminadas através do material fecal (Pulido et al., 2005).

Esse grupo de microrganismos é adequado como indicador de contaminação bacteriana por serem contaminantes comuns no trato gastrointestinal e se encontrarem em grandes quantidades no meio ambiente (fontes de água, vegetação e solo) (Pullés, 2014).

2.1.2. Vírus

Diferente das bactérias, os vírus normalmente não são encontrados nas fezes humanas. A maioria dos vírus associados à transmissão pela água são vírus entéricos, eles estão presentes apenas no trato gastrointestinal de indivíduos afectados. Mais de 140 vírus patogénicos podem ser transmitidos aos seres humanos através da água, através da sua eliminação pelas fezes de pessoas infectadas e podem viver no ambiente durante longos períodos de tempo (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014).

2.1.3. Protozoários

Os principais protozoários presentes nas fezes humanas são: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* e *Balantidium coli*. Os protozoários são responsáveis por doenças como: giardíase, criptosporidiose, malária, diarreia flagelada, disenteria amebiana, meningoencefalite amebiana, disenteria balantidial e infecções intestinais (Pullés, 2014).

2.2. Microrganismos indicadores da qualidade da água

O controlo da qualidade microbiológica da água para o consumo humano requer uma análise de microrganismos patogénicos, que se torna difícil devido à grande variedade de bactérias patogénicas cultiváveis, à complexidade dos testes de isolamento, à baixa concentração de várias espécies muito agressivas e à necessidade de laboratórios especializados, o que demandaria vários dias de análise e teria um custo elevado (Pullés, 2014).

A detecção de agentes patogénicos na água é feita de forma indirecta através do uso de microrganismos indicadores. O termo microrganismos indicadores refere-se a um tipo de microrganismo cuja presença na água evidencia que ela está poluída com material fecal de origem humana ou de outros animais de sangue quente (Dantas et al., 2010). Indicadores microbiológicos têm sido utilizados mundialmente para verificar a contaminação de corpos de água por resíduos humanos. Geralmente são utilizados organismos com elevadas concentrações em fezes humanas (Vasconcellos et al., 2006). Devido à necessidade de se fazer uma avaliação simples, rápida, económica e confiável da presença de patógenos, o monitoramento da qualidade da água é feito através de indicadores de contaminação fecal (Pullés, 2014).

De acordo com Pullés (2014) e Pulido et al. (2005), um microrganismo indicador de contaminação fecal devem reunir as seguintes características:

- Ser um constituinte normal da microbiota intestinal de indivíduos saudáveis;
- Estar presente exclusivamente nas fezes de animais homeotérmicos;
- Estar presente em número elevado, facilitando o seu isolamento e identificação;
- Ser capaz de se reproduzir fora do intestino dos animais homeotérmicos;
- O seu tempo de sobrevivência deve ser igual ou superior ao das bactérias patogénicas;
- A sua resistência a factores ambientais deve ser igual ou superior à dos patógenos de origem fecal;
- Deve ser fácil de isolar e quantificar.

Existem controvérsias quanto a que grupo de microrganismos é mais adequado para utilização como indicador padrão de contaminação microbiana, contudo, os microrganismos de contaminação geralmente utilizados incluem coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli*, enterococci, clostrídios sulfito redutores e *Pseudomonas aeruginosa* (Arbos et al., 2017; Dantas et al., 2010; Santana et al., 2003; Vasconcellos et al., 2006).

2.2.1. Coliformes totais

Os coliformes totais são bacilos gram-negativos, anaeróbicos facultativos, não esporulantes, fermentadores de lactose a 35 °C com produção de gás. Constituem aproximadamente 10% dos microrganismos intestinais dos seres humanos e outros animais (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014). São caracterizados na sua grande maioria em quatro géneros de bactérias: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter*. Estão presentes nas fezes, em águas com altos teores de material orgânico, solo ou vegetação em decomposição (Dantas et al., 2010).

2.2.2. Coliformes fecais ou termotolerantes e *E. coli*

Coliformes fecais, também denominados termotolerantes devido à sua capacidade de suportar temperaturas elevadas, é um subgrupo de bactérias pertencentes ao grupo coliforme, presentes no intestino de animais de sangue quente e humanos. Inclui *Escherichia* e, em menor grau, as espécies

dos géneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. A sua origem é essencialmente fecal, têm a capacidade de fermentar lactose, com produção de ácido e gás (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014).

Os critérios de selecção das bactérias consideradas ideais como indicadoras de poluição fecal, incluem a presença destas em grande número nas fezes humanas e de animais, a sua presença em efluentes residuais, serem detectáveis por métodos simples, não devem estar presentes em água limpa e devem ser exclusivamente de origem fecal (Vasconcellos et al., 2006).

E. coli, membro do grupo dos coliformes é o principal microrganismo gram-negativo anaeróbico facultativo que faz parte da microbiota intestinal normal, é caracterizada pela produção de indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa ureia, apresenta actividade das enzimas β -galactosidase e B-glucoronidase, está presente nas fezes de humanos e animais de sangue quente e satisfaz a maior parte dos critérios para o seu uso como indicador de poluição e a sua presença em amostras de água pode indicar a contaminação por outros patógenos intestinais. Contudo, a ausência de *E. coli* nem sempre significa a ausência de outros patógenos intestinais. *E. coli* é o único biótipo da família *Enterobacteriaceae* que pode ser considerado exclusivamente fecal (Pullés, 2014; Sousa, 2006; Vasconcellos et al., 2006).

2.2.3. *Clostridium perfringens*

Clostridium perfringens é um formador de esporos anaeróbico redutor de sulfito, é gram positivo, em forma de bastonete (Gerba, 2009). A sua origem é exclusivamente fecal, encontra-se presente em solos e águas contaminadas. Por ser esporulada, tolera condições adversas como: temperaturas elevadas, desidratação, pH extremos e falta de nutrientes (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014).

2.2.4. Vírus entéricos e fagos de *Bacteroides fragilis*

O poliovírus foi proposto como um indicador viral, todavia, as quantidades deste vírus encontradas em ambientes aquáticos são demasiado variáveis para que possa ser considerado um bom indicador. Ademais, a detecção de vírus entéricos requer laboratórios especializados e os resultados são demorados, facto que tem levado à procura de indicadores alternativos que sejam rápidos e facilmente detectáveis (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014).

Segundo Pulido et al. (2005) e Pullés (2014), esses indicadores são fagos de dois tipos: colifagos somáticos e colifagos específicos de F. Essa proposta é baseada nos seguintes argumentos:

- Os fagos são abundantemente encontrados tanto nas águas residuais assim como nas águas contaminadas;
- As populações de colifagos são muito maiores do que as dos enterovírus;
- Os colifagos não podem se reproduzir fora do hospedeiro bacteriano;
- Podem ser isolados e contados por métodos simples;
- Os resultados são obtidos mais rapidamente e estão directamente relacionados à seu hospedeiro bacteriano específico (*E. coli*);
- Alguns colifagos são tão resistentes quanto os vírus aos processos de desinfecção.

2.2.4.1. Fagos de *Bacteroides fragilis*

Este grupo apresenta a vantagem de não se replicar em ambientes naturais, são de origem exclusivamente humana, infectam uma cepa anaeróbia e a sua multiplicação ocorre apenas nessas condições. Contudo, o seu isolamento é realizado na maioria dos casos em fezes humanas (Gerba, 2009; Pulido et al., 2005).

A utilização de bacteriófagos como indicadores de poluição fecal baseia-se no pressuposto de que a sua presença em amostras de água denota a presença de bactérias capazes de suportar a replicação do fago. Dois grupos de fagos em particular foram estudados: o colifago somático, que infecta cepas hospedeiras de *E. coli* através de receptores de parede celular, e o colifago de RNA específico que infecta cepas de *E. coli* (Gerba, 2009).

2.2.5. *Cryptosporidium* e *Giardia lamblia*

Esses dois protozoários são considerados patógenos emergentes e a sua investigação tem-se orientado basicamente para a detecção a nível laboratorial e para o estudo de processos de desinfecção que garantam a eliminação deste tipo de quistos (Pulido et al., 2005; Pullés, 2014).

2.2.6. Métodos de análise

2.2.6.1. Teste do número mais provável (NMP)

A determinação do número mais provável (NMP) de coliformes em uma dada amostra é efectuada a partir de aplicação da técnica de tubos múltiplos, que baseia-se no princípio de que as bactérias presentes em uma determinada amostra podem ser separadas umas das outras por agitação

resultando uma suspensão de células bacterianas individuais, uniformemente distribuídas na amostra original, consistindo volumes decrescentes na inoculação das amostras, em meio de cultura adequado ao crescimento dos microrganismos pesquisados, sendo em cada volume inoculado em série de tubos. A densidade de coliformes é expressa como Número Mais Provável (NMP) de coliformes por 100 mL, o qual é obtido através de uma tabela estatística (Do et al., 2011).

2.2.6.2. Teste de membrana filtrante (MF)

A técnica da membrana filtrante baseia-se na filtração de um volume conhecido da amostra (ou diluições da mesma) através de uma membrana filtrante estéril com porosidade adequada (0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro). A filtração é realizada com um aparelho que consta de um funil de filtração com tampa, suporte de membrana e frasco receptor. As bactérias a serem detectadas, apresentando dimensões maiores, ficarão retidas na superfície da membrana, a qual é então transferida para uma placa de Petri, contendo o meio de cultura selectivo e diferencial. Por capilaridades, o meio difunde-se para a membrana que, em contacto com as bactérias, desenvolve colónias com características típicas, que poderão ser observadas e contadas. Conforme o meio utilizado, serão contadas as colónias de coliformes totais, termotolerantes ou fecais (Do et al., 2011).

2.2.6.3. Teste de presença-ausência (P-A)

Os testes da presença-ausência (testes P-A) não são testes quantitativos, em vez disso, respondem à simples questão de saber se o organismo alvo está presente numa amostra ou não. Um único tubo de caldo lauril sulfato-triptose-lactose conforme usado no teste MPN, mas sem diluições, seria usado em um teste P – A. Esse teste permite a detecção simultânea de bactérias coliformes e *E. coli* na água potável. O ensaio pode ser um teste P – A simples ou um ensaio MPN (Gerba, 2009).

2.3. Oxidantes utilizados na pré-oxidação

O método comumente utilizado para inactivar organismos microbiológicos é a desinfecção (Chaukura et al., 2020). A desinfecção é o processo de desactivação de agentes patogénicos ou não patogénicos e a desinfecção é utilizada principalmente para esse propósito (Ersoy et al., 2019). Os desinfectantes utilizados são principalmente oxidantes fortes que inactivam eficientemente os

patógenos e protegem as populações de doenças transmitidas pela água, incluindo a diarreia, cólera, salmonelose, giardíase, criptosporidiose, pólio, hepatite e inúmeras outras doenças bacterianas, virais e parasitárias (Voukkali & Zorpas, 2015; Wang et al., 2023).

Segundo Meyer (1994), um bom desinfectante deve reunir as seguintes características:

- Capacidade de destruir, em um tempo razoável, os microrganismos patogênicos a serem eliminados, na quantidade em que se apresentam e nas condições encontradas na água;
- O desinfectante não deve ser tóxico ao homem e para os animais domésticos e, nas dosagens usuais, não deve causar à água cheiro e gosto;
- O seu custo de utilização deve ser razoável, além de apresentar facilidade e segurança no transporte, armazenamento, manuseio e aplicação;
- A concentração na água tratada deve ser de fácil e rápida determinação;
- Deve produzir concentração residual na água, de modo a constituir uma barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso.

Dentre os vários oxidantes existentes, os mais usados no processo de tratamento de água são: gás cloro, hipoclorito de sódio (NaOCl), cloramina, dióxido de cloro (ClO₂), ozono e permanganato de potássio (Chaukura et al., 2020; Ersoy et al., 2019).

Contudo, qualquer oxidante a ser utilizado no processo de desinfecção da água, possui vantagens e desvantagens (Tabela A3), condicionando a escolha do oxidante também ao local e à qualidade que a água apresenta na origem, devendo assim se estabelecer um equilíbrio entre a eficiência do processo (capacidade de inativar microrganismos), formação de subprodutos e a garantia de um teor residual ao longo do sistema de distribuição (Vanessa & Silva, 2016).

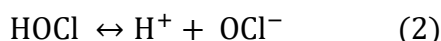
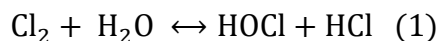
2.3.1. Cloro gasoso e dióxido de cloro

O cloro é o oxidante mais utilizado mundialmente no processo de tratamento de água devido ao seu baixo custo (Drogui & Daghrir, 2015; Rougé et al., 2020). Durante as reações de oxidação, as diferentes espécies de cloro incluem ácido hipocloroso (HClO), hipoclorito (OCl⁻) e o cloro (Cl₂) (Drogui & Daghrir, 2015).

2.3.1.1. Cloro gasoso

Na água, o cloro existe na forma de ácido hipocloroso (Kim et al., 2002). Quando o gás cloro ou hipoclorito de sódio (NaOCl) é introduzido na água, imediatamente hidrolisa formando HOCl e

ácido clorídrico conforme as reacções 1 e 2. Como HOCl não é estável, posteriormente decompõe-se em OCl^- e H^+ e a presença de cada uma das espécies envolvidas, depende do pH do meio (Al-Juboori et al., 2010).

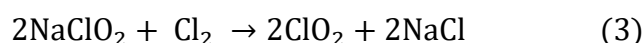


Ambas as espécies HOCl e OCl^- são agentes oxidantes fortes, e são chamados de cloro “livre”, contudo, o HOCl é conhecido por ser mais biocida em relação ao OCl^- (Al-Juboori et al., 2010; Kim et al., 2002). O OCl^- não consegue penetrar nas células dos microrganismos que estão carregadas por carga negativa. O cloro afecta adversamente as actividades respiratórias e de transporte, assim como os ácidos nucleicos nas bactérias, levando à sua inactivação (Kim et al., 2002).

2.3.1.2. Dióxido de cloro

O dióxido de cloro (ClO_2) é um oxidante forte com actividade de amplo espectro, contém ambos oxigénio e cloro como agentes oxidantes e é altamente eficaz no controlo de patógenos transmitidos pela água e ao mesmo tempo minimiza os DBPs halogenados (Ersoy et al., 2019; Ofori et al., 2018; Voukkali e Zorpas, 2015).

O dióxido de cloro pode ser produzido devido à reacção entre o cloreto de sódio NaClO_2 e cloro Cl_2 ou ácido clorídrico HCl conforme descrito nas equações 3 e 4 (Al-Juboori et al., 2010).



Por ser um microbiocida de amplo espectro é tão eficaz quanto o cloro contra vírus, bactérias, fungos e até contra esporos, e é mais eficaz do que o cloro na inactivação de parasitas encistados como *Giardia* e *Cryptosporidium* (Ersoy et al., 2019; Voukkali e Zorpas, 2015).

- **Mecanismo de acção**

Ainda que o mecanismo bactericida exacto do ClO_2 não fique ainda claro, em um trabalho pioneiro de seu mecanismo em *Escherichia coli*, foi observado que a lesão letal primária do ClO_2 envolvia a interrupção do mecanismo de síntese protéica das células bacterianas, em vez da inactivação de uma enzima no sistema de catabolismo da glicose (Ofori et al., 2018).

Contudo, a lesão letal primária do ClO_2 não está relacionada somente a disrupção da síntese da proteína ou inativação do DNA, mas também a danos a membrana da superfície celular e degradação dos componentes celulares internos de *E. coli* (Ofori et al., 2018), conforme mostrado na Figura 1.

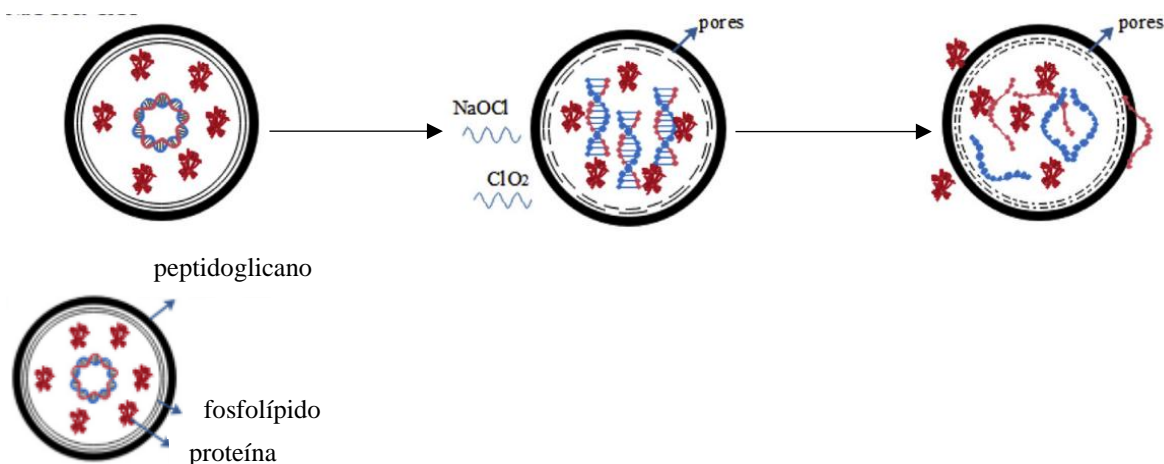


Figura 1: Mecanismo de inativação do DNA.

Fonte: Ersoy et al. (2019).

2.3.2. Permanganato de potássio

O permanganato de potássio (KMnO_4) é um oxidante mais forte que o cloro e o hipoclorito de sódio. Embora seja eficaz na oxidação do manganês, também tem sido utilizado no tratamento de problemas de sabor e odor no abastecimento de água. Ao contrário do cloro, a reação do KMnO_4 com compostos orgânicos não produzirá trihalometanos, mas na verdade os reduzirá (Beluli, 2020). Historicamente, o controle de ferro e manganês tem sido a principal aplicação do KMnO_4 (Piezer et al., 2021).

- **Mecanismo de acção**

O permanganato de potássio tem se mostrado útil para diversas aplicações de tratamento de água e é eficaz porque a oxidação com permanganato não é selectiva devido ao seu alto estado de oxidação (+VII). Após a oxidação, o permanganato é reduzido a dióxido de manganês insolúvel (MnO_2), que pode ser usado para absorver contaminantes comuns como ferro ferroso (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), e rádio (Ra^{2+}) além de alguns precursores de NOM e DBP (Piezer et al., 2021).

KMnO₄ pode oxidar compostos orgânicos por abstracção de electrões, abstracção de átomos de hidrogénio, abstracção de iões hidreto e doação de oxigénio. A via de reacção depende em grande parte da estrutura do substrato, acidez da solução, temperatura, concentração de permanganato e outros reagentes. As reacções de oxidação do permanganato geralmente não formam intermediários fortes, portanto a oxidação completa é favorecida, resultando em pouca chance de formação de radicais como resultado da alcalinidade (Piezer et al., 2021).

2.3.3. Ozono

O ozono é um oxidante forte e é muito eficiente para o controlo de problemas da cor, odor, sabor, ferro e manganês. Além disso, O₃ pode inactivar efectivamente alguns protozoários resistentes ao cloro como *Giardia* e *Cryptosporidium* (Mao et al., 2018).

Ozono é uma opção atractiva de desinfecção, pois é um germicida potente e simultaneamente oxida a matéria orgânica, melhorando assim a qualidade da água. É um desinfectante excepcionalmente bom que possui uma cinética de desinfecção mais rápida e é mais potente para eliminar a maioria dos microrganismos em comparação com outros desinfectantes químicos amplamente utilizados (Verma et al., 2016).

O efeito germicida do ozono resulta na destruição total ou parcial da parede celular, resultando na lise celular. Ademais, o ozono também quebra cromossomos, ligações nitrogénio-carbono entre açúcar e bases, ligações de hidrogénio do DNA, bem como ligações de açúcar fosfato levando a despolimerização e vazamento de constituintes celulares (Verma et al., 2016).

A principal vantagem do ozono é a formação dos radicais OH (OH[•]), portanto, o processo de ozonização envolve sempre duas espécies oxidantes, ozono e radicais OH. Todavia, as duas espécies têm importâncias diferentes, enquanto a desinfecção ocorre predominantemente através do ozono, processos de oxidação podem ocorrer através de ambos oxidantes (Von, 2007).

De acordo com Nghi et al. (2018), o processo de ozonização consiste em dois principais mecanismos como: (i) produção de radicais livres na reacção do ozono com anião OH⁻ na água e (ii) desinfecção de micróbios e matérias orgânicas na água através da oxidação de micróbios como substâncias à base de carbono.

- **Mecanismo de acção**

Os regimes primários de desinfecção conduzida por AOPs incluem a destruição da parede celular, membrana celular, enzimas e material genético intracelular (Chen et al., 2021), como mostrado na Figura 2.

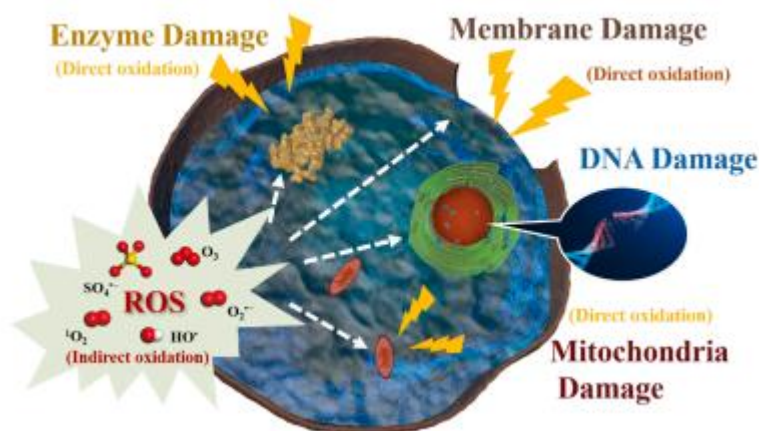


Figura 2: Ilustração da destruição do envelope celular, enzima e DNA por diversas ROS.

Fonte: Chen et al. (2021).

Em geral, os microrganismos contêm reguladores para controlar os desequilíbrios das ERO nas células produzidas pela auto-oxidação enzimática, incluindo coenzima A (CoA), alquil hidroperóxido redutase, glutathione redutase (GR), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e hidroperoxidases (HPI, HPII). CoA é uma enzima muito significativa nas células, que envolve muitos processos de respiração celular. A inativação de patógenos pode ser induzida pela dimerização e subsequente inibição da respiração para consumir CoA. No sistema AOPs, as ROS geradas participam directamente da oxidação do CoA recebendo um electrão do CoA, inibindo assim a respiração das células microbianas e causando destruição microbiana (Chen et al., 2021).

As ROS produzidas a partir de AOPs podem destruir os componentes genéticos e resultar na inactivação de microrganismos. O DNA pode ser danificado e modificado através de danos oxidativos. Geralmente, as ROS com forte capacidade oxidante reagem com o DNA para clivar uma ligação fosfodiéster entre as bases de uma fita dupla de DNA, causando uma clivagem de uma estrutura de fita simples ou dupla de uma molécula de DNA. As bases de guanina, adenina, timina e citosina no DNA são estruturas aromáticas e heterocíclicas ricas em electrões que são susceptíveis

a EROs. O produto resultante da oxidação da guanina é a 8-hidroxi guanina, que é facilmente capaz de emparelhar com a adenina. Pode desactivar o sistema de detecção de danos, que é natural nas DNA polimerases. Os subprodutos oxidados de timina, citosina e uracil metil são gerados na ligação dupla C5-C6. Lesões não codificantes produzidas na oxidação da timina bloqueariam a progressão da polimerase, levando ao crescimento restrito e à morte celular (Chen et al., 2021).

2.4. Resistência relativa do microrganismo a desinfecção

Embora os oxidantes sejam agentes químicos amplamente utilizados para eliminar ou inativar microrganismos, os microrganismos estão a desenvolver mecanismos de adaptação, como alterações nas membranas celulares e produção de enzimas que neutralizam os compostos activos dos oxidantes, o que compromete a sua eficácia (Gomes et al., 2024).

A ocorrência de linhagens de bactérias resistentes a oxidantes representa desafios para a saúde pública, ainda mais quando se trata de microrganismo com resistência cruzada a oxidantes e a antibióticos (Machado et al., 2010).

A resistência varia de microrganismo para microrganismo e geralmente resulta de alterações celulares que implicam em acúmulo de biocidas, incluindo alterações do envelope celular que limita a absorção ou a expressão de mecanismos de efluxo que é regulada via plasmídeos que podem sofrer mutações cruzadas (Machado et al., 2010). *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Chlamydia trachomatis* e *Treponema pallidum*, são as principais bactérias que vêm apresentando resistência aos oxidantes (Da Silva & Aquino, 2018; Fontenele & Costa, 2023).

Os principais mecanismos de resistência microbiana são: inativação enzimática, alteração na célula alvo e redução da concentração intracelular (Fontenele & Costa, 2023). A acção antimicrobiana depende da estrutura química, mecanismo de acção e propriedades-físico-químicas, para que o oxidante consiga desempenhar o seu papel, é necessário permear as camadas celulares externas, sendo a composição dessas estruturas variável a depender do microrganismo e funcionamento como barreira para os oxidantes. A resistência bacteriana a oxidantes ocorre através do mecanismo de resistência intrínseca ou adquirida. A resistência intrínseca é inata, havendo o controle cromossomicamente de uma célula capaz de interferir e desfazer a acção de oxidantes, algumas bactérias podem desenvolver a tolerância, que é a competência genético-bioquímica de

apenas diminuir o efeito bactericida do oxidante, sem alterar seu efeito bacteriostático, sendo assim mais comum em bactérias Gram negativas, micobactérias e esporos bacterianos. A resistência adquirida ocorre através de mutação ou transferência de material genético, como plasmídeos e transposons (Avancini & Both, 2017; Santos & Gois, 2021). Também existem evidências de ocorrer resistência cruzada, que é quando diferentes agentes oxidantes atacam o mesmo alvo, iniciando uma via comum de morte celular, ou compartilham uma rota comum de acesso a suas respectivas metas, trata-se da presença de múltiplos mecanismos de resistência presentes em um único hospedeiro que resiste a diversos oxidantes (Avancini & Both, 2017; Júnior et al., 2014). Ou a co-resistência, que ocorre quando os genes que especificam os fenótipos resistentes estão localizados em conjunto num elemento genético móvel, tal como um plasmídeo, transposon, ou integron (Avancini & Both, 2017).

3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

3.1. Caracterização da ETA Sábiè

A estação de tratamento de água (ETA) de Sábiè está localizada na localidade de Sábiè, distrito de Moamba, província de Maputo, Moçambique. Esta infraestrutura foi inaugurada em Junho de 2021 e faz parte de um projecto destinado a expandir o sistema de abastecimento de água na região metropolitana do Grande Maputo (Langa, 2021).

A ETA de Sábiè tem capacidade para produzir 60000 m³ de água por dia, beneficiando aproximadamente 560 mil pessoas nos municípios de Maputo, Matola e distrito de Marracuene. O projecto inclui a construção da estação de tratamento, uma conduta adutora para ligar os centros distribuidores da Machava, Intaka e os novos centros distribuidores de Matlemele e Guava (Langa, 2017).

A água é captada a jusante da barragem de Corumana, no distrito de Moamba, e tratada na ETA de Sábiè. O processo de tratamento inclui pré-oxidação, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, ajuste do pH e desinfecção. Após o tratamento, a água é transportada por uma conduta principal de cerca de 100 km até aos centros de distribuição na área metropolitana de Maputo (GAUFF Engineering, 2019).

As figuras 3 e 4 ilustram o mapa indicativo da ETA e o sistema de tratamento da ETA Sábiè respectivamente.

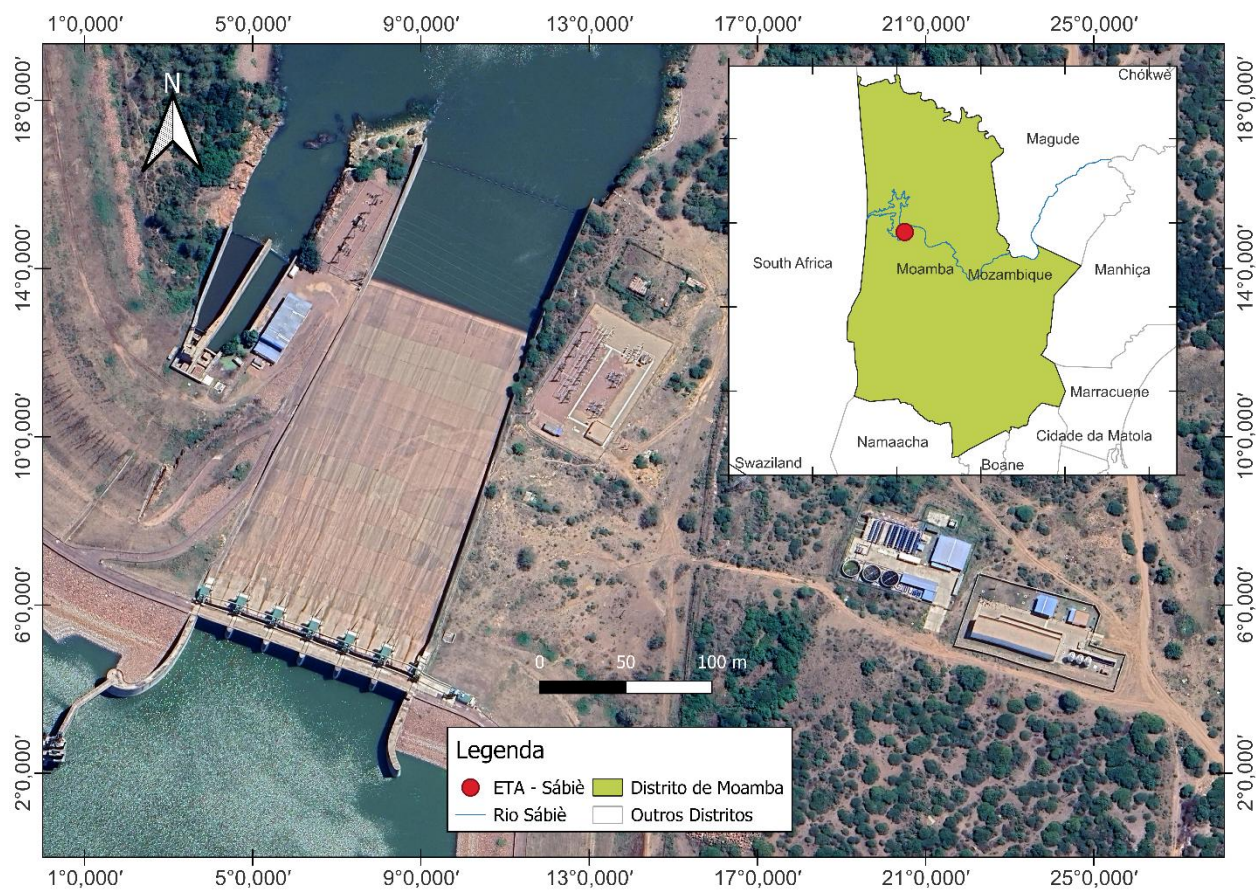


Figura 3: Mapa indicativo da ETA – Sábiè.

Fonte: *Google Maps*.



Figura 4: Sistema de tratamento.

3.2. Processo de tratamento de água

O processo de tratamento de água na ETA Sábiè corresponde às seguintes etapas: captação, pré-oxidação, coagulação e floculação, decantação, filtração e desinfecção conforme ilustrado na Figura 5.

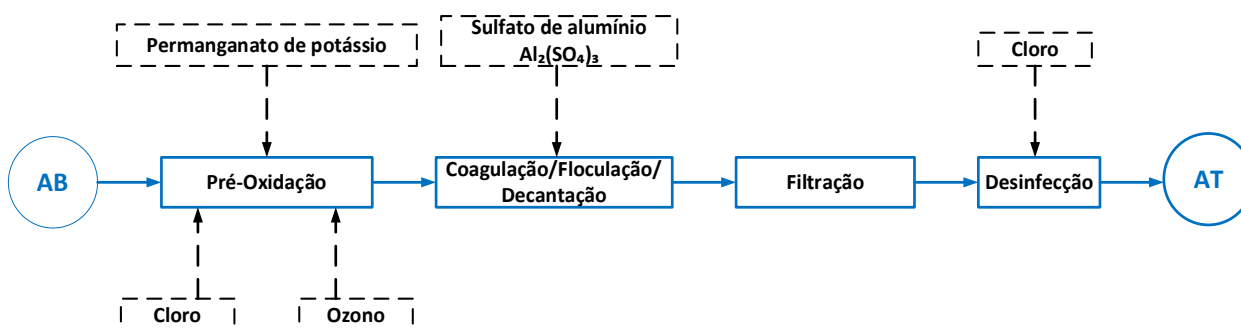


Figura 5: Etapas de tratamento da água.

3.2.1. Captação

A água bruta passa por uma câmara de chegada com o objectivo de a distribuir por uma ou duas cisternas de contacto consoante o caudal a tratar. Para o caso da ETA Sábiè, a água bruta é captada na barragem de Corumana, por meio de bombas, sob pressão e conduzida por conduta até à câmara de mistura. A Figura 6 ilustra a câmara de mistura da ETA Sábiè.



Figura 6: Câmara de mistura.

3.2.2. Pré-oxidação

Este processo tem como objectivo essencial a redução da concentração de microrganismos e a oxidação da matéria orgânica, presentes na água bruta, com a adição de um oxidante. A Figura 7 ilustra o processo de injeção do oxidante na conduta com água bruta (pré-oxidação).



(a)



(b)



(c)

Figura 7: Injecção do oxidante na conduta de água bruta: (a) Sala de preparação do Permanganato de potássio (b) Ponto de injecção de ozono (c) Ponto de injecção de cloro gasoso (pré-oxidante).

3.2.3. Coagulação

Na câmara de mistura rápida acontece a etapa de coagulação com o reagente químico sulfato de alumínio. A etapa tem por objectivo desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração.

3.2.4. Floculação

A floculação tem como objectivo a agregação da matéria em suspensão. Durante a floculação, os flocos formados na etapa de coagulação são aglomerados para facilitar a sua remoção na etapa de sedimentação. A Figura 8 indica o ponto de doseamento do coagulante (sulfato de alumínio).



Figura 8: Ponto de doseamento do coagulante (sulfato de alumínio) na câmara de mistura.

3.2.5. Sedimentação

A sedimentação permite que os flocos formados se depositem no fundo do decantador, removendo assim parte dos contaminantes presentes na água. A Figura 9 ilustra os decantadores, onde ocorre o processo de sedimentação.

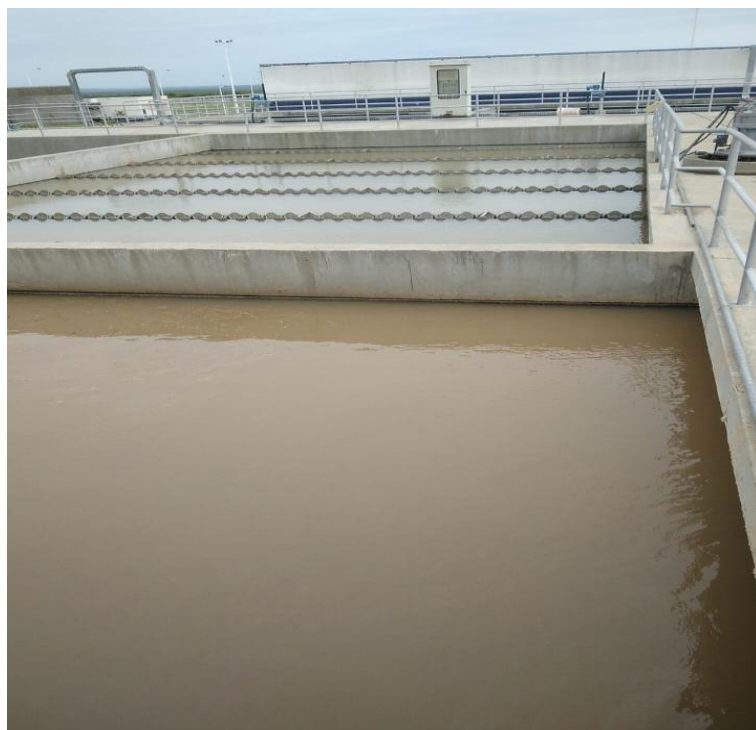


Figura 9: Decantadores.

3.2.6. Filtração

O processo de filtração é um processo físico que se destina a clarificar a água, que contém ainda matérias sólidas em suspensão. São usados filtros de dupla célula que possuem uma camada filtrante de areia calibrada. Após a água entrar no filtro, atravessa a camada filtrante de areia. A Figura 10 ilustra os filtros.



(a)



(b)

Figura 10: Ilustração dos filtros: (a) Galeria de filtros (b) Filtros.

3.2.7. Desinfecção

A desinfecção corresponde à etapa final, é nesta fase injectada logo à entrada uma solução clorada para a desinfecção total. A Figura 11 ilustra o sistema de doseamento do desinfectante.



(a)



(b)

Figura 11: Sistema de doseamento do desinfectante: (a) Linha doseadora 1 e 2 de cloro gasoso (desinfecção) (b) Sala de cilindros de cloro gasoso (desinfecção).

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Amostragem

Para o presente estudo, foram colectadas 90 amostras em um período de 4 meses (de Agosto de 2023 a Janeiro de 2024 com excepção de Outubro e Novembro).

4.2. Conservação das amostras

As amostras foram transportadas, conservadas a 5 ± 3 °C e analisadas até 18h após a colheita.

4.3. Condições de operação da ETA

As condições de operação da ETA estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Condições de operação da ETA.

Mês	Taxa de produtos químicos				
	Caudal (m ³ /h)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g/m ³)	Oxidante usado	Concentração do oxidante (g/m ³)	Concentração de cloro em g/m ³ (desinfecção)
Agosto	[1526 – 1989]	[30 – 35]	Permanganato de Potássio	[0,5 – 0,8]	[2,12 – 3,07]
Setembro	[1392 – 2267]	[30 – 30]	Cloro gasoso	[1,3 – 1,3]	[1,24 – 5,28]
Dezembro	[1812 – 2277]	[24 – 26]	Ozono	[1,35 – 1,5]	[1,32 – 4,71]
Janeiro	[174 – 2289]	[20 – 24]	Ozono	[1,5 – 1,5]	[4,02 – 19,63]

4.4. Materiais, reagentes e equipamentos

Tabela 2: Reagentes e equipamentos.

Materiais	Meios de cultura	Equipamentos
<ul style="list-style-type: none">• Frasco estéril com tampa de rosca com pelo menos 110 mL• Selador Quanti-Tray• Lâmpada de UV, no comprimento de onda de 365 nm• Placas de Petri• Tubos de ensaio	<ul style="list-style-type: none">• Colilert-18	<ul style="list-style-type: none">• Incubadora controlada• Comparador Quanti-Tray• Quanti-Tray• Balança analítica

4.5. Procedimentos experimentais

4.5.1. Determinação de coliformes totais

20 minutos antes de se iniciar a preparação da amostra, ligou-se o selador Quanti-Tray. De seguida homogeneizou-se a amostra e colocou-se 100 mL num frasco estéril com antiespuma, e adicionou-se o conteúdo do pacote (2,8g) do meio Colilert-18. Agitou-se suavemente até dissolver. Posteriormente, colocou-se a mistura do frasco dentro do Quanti-Tray, fechando-o com a ajuda do selador. De seguida, colocou-se o Quanti-Tray, com os poços virados para cima na estufa de incubação a $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 18 horas.

4.5.2. Determinação de coliformes fecais

20 minutos antes de se iniciar a preparação da amostra, ligou-se o selador Quanti-Tray. De seguida homogeneizou-se a amostra e foram colocados 100 mL num frasco estéril com antiespuma, e adicionou-se o conteúdo do pacote (2,8g) do meio Colilert-18. Agitou-se suavemente até dissolver. Posteriormente, colocou-se a mistura do frasco dentro do Quanti-Tray, fechando-o com a ajuda do

selador. De seguida, colocou-se o Quanti-Tray com os poços virados para cima na estufa de incubação a $44,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 18 horas.

4.5. Determinação da eficiência de desinfecção

A eficiência da acção dos oxidantes foi verificada por meio da redução microbiológica perante cada grupo de microrganismos. Foram considerados, índices de eficiências de remoção global (equação 5) e de remoção parcial (equação 6). O índice de eficiência de remoção parcial está relacionado com a etapa de pré-oxidação (água bruta e oxidada) e o índice de eficiência global está relacionado com todo o processo de tratamento (água bruta e tratada).

$$\text{Eficiência Global} = \log\left(\frac{N}{N_0}\right) \quad (5)$$

em que:

N_0 = número de microrganismos na água bruta

N = número de microrganismos na água tratada

$$\text{Eficiência Parcial} = \log\left(\frac{N}{N_0}\right) \quad (6)$$

em que:

N_0 = número de microrganismos na água bruta

N = número de microrganismos na água oxidada

Para Gradim & Anjos (2015), considera-se a eficiência ou redução decimal como parâmetro correcto para designar a redução da população microbiana. Contudo, frequentemente os dados são expressos em % de redução, devido à sua baixa complexidade. Desta forma, usa-se os seguintes critérios para a conversão:

RD = 1 equivale a 90% de redução

RD = 2 equivale a 99% de redução

RD = 3 equivale a 99,9% de redução

RD = 4 equivale a 99,99% de redução

RD = 5 equivale a 99,999% de redução, e assim sucessivamente.

Uma vez obtida a redução decimal, é possível calcular em termos de percentagem através da equação 7.

$$\% \text{Eficiência} = \left(1 - \frac{1}{10^{\text{RD}}}\right) \times 100 \quad (7)$$

onde:

RD = redução decimal obtida nas equações (5) e (6).

Em situações em que as equações acima não puderam ser usadas para calcular a % eficiência devido à ausência de coliformes na água oxidada, esta pôde ser obtida a partir da equação 8.

$$\% \text{Eficiência} = \frac{N_0 - N}{N_0} \quad (8)$$

onde:

N_0 = número inicial de microrganismos

N = número de microrganismos remanescentes após a aplicação do oxidante

4.6. Tratamento estatístico dos dados

Para o tratamento estatístico, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis em substituição do teste da análise variância de um factor, pois os dados não seguem uma distribuição normal. O teste foi realizado utilizando as ferramentas para análise estatística de dados *Minitab e Excel*.

H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal (aceita-se se valor-p > 0,05);

H_a : Os dados não seguem distribuição normal (aceita-se se valor-p < 0,05).

Entre os oxidantes

Hipótese nula (H_0): as medianas dos grupos dos parâmetros em estudo para diferentes oxidantes são iguais.

Hipótese alternativa (H_a): pelo menos um dos grupos tem mediana diferente.

Entre os meses de tratamento

Hipótese nula (H_0): as medianas dos grupos dos parâmetros em estudo para diferentes meses de tratamento são iguais.

Hipótese alternativa (H_a): pelo menos um dos grupos tem mediana diferente.

Interpretação do valor-p

- Se $p < 0.05 \rightarrow$ rejeita-se a hipótese nula \rightarrow há diferenças significativas entre pelo menos dois grupos.
- Se $p > 0.05 \rightarrow$ não há evidências de diferença estatística nas medianas dos grupos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção são apresentados os resultados das análises realizadas com o objectivo de se avaliar a eficiência da desinfecção dos oxidantes utilizados na etapa de pré-oxidação na estação de tratamento de água (ETA) Sábiè.

5.1. Apresentação dos resultados

5.1.1. Coliformes totais

As Tabelas 3-5 apresentam os resultados do cálculo da eficiência para o parâmetro coliformes totais.

Tabela 3: Resultados do cálculo da eficiência da acção de cloro gasoso para coliformes totais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Global (%)
1/9/2023	36	17	0	52,78	100,00
2/9/2023	90	2	0	97,78	100,00
3/9/2023	260	0	0	100,00	100,00
4/9/2023	170	1	0	99,41	100,00
5/9/2023	210	10	0	95,24	100,00
6/9/2023	280	0	0	100,00	100,00
7/9/2023	250	0	0	100,00	100,00
8/9/2023	120	0	0	100,00	100,00
9/9/2023	55	40	0	27,27	100,00
10/9/2023	8	3	0	62,50	100,00
11/9/2023	12	0	0	100,00	100,00
12/9/2023	6	0	0	100,00	100,00
13/9/2023	25	0	0	100,00	100,00
14/9/2023	90	0	0	100,00	100,00
15/9/2023	70	0	0	100,00	100,00
16/9/2023	140	3	0	97,86	100,00
17/9/2023	130	6	0	95,38	100,00
18/9/2023	110	13	0	88,18	100,00
19/9/2023	270	0	0	100,00	100,00
20/9/2023	160	0	0	100,0	100,00
21/9/2023	30	12	0	60,00	100,00
22/9/2023	90	50	0	44,44	100,00
23/9/2023	55	40	0	27,27	100,00
24/9/2023	90	9	0	90,00	100,00
25/9/2023	130	3	0	97,69	100,00

Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-Sábiè

26/9/2023	210	0	0	100,00	100,00
27/9/2023	111	8	0	92,79	100,00
28/9/2023	150	3	0	98,00	100,00
29/9/2023	170	2	0	98,82	100,00
30/9/2023	130	3	0	97,69	100,00

Tabela 4: Resultados do cálculo da eficiência da acção de permanganato de potássio para coliformes totais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Global (%)
1/8/2023	34	6	0	82,35	100,00
2/8/2023	21	0	0	100,00	100,00
3/8/2023	50	3	0	94,00	100,00
4/8/2023	30	1	0	96,67	100,00
5/8/2023	30	2	0	93,33	100,00
6/8/2023	30	0	0	100,00	100,00
7/8/2023	20	2	0	90,00	100,00
8/8/2023	40	11	0	72,50	100,00
9/8/2023	50	1	0	98,00	100,00
10/8/2023	10	8	0	20,00	100,00
11/8/2023	20	0	0	100,00	100,00
12/8/2023	20	0	0	100,00	100,00
13/8/2023	34	6	0	82,35	100,00
14/8/2023	26	0	0	100,00	100,00
15/8/2023	21	5	0	76,19	100,00
16/8/2023	30	2	0	93,33	100,00
17/8/2023	30	22	0	26,67	100,00
18/8/2023	40	3	0	92,50	100,00
19/8/2023	30	7	0	76,67	100,00
20/8/2023	20	4	0	80,00	100,00
21/8/2023	40	7	0	82,50	100,00
22/8/2023	60	3	0	95,00	100,00
23/8/2023	20	3	0	85,00	100,00
24/8/2023	50	0	0	100,00	100,00
25/8/2023	50	20	0	60,00	100,00
26/8/2023	55	25	0	54,55	100,00
27/8/2023	60	0	0	100,00	100,00
28/8/2023	90	30	0	66,67	100,00
29/8/2023	50	1	0	98,00	100,00
30/8/2023	90	54	0	40,00	100,00

Tabela 5: Resultados do cálculo da eficiência da acção de ozono para coliformes totais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Global (%)
12/27/2023	2000	5	0	99,75	100,00
12/28/2023	12000	51	0	99,58	100,00
12/29/2023	2400	33	0	98,63	100,00
12/30/2023	5000	0	0	100,00	100,00
12/31/2023	5000	83	0	98,34	100,00
1/1/2024	5000	15	0	99,70	100,00
1/2/2024	4600	11	0	99,76	100,00
1/3/2024	3200	2	0	99,94	100,00
1/4/2024	1100	0	0	100,00	100,00
1/5/2024	2500	5	0	99,80	100,00
1/6/2024	7200	0	0	100,00	100,00
1/7/2024	5100	12	0	99,76	100,00
1/8/2024	200	6	0	97,00	100,00
1/9/2024	700	12	0	98,29	100,00
1/10/2024	1700	0	0	100,00	100,00
1/11/2024	1700	0	0	100,00	100,00
1/12/2024	300	72	0	76,00	100,00
1/13/2024	3200	42	0	98,69	100,00
1/14/2024	200	5	0	97,50	100,00
1/15/2024	100	5	0	95,00	100,00
1/16/2024	1200	12	0	99,00	100,00
1/17/2024	2400	29	0	98,79	100,00
1/18/2024	90	21	0	76,67	100,00
1/19/2024	1000	7	0	99,30	100,00
1/20/2024	3300	39	0	98,82	100,00
1/21/2024	4300	70	0	98,37	100,00
1/22/2024	3000	6	0	99,80	100,00
1/23/2024	90	8	0	91,11	100,00
1/24/2024	8300	70	0	99,16	100,00
1/25/2024	4700	12	0	99,74	100,00

Os resultados do teste de normalidade de *Anderson-Darling* estão apresentados na Tabela C1. Para os parâmetros microbiológicos em análise o valor- $p < 0,05$, portanto, nota-se que os dados não seguem uma distribuição normal. Por conseguinte, não se pode aplicar o teste de ANOVA, podendo-se, contudo, aplicar-se um teste não paramétrico alternativo, o teste de Kruskal-Wallis.

Nas Tabelas 6 e 7 estão apresentados os resultados do teste de Kruskal-Wallis que mostram que existe diferença significativa entre os oxidantes usados na etapa de pré-oxidação assim como nos resultados da água bruta (AB) dos diferentes meses de tratamento.

Tabela 6: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para determinação dos coliformes totais.

Estatística descritiva				
Oxidantes	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
Cloro	30	2,5	37,5	-2,06
Ozono	30	11,5	57,9	3,17
Permanganato de potássio	30	3,0	41,2	-1,11
Global	90		45,5	
Teste				
Método	GL	Valor H	Valor-p	
Não ajustado para empates	2	10,35	0,006	
Ajustado para empates	2	10,58	0,005	

Tabela 7: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para os diferentes períodos (meses) de tratamento para coliformes totais.

Estatística descritiva				
Mês	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
Agosto	30	32,0	20,8	-6,34
Setembro	30	2450,0	73,2	7,11
Dezembro-Janeiro	30	115,5	42,5	-0,77
Global	90		45,5	
Teste				
Método	GL	Valor H	Valor-p	
Não ajustado para empates	2	60,94	0,000	
Ajustado para empates	2	61,04	0,000	

5.1.2. Coliformes fecais

As Tabelas 8-10 apresentam os resultados do cálculo da eficiência para o parâmetro coliformes fecais.

Tabela 8: Resultados do cálculo da eficiência da acção de cloro gasoso para coliformes fecais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Global (%)
9/1/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/2/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/3/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/4/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/5/2023	3	0	0	100,00	100,00
9/6/2023	6	0	0	100,00	100,00
9/7/2023	44	0	0	100,00	100,00
9/8/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/9/2023	17	11	0	35,29	100,00
9/10/2023	3	0	0	100,00	100,00
9/11/2023	4	0	0	100,00	100,00
9/12/2023	2	0	0	100,00	100,00
9/13/2023	14	0	0	100,00	100,00
9/14/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/15/2023	4	0	0	100,00	100,00
9/16/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/17/2023	7	0	0	100,00	100,00
9/18/2023	3	0	0	100,00	100,00
9/19/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/20/2023	2	0	0	100,00	100,00
9/21/2023	0	0	0	100,00	100,00
9/22/2023	15	3	0	80,00	100,00
9/23/2023	17	11	0	35,29	100,00
9/24/2023	9	5	0	44,44	100,00
9/25/2023	36	0	0	100	100,00
9/26/2023	59	0	0	100	100,00
9/27/2023	40	2	0	95,00	100,00
9/28/2023	17	3	0	82,35	100,00
9/29/2023	15	2	0	86,67	100,00
9/30/2023	27	3	0	88,89	100,00

Tabela 9: Resultados do cálculo da eficiência da acção de permanganato de potássio para coliformes fecais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Global (%)
8/1/2023	8	0	0	100,00	100,00
8/2/2023	6	0	0	100,00	100,00
8/3/2023	3	1	0	66,67	100,00
8/4/2023	4	0	0	100,00	100,00
8/5/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/6/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/7/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/8/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/9/2023	1	0	0	100,00	100,00
8/10/2023	2	1	0	50,00	100,00
8/11/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/12/2023	5	0	0	100,00	100,00
8/13/2023	4	0	0	100,00	100,00
8/14/2023	3	0	0	100,00	100,00
8/15/2023	4	1	0	75,00	100,00
8/16/2023	4	1	0	85,71	100,00
8/17/2023	7	1	0	100,00	100,00
8/18/2023	1	0	0	100,00	100,00
8/19/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/20/2023	1	0	0	100,00	100,00
8/21/2023	5	0	0	100,00	100,00
8/22/2023	5	0	0	100,00	100,00
8/23/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/24/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/25/2023	0	0	0	100,00	100,00
8/26/2023	5	0	0	100,00	100,00
8/27/2023	7	0	0	100,00	100,00
8/28/2023	5	1	0	80,00	100,00
8/29/2023	1	0	0	100,00	100,00
8/30/2023	1	0	0	100,00	100,00

Tabela 10: Resultados do cálculo da eficiência da ação de ozono para coliformes fecais.

Data	AB	AO	AT	Eficiência Parcial (%)	Eficiência Total (%)
12/27/2023	5	0	0	100,00	100,00
12/28/2023	26	8	0	69,23	100,00
12/29/2023	14	4	0	71,43	100,00
12/30/2023	37	0	0	100,00	100,00
12/31/2023	7	0	0	100,00	100,00
1/1/2024	4	0	0	100,00	100,00
1/2/2024	7	1	0	85,71	100,00
1/3/2024	9	0	0	100,00	100,00
1/4/2024	8	0	0	100,00	100,00
1/5/2024	4	1	0	75,00	100,00
1/6/2024	12	0	0	100,00	100,00
1/7/2024	19	0	0	100,00	100,00
1/8/2024	12	1	0	91,67	100,00
1/9/2024	7	3	0	57,14	100,00
1/10/2024	18	0	0	100,00	100,00
1/11/2024	28	0	0	100,00	100,00
1/12/2024	32	5	0	84,38	100,00
1/13/2024	2	0	0	100,00	100,00
1/14/2024	13	2	0	84,62	100,00
1/15/2024	0	5	0	100,00	100,00
1/16/2024	5	2	0	60,00	100,00
1/17/2024	5	1	0	80,00	100,00
1/18/2024	5	4	0	20,00	100,00
1/19/2024	7	0	0	100,00	100,00
1/20/2024	0	1	0	100,00	100,00
1/21/2024	3	2	0	33,33	100,00
1/22/2024	1	0	0	100,00	100,00
1/23/2024	0	0	0	100,00	100,00
1/24/2024	0	1	0	100,00	100,00
1/25/2024	0	3	0	100,00	100,00

Os resultados do teste de normalidade de *Anderson-Darling* estão apresentados na Tabela C2. Para os parâmetros microbiológicos em análise o valor-p < 0,05, portanto, nota-se que os dados não seguem uma distribuição normal. Por conseguinte, não se pode aplicar o teste de ANOVA, podendo-se, contudo, aplicar-se um teste não paramétrico alternativo, o teste de Kruskal-Wallis.

Aplicado o teste de Kruskal-Wallis, observa-se um contraste em relação aos resultados obtidos para coliformes totais. Os resultados apresentados nas Tabelas 11 e 12 demonstram que para coliformes fecais, existe diferença significativa entre os oxidantes usados na etapa de pré-oxidação, contudo, não existe diferença significativa entre os resultados da água bruta (AB) obtidos ao longo dos diferentes períodos de tratamento.

Tabela 11: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para determinação de coliformes fecais.

Estatística descritiva				
Oxidantes	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
Cloro	30	0,0	44,0	-0,38
Ozono	30	0,5	52,8	1,86
Permanganato de potássio	30	0,0	39,7	-1,48
Global	90		45,5	
Teste				
Método	GL	Valor H	Valor-p	
Não ajustado para empates	2	10,35	0,006	
Ajustado para empates	2	10,58	0,005	

Tabela 12: Resultados do teste de Kruskal-Wallis nos meses Agosto, Setembro, Dezembro de 2023 e Janeiro de 2024 para coliformes fecais.

Estatística descritiva				
Meses	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
Agosto	30	0,0	39,7	-1,48
Setembro	30	0,0	44,0	-0,38
Dezembro – Janeiro	30	0,5	52,8	1,86
Global	90		45,5	
Teste				
Método	GL	Valor H	Valor-p	
Não ajustado para empates	2	3,87	0,145	
Ajustado para empates	2	5,42	0,067	

5.2. Discussão dos resultados

5.2.1. Coliformes totais

Os dados apresentados nas Figuras 12-14 representam os resultados do parâmetro microbiológico coliformes totais, analisado na água bruta (AB) à entrada da ETA, água após pré-oxidação (AO) e água tratada (AT).

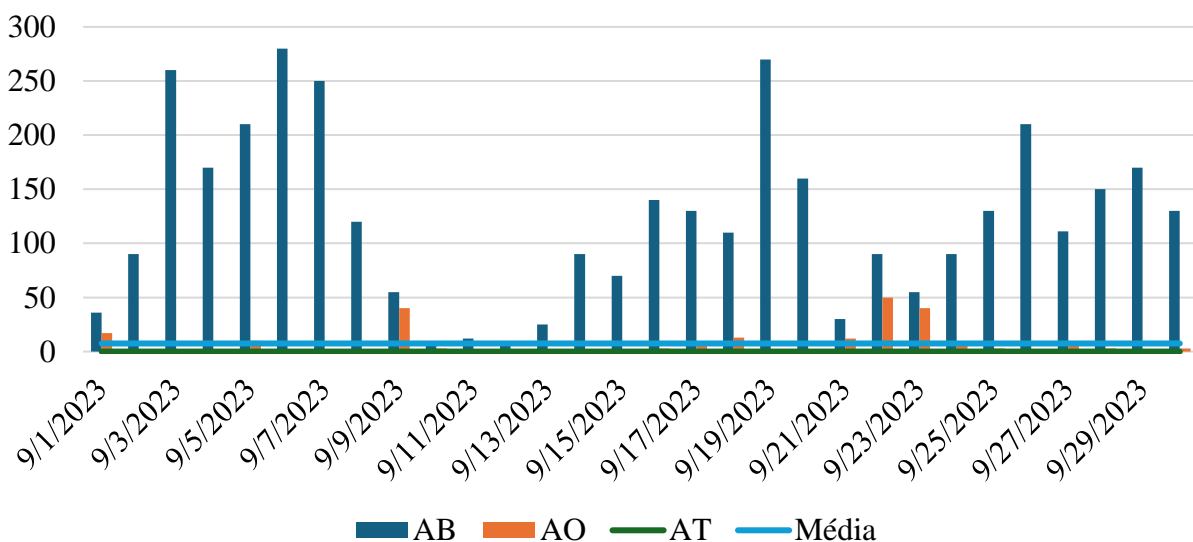


Figura 12: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c./100 mL na AB, AO e AT usando cloro gasoso como oxidante.

A Figura 12 mostra a variação do número de coliformes totais nas amostras de água (bruta e oxidada) no período em que o cloro foi utilizado como oxidante. Os valores mínimos e máximos do número de coliformes totais detectados nas amostras durante esse período estão compreendidos no intervalo de 6 a 280 u.f.c./100 mL para água bruta (AB) e de 0 a 50 u.f.c./100 mL para água oxidada (AO) respectivamente.

Pela análise, verifica-se que a ordem de grandeza do parâmetro coliformes totais ao longo das etapas do tratamento teve uma remoção considerável, chegando em algumas ocasiões mesmo na última etapa sem qualquer resultado positivo detectado deste parâmetro.

Cunha (2018) e Neutegem (2018) concordam que cloro gasoso é eficiente na desinfecção da água cumprindo as determinações da legislação quanto à desinfecção dos organismos indicadores de contaminação: coliformes totais e fecais. Contudo, quando comparado com oxidantes como ozono, verifica-se que os tempos de contacto associados ao ozono são muito menores do que aqueles

associados a qualquer outro oxidante. Os autores afirmam que baixas concentrações de ozono com tempos de contacto pequenos são suficientes para fins de desinfecção.

No entanto, devido ao seu elevado poder oxidante, o ozono é muito instável na água, por isso não deixa uma concentração residual que serve para garantir a segurança microbiológica ao longo da rede de distribuição de água. Por isso, não é possível utilizar o ozono como único agente germicida (Neutegem, 2018).

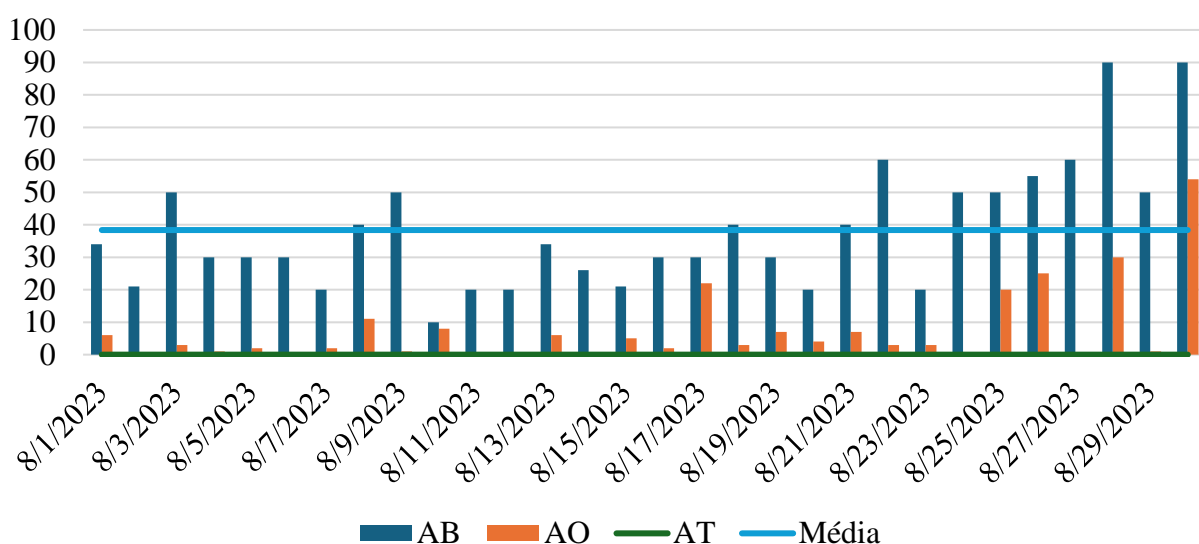


Figura 13: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c./100 mL na AB, AO e AT usando permanganato de potássio como oxidante.

Apesar da presença de coliformes na água oxidada (AO) quando comparado aos demais oxidantes, não é muito problemática visto que a água ainda não se destina nessa etapa ao consumidor, no entanto, demonstra uma certa ineficiência do oxidante para redução da carga microbiológica.

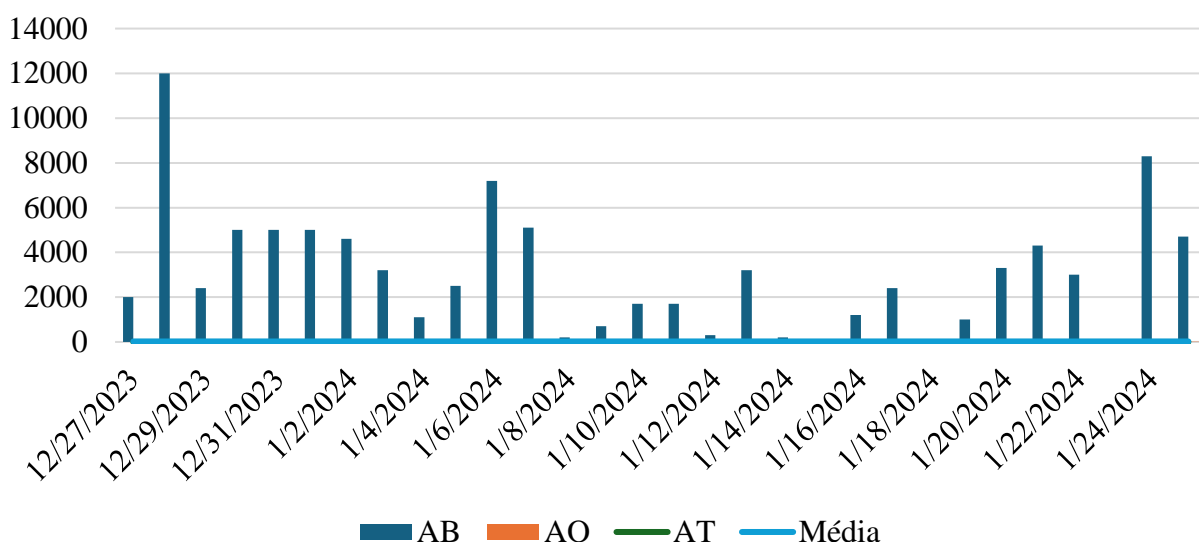


Figura 14: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes totais) medido em u.f.c./100 mL na AB, AO e AT usando ozono como oxidante.

É notável a diminuição (quase que a 100%) na ocorrência deste parâmetro na água oxidada, ao longo dos dias de análise.

Na Figura 14 verifica-se que existe uma diminuição da ocorrência deste grupo de microrganismos ao longo do tempo, na água oxidada e na água tratada, o que indica uma maior eficiência de remoção.

Um estudo realizado por Viegas (2010) na ETA Távira em Portugal, com as mesmas etapas de tratamento de água revelou resultados similares aos obtidos neste estudo, com uma diminuição do número de coliformes totais detectados ao longo de três anos. No último ano do estudo não houve detecção deste parâmetro.

Nesta etapa de pré-oxidação, o ozono destrói a parede celular destes microrganismos através da oxidação dos constituintes da membrana da parede celular assim como proteínas e lípidos (Viegas, 2010).

5.2.2. Coliformes fecais

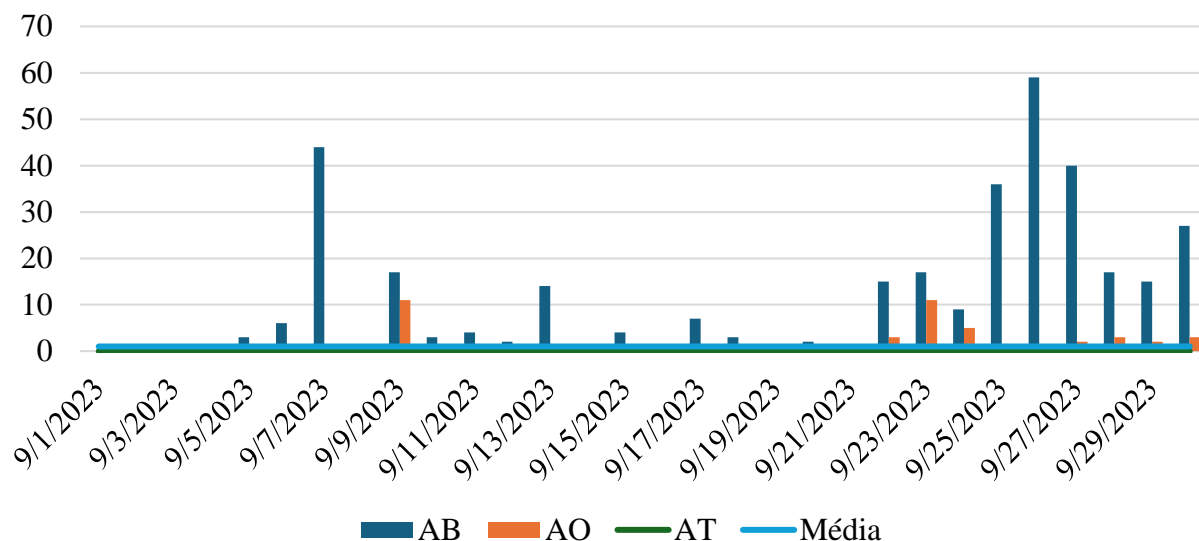


Figura 15: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando cloro gasoso como oxidante.

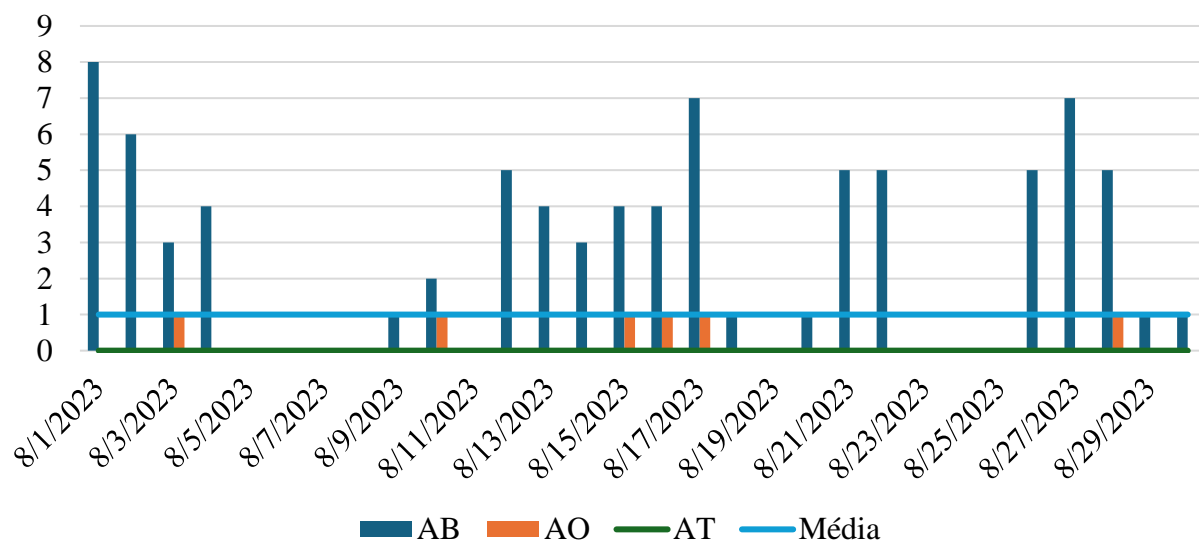


Figura 16: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando permanganato de potássio como oxidante.

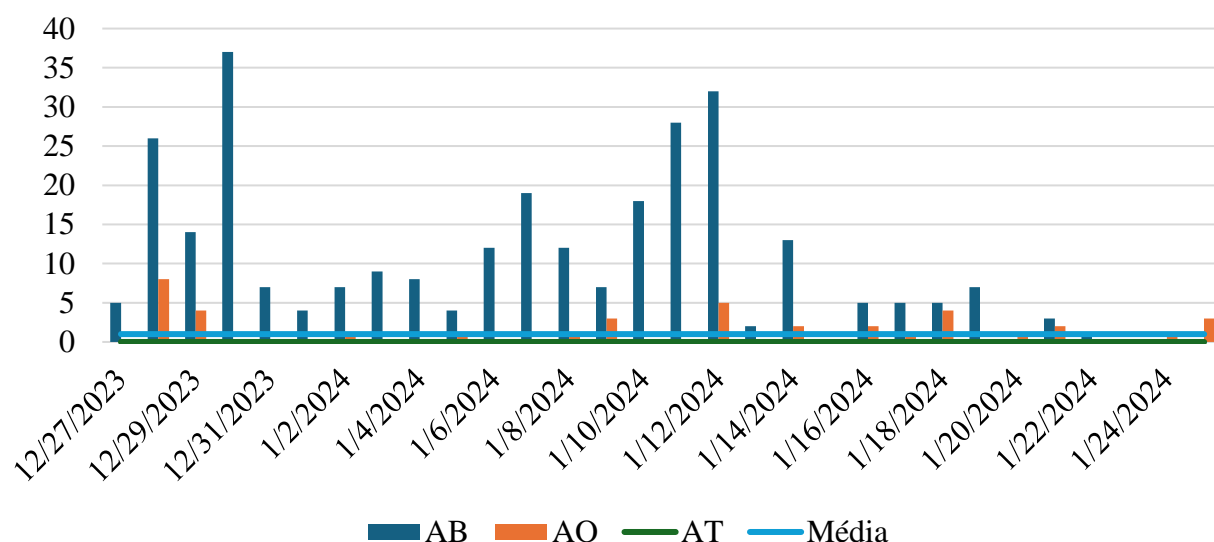


Figura 17: Gráfico do número de bactérias coliformes (coliformes fecais) medido em u.f.c/100 mL na AB, AO e AT usando ozono como oxidante.

Pela análise das Figuras 15-17, no gráfico correspondente a AB verifica-se que o parâmetro coliformes fecais não é constante. Segundo Pulido et al. (2005), a diferença na ocorrência de coliformes totais e fecais pode ser explicada pela natureza desses microrganismos. Coliformes totais incluem um grupo mais amplo de bactérias, algumas das quais podem não ser de origem fecal, enquanto coliformes fecais são especificamente associados a contaminação fecal.

Não houve detecção deste parâmetro na água tratada deste parâmetro, visto que bactérias coliformes são um grupo heterogêneo e a maioria são sensíveis à desinfecção.

5.2.3. Eficiência

Os resultados apresentados demonstram que os três oxidantes avaliados (cloro gasoso, permanganato de potássio e ozono) foram eficazes na remoção de coliformes totais e fecais. No entanto, a eficiência variou significativamente entre eles, especialmente a eficiência parcial correspondente à etapa de pré-oxidação, enquanto a eficiência global (após todo o processo de tratamento) foi de 100% para todos os oxidantes.

5.2.3.1. Coliformes totais

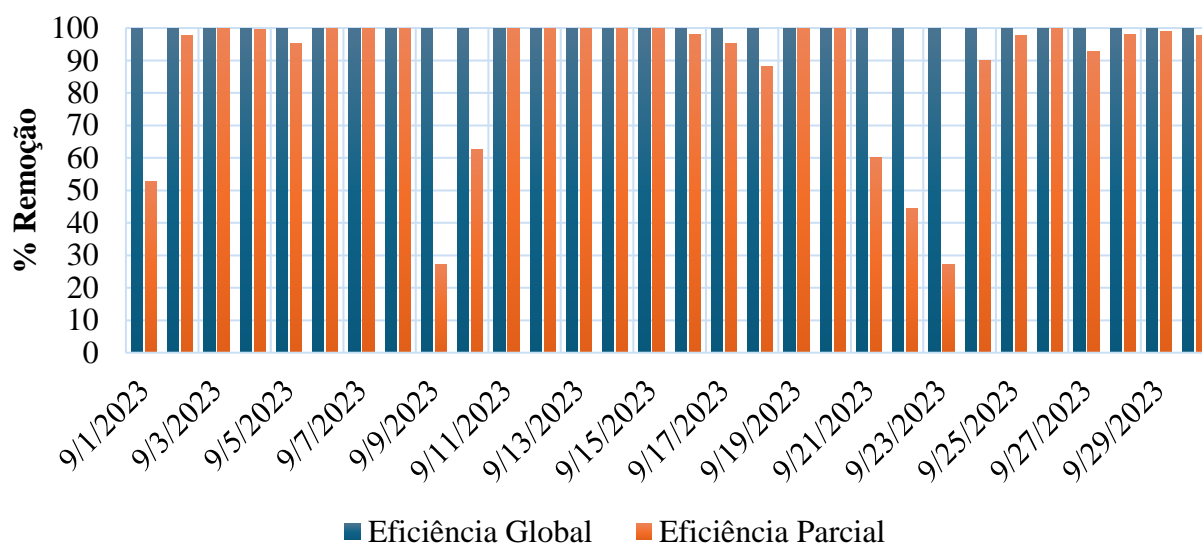


Figura 18: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando cloro como oxidante.

O cloro gasoso demonstrou uma eficiência parcial média de 87,44% na remoção de coliformes totais, com variações ao longo do período de estudo, possuindo um mínimo de 27,27% e um máximo de 100% (Tabela 3). Essa variação pode estar relacionada a presença de matéria orgânica ou variações no pH, que afectam a acção do cloro (Kim et al., 2002).

O pH da água é um factor importante relacionado a eficiência de alguns desinfectantes, principalmente cloro gasoso e dióxido de cloro. No caso do cloro, a eficiência da desinfecção diminui rapidamente à medida que o pH aumenta de 7 para 9. Esses são resultados da mudança nas espécies desinfectantes presentes predominantemente, de HOCl em pH 7 para predominantemente OCl^- em pH 9 (Hoff & Geldreich, 1981).

A presença de matéria orgânica pode consumir cloro, reduzindo a sua disponibilidade para a desinfecção (Drogui & Daghrir, 2015).

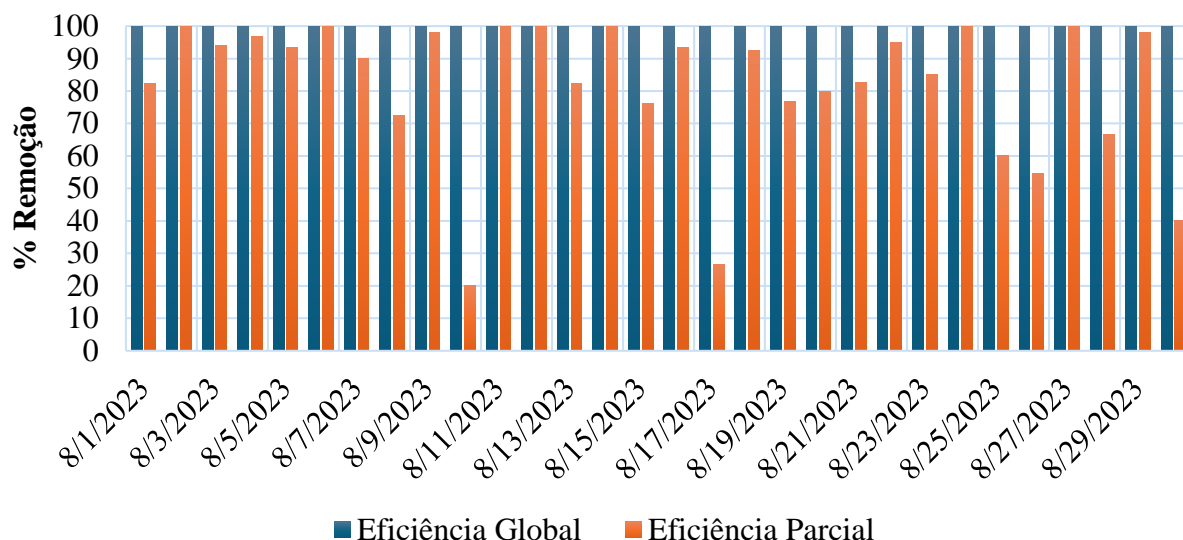


Figura 19: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando permanganato de potássio como oxidante.

O permanganato de potássio foi o menos eficaz, apresentou uma eficiência parcial média de 81,88%, com variações entre 20% e 100% (Tabela 4), reforçando a ideia de que o permanganato é menos eficaz contra microrganismos, especialmente em condições onde a matéria orgânica está presente. Essa eficiência mais baixa em comparação com o cloro e o ozono pode ser explicada por:

- Mecanismo de acção: o permanganato actua principalmente na oxidação de compostos inorgânicos, como ferro e manganês, e tem uma acção limitada sobre microrganismos (Beluli, 2020).
- Formação de subprodutos: a redução do permanganato a dióxido de manganês (MnO_2) pode interferir na eficiência do processo (Piezer et al., 2021).

Um estudo realizado por Piezer et al. (2021) concluiu que a eficiência do permanganato é limitada em águas com alta carga orgânica pois é consumido rapidamente por outros compostos. Concluiu ainda que o permanganato é menos eficaz do que o cloro e o ozono, em águas com alta turbidez.

Entretanto, os resultados obtidos por Xie et al. (2013) apontam que a pré-ozonização aumenta significativamente a formação de DBPs tanto das células quanto da fase dissolvida, mas a formação de DBPs é afectada apenas ligeiramente pela peroxidação do permanganato. Enquanto isso, a integridade e a morfologia das células de algas são danificadas significativamente pela pré-

ozonização, mas não pela pré-oxidação com permanganato. Como resultado, muito mais matéria orgânica é libertada na fase dissolvida após a pré-ozonização em comparação ao permanganato.

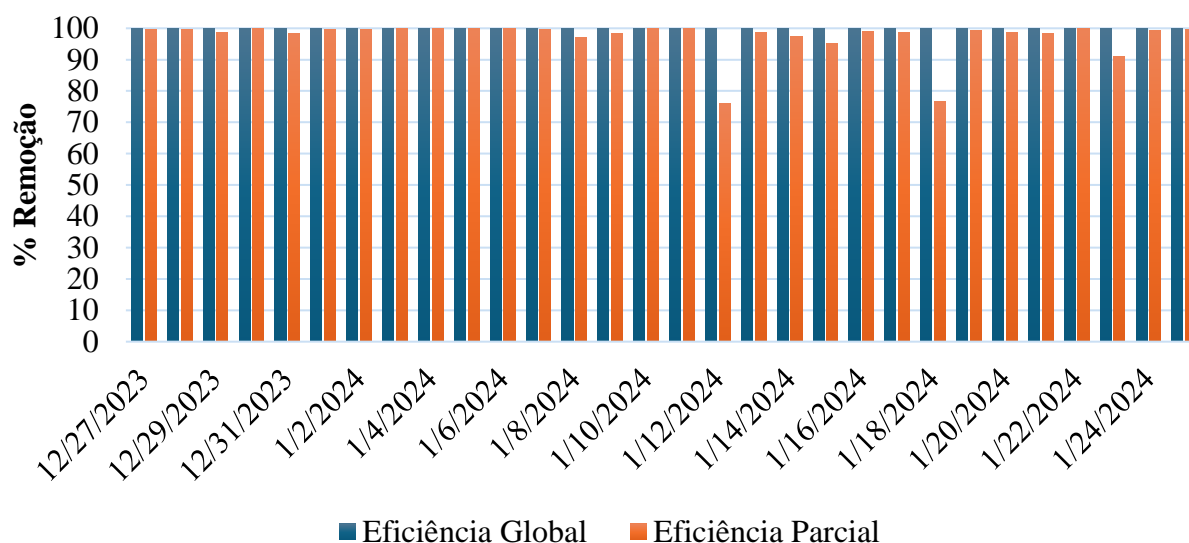


Figura 20: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes totais) usando ozono como oxidante.

O ozono destacou-se como oxidante mais eficaz, com uma eficiência parcial média de 97,28% na remoção de coliformes totais. Isso está alinhado com a literatura, que descreve o ozono como um oxidante potente e de amplo espectro, capaz de inativar microrganismos de forma rápida e eficiente (Mao et al., 2014; Verma et al., 2016). O ozono actua principalmente através da formação de espécies reactivas de oxigénio (ROS), que danificam a parede celular, o DNA e as enzimas dos microrganismos (Chen et al., 2021).

As variações na eficiência podem ser explicadas através de um dos principais factores que afecta a desinfecção, que é o grau de dispersão do oxidante na água, os oxidantes químicos precisam estar uniformemente dispersos na água, para garantir uma concentração uniforme, portanto, a agitação favorece a desinfecção pois a acção dos oxidantes na destruição ou inactivação dos microrganismos não é instantânea, em geral, o processo se desenvolve de maneira gradativa, ocorrendo etapas físicas, químicas e bioquímicas (Meyer, 1994).

5.2.3.2. Coliformes fecais

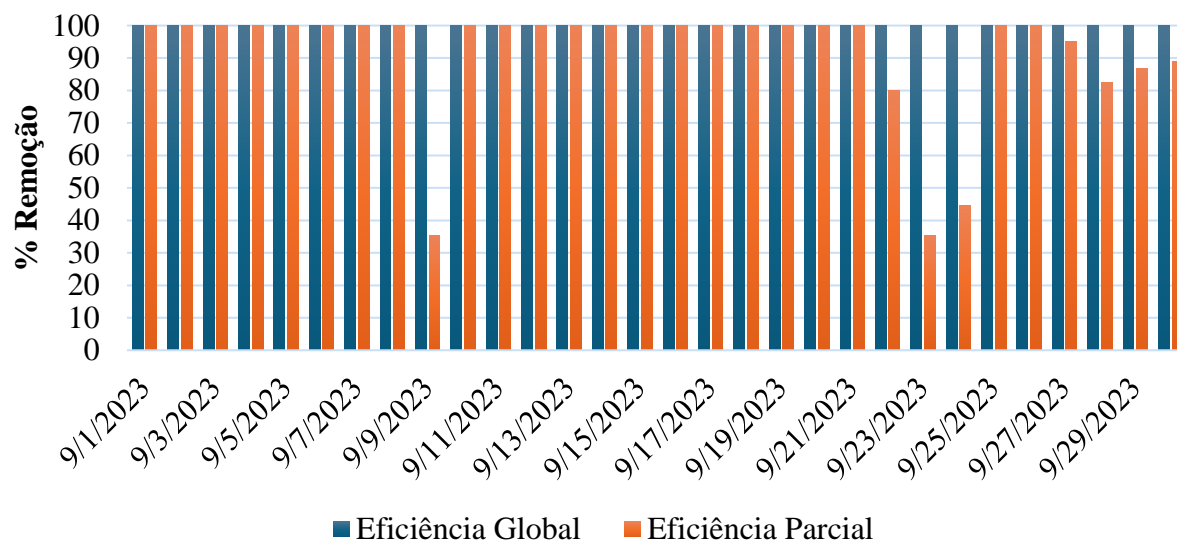


Figura 21: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando cloro gasoso como oxidante.

O cloro gasoso apresentou eficiência global de 100% na remoção de coliformes fecais, mas a eficiência parcial variou entre 35,29% e 100% (Tabela 8). A eficiência parcial mais baixa ocorreu em dias com alta carga orgânica, onde o cloro pode ser consumido antes de atingir os microrganismos. De acordo com os resultados obtidos por Droguí & Daghrir (2015), isso está em consonância com estudos que mostram que o cloro é eficaz contra coliformes fecais, mas a sua ação pode ser limitada pela presença de matéria orgânica e outros interferentes.

O trabalho realizado por Hoff & Geldreich (1981), onde foram analisados diversos desinfetantes alternativos incluindo ClO_2 e HOCl , revelou que as mudanças parecem ser uma função da sensibilidade do microrganismo e não uma função da mudança nas espécies desinfetantes presentes, uma vez que o dióxido de cloro não se dissocia ou desproporciona em diferentes espécies químicas dentro de uma determinada faixa de pH. Por exemplo, em *E. coli*, a eficiência de inativação ou desinfecção de ClO_2 em pH 8,5 é maior do que em valores de pH mais baixos.

Segundo Hoff & Geldreich (1981), estas diferenças de eficiências em diferentes níveis de pH ocorrem porque diferentes microrganismos reagem de forma diferente e os mesmos microrganismos podem reagir de forma diferente sob várias condições.

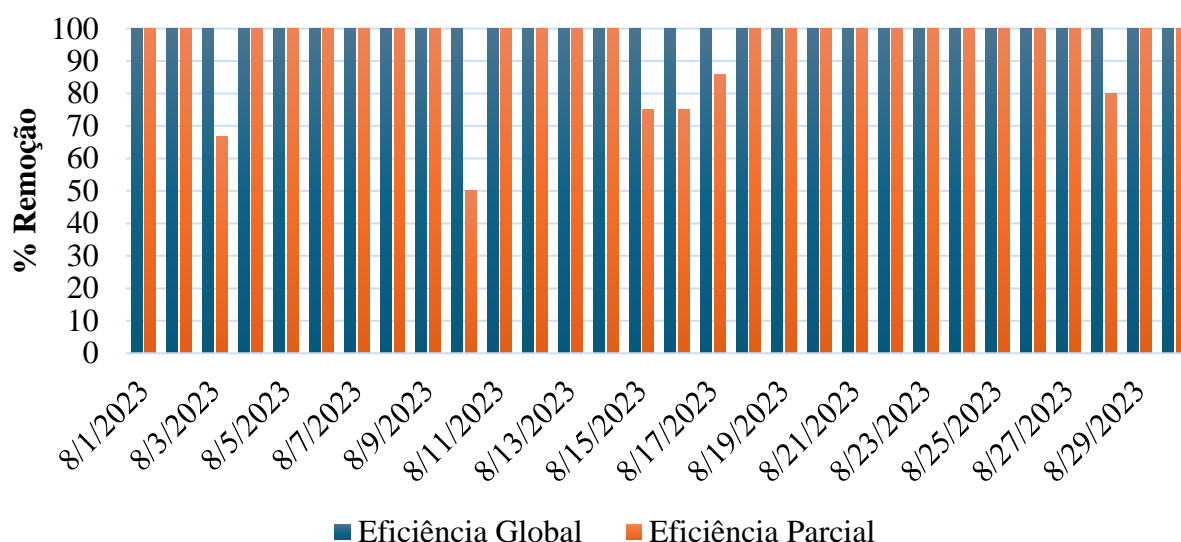


Figura 22: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando permanganato de potássio como oxidante.

O permanganato de potássio apresentou eficiência global de 100% na remoção de coliformes fecais, mas a eficiência parcial variou entre 50% a 100% (Tabela 9). A eficiência parcial baixa ocorreu em dias com alta carga orgânica, onde o permanganato pode ser consumido antes de atingir os microrganismos. Reforçando a ideia de que embora o permanganato seja eficaz na oxidação de compostos inorgânicos como ferro e manganês, a sua acção sobre os microrganismos é menos pronunciada (Beluli, 2020; Piezer et al., 2021).

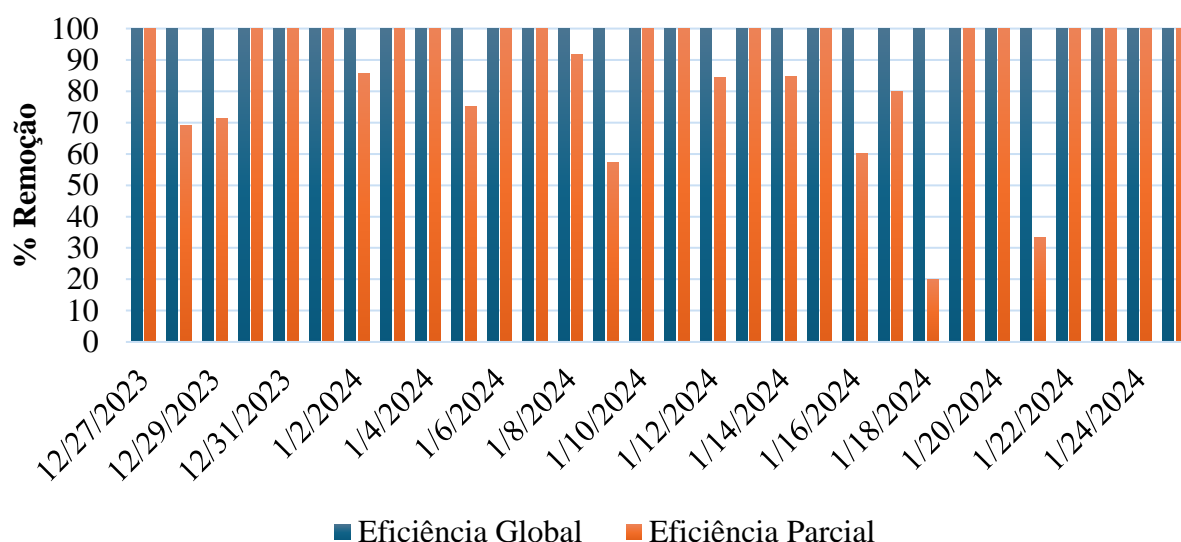


Figura 23: Gráfico da eficiência de redução microbiológica (coliformes fecais) usando ozono como oxidante.

O ozono apresentou eficiência global de 100% na remoção de coliformes fecais, com eficiência parcial variando entre 20% e 100% (Tabela 10). Apesar das oscilações visíveis na eficiência, a eficiência parcial foi superior à do cloro e do permanganato, reforçando a superioridade do ozono. Segundo Verma et al. (2016), eficiências mais baixas na desinfecção ocorrem em dias com alta carga orgânica, onde o ozono pode ser consumido antes de atingir os microrganismos.

O ozono tem sido relatado como eficaz na eliminação de bactérias, vírus, bem como certas formas de algas. É geralmente aceito que o ozono molecular é um biocida mais eficaz do que os radicais hidroxilo, uma vez que estes últimos são espécies de vida muito curta e não seletivas. Para *Escherichia coli*, o ozono penetra na membrana celular e reage com substâncias citoplasmáticas. Além disso, os ácidos desoxirribonucleicos cromossômicos podem ser degradados, sendo um dos factores responsáveis pela morte celular (Camel & Bermond, 1998).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

A água bruta registou variações em termos de números de coliformes totais e fecais durante o período de análise, tendo registado um mínimo de 6 e máximo de 12000 para coliformes totais e 0 e 32 para coliformes fecais.

O estudo demonstrou que os três oxidantes avaliados são eficientes na remoção de coliformes totais e fecais na etapa de pré-oxidação da água, com eficiência global de 100% após o tratamento completo. No entanto, a eficiência parcial variou significativamente:

- O cloro gasoso apresentou alta eficiência, com uma eficiência parcial média de 87,44% na remoção de coliformes totais e 91,60% na remoção de coliformes fecais;
- O permanganato de potássio foi o menos eficaz, com uma eficiência parcial média de 81,88% na remoção de coliformes totais e 94,41% na remoção de coliformes fecais;
- O ozono foi o oxidante mais eficaz, com eficiência parcial média de 97,28% na remoção de coliformes totais e 87,08% na remoção de coliformes fecais.

Em termos de viabilidade e sustentabilidade:

- O ozono é o oxidante mais eficaz, devendo ser considerado para estações de tratamento que priorizam a eficiência na desinfecção, especialmente em águas com alta carga microbiológica. Contudo, o seu custo elevado e complexidade de implementação podem limitar a sua aplicação em algumas estações de tratamento de água.
- O cloro gasoso é mais acessível e amplamente utilizado, mas a sua aplicação deve ser acompanhada de monitoramento rigoroso dos subprodutos gerados.
- O permanganato de potássio é mais adequado para a remoção de compostos inorgânicos, como ferro e manganês, mas a sua eficácia na desinfecção é limitada, especialmente em águas com alta carga orgânica.

A escolha estratégica de agentes de controlo microbiológico como a desinfecção com oxidantes químicos na etapa de pré-oxidação e o cloro como oxidante químico na desinfecção final pela ETA, é uma estratégia bem concebida, visto que quando são apresentadas falhas na pré-oxidação a desinfecção final elimina qualquer irresolução de contaminação por parâmetros microbiológicos e minimiza ainda a utilização do cloro gasoso em dosagens altas pois dentre os oxidantes analisados,

o cloro gasoso é o que mais acarreta riscos significativos para o meio ambiente, além de precisar de um controle rigoroso para garantir a sua eficiência.

6.2. Recomendações

- Estudar a desinfecção em diferentes níveis de pH;
- Investigar a influência sazonal na eficiência de desinfecção;
- Comparar os diferentes oxidantes com base na formação de subprodutos associados a cada oxidante;
- Avaliar a eficiência dos oxidantes contra outros patógenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Juboori, R., Aravinthan, V. & Yusaf, T. (2010). A review of Common and Alternative Methods for Disinfection of Microorganisms in Water. *Southern Region Engineering Conference*, 1–9.
- Arbos, K. A., Araújo, I. M. de, Borba Larissa de Oliveira Fernandes, Melo, L. G. F. O. de & Soares, M. F. de S. (2017). Qualidade microbiológica da água para consumo humano no loteamento nova esperança: litoral sul da Paraíba e sua importância para a saúde pública. *Revista de ciências da saúde Nova Esperança*, 15(2), 50–56.
- Avancini, C. A. M. & Both, J. M. C. (2017). Efeito da atividade bactericida de três desinfetantes sobre *Staphylococcus aureus* resistentes a metilicina (MRSA). *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção*, 7(2). <https://doi.org/10.17058/reci.v7i2.7460>
- Azim, N., Diaz, A., Li, W., Calle, L. M., Irwin, T. & Callahan, M. R. (2020). Literature Review of Disinfection Techniques For Water Treatment. *International Conference on Environmental System*, 2–16.
- Beluli, V. M. (2020). Kinetics of oxidation of manganese by potassium permanganate and chloride in the Velekinca water treatment plant, Kosovo. *Journal of Water and Land Development*, 47(1), 30–37. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.135029>
- Bitencourt, G. de A. & Monteiro, R. T. R. (2021). Capítulo 21 Lodo de estação de tratamento de água: compostagem e cultivo em milho. *O meio Ambiente e a Interface dos Sistemas Social e Natural* 3, 296–307.
- Camel, V. & Bermond, A. (1998). The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. *Water Research*, 32(11), 3208–3222.
- Chaukura, N., Marais, S. S., Moyo, W., Mbali, N., Thakalekoala, L. C., Ingwani, T., Mamba, B. B., Jarvis, P. & Nkambule, T. T. I. (2020). Contemporary issues on the occurrence and removal of disinfection byproducts in drinking water - A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103659>
- Chen, Y. di, Duan, X., Zhou, X., Wang, R., Wang, S., Ren, N. qi & Ho, S. H. (2021). Advanced oxidation processes for water disinfection: Features, mechanisms and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 409, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128207>

- Cunha, R. D. G. da. (2018). *Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio in loco em estação de tratamento de água de grande porte*. [Universidade Federal de Uberlândia]. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2018.727>
- Da Silva, M. O. & Aquino, S. (2018). Resistência aos antimicrobianos: uma revisão dos desafios na busca por novas alternativas de tratamento. *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção*, 8(4), 472–482. <https://doi.org/10.17058/reci.v8i4.11580>
- Dantas, A. K. D., Souza, C., Ferreira, M. S., Andrade, M. A., Andrade, D. de & Watanabe, E. (2010). Qualidade microbiológica da água de bebedouros destinada ao consumo humano. *Revista biociências, UNITAU*, 16(2), 132–138.
- Do, T., Cunha, N., Pascoalotto, D., Soraya & Pirangy, R. (2011). Comparação de duas técnicas para avaliação da presença de coliformes termotolerantes em amostras de água. *XX Jornada de Iniciação Científica PIBIC INPA - CNPq/FAPEAM*.
- Drogué, P. & Daghrir, R. (2015). Chlorine for Water Disinfection: Properties, Applications and Health Effects. Em *CO2 Sequestration, Biofuels and Depollution* (pp. 1–32). https://doi.org/10.1007/978-3-319-11906-9_1
- Ersoy, Z. G., Dinc, O., Cinar, B., Gedik, S. T. & Dimoglo, A. (2019). Comparative evaluation of disinfection mechanism of sodium hypochlorite, chlorine dioxide and electroactivated water on *Enterococcus faecalis*. *LWT*, 102, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.041>
- Fan, J., Daly, R., Hobson, P., Ho, L. & Brookes, J. (2013). Impact of potassium permanganate on cyanobacterial cell integrity and toxin release and degradation. *Chemosphere*, 92(5), 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.022>
- Fontenele, R. D. & Costa, C. L. (2023). Resistência antimicrobiana: os desafios nas infecções bacterianas multirresistentes no Brasil. *Brazilian Journal of Health Review*, 6(3), 11347–11357.
- Gad, A. A. M. & El-Tawel, S. (2016). Effect of pre-oxidation by chlorine/permanganate on surface water characteristics and algal toxins. *Desalination and Water Treatment*, 57(38), 17922–17934. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1087337>
- GAUFF Engineering. (2019, Janeiro). *Apoio técnico para a construção do sistema de tratamento de água, das estações de bombeamento e de armazenamento de água para o projecto para o alargamento do abastecimento de água em Maputo*.

https://www.gauff.net/pt/referencias/mocambique/sabie-tratamento-de-agua.html?utm_source=chatgpt.com

- Gerba, C. P. (2009). Chapter 23 - Indicator Microorganisms. Em R. M. Maier, I. L. Pepper, & C. P. Gerba (Eds.), *Environmental Microbiology* (2nd ed., pp. 485–499). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00023-7>
- Gomes, C. M. F., Ferreira, D. R. F., Lima, L. P., Marques, L. de L., Brito, T. M. de, Barros, N. B. de & Araujo, R. A. B. (2024). A resistência dos microrganismos em desinfetantes usados em laboratório. *Brazilian Journal of Development*, 10(12), 01–14.
- Gradim, A. J. & Anjos, M. (2015). *Guia Microbiologia*.
- Hoff, J. C. & Geldreich, E. E. (1981). Comparison of the biocidal efficiency of alternative disinfectants. *American Water Works Association*, 41–44.
- Hu, J., Chu, W., Sui, M., Xu, B., Gao, N. & Ding, S. (2018). Comparison of drinking water treatment processes combinations for the minimization of subsequent disinfection by-products formation during chlorination and chloramination. *Chemical Engineering Journal*, 335, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.144>
- Júnior, S. de A. S., Baraúna, L., Santos, G. A. L. dos, Pagung, E., Carvalho, P. L., Freire, S. C. V., Moraes, R. & Santos, R. P. (2014). Perfil de resistência de *Pseudomonas aeruginosa* provenientes de água superficial e efluente hospitalar - teste de sensibilidade a antimicrobianos e detecção de metalo- β -lactamase. *Rev. Bras. Pesq. Saúde*, 16(4), 97–104.
- Kim, B. R., Anderson, J. E., Mueller, S. A., Gaines, W. A. & Kendall, A. M. (2002). Literature review—efficacy of various disinfectants against *Legionella* in water systems. *Water Research*, 36(18), 4433–4444. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00188-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00188-4)
- Kumar, M. V. (2021). Drinking Water Treatment With Disinfection Method: A Review. *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering*, 8(4), 1–10. www.ijste.org
- Langa, D. (2017, Julho 17). *Água de Corumana começa a abastecer Maputo próximo ano*. <https://opais.co.mz/agua-de-corumana-comeca-a-abastecer-maputo-proximo-ano/>
- Langa, D. (2021, Junho 2). *PR inaugura Estação de Tratamento de Água de Sábiè*. https://opais.co.mz/pr-inaugura-estacao-de-tratamento-de-agua-de-sabie/?utm_source=chatgpt.com

- Lucon, I. M., Berton, R. S. & Coscione, A. R. (2016). *Uso agrícola do lodo de estação de tratamento de água - efeito na fertilidade do solo*.
- Machado, T. R. M., Malheiros, P. da S., Brandelli, A. & Tondo, E. C. (2010). Avaliação da resistência de *Salmonella* à ação de desinfetantes ácido peracético, quaternário de amônio e hipoclorito de sódio. *Rev Inst Adolfo Lutz*, 69(4), 475–481.
- Mao, Y., Guo, D., Yao, W., Wang, X., Yang, H., Xie, Y. F., Komarneni, S., Yu, G. & Wang, Y. (2018). Effects of conventional ozonation and electro-peroxone pretreatment of surface water on disinfection by-product formation during subsequent chlorination. *Water Research*, 130, 322–332. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.019>
- Mao, Y., Wang, X., Yang, H., Wang, H. & Xie, Y. F. (2014). Effects of ozonation on disinfection byproduct formation and speciation during subsequent chlorination. *Chemosphere*, 117(1), 515–520. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.083>
- Meyer, S. T. (1994). O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. *Cadernos de Saúde Pública*, 10(1), 99–110. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>
- Morselli, L. B. G. A., Carmo, L. A. G. do, Quadro, M. S. & Andreazza, R. (2022). Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. *Scientia Plena*, 18(5). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.051701>
- Neutegem, K. A. V. (2018). *Estudo comparativo entre métodos de desinfecção por cloro e por ozônio em estações de tratamento de água, com foco na degradação de desreguladores edócrinos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nghi, N. H., Cuong, L. C., Dieu, T. V., Ngu, T. & Oanh, D. T. Y. (2018). Ozonation process and water disinfection. *Vietnam Journal of Chemistry*, 56(6), 717–720. <https://doi.org/10.1002/vjch.201800076>
- Ofori, I., Maddila, S., Lin, J. & Jonnalagadda, S. B. (2018). Chlorine dioxide inactivation of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* in water: The kinetics and mechanism. *Journal of Water Process Engineering*, 26, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.09.001>
- Oturan, M. A. & Aaron, J. J. (2014). Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(23), 2577–2641. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829765>

- Piezer, K., Li, L., Jeon, Y., Kadudula, A. & Seo, Y. (2021). The Application of Potassium Permanganate to Treat Cyanobacteria-Laden Water: a Review. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 400–414. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.058>
- Pulido, M. del P. A., Navia, S. L. Á. de, Torres, S. M. E. & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova-publicación científica*, 3(4), 69–79.
- Pullés, M. R. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba. Em *Revista CENIC Ciencias Biológicas* (Vol. 45, Número 1).
- Ramos, G. D. M., Machado Junior, H. F., Silva, V. L., Castelan, F. G., Guerra, A. F., Fernandes, M. M. & Gaspar, A. (2008). Qualidade microbiológica da água consumida pela população do Distrito do Sana, Macaé, Rio de Janeiro. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 67(2), 100–105.
- Regulamento sobre a Qualidade da Água para o Consumo Humano em Moçambique. (2004). *Diploma Ministerial 180/2004*.
- Rougé, V., Von Gunten, U., Lafont De Sentenac, M., Massi, M., Wright, P. J., Croué, J. P. & Allard, S. (2020). Comparison of the impact of ozone, chlorine dioxide, ferrate and permanganate pre-oxidation on organic disinfection byproduct formation during post-chlorination. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(9), 2382–2395. <https://doi.org/10.1039/d0ew00411a>
- Santana, A. de, Silva, S. C. F. L., Farani, I. O. Jr., Amaral, C. H. R. & Macedo, V. F. (2003). Qualidade microbiológica de águas minerais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23, 190–194.
- Santos, A. B. A. & Gois, L. L. (2021). Resistência bacteriana a biocidas : uma revisão da literatura. *Anais da 24a Semana de Mobilização Científica - SEMOC*.
- Selbes, M., Kim, D. & Karanfil, T. (2014). The effect of pre-oxidation on NDMA formation and the influence of pH. *Water Research*, 66, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.015>
- Sousa, C. P. de. (2006). Segurança alimentar e doenças veiculadas por alimentos: utilização do grupo coliforme como um dos indicadores de qualidade de alimentos. *Revista APS*, 9(1), 83–88.

- Vanessa, N. & Silva, M. (2016). *Acompanhamento da Otimização do Processo de Tratamento da ETA do Carvoeiro*. Universidade de Aveiro.
- Vasconcellos, F. C. da S., Iganci, J. R. V. & Ribeiro, G. A. (2006). Qualidade microbiológica da água do rio São Lourenço. *Arquivos do Instituto Biológico*, 73(2), 177–181. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v73p1772006>
- Verma, K., Gupta, D. & Gupta, A. B. (2016). Optimization of ozone disinfection and its effect on trihalomethanes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3021–3032. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.06.017>
- Viegas, A. de S. (2010). *Estudo das capacidades de redução microbiológica na etapa de pré-oxidação e global da estação de tratamento de água de Tavira*. Universidade do Algarve.
- Von, U. G. (2007). The basics of oxidants in water treatment. Part B: ozone reactions. *Water Science and Technology*, 55(12), 25–29. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.382>
- Voukkali, I. & Zorpas, A. A. (2015). Disinfection methods and by-products formation. *Desalination and Water Treatment*, 56(5), 1150–1161. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.941010>
- Wang, J., Chen, W., Wang, T., Reid, E., Krall, C., Kim, J., Zhang, T., Xie, X. & Huang, C.-H. (2023). Bacteria and Virus Inactivation: Relative Efficacy and Mechanisms of Peroxyacids and Chlor(am)ine. *Environmental Science & Technology*, 57(47), 18710–18721. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09824>
- Wenk, J., Aeschbacher, M., Salhi, E., Canonica, S., Von Gunten, U. & Sander, M. (2013). Chemical oxidation of dissolved organic matter by chlorine dioxide, chlorine, and ozone: Effects on its optical and antioxidant properties. *Environmental Science and Technology*, 47(19), 11147–11156. <https://doi.org/10.1021/es402516b>
- Xie, P., Ma, J., Fang, J., Guan, Y., Yue, S., Li, X. & Chen, L. (2013). Comparison of permanganate preoxidation and preozonation on algae containing water: Cell integrity, characteristics, and chlorinated disinfection byproduct formation. *Environmental Science and Technology*, 47(24), 14051–14061. <https://doi.org/10.1021/es4027024>
- Yang, X., Guo, W., Zhang, X., Chen, F., Ye, T. & Liu, W. (2013). Formation of disinfection by-products after pre-oxidation with chlorine dioxide or ferrate. *Water Research*, 47(15), 5856–5864. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.010>

ANEXOS

ANEXO A. Microrganismos, doenças associadas e oxidantes usados no tratamento da água para o consumo humano

Tabela A1: Microrganismos patogénicos presentes na água.

Bactérias	Vírus	Protozoários	Fungos
<i>Salmonella</i>	<i>Hepatitis A</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Candida</i>
<i>Shigella</i>	<i>Enteroviruses</i>	<i>Entamoeba</i>	<i>Cryptococcus</i>
<i>Yersinia</i>	<i>Poliovirus</i>	<i>Giardia</i>	<i>Trichosporon</i>
<i>Escherichia</i>	Coxsackie vírus	<i>Balantidium</i>	<i>Fungi</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Echovirus</i>	<i>Toxoplasma</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Clostridia</i>	<i>Rotavirus</i>	<i>Sarcocystis</i>	<i>Phialophora</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Adenovirus</i>	<i>Cestodes</i>	<i>Geotrichum</i>
<i>Listeria</i>	<i>Reovirus</i>	<i>Taenia</i>	<i>Trichophyton</i>
<i>Vibrio</i>	<i>Astrovirus</i>	<i>Diphyllobothrium</i>	<i>Epidermophyton</i>
<i>Mycobacterium</i>	<i>Calicivirus</i>	<i>Echinococcus</i>	
<i>Leptospira</i>	<i>Coronavirus</i>	<i>Nematodes</i>	
<i>Campylobacter</i>	<i>Norwalk</i>	<i>Acaris</i>	
<i>Staphylococcus</i>		<i>Toxocara</i>	
<i>Streptococcus</i>		<i>Ancylostoma</i>	
		<i>Necator</i>	
		<i>Hymenolepsis</i>	

Fonte: Azim et al. (2020).

Tabela A2: Doenças associadas a patógenos presentes na água.

Microrganismo	Doença
<i>Campylobacter</i> spp.	Síndrome de Guillian-Barré (transtorno neurológico autoimune)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis (febre, dor abdominal e diarreia)
<i>Helicobacter pylori</i>	Câncer gástrico
<i>Enterobacter</i> spp.	Gastroenterite aguda
<i>Citrobacter</i> spp.	Abcessos, meningite, bacteremia
<i>Klebsiella</i> spp.	Artrite reactiva
<i>E. coli</i> O157:H7	Síndrome hemolítico-urémica
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Diarreia
<i>E. coli</i> enteropatogénica	Destruição de microvilosidades
<i>E. coli</i> enteroinvasiva	Diarreia
<i>E. coli</i> enterohemorrágica	Insuficiência renal aguda
<i>E. coli</i> enteroagregativa	Meningite neonatal
<i>Salmonella</i> spp	Salmonelose
<i>Shigella</i> spp.	Shigelosis (diarreia, febre, dor abdominal, vômitos e náuseas)
<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera

Fonte: Pullés (2014).

Tabela A3: Comparação entre os oxidantes comumente utilizados no tratamento de água para consumo humano.

Oxidantes	Vantagens	Desvantagens
Cloro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Oxida ferro, manganês e sulfuretos; ➤ Controla a cor, o sabor e o paladar; ➤ Biocida eficaz ➤ Desinfectante mais barato, mais simples de usar e mais conhecido; ➤ Pode ser empregue como desinfectante residual; ➤ Pode ser usado na forma de hipoclorito de sódio e de cálcio. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gera subprodutos halogenados e clorato; ➤ Pode conferir cheiro e sabor à água; ➤ Menos eficaz em meio básico; ➤ Origina subprodutos biodegradáveis que podem desenvolver o crescimento microbiano no transporte e distribuição.
Dióxido de cloro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mais eficaz que o hipocloroso e cloraminas na inativação de vírus (<i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp.); ➤ Oxida ferro, manganês e sulfuretos; ➤ Menor geração de subprodutos halogenados; ➤ Poder desinfectante não é perturbado pelo pH; ➤ Pode ser empregue como desinfectante residual. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formação de clorito e clorato; ➤ Menos económico; ➤ Decompõe-se sob a acção da luz solar; ➤ Deve ser gerado no local de aplicação; ➤ Pode dar origem a odores.
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mais eficaz que o cloro, cloraminas e o dióxido de cloro na inativação de vírus (<i>Cryptosporidium</i> spp. E <i>Giardia</i> spp.); ➤ Oxida ferro, manganês e sulfuretos; ➤ Diminui a turvação; ➤ Controla a cor, o sabor e o paladar; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipamento e gastos energéticos dispendiosos; ➤ É corrosivo e tóxico; ➤ Maior geração de subprodutos biodegradáveis que pode provocar o crescimento microbiano durante o transporte.

Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-Sábiè

	<ul style="list-style-type: none">➤ Exige pouco tempo de contacto;➤ Na inexistência de bromo não se formam subprodutos halogenados;➤ Desinfecção não influenciada pelo pH	
Permanganato de potássio	<ul style="list-style-type: none">➤ Oxida ferro e manganês;➤ Oxida compostos que ocasionam sabor e odor;➤ Simples de transportar, armazenar e aplicar;➤ Usando para controlar a formação de THM e outros produtos.	<ul style="list-style-type: none">➤ Necessita de longos tempos de contacto;➤ Propensão a dar uma tonalidade rosa à água;➤ Tóxico em doses elevadas.

Fonte: Vanessa & Silva (2016).

ANEXO B. Condições de operação da ETA

Tabela B1: Condições de operação no mês de Agosto.

Agosto de 2023		Taxa de produtos químicos					
Dia	Caudal (m³/h)	Sudfloc (g/m³)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g/m³)	KMnO ₄ (g/m³)	Cloro (g/m³)	pH	Temperatura (°C)
1	1884	5,0	0,0	0,5	3,0	7,39	19,90
2	1854	5,0	0,0	0,5	2,1	7,41	20,50
3	1882	5,0	0,0	0,5	2,6	7,44	19,90
4	1855	5,0	0,0	0,5	2,6	7,21	20,30
5	1906	5,0	0,0	0,5	2,6	7,15	20,70
6	1884	5,0	0,0	0,5	2,6	7,31	20,10
7	1926	5,0	0,0	0,5	2,5	7,33	19,70
8	1832	5,0	0,0	0,5	2,7	7,22	20,20
9	1818	5,0	0,0	0,5	2,7	7,24	20,30
10	1868	5,0	0,0	0,5	2,6	7,24	20,40
11	1921	5,0	0,0	0,6	2,6	7,14	21,50
12	1818	5,0	0,0	0,6	2,7	7,09	20,80
13	1878	5,0	0,0	0,6	2,6	7,05	19,70
14	1924	5,0	0,0	0,7	2,6	7,33	20,10
15	1832	5,0	0,0	0,8	2,7	7,29	20,60
16	1834	5,0	0,0	0,7	2,7	7,12	21,10
17	1888	5,0	0,0	0,7	2,6	7,30	20,70
18	1900	5,0	0,0	0,6	2,6	7,27	20,70
19	1989	0,0	35,0	0,6	2,5	7,09	20,70
20	1861	0,0	35,0	0,7	2,7	7,18	21,40
21	1853	0,0	35,0	0,7	2,7	7,20	20,70
22	1868	0,0	35,0	0,8	2,7	7,25	21,50
23	1883	0,0	30,0	0,8	2,6	6,98	21,60
24	1763	0,0	30,0	0,8	2,8	7,20	20,60
25	1849	0,0	30,0	0,8	2,7	7,28	19,60
26	1851	0,0	30,0	0,8	2,7	7,44	18,20
27	1901	0,0	30,0	0,8	2,6	7,35	19,50
28	1526	0,0	30,0	0,8	2,9	7,21	19,70
29	1798	0,0	30,0	0,8	2,6	7,57	19,90
30	1893	0,0	30,0	0,8	2,6	7,35	19,80
31	1796	0,0	30,0	0,8	3,1	7,11	19,70

Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-Sábiè

Tabela B2: Condições de operação no mês de Setembro.

Setembro de 2023		Taxa de produtos químicos				
Dia	Caudal (m³/h)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g/m³)	Cloro gasoso (g/m³)	Cloro (g/m³)	pH	Temperatura (°C)
1	1729	30,0	1,3	3,7	7,23	21,20
2	1702	30,0	1,3	3,5	7,28	20,60
3	1762	30,0	1,3	3,9	7,18	21,00
4	1903	30,0	1,3	3,1	7,35	20,80
5	2236	30,0	1,3	3,4	7,10	21,50
6	2200	30,0	1,3	3,6	7,06	21,50
7	2225	30,0	1,3	3,4	7,16	21,40
8	2087	30,0	1,3	3,8	7,33	20,20
9	2223	30,0	1,3	3,6	7,22	21,40
10	2190	30,0	1,3	2,9	7,15	22,00
11	1497	30,0	1,3	3,0	6,99	21,90
12	1392	30,0	1,3	5,3	7,25	21,50
13	2178	30,0	1,3	3,6	7,34	22,20
14	2234	30,0	1,3	3,6	7,31	21,60
15	2259	30,0	1,3	3,5	6,95	20,90
16	2143	30,0	1,3	3,7	7,13	21,20
17	2229	30,0	1,3	3,6	7,24	21,30
18	2154	30,0	1,3	3,0	7,24	21,50
19	1909	30,0	1,3	2,1	7,14	22,10
20	1581	30,0	1,3	1,7	7,10	22,10
21	2072	30,0	1,3	1,3	7,32	21,70
22	2217	30,0	1,3	1,8	7,34	21,40
23	1938	30,0	1,3	3,3	7,25	21,40
24	2267	30,0	1,3	2,0	7,23	21,80
25	2110	30,0	1,3	1,9	7,19	21,70
26	1998	30,0	1,3	2,0	7,29	20,90
27	1784	30,0	1,3	1,2	7,00	20,30
28	1605	30,0	1,3	1,4	7,16	20,40
29	1988	30,0	1,3	2,0	7,07	20,90
30	2057	30,0	1,3	1,9	7,35	21,00

Tabela B3: Condições de operação no mês de Dezembro.

Dezembro de 2023		Taxa de produtos químicos				
Dia	Caudal (m³/h)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g/m³)	Ozono (g/m³)	Cloro (g/m³)	pH	Temperatura (°C)
1	2277	26,0	1,4	2,0	6.96	22.60
2	2214	26,0	1,4	2,5	7.06	22.20
3	2212	26,0	1,4	2,5	7.05	22.70
4	2148	26,0	1,4	2,5	7.09	23.10
5	2234	26,0	1,4	1,8	7.04	22.70
6	2191	26,0	1,4	1,5	6.98	22.00
7	2018	26,0	1,4	2,2	7.00	22.70
8	2151	26,0	1,4	2,5	7.00	23.00
9	2088	26,0	1,4	2,6	6.91	23.00
10	2066	26,0	1,4	2,7	7.00	22.80
11	2277	26,0	1,4	2,4	7.08	22.40
12	2141	24,0	1,4	2,2	6.90	23.00
13	2244	24,0	1,4	2,4	6.91	23.00
14	2226	24,0	1,4	1,7	6.76	23.40
15	2210	24,0	1,4	1,3	7.02	22.70
16	2133	24,0	1,4	1,3	6.72	22.60
17	2122	24,0	1,4	1,5	6.98	22.80
18	2210	24,0	1,4	1,3	6.90	22.60
19	2191	24,0	1,4	1,8	7.02	23.90
20	2136	24,0	1,4	1,4	7.06	23.30
21	2177	24,0	1,4	1,5	6.96	23.70
22	1998	24,0	1,4	1,5	6.97	23.80
23	2141	24,0	1,4	1,9	6.96	23.00
24	2227	24,0	1,4	1,5	6.62	23.10
25	2129	24,0	1,4	1,4	6.86	23.90
26	2144	24,0	1,4	2,4	6.92	23.90
27	1812	24,0	1,4	4,7	6.90	23.10
28	2114	24,0	1,5	3,6	6.99	23.30
29	2197	24,0	1,5	2,7	7.06	24.50
30	2143	24,0	1,5	3,3	7.08	22.70
31	2165	24,0	1,5	3,5	7.05	21.30

Estudo da eficiência de desinfecção com permanganato de potássio, cloro gasoso e ozono na etapa de pré-oxidação da água na ETA-Sábiè

Tabela B4: Condições de operação no mês de Janeiro de 2024.

Janeiro de 2024		Taxa de produtos químicos				
Dia	Caudal (m³/h)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g/m³)	Ozono (g/m³)	Cloro (g/m³)	pH	Temperatura (°C)
1	2135	24	1,5	4,1	6.87	23.30
2	1807	24	1,5	6,1	6.66	23.60
3	2221	24	1,5	4,9	6.84	22.50
4	2095	24	1,5	4,1	6.82	23.40
5	2041	24	1,5	4,5	6.60	23.70
6	2169	24	1,5	6,8	6.84	24.20
7	2250	24	1,5	4,9	6.99	23.30
8	2239	24	1,5	4,0	6.95	23.40
9	2289	24	1,5	4,5	6.53	24.40
10	2159	22	1,5	5,0	6.84	23.80
11	2137	22	1,5	4,7	6.95	24.60
12	1622	22	1,5	4,9	7.01	24.20
13	2255	22	1,5	4,5	6.95	24.20
14	2170	22	1,5	4,1	6.94	23.80
15	2123	22	1,5	4,0	6.90	24.20
16	2234	22	1,5	4,4	6.80	24.30
17	1686	22	1,5	4,0	6.94	25.60
18	174	22	1,5	19,6	6.45	24.20
19	2087	22	1,5	4,2	6.57	23.20
20	2002	22	1,5	4,4	7.03	23.20
21	2146	22	1,5	4,1	6.61	24.10
22	2159	22	1,5	4,0	6.87	24.80
23	2110	22	1,5	6,0	6.99	24.50
24	2116	22	1,5	4,7	7.00	24.20
25	1878	20	1,5	4,4	6.86	23.90
26	1665	20	1,5	7,1	7.02	22.20
27	2095	20	1,5	6,6	6.99	22.50
28	1212	20	1,5	6,6	6.86	22.70
29	2189	20	1,5	6,3	6.73	23.00
30	2196	20	1,5	5,0	7.00	22.00
31	1125	20	1,5	9,8	6.90	22.60

ANEXO C. Análise estatística

Tabela C1: Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para coliformes totais.

Parâmetros	Oxidantes	Valor-p	Significância
Coliformes totais	Cloro	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes totais	Permanganato	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes totais	Ozono	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0

Tabela C2: Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para coliformes fecais.

Parâmetros	Oxidantes	Valor-p	Significância
Coliformes totais	Cloro	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes totais	Permanganato	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes totais	Ozono	<0,05	Rejeita-se H_0
Coliformes fecais		<0,05	Rejeita-se H_0

ANEXO D. Padrões de potabilidade

Tabela D1: Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para consumo humano.

Parâmetros	VMA	Unidades	Risco à saúde pública
Coliformes totais	Ausente	NMP/100 mL	Doenças gastrointestinais
Coliformes fecais	Ausente	NMP/100 mL	

Fonte: Adaptado do Regulamento sobre a Qualidade da Água para o Consumo Humano em Moçambique.