



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Avaliação dos Impactos das Descargas dos Efluentes da Estação de
Tratamento de Águas Residuais do Infulene no Rio Mulaúze**

Autora:

Eugénia da Glória Zacarias

Supervisor

Prof. Doutor Estêvão Pondja, Engº

Co-Supervisora

Engª Dilene Guidar de Carvalho

Maputo, Outubro de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Avaliação dos Impactos das Descargas dos Efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene no Rio Mulaúze

Relatório de Estágio Profissional apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, em cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia do Ambiente.

Autora:

Eugénia da Glória Zacarias

Supervisor

Prof. Doutor Estêvão Pondja, Engº

Co-Supervisora

Engª Dilene Guidar de Carvalho

Maputo, Outubro de 2025

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que a estudante finalista **Eugénia da Glória Zacarias** entregou no dia ____/____/ 2025 as ____ cópias de relatório do seu estágio com referência: _____ intitulado:

Avaliação dos Impactos das Descargas dos Efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene no Rio Mulaúze

Maputo, ____ de _____ de 2025

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra que este trabalho de relatório de estágio é de minha autoria e resulta da pesquisa bibliográfica, dados recolhidos no campo e análises laboratoriais. As experiências realizadas e interpretação dos resultados foram por mim efectuados. Estudos de outros autores foram usados no presente trabalho e devidamente referenciados de acordo com a Norma do Depósito Legal de Trabalho de Culminação do Curso que rege a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Outubro de 2025

A Autora

(Eugénia da Glória Zacarias)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com muito amor à pessoas que me são bastante importante, que tem contribuído de forma directa e cuja presença dá-me forças para continuar batalhando para o alcance dos meus sonhos, os meus pais Zacarias Luís e Linita Bélia José, e minhas irmãs Ilódia da Graça Zacarias e Selma da Naita Zacarias.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecer a Deus Todo Poderoso pela saúde e força que me proporcionou até chegar nesta fase da minha vida e poder cursar a Engenharia do Ambiente na faculdade de Engenharias da UEM.

Ao Professor Doutor Estevão Ponja Eng^o, o meu supervisor, que em meio a tantas ocupações se dispôs a ajudar-me, dando me assistência a todo momento para tornar possível a realização deste trabalho.

A Engenheira Dilene de Carvalho, a co-supervisora pelo apoio e assistência durante o estágio Profissional.

À minha mãe por sempre orar por mim, e que de forma tão incansável deu-me todo apoio financeiro, e palavras de motivação para continuar a lutar para o alcance desta vitória. Às minhas irmãs Selma e Ilódia pela sua presença valiosa e força que sempre disponibilizaram.

Ao meu avô o Pastor Hilário Zunguze e Pastor Dionísio Amaral e Sua esposa Arsénia Amaral pelas suas valiosas orações.

Ao Eng^o Arão Macuácuá, meu companheiro e noivo por todo apoio e força incondicional que sempre prestou, e na realização deste trabalho.

Ao Eng^o Michaque Dosse, Eng^o Dominic Joaquim, Eng^a Virgínia, pelo seu apoio no trabalho Laboratorial.

A colega Nádia Arcanjo, pela sua presença e suporte no nosso grupo de estudos.

Ao meu grupo SOS (Luana Lambo, Sarlina Mazive, Márcia Cossa e Ivan Pene), pelo apoio incondicional.

Muito obrigada!

RESUMO

O aumento exponencial da contaminação dos corpos hídricos superficiais, passou a ser um dos assuntos mais discutidos a nível mundial quando se trata de problemas ambientais. Esta discussão deve-se ao nível de significância e influência na vida de todos os seres vivos em especial o Homem que depende deste precioso líquido para sua sobrevivência. O tratamento de águas residuais, para além de dar a chance de reutilização de água anteriormente “descartada” para diferentes actividades, reduz a escassez da mesma. A Província e Cidade de Maputo geram grandes quantidades de águas residuais, o que resulta na necessidade de colecta diária para a Estação de Tratamento de Águas Residuais de Infulene. O Rio Mulaúze localizado no Bairro Infulene, passa pela ETAR do Infulene, e ao longo do mesmo, encontram-se vários agricultores que se dedicam no cultivo de hortícolas. As constantes reclamações e insatisfação dos agricultores devido a poluição da água do rio que estes usam para a irrigação, despoletaram o interesse pela realização do presente estudo. O objectivo do mesmo, foi de avaliar o impacto das descargas dos efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene, sobre o Rio Mulaúze. Foi realizado o trabalho de campo que consistiu na identificação de 5 pontos estratégicos para a colecta de amostras de água, de seguida recolheu-se as amostras e imediatamente mediu-se os parâmetros de campo: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e Condutividade eléctrica, e de seguida transportou-se as amostras para posteriores análises laboratoriais dos seguintes parâmetros: nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxigénio, turbidez, coliformes totais e fecais. O pH em todos pontos, variou de 7 a 7.14, os pontos 1(*a montante da ETAR*); 3(*entre a fábrica e a ETAR*) e 5 (a jusante da ETAR) mostraram níveis de oxigénio dissolvido relativamente altos em relação aos pontos 2 (descarga da fábrica 2M) e 4 (descarga da ETAR) que tendiam a reduzir cada vez mais, tendo atingido *0.73 mg/l* e *1.28 mg/l* respectivamente. A demanda bioquímica de oxigénio apresentou valores relativamente mais altos para estes dois pontos, variado de *8.9 mg/l* a *18.15 mg/l*, o que já era de se esperar, por causa dos baixos valores de oxigénio dissolvido. A qualidade da água do Rio Mulaúze apresenta degradação progressiva ao longo do seu curso, especialmente nos pontos situados nas descargas da fábrica de cerveja 2M e da ETAR de Infulene. A degradação é evidenciada pela presença de nitratos, fosfatos, coliformes fecais e *E. coli*.

Palavras Chaves: Rio Mulaúze, ETAR, 2M, Contaminação.

ABSTRACT

The exponential increase in the contamination of surface water bodies has become one of the most widely discussed environmental issues worldwide. This discussion arises from the significant impact of this phenomenon on all living beings, especially humans, who depend on this vital resource for survival. Wastewater treatment, in addition to enabling the reuse of previously discarded water for different activities, helps reduce water scarcity. The Province and City of Maputo generate large amounts of wastewater, which requires daily collection for treatment at the Infulene Wastewater Treatment Plant (WWTP). The Mulaúze River, located in the Infulene neighborhood, passes through the Infulene WWTP, and along its course, there are several farmers engaged in the cultivation of vegetables. The farmers' constant complaints and dissatisfaction due to the pollution of the river water used for irrigation triggered the motivation for this study. The objective was to evaluate the impact of effluent discharges from the Infulene Wastewater Treatment Plant on the Mulaúze River. Fieldwork was carried out, consisting of the identification of five strategic sampling points. Water samples were collected, and field parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen, and electrical conductivity were immediately measured. The samples were then transported to the laboratory for further analyses of nitrates, phosphates, biochemical oxygen demand (BOD), turbidity, total and fecal coliforms. The pH in all sampling points ranged from 7.00 to 7.14. Points 1 (upstream of the WWTP), 3 (between the brewery and the WWTP), and 5 (downstream of the WWTP) showed relatively high levels of dissolved oxygen compared to points 2 (brewery discharge) and 4 (WWTP discharge), which showed a progressive decrease, reaching 0.73 mg/L and 1.28 mg/L, respectively. Biochemical oxygen demand presented higher values for these two points, ranging from 8.9 mg/L to 18.15 mg/L, as expected due to the low dissolved oxygen levels. The water quality of the Mulaúze River shows progressive degradation along its course, especially at the discharge points of the 2M brewery and the Infulene WWTP. This degradation is evidenced by the presence of nitrates, phosphates, fecal coliforms, and *E. coli*.

Keywords: Mulaúze River, WWTP, 2M Brewery, Contamination.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO.....	V
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	3
1.1.1. Geral	3
1.1.2. Específicos.....	3
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Metodologia.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Efluentes	5
2.1.1. Parâmetros De Qualidade Da Água.....	6
2.1.3. Medidas De Correlação De Variáveis.....	11
2.2. Estações de tratamento de águas residuais (ETAR's).....	18
2.2.1. Níveis de tratamento de águas residuais	19
2.3. SistemaS de drenagem e saneamento do Município de Maputo	24
2.3.1. Sistema 1	24
2.3.2. Sistema 2	25
2.3.3. Sistema 3	25
2.3.4. Sistema 4	26
3. ÁREA DE ESTUDO	27
3.1. Caracterização do local	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. Parâmetros de campo	33

4.2.	Parâmetros Laboratoriais	34
4.2.1.	Análise De Coliformes Fecais E Totais Pelo Método Colilert 18.	34
4.2.2.	Ensaio De Nitratos	37
4.2.3.	Ensaio De Fosfatos	38
4.2.4.	Ensaio de turbidez	39
4.2.5.	Ensaio De Demanda Bioquímica Do Oxigénio	40
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
5.1.1.	Temperatura	43
5.1.2.	pH	43
5.1.3.	Oxigénio Dissolvido	44
5.1.4.	Condutividade Eléctrica	44
5.1.5.	Demanda Bioquímica do Oxigénio	46
5.1.6.	Turbidez	46
5.1.7.	Nitratos e Fosfatos	46
5.1.8.	Coliformes Totais e E-coli	49
5.1.9.	Sólidos Totais Dissolvidos	49
7.	MEDIDAS CORRECTIVAS	71
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
7.1.	Conclusões	73
7.2.	Recomendações	74
8.	BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR	Águas Residuais
CF	Coliformes Fecais
CM	Conselho Municipal
CT	Coliformes Totais
DBO	Demanda Bioquímica do Oxigénio
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETAR's	Estações de Tratamento de Águas Residuais
FE-UEM	Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane
km ³	Quilómetro Cúbico
M	Metro
mg/L	Miligramas por Litro
mL	Mililitro
NMP	Número Mais Provável (NMP/100ml)
SST	Sólidos Suspensos Totais
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
pH	Potencial de Hidrogénio
°C	Graus Celsius

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de água no planeta	6
Figura 2: Avaliação de riscos pelo método de MARAT	13
Figura 3: Esquema do tratamento das fases líquida, sólida e gasosa das águas residuais.	19
Figura 4: Mapa da localização geográfica da área de estudo	27
Figura 5: Funcionamento da ETAR	31
Figura 6: Medição de parâmetros de campo	34
Figura 7: A – Selador Quanti-tray; B – Cartela selada contendo a solução.....	35
Figura 8: A - Cartelas incubadas por mais de 18h; B - Luz Ultravioleta; C - Leitura de E- coli usando a Luz UV.....	36
Figura 9: Adição de phosVer 3 em 10ml de amostra.....	38
Figura 10: Turbidímetro	39
Figura 11: A - Reagentes; B - Preparação da mistura de diluição.....	41
Figura 12: Gráficos de parâmetros de Campo.....	45
Figura 13: Gráficos de parâmetros laboratoriais.....	48
Figura 14: Gráficos de parâmetros laboratoriais. Cont.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros da qualidade de água.....	7
Tabela 2: Significado dos níveis de exposição	14
Tabela 3: Significado dos níveis de deficiência	15
Tabela 4: Significado dos níveis de probabilidade.....	16
Tabela 5: Significado dos níveis de consequências	17
Tabela 6: Significado dos níveis de intervenção.....	18
Tabela 7 - Funcionamento inicial da ETAR	28
Tabela 8 - Identificação dos pontos de coleta de amostras.....	33
Tabela 9: Matriz do ponto 1	51
Tabela 10: Matriz do ponto 2	54
Tabela 11: Matriz do ponto 3	58
Tabela 12: Matriz do ponto 4	61
Tabela 13: Matriz do ponto 5	64
Tabela 14 - Avaliação de Risco pelo método de MARAT	68
Tabela 15 - Medidas de Correção	71

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes no planeta e até pouco tempo era considerado um recurso praticamente inesgotável. Com o passar do tempo, o crescimento populacional e desenvolvimento industrial tornaram o precioso líquido cada vez mais usado e desta forma, escasso por conta das suas múltiplas utilidades, destacando entre elas o abastecimento público, a agricultura, a pecuária, a indústria, a geração de energia, a recreação, o lazer, o saneamento básico, entre outras. Associado a esses factores, surgem problemas do uso inadequado da água e contaminação dos recursos hídricos, segundo Brazil Escola ([s.d], p.1).

Actualmente, a questão dos problemas ambientais tem merecido uma especial atenção, não somente por estar a prejudicar o ambiente, mas por igualmente colocar em causa a vida do Homem e dos demais seres vivos. Na discussão destes problemas, está em causa a contaminação dos recursos hídricos. O esgoto doméstico gerado e não tratado, quando lançado directamente no mar, rios entre outros reservatórios de água, contamina os recursos hídricos, não permitindo a manutenção da qualidade da água a ser tratada para o consumo da população, prejudicando o ecossistema aquático. Este controle é difícil, pois trata-se muitas vezes de despejos de efluentes domésticos e industriais clandestinos. (Saneamento do Meio, 2021).

De acordo com a legislação Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005, a definição de qualidade de água tem a ver com o fim a que se destina e os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água.

O tratamento de esgoto ou então águas residuais, antes de drenadas ao mar, rio, ou qualquer repositório final é até então a melhor alternativa rumo a minimização ou ainda eliminação do risco tanto para os seres vivos aquáticos como para a população, para além de dar nova utilidade a água outrora descartada.

Em países em via de desenvolvimento, como os da África, a questão de poluição hídrica ganha destaque devido a falta de conscientização sobre a importância do uso racional e conservação da água, reduzidos sistemas de tratamento de água para o seu reaproveitamento. A bacia hidrográfica do Infulene, é uma pequena bacia que se localiza na capital de Moçambique (Maputo), ao longo do rio Infulene, com uma área de 185km² a qual faz limite com uma Estação de Tratamento de Águas Residuais, que trata águas

provenientes de vários pontos da cidade de Maputo e Matola. Esta é usada por centenas de agricultores para irrigação das culturas que alimentam as cidades de Maputo e Matola, entretanto, a má qualidade de água suscitou reclamações por parte dos agricultores que julgam tratar-se da ETAR a poluir a bacia.

Portanto, no presente trabalho faz-se a avaliação dos impactos das descargas dos efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Infulene sobre o Rio Mulaúze e a determinação dos parâmetros de qualidade da Água do Rio Mulaúze após a descarga da ETAR a fim de saber até que ponto as águas devolvidas ao rio obedecem os parâmetros preestabelecidos na legislação.

Este trabalho, surge no âmbito do Estágio Profissional do trabalho de culminação do curso de Engenharia do Ambiente leccionado pela Universidade Eduardo Mondlane.

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

Avaliar os impactos das descargas dos efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene sobre o rio Mulaúze.

1.1.2. Específicos

Para a consecução do objectivo geral foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Determinar os parâmetros Físico-químicos e microbiológicos dos efluentes da ETAR no ponto de descarga;
- Determinar os parâmetros Físico-químicos da água do Rio Mulaúze a montante e a jusante do ponto da descarga da ETAR;
- Comparar os parâmetros Físico-químicos determinados com as legislações vigentes no país e no mundo para aferir se estes estão dentro dos limites admissíveis;
- Identificar os impactos adversos resultantes das descargas da 2M e ETAR de Infulene;
- Propor medidas práticas para a remediação dos problemas identificados.

1.2. Justificativa

Porque a água é um bem precioso, da qual, todos dependem e em todas as áreas tais como, indústrias, uso doméstico, irrigação, entre outros fins, o tratamento de águas residuais para posterior utilização é visto como melhor alternativa de reaproveitamento de águas residuais. A ETAR de Infulene que está em operação desde 1987, faz o tratamento e posteriormente deposita o efluente tratado no rio Mulaúze, a 2M por sua vez dispõe de uma ETAR, que também deposita no canal que liga o rio Mulaúze. Desde tempos remotos, centenas de agricultores utilizam a água do rio Mulaúze para irrigação das suas culturas. De um tempo para cá um grupo de agricultores com suas machambas a jusante do ponto da descarga da ETAR, reuniu se para apresentar queixa da má qualidade de água para irrigação das suas culturas à ETAR, surgindo desta forma um conflito entre os agricultores e a ETAR.

Tendo em conta este cenário, elaborou-se o presente trabalho, a fim de aferir se a reclamação dos agricultores é legítima, e identificar a origem do problema, visto que a água recebida pelos agricultores sofre influência da descarga da 2M e da ETAR.

1.3. Metodologia

Para o alcance dos objectivos traçados, foi feita uma pesquisa qualitativa e quantitativa. A pesquisa qualitativa baseou-se na análise e combinação de conteúdos disponíveis em bibliografias tornadas públicas, como livros e artigos científicos referentes ao tema em estudo.

A pesquisa quantitativa consistiu na recolha de dados no campo e realização de experiências laboratoriais, de modo a obter dados fiáveis e precisos. Foi realizada uma análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos efluentes descarregados no rio Mulaúze, e a condição do próprio rio, análises estas que permitiram conhecer a quantidade de oxigénio dissolvido, condutividade eléctrica, pH, Temperatura, nitratos, turbidez, fosfatos, a demanda bioquímica do oxigénio (DBO), com o objectivo de conhecer os impactos das descargas dos efluentes da ETAR do Infulene sobre o rio Mulaúze e saber até que ponto a água do rio está contaminada.

Após a obtenção dos resultados laboratoriais, todos os dados foram submetidos a um tratamento estatístico pela Matriz de Correlação de Person para se obter o nível de correlação entre as variáveis e obter-se conclusões mais fiáveis.

Limitações de Trabalho

Para avaliação dos impactos da descarga de efluentes tratados no meio receptor é extremamente importante analisar vários parâmetros para alcance de melhores resultados, mas para o presente estudo, devido a limitações laboratoriais (ausência de alguns reagentes) e custos para adquiri-los, não foi possível fazer análise da Demanda Química do Oxigénio, Amónio (NH_4^+) que é um indicador de poluição e tóxico em concentrações elevadas, não foi possível também analisar parâmetros específicos de existências de poluentes como a presença de Metais pesados como: Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu parâmetro não menos importante que os outros. O estudo abrangiu apenas uma área da bacia do Infulene concretamente nas proximidades da ETAR do Infulene um pouco a montante do ponto da descarga da ETAR, como ilustra o mapa da localização geográfica da área de estudo, na Figura 3.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Efluentes

O Decreto n.º 18/2004 de 2 de Junho, define efluentes como águas residuais, águas ou outros líquidos tratados ou não, que vão para um reservatório, bacias, planta de tratamento ou outro lugar qualquer.

Água é um recurso extremamente importante para a existência da vida, de tal modo que seria difícil até mesmo impossível imaginar a existência de qualquer forma de vida na ausência deste recurso vital. Desde a descoberta de que o homem dependia totalmente da água para quase todas as actividades tais como: produção de alimentos na área de cultivo para irrigação, limpeza, lavagem, movimentação de grandes maquinarias, em processos industriais, etc, este recurso, vem merecendo tamanha atenção na tentativa de minimização do nível de poluição e contaminação do mesmo, buscando-se desta maneira formas de tratamento para sua reutilização.

A água é conhecida como a substância mais abundante na natureza planeta terra envolvendo um volume de aproximadamente 1,4 bilhão de Km³ o que corresponde cerca de 71% da superfície terrestre. Esta ocorre nos rios, lagos, oceanos, mares, e nas calotas polares. Dentre vários reservatórios, mais de 99% correspondem aos oceanos, as geleiras e a humanidade dos solos e do ar.

Segundo Gomes (2010), o total de água doce no nosso planeta, corresponde a 40×10^{15} litros, ou seja, 3% de toda água da Terra, (os 97% restantes são de água salgada), onde 2% fazem parte da calota glacial, esta não disponível na forma líquida. Portanto, verdadeiramente apenas 1% do total de água do planeta é de água doce na forma líquida, incluindo-se as águas dos rios, dos lagos e as subterrâneas. Estima-se que apenas 0,02 % deste total corresponda à disponibilidade efectiva de água doce com a qual pode a humanidade contar, em termos médios e globais, para sustentar-se e atender às necessidades ambientais das outras formas de vida.

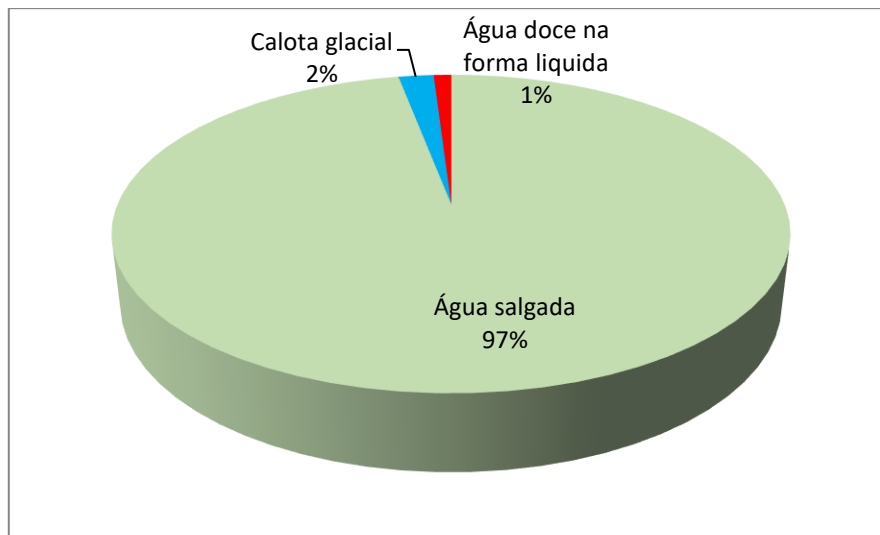


Figura 1: Distribuição de água no planeta

Água residual, vulgarmente chamada água de esgoto ou ainda água servida é a combinação de resíduos líquidos drenados das habitações, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais, podendo também estar associados com água pluvial (Metcalf & Eddy, 2003).

2.1.1. Parâmetros De Qualidade Da Água

No geral, a água contém várias componentes, algumas introduzidas pelo Homem e outras que provêm do próprio meio ambiente.

Pelo facto de a água possuir a capacidade de absorver diversas substâncias químicas e gases, existe a necessidade de uma constante avaliação da sua qualidade, pois com o crescente depósito de resíduos industriais, domésticos e agrícolas é importante que haja controle dos parâmetros de qualidade da água, parâmetros estes que nos ajudarão a monitorar as descargas no meio receptor. A água possui diversas componentes ou impurezas que podem ser divididas em características físico-químicos e biológicas, CETESB, (2018), como apresenta a Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros da qualidade de água

Químicos	Físicos	Biológicos
DBO	Temperatura	Coliformes
DQO	Condutividade	Algas
pH	SST	
Nitratos	TDS	
Alcalinidade	Cor	
Fosfatos	Sabor	
Dureza	Odor	

Parâmetros Físicos

Temperatura

É um parâmetro bastante importante pois é a medida da intensidade de calor e influência de forma directa em algumas propriedades da água como a densidade, oxigénio dissolvido, com reflexos sobre a vida aquática. Ela influencia na velocidade das reacções químicas, na solubilidade dos gases, na taxa de crescimento dos microrganismos, entre outras (Dias A. C., 2016).

A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogénicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

Cor

É o parâmetro que trata da aparência da água devido aos sólidos dissolvidos. Sua pode ter origem natural, devido à presença de matéria orgânica ou de iões ferro e manganês ou pode ser derivada de alguma actividade antropogénica, como resíduos industriais ou esgotos domésticos despejados no corpo d'água em questão.

Turbidez

Mede o grau de interferência à passagem da luz causada pela presença de sólidos suspensos. Esses sólidos podem ter origem natural (partículas de solo como argila, silte ou microrganismos) ou serem originários de actividades antropogénicas, como resíduos domésticos e industriais.

A turbidez deve ser levada em conta principalmente porque a interferência à passagem de luz prejudica directamente a fotossíntese das plantas aquáticas, o que pode acarretar danos ao equilíbrio do ecossistema aquático.

Condutividade Eléctrica

Segundo Parron, Muniz, & Pereira (2011), Condutividade eléctrica é a capacidade que uma solução aquosa tem de conduzir corrente eléctrica. Essa capacidade é influenciada pela presença de iões, concentração total, mobilidade, valência, concentrações relativas e medida da temperatura.

A condutividade é usada para determinar o grau de mineralização da água, indicação rápida da variação das concentrações de minerais dissolvidos e obtenção dos sólidos totais dissolvidos através da multiplicação do valor da condutividade à um coeficiente padronizado que varia de 0.55-0.75, dependendo do corpo de água (Chapman, 1996) ou apenas multiplicando por 0.640 para soluções com condutividade abaixo de 5000 *mg/l*, de acordo com Lima et al. (2017).

$$STD [mg/L] = 0.64 \times CE [\mu S/cm] \quad \text{(Equação 1)}$$

Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)

Os sólidos totais dissolvidos (SDT) representam a quantificação das substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas num líquido, demonstrando a proporção de diferentes sólidos (Toledo, 2019). A entrada dessas substâncias na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogénica (lançamento de lixo e esgotos) (Costa et al., 2015). Em concentrações elevadas, podem afectar no sabor tornando-a amarga ou salgada.

Parâmetros Químicos

pH

É o equilíbrio entre iões H^+ e iões OH^- e varia de 7 a 14. Indica se uma água é ácida se o pH é inferior a 7, neutra se pH for igual a 7 e alcalina se o pH for maior do que 7.

O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos; pH baixo torna a água corrosiva; águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações; a vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 a 9.

Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO)

Demanda bioquímica do oxigénio é a quantidade de oxigénio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio da acção de bactérias aeróbias. Representa, portanto, a quantidade de oxigénio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto). A demanda bioquímica de oxigénio (DBO) é um indicador da presença de matéria orgânica que pode ser ou não biodegradável e é considerado um dos importantes parâmetros para avaliação da qualidade da água, Vasco, J. R. J. (2016)., apud Toledo, (2019).

A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigénio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C.

Quanto maior o DBO, menor é o oxigénio o que impossibilita a vida aquática.

Oxigénio dissolvido (OD)

O oxigénio dissolvido (OD) é fundamental para organismos aeróbios como as bactérias, por exemplo, que utilizam em seus processos respiratórios. Portanto, a redução da concentração de oxigénio dissolvido pode causar a morte de diversos organismos aquáticos e a ausência total promove condições anaeróbias, que ocasionalmente podem gerar maus odores.

O oxigénio dissolve-se por meio da diferença de pressão parcial, sendo altos teores de oxigénio na água indicador da realização da fotossíntese (presença de algas), em contrapartida baixas concentrações indicam a presença de matéria orgânica, Ramos, A. D. S., Oliveira, V. D. P. S. de, & Araújo, T. M. de R. (2019)

Nitratos e fosfatos

Os nitratos são considerados uma das espécies muito importante na saúde ambiental, sendo muito requisitado pelas plantas devido à presença de nitrogénio na sua composição. O fósforo na forma de fosfato é um nutriente essencial para o crescimento dos organismos.

As altas concentrações dos nitratos, acima de 10 *mg/l*, são tóxicas, causando a doença chamada metahemoglobinemia infantil que, é letal para crianças, Cousido, (2010); Fugita,(2018).

Parâmetros Biológicos

Coliformes

São indicadores de presença de microrganismos patogénicos na água; os coliformes fecais existem em grande quantidade nas fezes humanas e, quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microrganismos causadores de doenças.

Coliformes Totais

Estes são predominantemente compostos por bactérias pertencentes aos géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Porém, os géneros *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* podem ser encontrados tanto nas fezes quanto no meio ambiente (em águas ricas em nutrientes, solos e materiais em decomposição). Assim, a presença de coliformes totais na água não indica, necessariamente, a contaminação fecal ou ocorrência de agentes patogénicos. Nogueira, F. F., Costa, I. A., & Pereira, U. A. (2015).

Coliformes Fecais

Escherichia coli é uma bactéria que pertence ao grupo de coliformes fecais (termotolerantes) que pode ser encontrado nas fezes humanas e de animais presentes em esgotos, efluentes tratados e águas naturais, sujeitas a contaminação. A presença desses microrganismos em um corpo de água é a única que evidencia que a contaminação é exclusivamente fecal Toledo, (2019). Dentre as bactérias presentes no grupo dos coliformes, a *Escherichia coli* é considerada a mais precisa indicadora de contaminação fecal e da potencial presença de agentes patogénicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratífóide, disenteria bacilar e cólera (Chapman, 1996).

2.1.2. Legislações Aplicáveis

No âmbito do controlo da poluição, foi criado um regulamento designado, Regulamento sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Poluentes (Decreto-Lei nº 18/2004, de 2 de Junho), idêntico ao Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (Decreto-Lei n.º 30/2003, de 1 de Julho de

2003) que estabelece padrões para vários parâmetros associados aos usos e de emissões e descarga. Este decreto tem como principal objectivo a protecção do meio ambiente das descargas das águas residuais urbanas e industriais, através de estabelecimento de critérios de recolha, tratamento e descarga das mesmas, exigindo-se que, em casos específicos, possa recorrer-se a níveis de tratamento mais exigentes (como por exemplo, a de desinfecção). Neste caso estão apresentados padrões de descargas de águas residuais domésticas ao meio receptor.

No caso de se pretender reutilizar o efluente da ETAR para irrigação agrícola, este deverá ainda apresentar uma qualidade, do ponto de vista microbiológico, compatível com esse uso (ou seja, com uma concentração de coliformes fecais inferior a 100 NMP/100 ml).

2.1.3. Medidas De Correlação De Variáveis

As medidas de correlação são estatísticas que quantificam a relação entre duas variáveis. Elas indicam a força e a direcção da associação, mas não significam casualidade. Field (2017). Existem várias medidas de correlação, dentre os quais, Pearson, Spearman, Kendall e Correlação de Distância. Para o efeito deste trabalho, usou-se a Correlação de Pearson.

Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson(r), igualmente chamado de coeficiente de correlação produto-momento, é um método estatístico que explora a intensidade e o comportamento mútuo entre as variáveis. Este coeficiente pode tomar valores compreendidos de -1 a 1. Miot (2018).

A correlação, indica a interdependência entre duas variáveis. O cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, serve para detectar o grau de correlação entre as variáveis, quando não, se é facilmente compreendida sua interdependência. Este, indica que, à medida que uma variável for alterada, a outra variável terá um comportamento linear e previsível. Araújo, Caran e Souza (2016).

Para Filho et al. (2014), em particular, uma correlação de valor zero significa que as variáveis são ortogonais entre si (ausência de correlação). Uma correlação positiva indica que quando x aumenta, y também aumenta, ou seja, valores altos de x estão associados a valores altos de y .

$r = 1$, a correlação é perfeita positiva, o que significa que, quando uma variável aumenta, a outra também aumenta proporcionalmente.

$r = -1$, a correlação é perfeita negativa, o que significa que, quando uma variável diminui, a outra diminui proporcionalmente.

$r = 0$, não existe nenhuma correlação, isto é, as variáveis, não tem relação linear significativa.

Para valores intermediários, indicam diferentes graus de correlação:

$0.7 \leq r \leq 1.0$ a correlação é muito forte;

$0.4 \leq r < 0.7$ a correlação é moderada;

$0.2 \leq r < 0.4$ a correlação é fraca;

$0.0 \leq r < 0.2$ a correlação é muito fraca ou desprezível.

2.1.4. Avaliação De Riscos Pelo Método De MARAT

Método de Avaliação de Riscos e Acidentes de Trabalho, um método quantitativo concebido originalmente por Kinney. Esta metodologia permite determinar o nível dos riscos que existem e consequentemente ordená-los da forma coerente de acordo a estabelecer prioridades de intervenção sobre os mesmos (riscos). (Sousa, 2010).

É um método orientador, em que se pode estabelecer uma comparação entre a probabilidade de uma falha detectada com o nível de probabilidade estimado tendo como pressuposto registos de acidentes e métodos estatísticos. (Branco, 2022).

Visto ser um método simplificado, não se utilizam valores absolutos; são utilizadas escalas com níveis de risco, probabilidade de acontecimento e consequência, o que faz com que se torne importante a escolha do número de níveis a utilizar para que se torne mais fácil diferenciar situações e/ ou localizar níveis adequados. Na aplicação deste método, é considerado que o nível de probabilidade varia em função do nível de deficiência e ou da frequência do nível de exposição. O nível de deficiência é definido como sendo a grandeza da relação entre os vários factores de risco considerados e a sua relação causal com o possível acidente. O nível de exposição é a medida da frequência com que se dá exposição ao risco. Assim, considera-se que o Nível de Probabilidade (NP) depende do Nível de Deficiência (ND) e da frequência ou Nível de

exposição (NE) à mesma. O Nível de Risco (NR) será função do Nível de Probabilidade (NP) e do Nível de Severidade (NS).

Este método apresenta uma estrutura simples e sistemática de todo o processo de avaliação de risco. Direcção-se sobretudo para questões relacionadas com o risco de acidentes de trabalho.

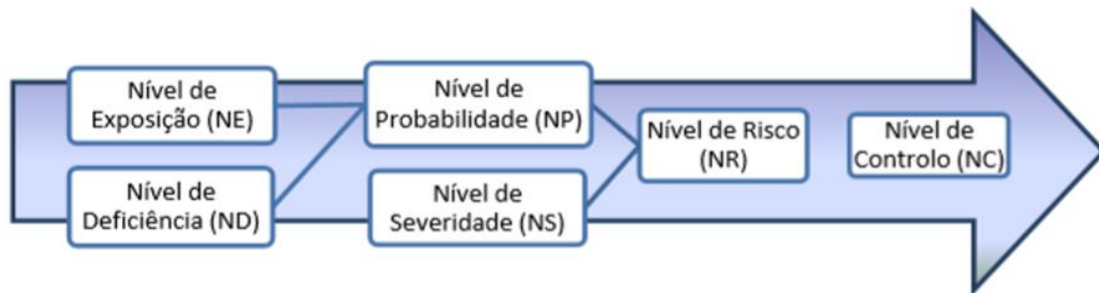


Figura 2: Avaliação de riscos pelo método de MARAT

Assim sendo, os níveis de probabilidade e de risco são calculados pelas equações:

- Nível de Probabilidade $NP = NE \times ND$ **Equação 2**

- Nível de Risco $NR = NP \times NS$ **Equação 3**

As tabelas abaixo, são usadas para consultar significados atribuídos aos diversos níveis acima alistados.

Nível de exposição

O nível de exposição, corresponde a frequência ou duração do tempo em que o indivíduo se encontra sujeito ao perigo, influenciando directamente na probabilidade de ocorrência do risco, (Neto et al., 2018). A tabela 2, explica o significado de cada nível de exposição.

Tabela 2: Significado dos níveis de exposição

Nível de exposição	NE	Significado
Esporádica	1	Uma vez por ano e por pouco tempo (em minutos)
Pouco frequente	2	Algumas vezes por ano e por período de tempo determinado
Ocasional	3	Algumas vezes por mês
Frequente	4	Várias vezes durante o período laboral, ainda que com tempos curtos-várias vezes por semana ou diário
Continua/Rotineiro	5	Várias vezes por dia com tempo prolongado ou continuamente

Nível de Deficiência

O nível de deficiência corresponde a gravidade das possíveis consequências decorrentes de um acidente ou exposição a determinado perigo, sendo considerado um fator determinante na quantificação do risco, (Gomes & Arezes, 2002). A tabela 3, explica o significado de cada nível de deficiência.

Tabela 3: Significado dos níveis de deficiência

Nível de Deficiência	ND	Significado
Aceitável	1	Não foram detectadas anomalias
Insuficiência	2	Foram detectados factores de risco de menor importância é de admitir que o dano possa ocorrer algumas vezes
Deficiente	6	Foram detectados alguns factores de risco significativos. O conjunto das medidas preventivas existentes tem a sua eficácia de forma significativa
Muito deficiente	10	Foram detectados factores de risco significativos. As medidas preventivas são ineficazes. O dano ocorrerá em maior parte das circunstâncias
Deficiência total	14	Medidas preventivas inexistentes ou desadequadas, são esperados danos na maior parte das situações.

Níveis de Probabilidade

A probabilidade representa a chance de o evento ocorrer, considerando a frequência e as condições de contato com o perigo. Quanto maior o nível, maior a possibilidade de ocorrência (Fernandes, 2010). A tabela 4, explica o significado de cada nível de probabilidade.

Tabela 4: Significado dos níveis de probabilidade

Nível de probabilidade	NP	Significado
Muito baixa	1 a 3	Não é de esperar que a situação perigosa se materialize ainda que possa ser concebida.
Baixa	4 a 6	A materialização da situação perigosa pode ocorrer.
Media	8 a 20	A materialização da situação perigosa é possível de ocorrer pelo menos uma vez com danos.
Alta	24 a 30	A materialização da situação perigosa pode ocorrer várias vezes durante o período de trabalho.
Muito alta	40 a 70	Normalmente a materialização da situação perigosa ocorre com frequência.

Nível de Consequências

A consequência refere-se à magnitude do impacto caso o evento se concretize. Pode envolver danos ao ambiente, à saúde humana ou ao sistema. Quanto mais elevado o nível, maior a gravidade e a dificuldade de reversão (Souza,2015). A tabela 5, explica o significado de cada nível de exposição.

Tabela 5: Significado dos níveis de consequências

		Significado	
Nível de consequências	NC	Em termos de pessoas	Em termos de materiais
Insignificante	10	Não há danos pessoas significativos	Pequenas perdas materiais
Leve	25	Pequenas lesões que não requerem hospitalização apenas pequenos socorros	Reparação sem paragem do processo
Moderado	60	Lesões com incapacidade laboral transitória, requerem tratamento medico	Requer paragem do processo para efectuar a reparação
Grave	90	Lesões graves que podem ser irreparáveis	Destruição parcial do sistema (ou reparação complexa e onerosa)
Mortal ou catastrófico	155	Um morto ou mais. Incapacidade total ou permanente	Destruição de 1 ou mais sistemas (difícil renovação/reparação)

Nível de Intervenção

O nível de intervenção é definido em função do valor do risco obtido, estabelecendo a prioridade a urgência das medidas de prevenção a implementar, (Silva, 2008). A tabela 6, explica o significado de cada nível de intervenção.

Tabela 6: Significado dos níveis de intervenção

Nível de Intervenção	NR	Significado
I	3600 a 10850	Situação crítica. Intervenção imediata. Eventual paragem imediata. Isolar o perigo até serem adotadas medidas de controle permanente.
II	1240 a 2790	Situação a corrigir. Adotar medidas de controlo enquanto a situação perigosa não for eliminada ou reduzida.
III	360 a 1080	Situação a melhorar. Deverão ser elaborados planos ou programas documentados de intervenção.
IV	90 a 300	Melhorar se possível justificando a intervenção.
V	10 a 80	Intervenção apenas se uma análise mais pormenorizada a justificar.

2.2. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (ETAR'S)

As ETAR's são infra-estruturas destinadas a reduzir a carga poluente das águas residuais, de modo a que a descarga do efluente tratado não afecte negativamente o meio receptor. As ETAR's são, assim, importantes instrumentos de protecção ambiental. Os principais poluentes comuns a remover nas ETAR são DBO₅, DQO, SST, N, P, Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF), de acordo com as características do meio receptor e as exigências estabelecidas na legislação.

2.2.1. Níveis de tratamento de águas residuais

Os poluentes a remover nas ETAR's encontram-se em suspensão (grosseira, fina e coloidal). A separação destes poluentes ao longo da fileira de tratamento dá origem ao efluente tratado, bem como a resíduos sólidos (gradados, areias e lamas) e gasosos (gás sulfídrico, dióxido de carbono, metano e outros gases em menor volume).

Os resíduos sólidos e gasosos originam problemas ambientais e sanitários, que obrigam ao tratamento dos mesmos. Assim, numa ETAR as operações e processos de tratamento são organizados em fileiras que depuram a fase líquida das águas residuais, tratam a fase sólida e a fase gasosa (desodorização e por vezes a valorização energética do biogás produzido no tratamento das lamas). Consoante os requisitos estabelecidos para a qualidade do efluente da ETAR (função da sensibilidade do meio receptor e da reutilização do efluente), a fileira de tratamento pode ser mais ou menos complexa, podendo limitar-se a tratamento primário, no caso de descarga do efluente em meio menos sensível, ou atingir o tratamento terciário ou mesmo completar-se ainda com tratamento avançado (no caso de reutilização para determinadas aplicações). É possível distinguir cinco níveis de tratamento de águas residuais (Figura 3), designados por: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário e tratamento avançado.

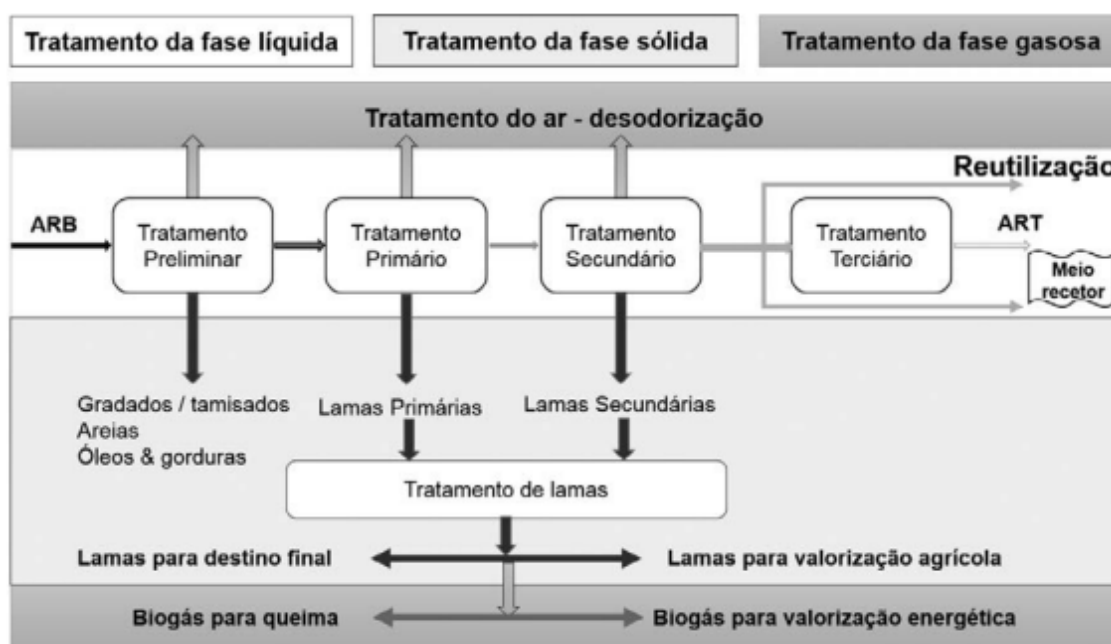


Figura 3: Esquema do tratamento das fases líquida, sólida e gasosa das águas residuais.

Tratamento da fase líquida

Conforme está ilustrado na figura 3, o tratamento líquido obedece quatro etapas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

Tratamento preliminar

O tratamento preliminar consiste numa sequência de operações unitárias destinadas à remoção de sólidos grosseiros, areias, gorduras e ainda, uma equalização de caudais e de carga poluente.

O objectivo desta etapa é proteger os órgãos e processos de tratamento seguintes, bem como evitar obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas e lamas, permitindo desta forma, uma maior eficiência da fileira de tratamento.

As operações unitárias passíveis de serem combinadas ao nível do tratamento preliminar são: a gradagem, a equalização, a desarenação e a remoção de óleos e gorduras.

Tratamento primário

A etapa seguinte de tratamento refere-se ao tratamento primário, que é feito através de uma sedimentação gravítica num decantador, promovendo a remoção de sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos e a recolha à superfície de escumas e materiais que flutuam (óleos e gorduras) por meio de raspadores. A decantação primária permite normalmente uma remoção média de 50-70% dos sólidos suspensos e 25-40% da carência bioquímica de oxigénio (Metcalf e Eddy, 2003).

O efluente clarificado resultante deste processo segue para o tratamento secundário, e os sólidos removidos geram uma lama, denominada lama primária. O tratamento primário pode ocasionalmente ser beneficiado, através de uma filtração prévia antes da decantação ou quimicamente pela adição de agentes coagulantes, que favorecem o processo de decantação (Tillman, 1992).

Tratamento secundário

Após a decantação primária a carga do efluente em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigénio) e em SST (sólidos suspensos totais) ainda é normalmente elevada, tendo o tratamento secundário como o principal objectivo, a redução dessa carga poluente.

Entre os vários processos disponíveis para o tratamento secundário das águas residuais, os de natureza biológica são os mais utilizados nomeadamente os filtros percoladores, as lamas activadas e as lagoas de oxidação. Como as águas residuais contêm uma elevada componente biodegradável, esta poderá ser degradada biologicamente através de processos de oxidação, com posterior captura e incorporação dos sólidos suspensos num floco biológico sedimentável. Existe ainda, a possibilidade de remoção de alguns nutrientes, potenciais causadores de fenómenos de eutrofização (azoto e fósforo), e também de alguns metais pesados (Metcalf e Eddy, 2003).

Os processos biológicos destinados ao tratamento das águas residuais podem classificar-se em processos de biomassa fixa e de biomassa suspensa. Nos processos de biomassa fixa, os microrganismos aderem a um meio de suporte, de composição variável (pedra, areia e material sintético), com uma área e ventilação suficiente para o seu crescimento (biofiltros, leitos percoladores e biodiscos), (Duarte, 2005).

Como processos de biomassa suspensa existem as lagoas de oxidação (aeróbias, anaeróbias e facultativas) e os sistemas de lamas activadas. Embora as lagoas de oxidação tenham sido bastante utilizadas no tratamento de águas residuais de pequenos aglomerados populacionais, actualmente esta designação é atribuída a todo o tipo de lagoas. As lamas activadas são o processo de biomassa suspensa mais utilizado, permitindo uma eficiência de remoção de 90- 95% da carga poluente da água residual. Sendo um processo biológico aeróbio, onde ocorre a mistura por agitação e arejamento da água residual com a biomassa (microrganismos), dando origem à formação de uma lama biológica, que é posteriormente separada da fase líquida por decantação (decantação secundária). Parte dessa lama é recirculada para o tanque de arejamento, de forma a manter elevada a concentração de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente na água residual (Duarte, 2005).

O arejamento do licor misto (água residual + biomassa microbiana) é efectuado artificialmente por períodos médios de 4 a 6 horas, onde são fornecidos aproximadamente 8 m³ de águas residuais, por cada m³ de água residual que entra no tanque de arejamento. Este tem como objectivo, promover o crescimento microbiológico, a respiração endógena e a homogeneização do reactor aeróbio (Lin e Lee 2007). Após a decantação das lamas no decantador secundário, o excesso de lamas biológicas é removido através de bombas e encaminhado para posterior tratamento da fase sólida (Metcalf e Eddy, 2003).

Tratamento terciário

O tratamento terciário é uma etapa adicional do processo de tratamento sendo executado como medida de protecção adicional do ambiente, antes da descarga das águas residuais tratadas no meio receptor natural. É também, habitualmente utilizado quando o aproveitamento da água residual tratada tiver por objectivo a sua reutilização, nomeadamente para rega (culturas agrícolas, jardins e campos de golfe), para fins recreativos e para consumo humano (Maier et al., 2009).

De acordo com o objectivo de qualidade pretendido, são vários os processos de tratamento terciário disponíveis. Se o objectivo for a remoção ou inactivação de patogénicos, por questões de saúde pública, ou para reutilização da água residual, a desinfecção poderá ser feita através de cloragem, ozonização ou radiação UV. Os processos de precipitação química e de tratamento biológico são normalmente utilizados, quando se tem como objectivo a remoção de nutrientes (principalmente azoto e fósforo), (Metcalf e Eddy, 2003).

Existem também uma série de tecnologias que, embora possam ter alguns condicionalismos em termos de custos de instalação, têm dado bastantes garantias de qualidade final da água residual tratada com vista à reutilização, tais como: coagulação e decantação; filtração; membranas; adsorção sobre carvão activado; osmose inversa; oxidação avançada; troca iónica e “airstripping” (Metcalf e Eddy, 2003).

Tratamento da fase sólida

Os poluentes sólidos presentes nas águas residuais são removidos no tratamento preliminar (sob a forma de gradados, tamisados, areias e gorduras) bem como nos níveis de tratamento subsequentes (na forma de lamas e flotados), constituem resíduos, os quais são ainda ambientalmente nocivos, pelo que requerem tratamento e destino final adequado, podendo também ser objecto de valorização.

A matéria orgânica presente na fase sólida das águas residuais é a principal origem de odores desagradáveis, que não só proporcionam uma vizinhança desagradável, como podem prejudicar a saúde, designadamente do pessoal operador dos sistemas de saneamento. A fracção de matéria orgânica é muito elevada nas lamas e bastante baixa nas areias, gradados e tamisados, nos quais é possível encontrar uma quantidade significativa de corpos metálicos, plásticos, têxteis e devem ser diferenciados.

De um modo geral, os gradados e tamisados são compactados, para reduzir o seu volume e teor em água, sendo depois enviados para as instalações das entidades gestoras de resíduos sólidos, que os processam em incineradoras ou em aterros sanitários. Nas ETAR de pequena dimensão, os gradados podem ser enterrados em vala praticada no próprio recinto da ETAR.

As areias são lavadas para remoção de partículas orgânicas e são transportadas a aterro, podendo, no entanto, o seu destino ser o da valorização, através da sua utilização como material de construção. A água resultante desta lavagem entra na fileira de tratamento da própria ETAR.

As gorduras são de difícil biodegradabilidade, pelo que a solução mais interessante para tratar estes resíduos consiste na inclusão na fileira de um tratamento dedicado às gorduras.

As lamas têm características diferentes, pois são originadas em diferentes fases, no tratamento primário, secundário e terciário, mas contêm elevado teor de matéria orgânica, pelo que podem ser tratadas biologicamente, geralmente por digestão anaeróbia, embora em algumas ETAR também se pratique a digestão aeróbia, a compostagem e a estabilização química.

Tratamento da fase gasosa

As águas residuais contêm gases dissolvidos provenientes da dissolução do ar atmosférico na água, mas principalmente gerados nas próprias águas residuais em reacções químicas e bioquímicas. Alguns destes gases, como é o caso do gás sulfídrico (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), provocam impactes ambientais adversos, pelo seu odor desagradável, por serem corrosivos (H_2S) e por contribuírem para o chamado efeito estufa (CO_2 e CH_4), podendo ainda representar risco significativo para a saúde.

Os inconvenientes originados por estes gases são mais intensos em determinadas fases da fileira de tratamento, onde a libertação dos mesmos é mais forte. Assim as instalações de tratamento preliminar que recebem águas residuais praticamente brutas, são uma das zonas da ETAR afectadas por odores desagradáveis, problema ainda mais acentuado nas unidades de tratamento de lamas, mas que também afecta a área dos decantadores primários. Em muitas ETAR's, principalmente nas de grande dimensão e naquelas

localizadas muito perto das localidades, providencia-se a desodorização da atmosfera dessas instalações, as quais são cobertas, de modo a poder confinar a atmosfera e proceder ao seu tratamento pela remoção das substâncias causadoras de odor desagradável. A implantação de instalações para desodorização da atmosfera das ETAR tem sido, talvez, a beneficiação mais frequentemente implementada nos últimos anos em ETAR existentes.

O metano é o principal constituinte do biogás gerado no tratamento anaeróbio das lamas, que, por ser combustível, pode ser valorizado na produção de energia térmica e eléctrica ou queimado antes do seu destino final (atmosfera). Em qualquer dos casos, o biogás necessita de ser tratado para eliminar o H_2S .

2.3. SISTEMAS DE DRENAGEM E SANEAMENTO DO MUNICÍPIO DE MAPUTO

Na área Metropolitana de Maputo, as soluções de saneamento baseiam-se fundamentalmente, em sistemas de baixo custo como latrinas e fossas sépticas, estimando-se que apenas 5 a 10% da população seja servida pela rede de colectores existentes. Na zona urbana da Cidade de Maputo, existem 4 principais sistemas de drenagem, o sistema 1, sistema 2 o sistema 3 e o sistema 4. (Guerra e Amador, 2021).

2.3.1. Sistema 1

O Sistema 1 localiza-se na “Baixa” da zona consolidada da Cidade de Maputo, abrange uma área de 6,55 km² e uma população estimada de 54 470 habitantes (2015). A rede de colectores do Sistema 1 foi construída na década de 1940 e tem vindo a beneficiar de ampliações, por forma a acompanhar a extensão da área urbanizada.

O Sistema 1 é unitário e gravítico em toda a sua extensão, sendo todos os seus efluentes (pluviais e domésticos) descarregados directamente na Baía de Maputo, o que constitui um risco para a saúde pública e para o meio ambiente. A descarga de efluentes é feita através de 14 colectores de descarga localizados ao longo da costa.

Para além da rede de colectores, o Sistema 1 possui algumas valas de drenagem a céu aberto localizadas ao longo da Av. Marginal e na encosta a Norte do Bairro Central C, que descarregam as águas pluviais recolhidas directamente no mar. (Guerra e Amador, 2021).

2.3.2. Sistema 2

A rede de colectores do Sistema 2 foi construída na década de 1980 e serve fundamentalmente a parte central da zona consolidada da Cidade, também conhecida por “cidade de cimento”. Ocupa uma área de 5,85 km² e abrange aproximadamente 50 700 habitantes.

Apesar de ter sido concebido para ser separativo, a análise do cadastro cedido pelo CM de Maputo indica que o Sistema 2 funciona como pseudo-separativo, recolhendo águas pluviais e residuais domésticas.

O Sistema foi projectado para funcionar com duas estações elevatórias, EE1 (Polana Cimento) e EE2 (Sommerschield), que deveriam permitir o transporte das águas residuais da Bacia D e de parte da Bacia C até ao interceptor gravítico localizado ao longo da Av. Joaquim Chissano, descarregando depois na ETAR do Infulene. A EE2 foi projectada para uma capacidade de 400 m³/h e a EE1 para uma capacidade menor, 180 m³/h.

As duas estações elevatórias estão fora de funcionamento desde 2010, sendo os caudais descarregados directamente no mar, sem tratamento. O caudal que deveria afluir à EE2 é descarregado na zona norte do bairro Sommershield, e o caudal que deveria afluir à EE1 é descarregado através de descarregadores de tempestade localizados na Rua José Craveirinha e Praça do Destacamento Feminino.

Sabe-se que, para além da rede de colectores, vários edifícios dos Sistemas 1 e 2 são servidos por ETAR compactas. (Guerra e Amador, 2021).

2.3.3. Sistema 3

O Sistema 3 engloba a Bacia A (excepto a sub-bacia A1) e abrange toda a área que drena para o vale natural da Av. Joaquim Chissano, correspondente a cerca de 12,10 km². As infra-estruturas de drenagem pluvial existentes no Sistema são a vala principal de drenagem (Vala A), localizada ao longo da Av. Joaquim Chissano, e todas as valas a ela afluentes, localizadas na Av. Acordos de Lusaka, Av. de Angola e em outros arruamentos mais pequenos.

A Vala A tem uma extensão total de cerca de 5,5 km. Tem início na R. da Resistência e termina no vale do Infulene, (junto à ETAR), onde descarrega o caudal pluvial transportado. A vala apresenta uma secção trapezoidal ao longo de grande parte da sua extensão, sendo que apenas no troço final a secção passa a rectangular. Ao longo dos últimos 600 m (a jusante) existem várias quedas sucessivas, e no troço final a vala possui um descarregador.

Na Av. Joaquim Chissano, paralelamente à vala de drenagem mas enterrado, desenvolve-se o interceptor gravítico dimensionado para transportar o caudal do Sistema 2 até à ETAR. O interceptor tem início no bairro da Coop, junto à R. de França e a jusante da conduta elevatória proveniente da EE2, e termina na ETAR do Infulene. Para além do interceptor, não existem colectores enterrados no Sistema 3, sendo toda a população servida por soluções locais de saneamento, nomeadamente fossas sépticas e latrinas.

Apesar de se situar já fora dos limites do Sistema 3, considerou-se a ETAR do Infulene como uma das infra-estruturas do sistema. A ETAR localiza-se no vale do Infulene, que divide os Municípios de Maputo e Matola, e se caracteriza por uma intensa actividade agrícola. (Guerra e Amador, 2021).

2.3.4. Sistema 4

O Sistema 4 abrange as Bacias G, I e J, que drenam naturalmente para o rio Infulene ou para a zona Norte da baía de Maputo. O Bairro Jardim, localizado a Sul da Av. Joaquim Chissano, é servido por uma rede de colectores unitários que descarregam directamente para o vale do Infulene através de duas descargas muito próximas da ETAR. Existe também uma pequena rede de colectores unitários, que abrange o Bairro Malanga e descarrega directamente para o mar, na zona detida pela CFM.

Excepção da população do Bairro de Jardim e de uma pequena parte de Malanga, a população dos restantes bairros é servida por fossas sépticas (solução maioritária) ou latrinas. O Sistema 4 possui um sistema de valas de drenagem pluvial localizado em redor da Praça 16 de Junho. As valas a céu aberto foram concebidas para recolher os caudais pluviais da zona a Norte da Av. 24 de Julho e descarregam directamente no estuário. A Sul da Praça 16 de Junho, perto da Av. Das Nações Unidas, existe uma bacia de retenção. (Guerra e Amador, 2021).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Caracterização do local

ETAR localiza-se no bairro jardim no Vale do Infulene, na cidade de Maputo, sul de Moçambique. Entre latitudes $25^{\circ}55'10''$ e entre as longitudes $32^{\circ}32'32''$ (SITOE; MINA PINTO, 2019), conforme ilustra a Figura 4.

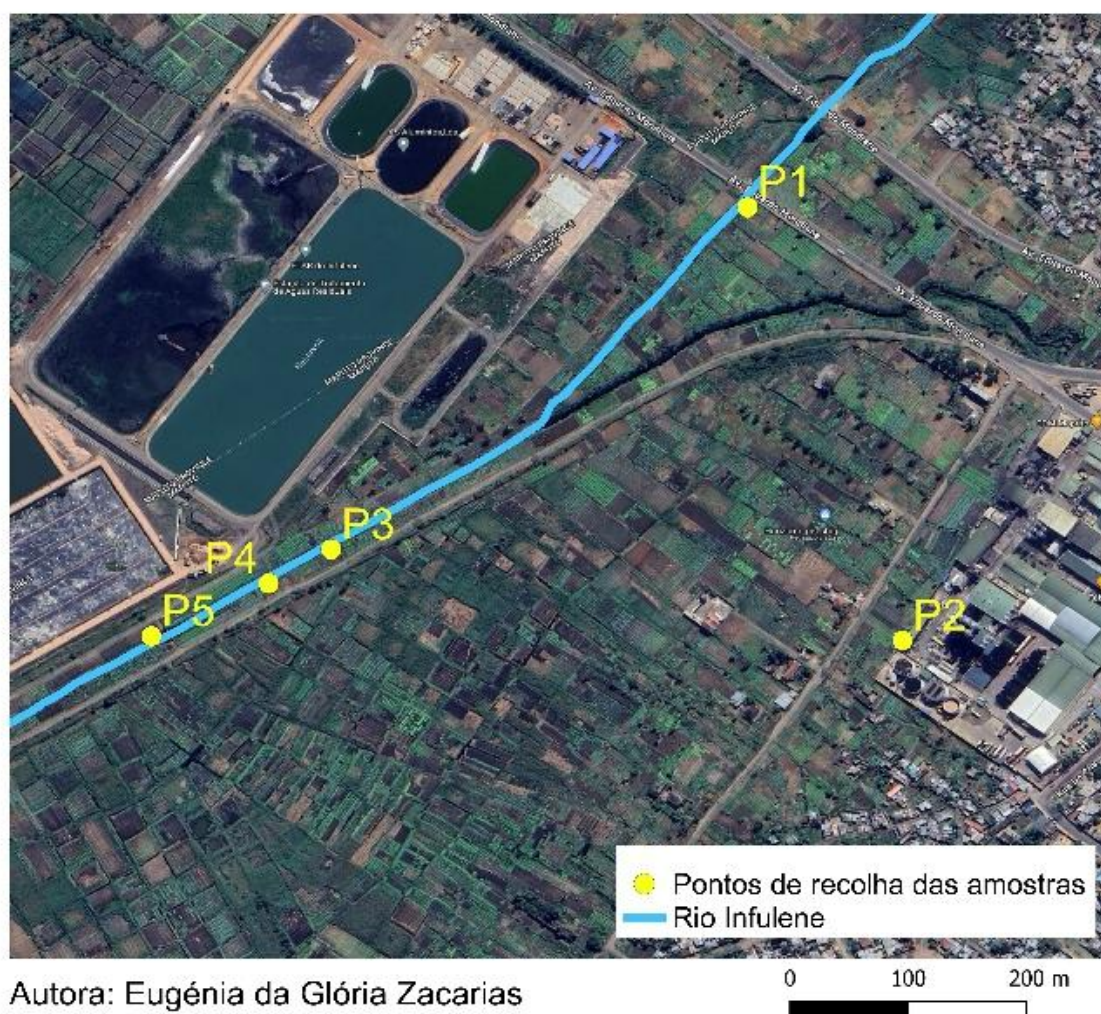


Figura 4: Mapa da localização geográfica da área de estudo

A ETAR do Infulene foi projectada em 1984 pela DHV, Consulting Engineers, tendo entrado em funcionamento em 1987. A ETAR foi projectada para servir 90 000 habitantes. A ETAR foi concebida para tratar, principalmente, as águas residuais dos bairros Sommerschild, Coop e Malhangalene que são encaminhadas através de um emissário doméstico com escoamento gravítico que se desenvolve ao longo da Av. Joaquim Chissano.

Para além de tratar as águas residuais, a ETAR do Infulene está também a ser utilizada para despejo de lamas fecais recolhidas de fossas sépticas nas regiões de Maputo e Matola. São descarregadas diariamente na lagoa anaeróbia lamas transportadas em camiões tanque operados pelo CM de Maputo, CM da Matola e operadores privados. (Guerra e Amador, 2021).

Desde 1987 até 2022 a ETAR funcionava com 2 lagoas anaeróbias (Pré-tratamento) e 2 Facultativas (Tratamento final), conforme ilustra a Tabela 7.

Tabela 7 - Funcionamento inicial da ETAR

			Número	Área	Volume Total (aproximado)	Caudal
Caudal	Máximo	de				2 000 m³/h (555 l/s).
Projecto						
Pré-tratamento em lagoas anaeróbias			2	0,31 ha cada	15 000 m ³	
Tratamento final em lagoas facultativas			2	3,40 ha cada	115 000 m ³	

Actualmente, a ETAR tem o seguinte sistema de tratamento:

- 4 lagoas anaeróbicas
- 2 lagoas facultativas
- 2 lagoas de maturação
- 5 lagoas de macrófitas (3 primárias e 2 secundárias) conforme ilustra a Figura 6.

Lagoas Anaeróbicas

Nas lagoas Anaeróbicas, como o nome sugere, a matéria orgânica é metabolizada por microrganismos sem a presença do oxigénio. Nesse processo, ocorre a produção de metano e alguns subprodutos, como amónia, ácidos sulfídricos, entre outros. Essas lagoas possuem um grande volume de matéria orgânica, para que a quantidade de oxigénio consumido seja superior ao que está sendo produzido. Essas lagoas são reconhecidas como óptimas opções para a remoção de poluentes orgânicos.

No entanto, devem ser consideradas como etapa inicial do tratamento. Isso porque não são capazes de degradar por completo o efluente. Portanto, é necessário incluir etapas posteriores, como filtros biológicos, lagoas aeradas, entre outros.

As lagoas anaeróbicas são escavações mais profundas, com altura que pode variar de 3 a 5 metros. Além disso, retêm os efluentes durante 5 a 20 dias.

Nessas condições é possível garantir a anaerobiose, já que a penetração de luz solar e sobrevivência de algas só são possíveis em uma estreita camada superficial.

Lagoas Facultativas

São lagoas que se dividem nas zonas: aeróbicas, camadas superiores, anaeróbicas, na parte inferior, intermediária, também denominada facultativa. São projectadas para operar como uma única unidade ou em sequência a uma lagoa anaeróbia, aeróbia ou mesmo após uma outra unidade.

Lagoas de Maturação

Segundo JORDÃO E PESSOA (1995), as lagoas de maturação são usadas ao final de um sistema clássico de lagoas de estabilização e através dela, almeja-se a melhoria da qualidade do efluente anteriormente tratado pela redução de organismos patogénicos e particularmente coliformes fecais, visando reduzir as doenças de veiculação hídrica, ou seja, visa a protecção da saúde pública. Destacam ainda que as lagoas de maturação chegam a atingir até 99,9% de redução dos organismos patógenos quando comparadas com outros tratamentos como: sedimentação, filtro biológicos, lodos activados ou fossas sépticas

As lagoas de maturação, também denominadas lagoas de polimento, objectivam principalmente a desinfecção do efluente das lagoas de estabilização. Apresentam profundidades da ordem de 1,0 m, a qual permite a eficaz acção dos raios ultravioleta sobre os organismos presentes em toda a coluna d'água. A lagoa de maturação do CESA/UFRJ apresenta as seguintes dimensões: extensão de 9,00 m, largura de 4,00 m e profundidade de 1,50 m. Os taludes internos, revestidos em concreto, e externos apresentam respectivamente as seguintes declividades: 1:2 e 1:5. A lagoa aerada é dotada de um vertedor ajustável que permite a variação da profundidade útil entre 0,80 m e 1,30 m.

Lagoas de Macrófitas

As lagoas de macrófitas são sistemas artificiais baseados em zonas húmidas, compostos por lagoas ou canais preenchidos com um material inerte que permite a imobilização da biomassa e o suporte para o crescimento de plantas. Esses sistemas são utilizados no tratamento de águas residuais e envolvem actividade microbiana, processos físicos e químicos, JORDÃO E PESSOA (1995).

As lagoas de macrófitas são projectadas para tratar águas residuais, incluindo aquelas provenientes de esgotos domésticos.

O processo ocorre da seguinte forma:

- As águas residuais entram na lagoa, onde ocorre a decomposição biológica.
- As macrófitas (plantas aquáticas) presentes na lagoa ajudam a remover nutrientes, como nitrogénio e fósforo, através do processo de fito remediação.
- A biomassa (matéria orgânica) é retida na lagoa, contribuindo para a depuração.
- A água tratada é de seguida devolvida ao meio receptor para posterior reutilização.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram realizadas duas actividades a saber: de campo e laboratoriais.

Trabalho de Campo

O trabalho de campo, consistiu na identificação dos pontos estratégicos para a colecta de amostras de água, após a identificação destes, recolheu-se amostras de água nos locais previamente identificados, de seguida, mediu-se os parâmetros de campo e transportou-se as amostras para o laboratório.

O trabalho de campo foi efectuado com recurso a seguintes materiais:

- Luvas de latex;
- Frasco colector e garrafa plástica para armazenamento de amostras;
- Marcador permanente, para rotular as amostras;
- Uma sonda Trace 2O-AQUAMETER para medir os parâmetros de campo (temperatura, pH, oxigénio dissolvido, condutividade eléctrica);
- Bloco de notas para registo de dados;
- Caixa térmica (Colman) para melhor conservação das amostras.

A colecta das amostras foi realizada no bairro Jardim, em 5 pontos ao longo do rio Mulaúze. O Ponto 1 (P1) é o ponto antes da descarga de efluentes da 2M e ETAR, o Ponto 2 (P2) é o ponto da descarga na 2M, o Ponto 3 (P3) é o ponto entre a descarga de efluentes tratados da 2M e da ETAR, o Ponto 4 (P4) é o ponto da descarga de efluentes tratados da ETAR e o Ponto 5 (P5) é o ponto depois da descarga de efluentes tratados da ETAR, conforme ilustra a Tabela 8.

Tabela 8 - Identificação dos pontos de colecta de amostras

Pontos	Descrição	Latitude	Longitude
P 1	Antes da descarga de efluentes da 2M e ETAR	-25°55' 11''	32° 32' 29''
P 2	Descarga da 2M	-25°55' 10''	32° 32' 32''
P 3	Entre a descarga de efluentes tratados da 2M e do ponto da descarga da ETAR	-25°55' 22''	32° 32' 16''
P 4	Descarga de efluentes tratados da ETAR	-25°55' 23''	32° 32' 14''
P 5	Depois da descarga de efluentes tratados da ETAR	-25°55' 24''	32° 32' 11''

4.1. Parâmetros de campo

Os parâmetros de campo medidos foram temperatura (T), Potencial Hidrogénio (pH), Oxigénio Dissolvido (OD) e Condutividade eléctrica.

Estas medições, foram feitas em 3 campanhas para garantir melhores resultados nas análises, e os ensaios foram feitos em triplicado.

Para o efeito, foi retirada uma amostra em cada um dos pontos e em seguida, introduziu-se sondas Trace 2O-AQUAMETER para medir a temperatura, pH, oxigénio dissolvido e condutividade eléctrica), conforme ilustra a Figura 6.



Figura 6: Medição de parâmetros de campo

4.2. Parâmetros Laboratoriais

As amostras colectadas no campo foram analisadas no laboratório Águas do Departamento de Engenharia Química (FEUEM) para determinação de parâmetros biológicos (coliformes totais e fecais), e de Hidráulica Sanitária no Departamento da Engenharia Civil para determinação de parâmetros químicos e físicos, nomeadamente nitratos, fosfatos, DBO e turbidez. Estes foram determinados seguindo os procedimentos experimentais do manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2017). Os coliformes totais e fecais foram determinados pelo teste Colilert-18 de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante.

4.2.1. Análise De Coliformes Fecais E Totais Pelo Método Colilert 18.

Para esta análise foram usados os seguintes materiais:

- Quanti-Tray Sealer PLUS – IDEXX: para selagem das cartelas;
- Um banho Maria: para melhor nitidez da coloração positiva nas cartelas;
- Incubadora a uma temperatura de 35°C;
- Micropipetas graduadas de 1 ml;
- Cartela para inoculação;
- Frascos de diluição (100 ml)
- Luz ultravioleta (UV)

Reagentes

Para esta experiência, usou-se o reagente Colilert 18 para 100 *ml* de amostra, e água destilada.

Procedimentos

- a) Colocou-se a amostra à temperatura ambiente.
- b) Esterilizou-se o balcão com álcool à 70%, colocou-se as placas (cartelas) de contagem de coliformes totais e *E. Coli*, e rotulou-se para melhor identificação das mesmas.
- c) Para cada ensaio foi feita uma diluição variando de $1:10^4$ a $1:10^6$. Feita diluição, adicionou-se o Colilert 18 e deixou-se até o reagente dissolver por completo.
- d) Depois do reagente ter dissolvido, colocou-se a solução (100 *ml*) cuidadosamente na placa/cartela para evitar a formação de bolhas de ar. E em seguida colocou-se a placa no Quanti-Tray Sealer PLUS – IDEXX para selagem, conforme ilustra a Figura 7.

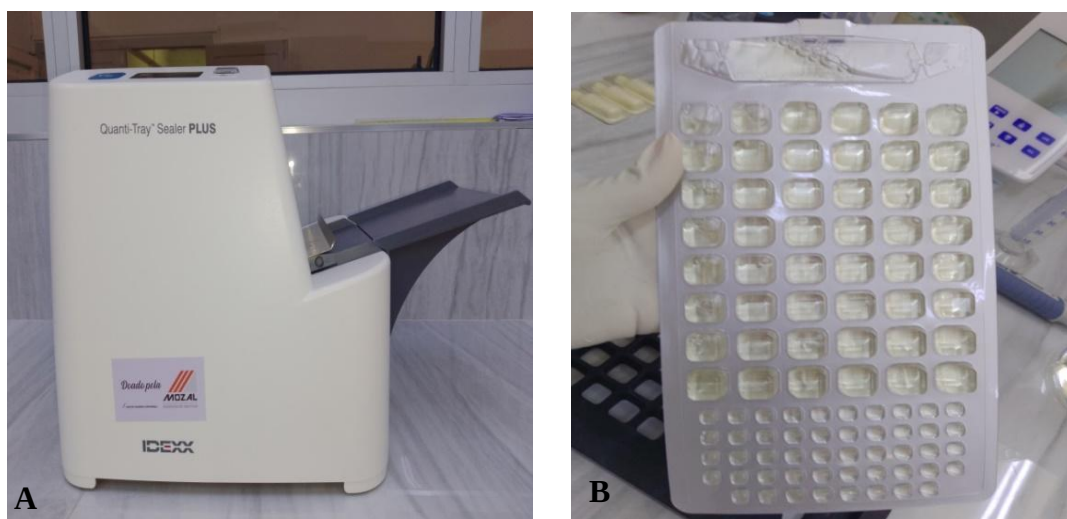


Figura 7: A – Selador Quanti-tray; B – Cartela selada contendo a solução

- e) Levou-se a placa já selada para o banho Maria, onde foi colocada a uma temperatura de 45°C durante 10 minutos para garantir nitidez na leitura dos resultados. Após passar 10 minutos, levou-se a incubadora de 35°C durante um intervalo de 18 a 22 hora. E após esse tempo fez-se a leitura dos coliformes totais e *E. coli*.
- f) Para a leitura, retirou-se as placas da incubadora e foram colocadas no balcão esterilizado onde fez-se uma contagem foi cuidadosamente. Para a contagem, a coloração amarela indica coliformes totais. E no caso de coliformes fecais (*E. Coli*) foram

contados na presença da luz ultravioleta, que reflectiram uma luz fluorescente, tendo se considerado positivos para E.coli, os que apresentaram se positivos para coliformes totais conforme ilustra a Figura 8. De referir que o procedimento foi feito para cada um dos pontos nas 3 campanhas.

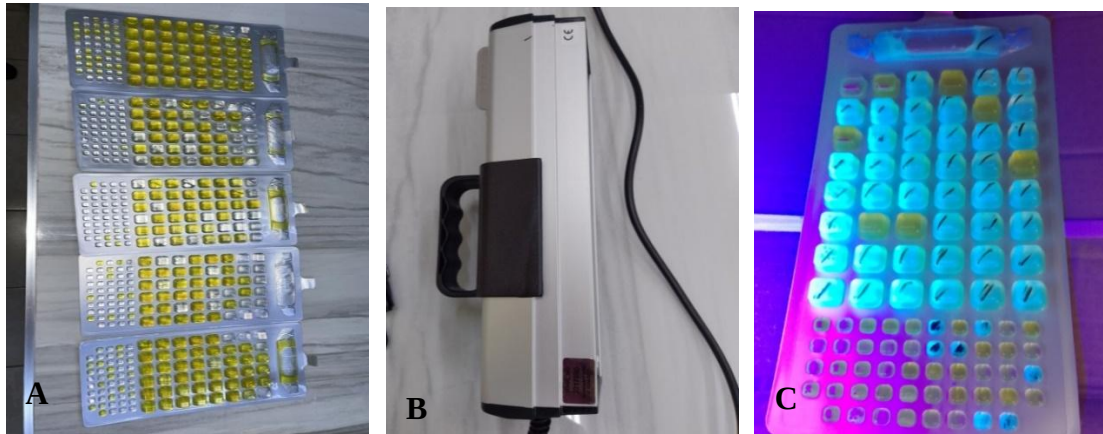


Figura 8: A - Cartelas incubadas por mais de 18h; B - Luz Ultravioleta; C - Leitura de E-coli usando a Luz UV.

As equações 4 e 5 mostram o cálculo aplicado para obter os valores correspondentes.

$$\text{Coliformes Totais (NMP)} = \text{Valor TAB} \times \text{fator diluição} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{E. Coli(NMP)} = \text{Valor TAB} \times \text{fator diluição} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Valor TAB = Contagem do número de cavidades grandes e pequenas

Factor de diluição = Diluição usada para a incubação da amostra

4.2.2. Ensaio De Nitratos

Para ensaio de nitratos usou-se:

- Espectrofotômetro da marca Hach DR3900 para leitura de nitratos;
- Cubetas com volume de 10 *ml*;
- Bandeja metálica;
- Proveta graduada.

Reagentes

Para esta experiência, usou-se o reagente de nitratos da marca Hach NitraVer 5 para 10 *ml* de amostra.

Procedimentos

- a) Colocou-se a amostra à temperatura ambiente.
- b) Ligou-se o Espectrofotômetro de marca Hach DR3900, de seguida utilizou-se o programa (351 N nitrato LR 0,50mg/l).
- c) Mediu-se 10 *ml* da amostra em uma proveta e transferiu-se para uma cubeta com tampa e preparou-se, ainda nesta fase preparou-se também o “branco” para cada ponto de amostragem, colocando-se 10 *ml* da amostra na cubeta (10 *ml*) que foi usada para zerar antes da medição do nitrato.
- d) Adicionou-se uma saqueta do reagente NitraVer 5 na cubeta com tampa. De seguida fechou-se e agitou-se, por 30 segundos. Depois de agitada colocou-se a cubeta na bandeja por um período de 5 minutos (tempo necessário para que a reacção ocorra completamente).
- e) Passados 5 minutos, transferiu-se a solução (amostra + reagente) da cubeta com tampa na cubeta de 10 *ml* (a que vêm com o espectrofotômetro). Com o espectrofotômetro ligado e calibrado, limpou-se cuidadosamente o primeiro o “branco” com papel de laboratório e posteriormente introduziu-se para zerar, e em seguida limpou-se igualmente a cubeta contendo a solução (amostra + reagente) para leitura a concentração do nitrato. De referir que o procedimento foi feito para cada um dos pontos nas 3 campanhas.

4.2.3. Ensaio De Fosfatos

Para ensaio de fosfatos, usou-se:

- Espectrofotômetro de marca Hach DR3900 para a leitura de fosfato;
- Cubetas de volume 10 *ml*;
- Bandeja metálica;
- Proveta graduada.

Procedimentos

- a) Colocou-se a amostra à temperatura ambiente.
- b) Ligou-se o Espectrofotômetro de marca Hach DR3900 e usou-se o programa armazenado (9049 PHOSPHATE).
- c) Mediu-se 10 *ml* da amostra em uma proveta e transferiu-se para uma cubeta com tampa, ainda nesta fase preparou-se também o “branco” para cada ponto de amostragem, colocou-se 10 *ml* da amostra na cubeta (10 *ml*) que foi usado para zerar antes da medição do nitrato.
- d) Adicionou-se uma saqueta do reagente PhosVer 3 na cubeta com tampa. De seguida fechou-se e agitou-se, por 30 segundos onde notou-se uma coloração azul com diferentes tonalidades dependendo do ponto da amostra. Depois de agitada colocou-se a cubeta na bandeja por um período de 5 minutos (tempo necessário para que a reacção ocorra completamente), conforme ilustra a Figura 9.

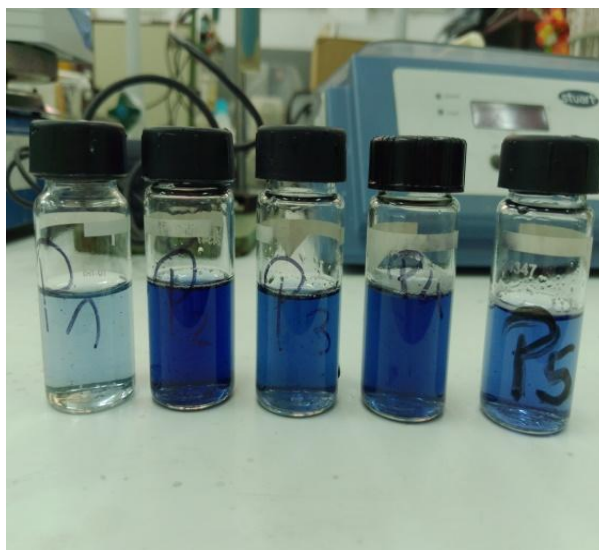


Figura 9: Adição de phosVer 3 em 10ml de amostra

- e) Passados 5 minutos, transferiu-se a solução (amostra + reagente) da cubeta com tampa para cubeta de 10ml (a que vêm com o espectrofotômetro). Com o espectrofotômetro ligado e calibrado, limpou-se cuidadosamente o primeiro o “branco” com papel de laboratório e posteriormente introduziu-se para zerar, e em seguida limpou-se igualmente a cubeta contendo a solução (amostra + reagente) para leitura a concentração do fosfato. De referir que o procedimento foi feito para cada um dos pontos nas 3 campanhas.

4.2.4. Ensaio de turbidez

No ensaio de turbidez, usou-se o seguinte material:

- Turbidímetro WTW 430
- Papel de laboratório
- Cubetas
- Água destilada para lavagem das cubetas
- Proveta graduada

Para este ensaio não há adição de reagentes na amostra.



Figura 10: Turbidímetro

Procedimentos

- a) Ligou-se o aparelho com a tecla ON/OFF;
- b) Pressionou-se de seguida a tecla CAL/ZERO;
- c) Limpou-se cuidadosamente as 3 cubetas de calibração do turbidímetro com o papel de laboratório, e colocou-se de forma sequenciada seguindo as instruções do Turbidímetro;
- d) Com o equipamento já calibrado, tomou-se uma cubeta bem lavada com água destilada, e com ajuda de uma proveta graduada, mediu-se 15ml da amostra e foram colocadas em uma cubeta que posteriormente tampou-se;
- e) Com o papel de laboratório, limpou-se a cubeta contendo amostra, de modo que as impurezas das mãos não influenciassem nos resultados da amostra;
- f) Introduziu-se a cubeta no turbidímetro, premiu-se a tecla START/ENTER sem soltar, girou-se a cubeta em passos pequenos até fazer o ângulo de 360°, registrando os valores encontrados;
- g) Finalmente, girou-se no sentido anti-horário até a posição do menor valor registado anteriormente, encontrado valor, soltar a tecla e fazer a leitura no visor. Fez-se para cada ponto em triplicado para achar posteriormente a média nas 3 campanhas.

4.2.5. Ensaio De Demanda Bioquímica Do Oxigénio

Para o ensaio de DBO, usou-se o seguinte material:

- Garrafas de incubação de 300ml, com tampa esmerilada;
- Incubadora de ar programada a 20 ± 1 graus Celcius;
- Uma sonda Trace 2O-AQUAMETER: para medir o oxigénio dissolvido no primeiro e no quinto dia;
- Bandeja metálica para movimentação das garrafas de incubação;
- Proveta graduada;
- Micropipetas.

Reagentes

- Solução tampão de fosfato: dissolveu-se 8.5 g de KH_2PO_4 ; 21,75 g de K_2HPO_4 ; 33,4 g de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$; 1.7 g de NH_4Cl e, em água destilada e diluiu-se a 1L. O pH foi de 7,2.

- Solução de sulfato de magnésio: dissolveu-se 22,5 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ em água destilada e diluiu-se a 1 L.
- Solução de cloreto de cálcio: dissolveu-se 22,5 g de $CaCl_2$ em água destilada e diluiu-se em 1 L.
- Solução de cloreto de ferro: dissolveu-se 0,25g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ em água destilada e diluiu-se em 1 L.

Procedimentos

- Lavou-se as garrafas com detergente, e posteriormente com água destilada, e drenar antes da utilização, rotulou-se devidamente para melhor identificação;
- Ajustou-se a temperatura das amostras e do ambiente a 20 ± 1 °C antes de iniciar a experiência, colocou-se em um balão de vidro quantidade da água destilada para o preparo da mistura de diluição na incubadora, para estabilização de 20 ± 1 °C;
- Tirou-se as amostras da incubação e condicionou-se o ambiente à temperatura de 20 ± 1 °C.
- Preparação da água de diluição: adicionou-se no balão de vidro para cada 1L de água destilada, 1 ml de cada solução tampão de fosfatos, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$ e solução de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ por meio de uma micropipeta, tal como ilustra a Figura 11.

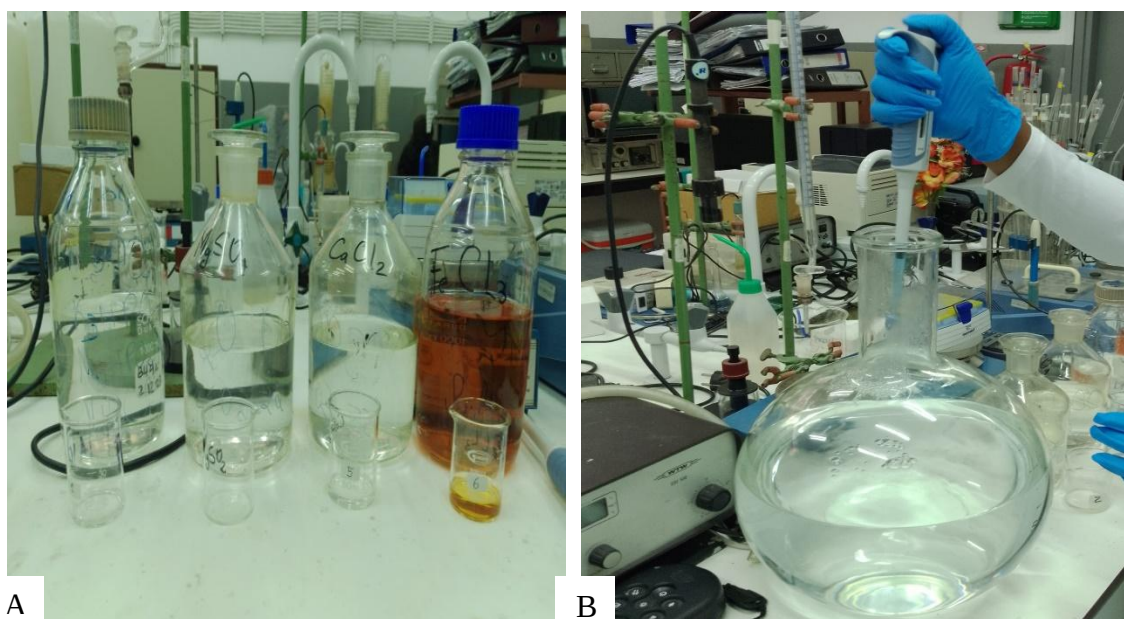


Figura 11: A - Reagentes; B - Preparação da mistura de diluição.

- e) Seguiu-se os procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2017), para conhecer as percentagens da amostra a ser utilizadas mediante a sua proveniência;
- f) Conhecidas percentagens da amostra a ser usadas, colocou-se nas garrafas de incubação, e adicionou-se a mistura de diluição para encher as mesmas, e mediante a uma sonda Trace 2O-AQUAMETER mediu-se o OD inicial (OD_i). De seguida fechou-se as garrafas e colocou-se na incubadora durante 5 dias a 20 ± 1 °C. Efectuou-se o procedimento para todos os 5 pontos da colecta de amostras tendo-se feito em triplicado.
- g) Após 5 dias de incubação foi medido o OD final com recurso a sonda Trace 2O-AQUAMETER. De seguida determinou-se o DBO_5 pela Equação 6.

$$DBO_{5,20}[\text{mg/lO}_2] = \frac{(OD_i - OD_f) \times V_{\text{frasco}} DBO}{V_{\text{amostra}} (\text{ml})} \quad \text{(Equação 6)}$$

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o processo de avaliação dos impactos das descargas dos efluentes da ETAR do Infulene, por meio da determinação dos parâmetros físico-químicas e microbiológicos, foram realizadas três campanhas de colectas, sendo a primeira no dia 11/09/2023, a segunda no dia 13/10/2023 e a última no dia 01/12/2023 sendo esta última num dia em que a ETAR não estava fazendo a descarga no rio.

Para-se determinar os valores dos parâmetros da qualidade da água em todos os pontos estudados, foi feita uma comparação dos valores obtidos com os valores máximos estabelecidos no Regulamento Sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes do Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho e no Decreto n.º 30/2003 de 1 de Julho Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais , visto que a da ETAR do Infulene e da ETAR da 2M desaguam no rio Mulaúze e todos agricultores seja água da montante ou jusante dos pontos da descarga utilizam a mesma para irrigação das suas machambas.

5.1.1. Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante, devido a sua influência nos demais parâmetros. Valores altos de temperatura, podem impactar negativamente no OD na água reduzindo o mesmo, na condutividade eléctrica, no pH, na DBO, em nutrientes como nitrogénio e fósforo, entre outros parâmetros. Este parâmetro, apresentou-se estável em todas campanhas tendo variado de 20,73 a 29°C, para primeira campanha variou de 25,70 a 27,40°C, para segunda de 20,73 a 24,90°C e para terceira campanha 26,23 a 29°C, conforme ilustra a Figura 12-A. Estes valores atendem aos limites estabelecidos pelo Decreto 30/2003 de 01 de Julho tanto para descargas no meio receptor como para descargas no sistema de drenagem, conforme está descrito no Anexo 3-A.

5.1.2. pH

O pH foi o parâmetro que menos variações apresentou em todas campanhas. Este, em águas superficiais é considerado estável se obedecer o intervalo de 6 à 9, nota-se que em todos os pontos não excede 7, tendo variado na primeira campanha de 7,04 a 7,13, na segunda de 7,01 a 7,03 e terceira campanha 7,04 a 7,11.

5.1.3. Oxigénio Dissolvido

A solubilidade do oxigénio em água é medida em mg/l. Em temperaturas altas, o OD diminui. Em condições normais de um rio livre de contaminantes, a concentração de OD a uma temperatura de 0°C, é de 14 mg/l, e na temperatura de 20 °C, a sua concentração é igual a 9,1 mg/l, sendo que valores bem inferiores a esse indicam presença de matéria orgânica (provavelmente esgoto), o que significa maior temperatura propicia menor concentração de OD em água.

Os pontos 1,3 e 5 mostram níveis de OD relativamente altas em relação aos pontos 2 e 4 que tendem cada vez mais a reduzir, isto, pode dever-se ao facto de existência de excesso de matéria orgânica proveniente da descarga da ETARES, o uso de fertilizantes agrícolas que aumenta o excesso de nutrientes na água e os microrganismos chegam a precisar de usar maior quantidade de oxigénio para a degradação destes nutrientes.

5.1.4. Condutividade Eléctrica

Quanto a condutividade é possível notar que ela aumenta bruscamente nos pontos 2 e 4, o ponto da descarga da 2M e da descarga da ETAR respectivamente, tendo o ponto 2 atingido 2030 $\mu\text{S/cm}$ e o ponto da ETAR 1689,83 $\mu\text{S/cm}$ o que corresponde 1299,2 mg/l e 1081,47 mg/l de TDS respectivamente aplicando a equação 1.

Costa (2015), afirma que as oscilações na condutividade da água, ainda que não causem danos imediatos ao ser humano, podem indicar tanto uma contaminação do meio aquático por efluentes industriais como o assoreamento acelerado de rios. Em todos pontos amostrais, com excepção do ponto 1 na terceira campanha, apresentam valores acima dos limites previamente estabelecidos, classificados como de risco para rega de acordo com o decreto nº 18/2004 de 2 de Junho como está descrito no Anexo 3-C. O ponto 2 atingiu o limite classificado como de alto risco para a rega, podendo causar de leve as mais graves queimaduras nas folhas das plantas, dependendo da sensibilidade destas aos sais, Vieira (2008), Conforme ilustra a figura 12-D.

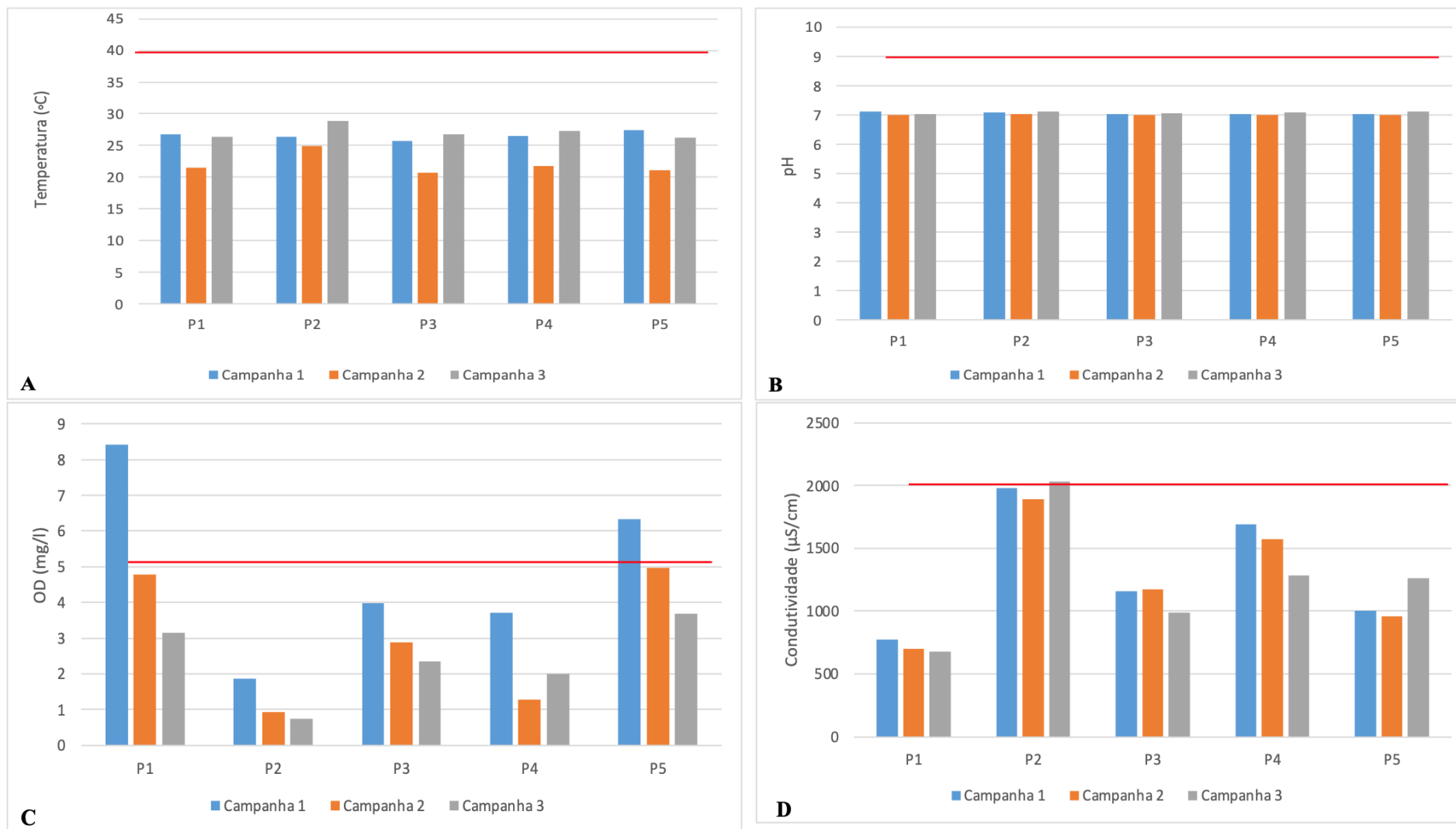


Figura 12: Gráficos de parâmetros de Campo

5.1.5. Demanda Bioquímica do Oxigénio

Conforme ilustra a figura 13-A, é notório que a concentração da DBO nos pontos 2 que é o ponto descarga da 2M e 4 que é o ponto de descarga da ETAR, é elevada devendo se ao facto de que nestes pontos em todas campanhas apresentaram baixa concentração do Oxigénio Dissolvido, facto que era previsível este nível de poluição da água. A DBO deste ponto é extremamente elevada pois segundo (Fiorucci & Filho, 2005) águas com DBO maior que 8mg/L estão poluídas o que coincide com o Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho, descrito no Anexo 3-C. Este ponto apresenta grandíssima influência sobre o rio uma vez que ao longo do rio todo não temos valores semelhantes de nenhum dos parâmetros que influenciam a DBO. Nota-se igualmente que mesmo sendo o ponto 4 um dos que elevada concentração de DBO apresentou, para última campanha, mostrou valor mais baixo de DBO, pode justificar-se pelo facto de que na última campanha a ETAR não estava fazendo descargas sobre o rio. Os pontos 1, 2, e 3 a concentração de OD era mais elevado daí apresentaram valores de DBO mais baixos. Trabalhos feitos como o da Sífia Janete Rapulua, chegaram a mesma conclusão tendo obtido valores bem próximos.

5.1.6. Turbidez

Para Turbidez, o ponto 4, indicou valores altos de unidade de turbidez, chegando a atingir até 44,80 NTU.

A legislação vigente para padrões de potabilidade da água, a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021 publicada pelo Ministério da Saúde, estipula valor máximo admissível de turvação de 5NTU.

Este caso, em particular, deveu se ao facto de que a quando da realização deste trabalho, a ETAR do Infulene, encontrava se em reabilitação o que fazia com que o processo de tratamento fosse interrompido em alguns pontos, fazendo-se desta forma Bypass.

5.1.7. Nitratos e Fosfatos

As concentrações obtidas para fosfatos assim como nitratos apresentaram um comportamento decrescente, tendo sido observado os maiores valores na primeira campanha. Facto que pode estar relacionado com a ausência de chuva em todas campanhas que foram feitas as colectas de amostras, porque a precipitação permite o arraste de fertilizantes e outras partículas e estes são compostos por estes nutrientes, e

em valores elevados tornam se contaminantes ao meio receptor o que pode propiciar o crescimento de algas e consequentemente o processo de eutrofização.

Com base no Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho, que regula a qualidade da água para fins de irrigação, os valores obtidos na primeira campanha para fosfatos, com excepção do ponto 1 e 2 estão acima do limite recomendado pelo decreto sendo que todos os pontos com excepção do ponto 3 reduziram significativamente obedecendo os parâmetros descritos no anexo 4.

Para nitratos, apenas na primeira campanha e concretamente no ponto 4 apresentou valor muito alto, tendo excedido o intervalo de 5 – 30 previsto pelo decreto, chegando a atingir uma concentração de até 49,4mg/l, isto pode justificar-se pelo facto de que a origem de excessos de nitrogénio na água está normalmente associado ao lançamento esgotos domésticos e industriais, excremento de animais e uso de fertilizantes (Borges, 2021), os outros pontos apresentaram se estáveis com excepção do ponto 2. Na segunda e terceira campanha o comportamento foi deveras diferente, pois apresentou valores baixíssimos que não chegaram de atingir o valor mínimo previsto.

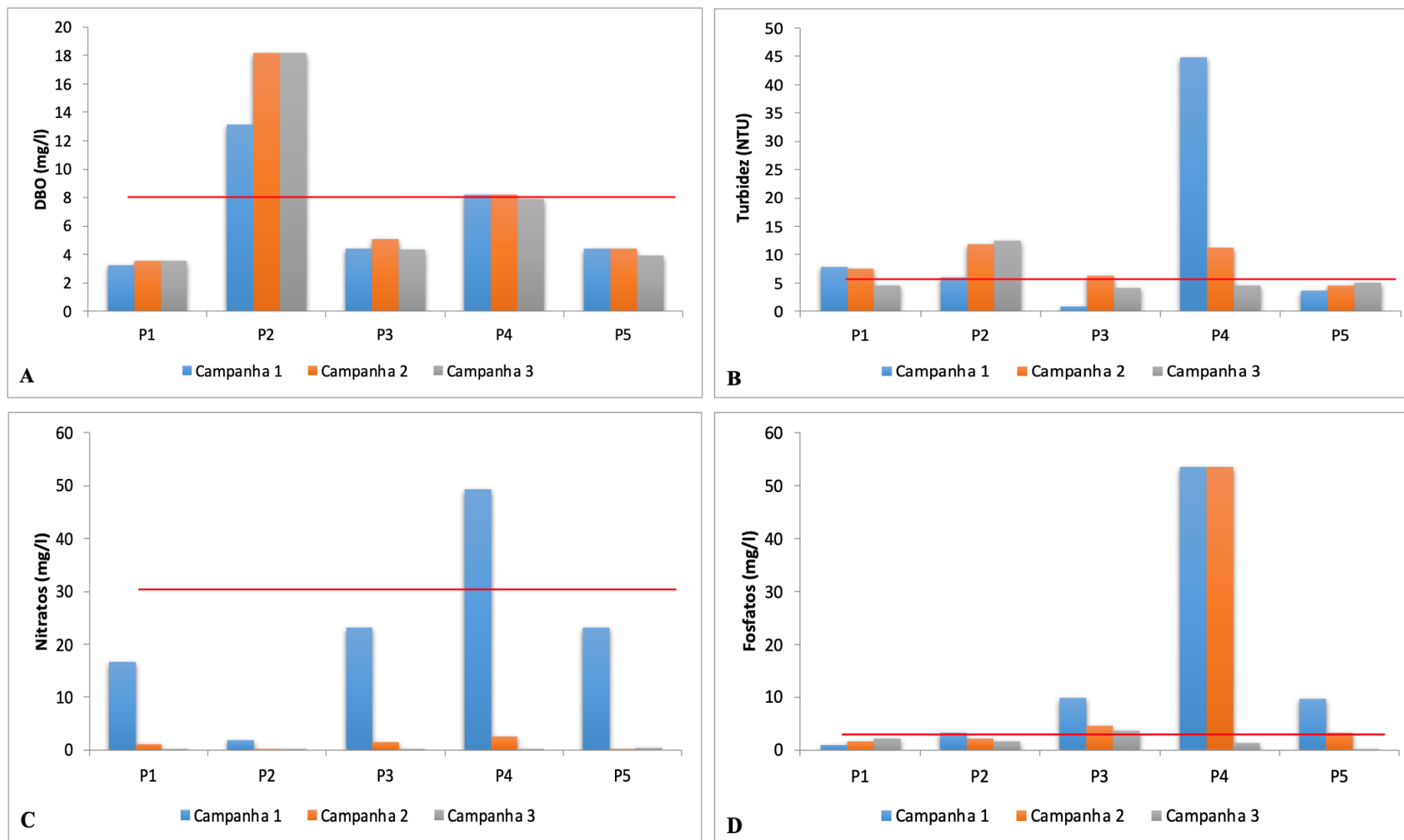


Figura 13: Gráficos de parâmetros laboratoriais

5.1.8. Coliformes Totais e E-coli

Para coliformes totais, a variação foi de $0,538 \cdot 10^6$ NMP/100ml até $304 \cdot 10^6$ NMP/100ml. Ainda que este comportamento não seja visto em todos pontos, porém nos pontos 2 e 4 os valores mostraram extremamente altos, a World Health Organisation (2017) recomenda níveis de coliformes totais que não devem ser detectáveis em nenhuma amostra de 100 ml, isto é 0/100 ml. Entretanto pode se explicar esses valores elevados de ponto 2 por se tratar de esgoto industrial, e ponto 4 por ser ponto de descarga de efluentes tratados de esgotos de múltipla natureza.

Para coliformes fecais ou E-coli, a variação foi de 10^4 NMP/100ml até $17.3 \cdot 10^6$ NMP/100L. Para coliformes fecais o decreto 18/2004 de 2 de Junho do Anexo 4, prevê que para irrigação a água não deve exceder a 10^5 NMP/100ml, valores estes que o ponto 2 e 4 ultrapassam significativamente principalmente no ponto 4 por se tratar de um ponto onde descarrega se efluentes tratados de origem pluvial, domestico até mesmo de fossas sépticas (fezes), daí justificar-se a presença de elevado índice de bactérias.

5.1.9. Sólidos Totais Dissolvidos

Assumindo o limite recomendado pelo Decreto nº 18/2004 para fins de irrigação, os valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) em quase todos pontos, com excepção do ponto 1 em todas campanhas, não atendem o limite (500 mg/L), conforme ilustra a Figura 14-G. O facto pode dever se a escassez de chuva neste período, porque quanto maior fluxo de água, aumenta a capacidade autodepurativa do rio, não permitindo desta forma maior tempo de residência e retenção da água.

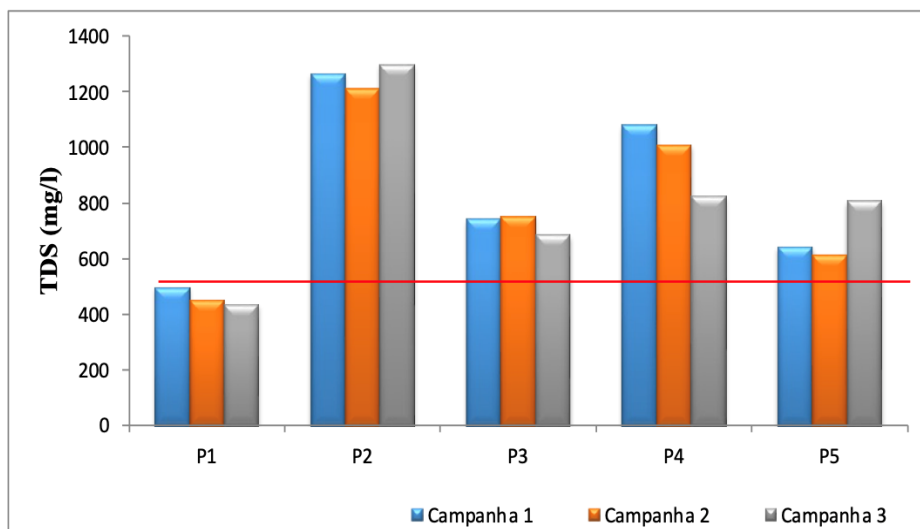
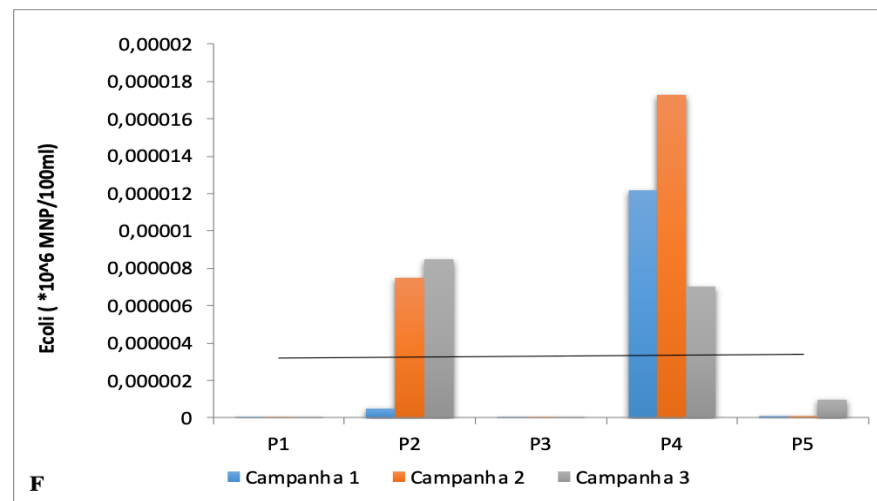
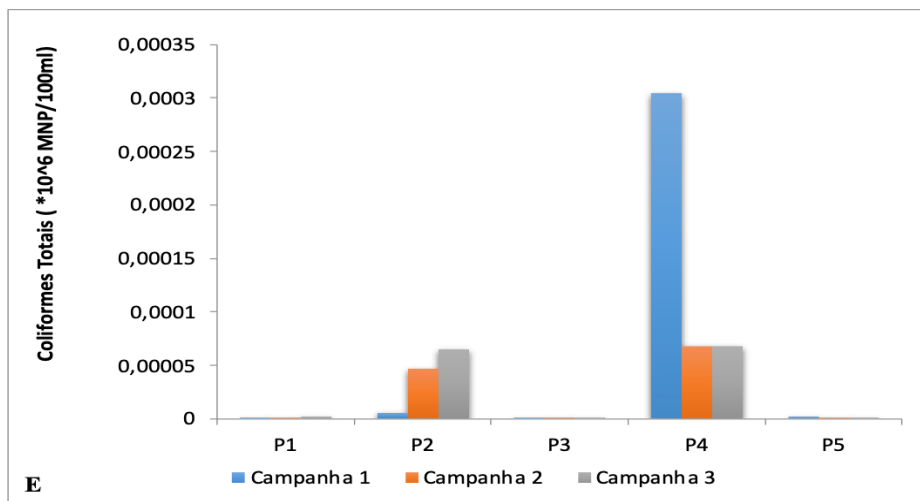


Figura 14: Gráficos de parâmetros laboratoriais. Cont.

5.2. Correlação de Pearson

Após o uso da matriz de Pearson, segue a interpretação da situação de cada ponto, a tabela 9 abaixo, mostra o comportamento dos dados do rio antes da descarga dos efluentes tanto da 2M como da ETAR do Infulene.

Análise de dados do ponto 1 (Ponto antes da descarga de efluentes da 2M e ETAR)

Tabela 9: Matriz do ponto 1

Variáveis	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Condutividad e (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	-0.111	-0.017	-0.161	-0.118	0.185	-0.281	-0.144	-0.036	-0.025	-0.025
Nitratos (mg/l)	-0.111	1	-0.884	-0.503	0.322	0.531	0.558	0.910	0.954	0.931	0.931
Fosfatos (mg/l)	-0.017	-0.884	1	0.846	-0.884	-0.846	-0.112	-0.727	-0.983	-0.913	-0.913
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.161	-0.503	0.846	1	-0.502	-0.955	0.430	-0.290	-0.738	-0.650	-0.650
Ecoli (MNP/100ml)	-0.118	0.322	-0.884	-0.502	1	0.530	0.559	0.910	0.954	0.931	0.931
Turbidez (NTU)	0.185	0.531	-0.846	-0.955	0.530	1	-0.363	0.325	0.745	0.641	0.641
Temperatura °C	-0.281	0.558	-0.112	0.430	0.559	-0.363	1	0.675	0.288	0.323	0.323
pH	-0.144	0.910	-0.727	-0.290	0.910	0.325	0.675	1	0.810	0.728	0.728
OD (mg/l)	-0.036	0.954	-0.983	-0.738	0.954	0.745	0.288	0.810	1	0.540	0.949
Condutividade (µS/cm)	-0.025	0.931	-0.913	-0.650	0.931	0.641	0.323	0.728	0.540	1	0.496
TDS (mg/L)	-0.025	0.931	-0.913	-0.650	0.931	0.641	0.323	0.728	0.949	0.496	1

Interpretação

Este é o ponto de referência do estudo, pois teoricamente representa a qualidade da água mais “natural” do rio antes de qualquer influência directa das ETARs. Porém, a região é rodeada de machambas (áreas agrícolas), o que pode influenciar a qualidade da água por escoamento superficial, com adubos, pesticidas ou matéria orgânica.

Nutrientes:

➤ **Nitratos x OD ($r = 0,954$) e Nitratos x pH ($r = 0,910$)**

Indicam que os nitratos estão presentes em águas mais oxigenadas e com pH mais alto, sugerindo que vêm de escoamento agrícola (não esgoto), com pouca matéria orgânica em decomposição.

➤ **Fosfatos x OD ($r = -0,983$)**

Forte correlação negativa: quando o fósforo aumenta, o oxigénio diminui. Isso pode indicar que o fósforo vem de fontes mais poluentes (como detergentes ou restos orgânicos), que consomem oxigénio na decomposição.

Parâmetros físico-químicos:

➤ **pH x OD ($r = 0,810$)**

Ambientes levemente mais alcalinos (pH alto) mantêm melhor a concentração de oxigénio dissolvido. Isso é compatível com águas de baixo teor de contaminação.

➤ **Condutividade x Nitratos ($r = 0,931$)**

Mostra que sais minerais (condutividade) e nitratos têm mesma origem — agricultura é o suspeito principal.

Microrganismos:

➤ **Fosfatos x E. coli ($r = -0,884$)**

Pode indicar que a presença de fósforo não está associada à carga fecal, o que reforça a ideia de baixo impacto de esgoto doméstico neste ponto.

Coliformes x Turbidez ($r = -0,955$)

Inversamente relacionados: quanto mais coliformes, menos turbidez — isso pode sugerir que as bactérias não estão vindo de sedimentos em suspensão, e sim de contaminação leve e difusa.

A análise da matriz de correlação de Pearson referente ao **Ponto 1**, localizado a montante de todas as descargas da ETAR urbana e da ETAR industrial da cervejeira 2M, revelou características de uma água relativamente preservada, embora sob alguma influência agrícola devido à proximidade com áreas de cultivo (machambas).

As correlações observadas entre **nitratos e oxigénio dissolvido ($r = 0,954$)**, bem como com o **pH ($r = 0,910$)**, sugerem que os nitratos presentes têm origem agrícola, sendo dissolvidos em águas com bom nível de oxigénio, sem indicadores fortes de carga orgânica bruta. Por outro lado, a **correlação negativa entre fosfatos e OD ($r = -0,983$)** pode indicar que parte do fósforo detectado está associado a processos de decomposição mais activos, talvez relacionados ao uso de fertilizantes orgânicos ou à decomposição de matéria vegetal.

A **ausência de correlações fortes e positivas com E. coli e coliformes totais** reforça a hipótese de que este trecho ainda não sofre influência directa de esgotos domésticos, mantendo-se como um ponto de referência de melhor qualidade. Além disso, a **forte correlação entre condutividade e nitratos ($r = 0,931$)** indica que os sais minerais dissolvidos acompanham o padrão dos nutrientes oriundos de práticas agrícolas.

Assim, o Ponto 1 serve como base de comparação para os demais pontos do estudo, permitindo observar com clareza os efeitos da entrada de efluentes das duas ETAR's ao longo do rio.

5.2.1. Análise de dados do ponto 2 (Ponto de descarga da 2M)

O Ponto 2 é o ponto de descarga dos efluentes da 2M, a tabela 10, apresenta a situação de correlação de cada variável em relação ao outro e como cada uma delas influenciam ao outro.

Tabela 10: Matriz do ponto 2

Variáveis	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	0.705	0.680	0.146	0.211	0.797	-0.133	-0.492	-0.126	-0.328	-0.328
Nitratos (mg/l)	0.705	1	0.636	-0.941	-0.985	-0.952	-0.119	0.327	-0.972	0.153	0.153
Fosfatos (mg/l)	0.680	0.636	1	-0.945	-0.988	-0.963	-0.124	0.319	0.975	0.653	0.556
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.146	-0.941	-0.945	1	0.456	0.948	0.439	0.004	-0.988	0.147	0.147
Ecoli (MNP/100ml)	-0.211	-0.985	-0.988	0.456	1	0.969	0.272	-0.173	-0.995	-0.016	-0.016
Turbidez (NTU)	0.797	-0.952	-0.963	0.948	0.969	1	0.221	-0.193	-0.966	0.865	-0.081
Temperatura °C	-0.133	-0.119	-0.124	0.439	0.272	0.221	1	0.890	-0.319	0.901	0.901
pH	-0.492	0.327	0.319	0.004	-0.173	-0.193	0.890	1	0.127	0.929	0.929
OD (mg/l)	-0.126	-0.972	0.975	-0.988	-0.995	-0.966	-0.319	0.127	1	-0.015	-0.015
Condutividade (µS/cm)	-0.328	0.153	0.653	0.147	-0.016	0.865	0.901	0.929	-0.015	1	0.879
TDS (mg/L)	-0.328	0.153	0.556	0.147	-0.016	-0.081	0.901	0.929	-0.015	0.879	1

Interpretação

O ponto 2 representa a descarga da Estação de Tratamento de Águas da indústria cervejeira 2M, e os dados colectados nesse ponto fornecem informações sobre a qualidade da água após o tratamento dos efluentes da indústria.

DBO (Demanda Bioquímica de Oxigénio)

- **Correlação com Nitratos ($r = 0.705$) e Fosfatos ($r = 0.680$):** A DBO apresenta correlação positiva com nitratos e fosfatos, indicando que, à medida que esses nutrientes aumentam, também há um aumento na carga orgânica (DBO), sugerindo que a presença de nitratos e fosfatos pode ser um reflexo de poluição orgânica. Esse comportamento é típico, pois a DBO está relacionada à degradação da matéria orgânica presente na água.
- **Correlação negativa com Coliformes Totais ($r = -0.146$) e Ecoli ($r = -0.211$):** A DBO mostra uma correlação negativa mais fraca com os coliformes, o que é esperado, pois a DBO é mais influenciada por matéria orgânica proveniente da produção de cerveja, enquanto os coliformes são indicativos de contaminação fecal.

Nitratos (mg/l)

- **Correlação forte com Fosfatos ($r = 0.636$) e Correlação forte negativa com Coliformes ($r = -0.941$):** A presença de nitratos correlaciona-se positivamente com os fosfatos, o que indica uma relação entre esses dois nutrientes como indicadores de poluição química. A forte correlação negativa com coliformes (-0.941) sugere que a presença de nitratos pode estar associada a fontes diferentes de poluição, possivelmente de origem agrícola ou industrial.

Fosfatos (mg/l)

- **Correlação com Coliformes ($r = -0.945$) e Ecoli ($r = -0.988$):** Os fosfatos apresentam uma correlação muito forte e negativa com coliformes totais e E. coli, o que pode sugerir que a presença de fosfatos, que é muitas vezes proveniente de fertilizantes ou esgoto, não está directamente associada à presença de coliformes fecais. Isso pode indicar que a fonte de poluição fecal (relacionada a coliformes) é diferente da fonte de poluição por nutrientes.

Coliformes Totais e E.coli

- **Correlação forte positiva entre Coliformes Totais e Ecoli ($r = 0.456$):** Isso é esperado, pois tanto os coliformes totais quanto a E. coli são indicadores de contaminação fecal, e sua presença está directamente relacionada à poluição biológica.
- **Correlação negativa com OD ($r = -0.988$):** A correlação negativa entre coliformes e OD (Oxigénio Dissolvido) sugere que, à medida que a carga de contaminação fecal aumenta, a quantidade de oxigénio dissolvido na água tende a diminuir devido ao consumo de oxigénio pelos processos de decomposição de matéria orgânica.

Turbidez (NTU)

Correlação positiva com DBO ($r = 0.797$) e Ecoli ($r = 0.969$): A turbidez está fortemente correlacionada com a DBO e E. coli, o que indica que áreas com maior turbidez possuem maior carga orgânica e maiores concentrações de patógenos. A turbidez pode estar associada à presença de matéria orgânica em suspensão, como sedimentos ou microrganismos.

Temperatura e pH

- **Temperatura e pH (positivamente correlacionados com DBO, E. coli, e outros parâmetros):** A temperatura influencia muitos parâmetros da qualidade da água, como a solubilidade do oxigénio e a taxa de decomposição da matéria orgânica, além de afectar o crescimento de microrganismos. O pH também tem um papel importante na biogeoquímica da água e afecta a actividade biológica. A correlação positiva entre temperatura e pH sugere que a temperatura pode estar moderadamente influenciando os parâmetros biológicos e químicos.

Oxigênio Dissolvido

- **Correlação negativa com DBO ($r = -0.126$) e Coliformes Totais ($r = -0.988$):** A DBO e os coliformes têm correlação negativa com o OD, o que significa que áreas com maior poluição orgânica ou contaminação fecal tendem a ter menores níveis de oxigênio dissolvido, devido ao consumo de oxigênio pelas bactérias de decomposição.

Condutividade e TDS (Sólidos Totais Dissolvidos)

- **Forte correlação entre Condutividade e TDS ($r = 0.879$):** Como esperado, a condutividade e os TDS estão fortemente correlacionados. Isso ocorre porque ambos são indicativos da quantidade de sólidos dissolvidos na água. A presença de sólidos dissolvidos pode estar associada à carga química ou de nutrientes na água, como os nitratos e fosfatos.

A matriz de correlação para o **ponto 2** revela que a descarga da estação de tratamento de águas da 2M influencia a qualidade da água de várias maneiras, principalmente aumentando a concentração de nutrientes como nitratos e fosfatos, que têm uma correlação positiva com DBO. Além disso, a turbidez e os coliformes, que são indicadores de poluição orgânica e microbiológica, também estão presentes em quantidades significativas. No entanto, a correlação negativa entre os parâmetros de qualidade da água e o OD sugere que, enquanto a DBO e os patógenos aumentam, o oxigênio dissolvido tende a diminuir, um comportamento típico em águas mais poluídas.

Esse ponto serve como um indicativo de como a estação de tratamento da 2M impacta a qualidade da água em termos de nutrientes e poluição orgânica. A presença de turbidez e microrganismos também é relevante e deve ser considerada na análise do impacto da indústria no ambiente local.

5.2.2. Análise de dados do ponto 3 (Ponto entre a descarga da 2M e da ETAR)

O Ponto 3 é o ponto do rio entre a 2M e a ETAR , a tabela 11, apresenta a situação de correlação de cada variável em relação ao outro e como cada uma delas influenciam ao outro.

Tabela 11: Matriz do ponto 3

Variáveis	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	0.630	0.574	-0.154	-0.187	0.087	-0.278	0.008	0.126	0.065	0.065
Nitratos (mg/l)	0.630	1	0.877	0.844	-0.503	-0.879	0.335	0.756	0.850	0.415	0.415
Fosfatos (mg/l)	0.574	0,877	1	0.657	-0.512	-0.875	0.324	-0.008	0.948	0.425	0.425
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.154	0.844	0.657	1	0.492	-0.884	0.346	0.004	0.941	0.404	0.404
Ecoli (MNP/100ml)	-0.187	-0.503	-0.512	0.492	1	0.098	0.637	0.378	-0.740	-0.957	-0.957
Turbidez (NTU)	0.087	-0.879	-0.875	-0.884	0.098	1	-0.691	-0.191	-0.704	0.044	0.044
Temperatura °C	-0.278	0.335	0.324	0.346	0.637	-0.691	1	0.355	0.030	-0.704	-0.704
pH	0.008	0.756	-0.008	0.004	0.378	-0.191	0.355	1	-0.078	-0.331	-0.331
OD (mg/l)	0.126	0,850	0.948	0.941	-0.740	-0.704	0.030	-0.078	1	0.657	0.657
Condutividade (µS/cm)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	1	0.872
TDS (mg/L)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	0.872	1

Interpretação

- **Nitratos e Fosfatos ($r = 0,877$):** Correlação positiva forte entre nitratos e fosfatos, o que sugere que ambos os nutrientes têm fontes comuns de poluição. Isso é consistente com fontes agrícolas ou industriais, que frequentemente liberam esses compostos na água. Estes nutrientes, continuam a ser indicadores de poluição, provavelmente de origem agrícola ou industrial. A presença desses nutrientes não parece estar associada a um alto nível de decomposição orgânica ou matéria fecal.
- **Nitratos e Oxigénio Dissolvido (OD) ($r = 0,850$):** A correlação positiva forte entre nitratos e oxigénio dissolvido sugere que a água nesse ponto ainda possui um nível razoável de oxigénio, apesar da presença de nitratos. Isso pode indicar que os nitratos não estão associados a processos de decomposição orgânica intensos.
- **Fosfatos e OD ($r = 0,948$):** Uma correlação muito forte e positiva entre fosfatos e oxigénio dissolvido, o que reforça a ideia de que, apesar da presença de fosfatos, a água ainda mantém níveis de oxigénio, possivelmente devido à ausência de decomposição orgânica significativa nesse ponto.
- **Coliformes Totais e E. coli ($r = 0,941$):** Como esperado, essa correlação é muito forte, indicando que ambos os parâmetros são indicativos de contaminação fecal. A relação é coerente com fontes de poluição biológica, sendo esse ponto impactado por essa forma de contaminação.
- **Turbidez e Coliformes ($r = -0,884$):** A correlação negativa entre turbidez e coliformes sugere que a presença de coliformes não está directamente associada a uma maior turbidez. Isso pode indicar que a poluição microbiológica (coliformes) é de origem mais difusa, sem estar necessariamente ligada a matéria orgânica em suspensão.
- **E. coli e Condutividade ($r = -0,957$):** Correlação muito forte e negativa entre E. coli e condutividade. Isso pode indicar que, em áreas com maior contaminação fecal (E. coli), a carga de sólidos dissolvidos tende a ser baixa, sugerindo que a poluição microbiológica não está acompanhada por altos níveis de poluição química.

- **Temperatura e E. coli ($r = 0,637$):** A correlação positiva entre temperatura e E. coli indica que com o aumento da temperatura, a proliferação de microrganismos fecais tende a ser mais intensa, o que é esperado, pois a temperatura mais alta favorece o crescimento bacteriano.
- A **DBO** (Demanda Bioquímica de Oxigénio) tem uma correlação fraca com os **coliformes** ($r = -0,154$), sugerindo que a carga orgânica e a carga fecal não estão tão fortemente relacionadas neste ponto, indicando que a carga orgânica pode vir de fontes diferentes.
- **Coliformes e E. coli** são claros indicadores de contaminação fecal, mas a correlação com a condutividade é negativa, indicando que as áreas com alta contaminação microbiológica possuem menor presença de sais dissolvidos, ou que a poluição microbiológica é de natureza mais difusa e não acompanha substâncias químicas.
- A **temperatura** parece ter influência directa na proliferação de **E. coli** ($r = 0,637$), reforçando a ideia de que as condições térmicas favorecem o crescimento de microrganismos fecais.

O **Ponto 3** parece representar uma zona de transição entre o impacto da 2M e o início do impacto da ETAR do Infulene. Embora a presença de nitratos e fosfatos sugira que ainda há uma poluição química significativa (provavelmente de fontes agrícolas ou industriais), os coliformes e E. coli indicam que a contaminação fecal também começa a ser perceptível. A correlação entre temperatura e E. coli sugere que a proliferação microbiana pode ser influenciada pela temperatura, e a correlação negativa entre turbidez e coliformes indica que a poluição fecal não está associada a grandes concentrações de material em suspensão. Portanto, este **ponto 3** é um indicador de que a qualidade da água está começando a se degradar devido à mistura das influências da poluição industrial e urbana, com sinais de contaminação orgânica e microbiológica.

5.2.3. Análise de dados do ponto 4 (Ponto de descarga da ETAR).

O Ponto 4 é o ponto de descarga dos efluentes da ETAR, a tabela 12, apresenta a situação de correlação de cada variável em relação ao outro e como cada uma delas influenciam ao outro.

Tabela 12: Matriz do ponto 4

Variáveis	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100 ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Conductividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	0.361	-0.550	0.389	0.967	0.326	0.317	0.158	-0.987	0.035	0.038
Nitratos (mg/l)	0.361	1	0.954	0.247	-0.994	0.987	0.355	-0.050	0.910	0.716	0.718
Fosfatos (mg/l)	-0.550	0.954	1	-0.835	0.649	-0.618	-0.851	-0.430	-0.825	-0.049	-0.050
Coliformes Totais (MNP/100ml)	0.389	0.247	-0.835	1	1.000	0.658	0.947	0.634	0.491	-0.499	-0.497
Ecoli (MNP/100ml)	0.967	-0.994	0.649	1.000	1	-0.998	-0.256	0.124	-0.876	-0.789	-0.790
Turbidez (NTU)	0.326	0.987	-0.618	0.658	-0.998	1	0.206	-0.143	0.860	0.812	0.813
Temperatura °C	0.317	0.355	-0.851	0.947	-0.256	0.206	1	0.572	0.574	-0.363	-0.362
pH	0.158	-0.050	-0.430	0.634	0.124	-0.143	0.572	1	0.145	-0.507	-0.515
OD (mg/l)	-0.987	0.910	-0.825	0.491	-0.876	0.860	0.574	0.145	1	0.462	0.464
Conductividade (µS/cm)	0.035	0.716	-0.049	-0.499	-0.789	0.812	-0.363	-0.507	0.462	1	1.000
TDS (mg/L)	0.038	0.718	-0.050	-0.497	-0.790	0.813	-0.362	-0.515	0.464	1.000	1

Interpretação

➤ **DBO x OD ($r = -0,987$)**

Forte correlação negativa: quanto maior a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigénio), menor o OD. Isso indica que há uma alta carga de matéria orgânica em decomposição, consumindo intensamente o oxigénio da água. Este cenário, é típico de esgoto bruto ou pouco tratado, que chega à água com alta concentração de compostos biodegradáveis.

➤ **DBO x E. coli ($r = 0,967$)**

Mostra que a matéria orgânica está associada à contaminação fecal, sinal claro de poluição urbana directa.

➤ **E. coli x Coliformes Totais ($r = 1,000$)**

Correlação perfeita: indica uma contaminação fecal expressiva e recente característico de esgoto doméstico não tratado.

➤ **Temperatura x Coliformes Totais ($r = 0,947$)**

Temperaturas mais elevadas favorecem o crescimento microbiano. Pode indicar que o esgoto lançado estava a uma **temperatura mais alta**, ou que o clima no período favoreceu a **proliferação bacteriana**.

➤ **E. coli x OD ($r = -0,876$)**

Mostra que a actividade bacteriana (decomposição) também está reduzindo os níveis de oxigénio dissolvido.

➤ **Turbidez x E. coli ($r = -0,998$)**

Relação inversa fortíssima e incomum: sugere que a contaminação fecal ocorreu em águas com baixa turbidez, isto é, sem muitos sólidos visíveis. reforça a ideia de bypass directo do esgoto líquido, com remoção de sólidos primários, mas sem tratamento biológico.

➤ **Nitratos x Fosfatos ($r = 0,954$)**

Alta correlação: indica fonte comum, provavelmente uma mistura de efluente doméstico + algum resíduo agrícola.

➤ **Nitratos x OD ($r = 0,910$)**

Surpreendentemente, nitratos estão presentes em água ainda oxigenada, o que indica que a sua origem pode ser mais difusa ou agrícola, ou então o nitrato está presente em formas menos reactivas.

➤ **Fosfatos x OD ($r = -0,825$)**

Ao contrário dos nitratos, os fosfatos estão mais associados à perda de oxigénio, o que reforça sua relação com matéria orgânica degradável possível origem: detergentes ou matéria fecal.

➤ **Turbidez x Nitratos ($r = 0,987$) e Turbidez x OD ($r = 0,860$)**

Mostra que onde há mais partículas em suspensão, ainda há oxigénio disponível e presença de nutrientes dissolvidos.

➤ **Turbidez x Coliformes = 0,658 e com E. coli = -0,998**

Sinal de que os coliformes estão presentes sem relação com sólidos em suspensão, reforçando a hipótese de esgoto líquido (sem sólidos) sendo lançado directamente.

➤ **Temperatura x Coliformes ($r = 0,947$)**

Alta temperatura favorece crescimento bacteriano – condição típica de águas contaminadas por esgoto recente.

➤ **pH com correlações fracas/moderadas**

Não desempenha papel dominante neste cenário; a degradação orgânica intensa pode estar mantendo o pH próximo da neutralidade, sem grandes flutuações.

➤ **Condutividade x TDS ($r = 1,000$)**

Padrão esperado representam a mesma variável física (concentração de sólidos dissolvidos).

O Ponto 4 representa um cenário de degradação alta da qualidade da água, que pode estar directamente relacionado ao **bypass da ETAR do Infulene** durante obras de reabilitação. Os dados mostram: altíssima contaminação fecal e orgânica, redução crítica do oxigénio dissolvido, presença de nutrientes que podem alimentar processos eutróficos, esgoto doméstico lançado com baixa remoção biológica ou microbiológica, que podem trazer implicações ambientais como: risco para saúde pública e vida aquática, potencial de eutrofização e colapso ecológico localizado.

5.2.4. Análise de dados do ponto 5 (Ponto depois da descarga da ETAR)

O Ponto 5 é o ponto depois da descarga dos efluentes da ETAR, a tabela 13, apresenta a situação de correlação de cada variável em relação ao outro e como cada uma delas influenciam ao outro.

Tabela 13: Matriz do ponto 5

Variáveis	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	0.233	0.212	-0.402	-0.417	-0.422	-0.111	-0.331	0.506	-0.386	-0.386
Nitratos (mg/l)	0.233	1	0.999	-0.321	-0.501	-0.673	0.644	-0.309	0.877	0.223	-0.354
Fosfatos (mg/l)	0.212	0.999	1	-0.296	-0.478	-0.673	0.662	-0.430	0.864	0.567	-0.332
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.402	-0.321	-0.296	1	0.980	0.479	0.516	0.989	-0.735	0.976	0.976
Ecoli (MNP/100ml)	-0.417	-0.501	-0.478	0.980	1	0.578	-0.338	0.968	-0.853	0.966	0.966
Turbidez (NTU)	-0.422	-0.673	-0.673	0.479	0.578	1	-0.197	0.506	-0.722	0.508	0.508
Temperatura °C	-0.111	0.644	0.662	0.516	-0.338	-0.197	1	0.520	0.198	0.469	0.469
pH	-0.331	-0.309	-0.430	0.989	0.968	0.506	0.520	1	-0.719	0.963	0.963
OD (mg/l)	0.506	0.877	0.864	-0.735	-0.853	-0.722	0.198	-0.719	1	-0.743	-0.743
Condutividade (µS/cm)	-0.386	0.223	0.567	0.976	0.966	0.508	0.469	0.963	-0.743	1	1.000
TDS (mg/L)	-0.386	-0.354	-0.332	0.976	0.966	0.508	0.469	0.963	-0.743	1.000	1

Interpretação

DBO (Demanda Bioquímica de Oxigénio)

- **Nitratos ($r = 0.233$) e Fosfatos ($r = 0.212$):** A correlação positiva entre a DBO e esses nutrientes sugere que a água ainda contém uma carga orgânica que se correlaciona com os níveis de nitratos e fosfatos. Embora o valor seja relativamente baixo, indica que a matéria orgânica ainda está presente no sistema e pode estar em processo de degradação.
- **Coliformes Totais ($r = -0.402$) e E. coli ($r = -0.417$):** A DBO tem correlações negativas moderadas com os coliformes e E. coli, sugerindo que, embora a carga orgânica ainda esteja presente, a poluição fecal não está directamente relacionada à demanda de oxigénio, o que pode indicar uma redução na poluição fecal ou a eficiência da autodepuração no ponto 5.
- **OD ($r = 0.506$):** A DBO tem uma correlação positiva moderada com o oxigénio dissolvido, sugerindo que a decomposição orgânica não está consumindo excessivamente o oxigénio disponível, o que pode ser uma indicação de que o corpo d'água está se recuperando parcialmente.

Nitratos e Fosfatos

- **Correlação muito forte entre Nitratos e Fosfatos ($r = 0.999$):** Isso sugere uma origem comum desses nutrientes, provavelmente associada à agricultura ou efluentes industriais. A presença desses nutrientes em níveis elevados ainda é um indicativo de que a poluição química está presente.
- **Nitratos e E. coli ($r = -0.501$) e Fosfatos e E. coli ($r = -0.478$):** A correlação negativa sugere que, embora haja presença de nutrientes, a contaminação fecal está diminuindo, o que pode ser um sinal de autodepuração, onde a carga de matéria orgânica é parcialmente removida ou diluída com o tempo.

Coliformes Totais e E. coli

- **Correlação forte ($r = 0.980$):** A correlação muito forte entre coliformes totais e E. coli é um indicativo claro de que a poluição biológica está presente, principalmente associada a fontes fecais.

➤ **Correlações com pH ($r = 0.989$) e OD ($r = -0.735$):**

A correlação positiva entre coliformes e pH sugere que o pH da água pode estar dentro de uma faixa onde a proliferação bacteriana é favorecida.

A correlação negativa entre **coliformes** e **OD** é típica em corpos d'água poluídos, pois a decomposição da matéria orgânica aumenta o consumo de oxigênio e reduz a disponibilidade deste na água.

Turbidez

- **Correlação moderada com E. coli ($r = 0.578$) e Turbidez ($r = 0.479$):** A turbidez está associada à presença de matéria orgânica e microrganismos em suspensão, o que pode ser um reflexo de poluição em fase de degradação. A **correlação negativa com a DBO ($r = -0.422$)** pode sugerir que, apesar da turbidez, a carga orgânica já está diminuindo, o que pode ser um bom indicativo de recuperação da qualidade da água.

OD (Oxigênio Dissolvido)

- **Correlações negativas com a DBO ($r = -0.987$), E. coli ($r = -0.853$) e Coliformes Totais ($r = -0.735$):** Isso é esperado, pois a presença de poluição orgânica e fecal tende a consumir oxigênio na água. A presença de oxigênio dissolvido sugere que, embora haja algum grau de poluição, a água ainda possui capacidade de auto-regulação.
- **Correlação positiva com Nitratos ($r = 0.877$) e Fosfatos ($r = 0.864$):** Isso sugere que, apesar da poluição, a água ainda mantém um nível razoável de oxigênio, o que pode ser uma característica de autodepuração, especialmente em áreas onde os nutrientes estão sendo processados sem grandes impactos imediatos no nível de oxigênio.

pH

- **Correlação positiva com E. coli ($r = 0.968$) e Coliformes Totais ($r = 0.989$):** O pH parece estar em uma faixa onde favorece a proliferação de microrganismos fecais. No entanto, a relação com os coliformes é positiva, o que sugere que o ponto ainda sofre algum impacto de contaminação fecal.

- **Correlação negativa com OD ($r = -0.743$):** Um pH mais alto pode estar associado à redução do oxigénio dissolvido, possivelmente devido à decomposição de matéria orgânica ou à actividade bacteriana.

Condutividade e TDS

- **Correlações muito fortes ($r = 0.976$ e $r = 0.966$):** A condutividade e os sólidos totais dissolvidos têm uma forte correlação, sugerindo que o corpo d'água mantém níveis relativamente constantes de poluição química. O aumento de condutividade está geralmente associado à presença de sais dissolvidos, que podem ser provenientes de fertilizantes, efluentes industriais ou agrícolas.

Em suma, a presença de nitratos, fosfatos, coliformes e E. coli indica que a poluição é de natureza orgânica e fecal. No entanto, a correlação moderada com a DBO e a correlação negativa com o OD indicam que, embora haja contaminação, o impacto é menos intenso do que em pontos mais próximos das fontes de poluição. A correlação entre DBO e OD sugere que, mesmo com a presença de nutrientes e matéria orgânica, a água está conseguindo manter níveis razoáveis de oxigénio, indicando que a autodepuração pode estar começando a actuar a situação.

A turbidez associada à E. coli e a DBO sugere que ainda há uma certa quantidade de matéria orgânica em suspensão, mas o sistema pode estar processando essa matéria de forma mais eficiente do que em pontos anteriores.

Este ponto, no caso o 5, indica que o corpo d'água está em uma fase de recuperação, com a presença de nutrientes e poluição ainda perceptíveis, mas com sinais claros de que a água está sendo capaz de reduzir a contaminação fecal e manter um equilíbrio no oxigénio dissolvido. Apesar da presença de alguns indicadores de poluição, a correlação entre os parâmetros sugere que a água está começando a recuperar-se da carga de poluentes, com um processo de autodepuração começando a actuar, reduzindo gradualmente os impactos da poluição.

Aplicação do Método de MARAT

Na tabela 14, serão apresentados os resultados de níveis calculados obtidos com o método em estudo, assim como a sua significância em termos de coloração.

Tabela 14 - Avaliação de Risco pelo método de MARAT

Actividades	Perigos	Riscos	Dano	ND	NE	NP	NC	NR
Uso de água para irrigação	Contaminação das hortícolas	Ingestão de alimentos Contaminados	– Doenças como cólera, hepatite A, leptospirose.	6	4	24	60	1440
Vida de espécies aquáticas (animais e plantas)	Água Contaminada	Eutrofização das águas	– Redução de vida aquática; Redução de oxigénio na água, libertação de gases com odores desagradáveis, alterações no pH da água"	6	4	24	90	2160
		Perda de qualidade da água Perda de Oxigénio na água	– Perda de vida de espécies aquáticas	10	5	50	155	7750
	Água Contaminada	Eutrofização	– Redução de oxigénio na água, libertação de gases com odores desagradáveis, alterações no pH da água". – Redução de vida aquática.	6	4	24	90	2160

ETAR de Infulene (Ponto de descarga)		Contaminação por patógenos e efeitos adversos na qualidade do rio	– Doenças infecciosas, cólera, diarreia, perda de vidas humanas.	10	5	50	155	7750
Emissão da água da ETAR da 2M	Água contaminada	Bioacumulação de substâncias nocivas para fauna e flora aquática	– Danos aos sistemas nervoso e muscular, doenças de pele, distúrbios renais, danos à medula óssea e outras complicações – Perda de diversidade aquática	10	5	50	155	7750
		Impacto no ecossistema aquático e saúde pública	– Diminuição da biodiversidade local, especialmente animais e plantas aquáticas	6	4	24	60	1440
Prática da agricultura nas margens (nutrientes, pesticidas, etc)	Pesticidas, fertilizantes	Eutrofização	– Redução de oxigénio na água.	6	4	24	60	1440
		Poluição por pesticidas	– Contaminação do solo e água, - Aumento de nutrientes na água.	6	4	24	25	600
		Contaminação dos sedimentos	– Doenças infecciosas, cólera, diarreia, perda de vidas humanas.	6	4	24	60	1440
		Efeitos na biodiversidade aquática	– Perda de fauna e flora aquática, não desenvolvimento de algumas espécies	6	4	24	25	600
		Contaminação das águas subterrâneas	Doenças infecciosas Hortícolas contaminadas com água	6	4	24	60	1440
		Aumento da matéria orgânica	Redução de oxigénio na água.	6	4	24	60	1440

Presença de casas de habitação (uso de fossas sépticas precárias), resíduos sólidos, uso de detergente para lavagem de roupa.	Fossas sépticas precárias, Presença de resíduos sólidos	Poluição por resíduos sólidos	Perda da biodiversidade	6	4	24	60	1440
---	---	-------------------------------	-------------------------	---	---	----	----	------

7.MEDIDAS CORRECTIVAS

Tabela 15 - Medidas de Correção

Perigo	Dano	Medidas Correctivas
Contaminação das hortícolas	Ingestão de alimentos Contaminados	– Monitoria da qualidade da água devolvida ao meio receptor, isto é, fazer análises regulares da água do rio para verificar a presença de patógenos, metais pesados ou ainda outros contaminantes; – Uso de sistemas de irrigação que minimizem o contacto directo da água com as partes comestíveis das verduras, como o gotejamento, para reduzir o risco de contaminação; – Educação e capacitação dos agricultores sobre os riscos associados ao uso de água de esgoto tratado na irrigação e as melhores práticas para minimização da contaminação.
Água Contaminada	Eutrofização das águas	– Uso da água tratada para fins não potáveis como lavagem de veículos e equipamentos, em indústrias para resfriamento de industrial (resfriamento de máquinas que não entram em contacto com produtos alimentícios ou farmacêuticos), indústrias têxteis, de papel e celulose, para redução da carga de nutrientes introduzidos ao meio receptor; – Reduzir o uso de fertilizantes para minimizar o escoamento de nutrientes para o rio;
	Perda de oxigénio na água	
	Contaminação por patógenos e efeitos adversos na qualidade do rio	
Pesticidas, fertilizantes.	Contaminação dos sedimentos	– Uso de biofertilizantes e (compostagem e chorume de esterco), pesticidas naturais para a minimização da carga de contaminantes que chega ao rio; – Uso da técnica da Biorremediação como bactérias, fungos ou planta para degradar os pesticidas e fertilizantes acumulados nos sedimentos.
	Contaminação das águas subterrâneas	
	Aumento da matéria orgânica	
Fossas sépticas precárias, Presença de resíduos sólidos	Poluição por resíduos sólidos	– Educação e conscientização da população sobre a importância do uso de materiais biodegradáveis e recicláveis; – Incentivar a redução do consumo de materiais descartáveis e embalagens excessivas; – Desenvolver parcerias com cooperativas de catadores para incentivar a reciclagem.

Dos resultados obtidos e hierarquizando relativamente aos riscos identificados pelo método de MARAT, têm-se propostas de melhorias prioritárias como situações mais significativas os seguintes:

- Educação e capacitação dos agricultores sobre os riscos associados ao uso de água de esgoto tratado na irrigação e as melhores práticas para minimização da contaminação;
- Uso da água tratada para fins não potáveis como lavagem de veículos e equipamentos, em indústrias para resfriamento de industrial (resfriamento de máquinas que não entram em contacto com produtos alimentícios ou farmacêuticos), indústrias têxteis, de papel e celulose, para redução da carga de nutrientes introduzidos ao rio;

Depois de implementadas as medidas prioritárias, vem as subseqüentes e contínuas:

- Monitoria da qualidade da água devolvida ao rio, isto é, fazer análises regulares da água do rio para verificar a presença de patógenos, metais pesados ou ainda outros contaminantes;
- Desenvolver parcerias com cooperativas de catadores para incentivar a reciclagem;
- Incentivar a redução do consumo de materiais descartáveis e embalagens excessivas;
- Reduzir o uso de fertilizantes para minimizar o escoamento de nutrientes para o rio;

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Feito trabalho, concluiu-se que:

1. A qualidade da água do rio apresenta degradação progressiva ao longo do seu curso, especialmente nos pontos situados a jusante das descargas da Cervejeira 2M e da ETAR de Infulene. Esta degradação é evidenciada por alterações nos parâmetros físico-químicos (como o aumento de nutrientes – nitratos e fosfatos – e a variação do OD) e biológicos (presença de coliformes fecais e *E. coli*).
2. A ETAR de Infulene, no momento da amostragem, encontrava-se em reabilitação, com ocorrência de bypass nos processos de tratamento, o que comprometeu a eficácia da remoção de carga orgânica e microbiológica. Isso se reflectiu na forte presença de microrganismos patogénicos e correlações negativas entre OD e parâmetros biológicos.
3. A descarga da indústria cervejeira 2M também mostrou impactos relevantes, sobretudo na carga de nutrientes (DBO, nitratos e fosfatos), embora com menor impacto direto em termos de contaminação fecal. Isso indica poluição essencialmente química e orgânica, com provável origem industrial e agrícola.
4. A agricultura nas margens do rio contribui para a carga de nutrientes através do escoamento superficial com fertilizantes e pesticidas. Essa influência está presente desde o ponto 1, que deveria representar a qualidade mais “natural” da água.
5. Apesar dos impactos, o rio demonstra certa capacidade autodepurativa, com indícios de recuperação da qualidade da água em pontos mais a jusante (ponto 5), reflectida na correlação positiva entre OD e a diminuição gradual de DBO e organismos patogénicos.
6. A poluição tem várias origens e que ambos os factores – Cervejeira 2M e ETAR de Infulene – têm influência na qualidade da água, mas também enfatiza a capacidade de recuperação natural do rio. Pode ajudar os agricultores a entender que o problema é complexo e multifacetado, e exige esforços conjuntos para melhorar a qualidade da água.

7.2. Recomendações

1. Reabilitação e Monitoramento Eficiente da ETAR de Infulene

- Garantir que os trabalhos de reabilitação da ETAR sejam concluídos com prioridade.
- Implementar um plano de monitoramento contínuo da eficiência do tratamento, incluindo a medição regular de DBO, coliformes, *E. coli*, OD e nutrientes nos efluentes tratados.

2. Reforço da Fiscalização e Controle de Efluentes Industriais

- Avaliar e ajustar os parâmetros de descarga da Cervejeira 2M, promovendo um pré-tratamento mais rigoroso dos seus efluentes.
- Desenvolver um sistema de auditorias ambientais periódicas às indústrias não somente a 2M mas nas demais para garantir o bem estar do ambiente.

3. Educação Ambiental e Boas Práticas Agrícolas

- Promover programas de formação com os agricultores locais sobre práticas agrícolas sustentáveis, como o uso racional de fertilizantes e pesticidas, construção de barreiras vegetativas e sistemas de drenagem controlada.
- Incentivar o uso de fertilizantes orgânicos certificados e técnicas de agricultura de conservação para reduzir o escoamento.

4. Monitoramento Integrado da Qualidade da Água

- Estabelecer uma rede de monitoramento permanente ao longo do rio com estações em pontos críticos (antes e depois das descargas industriais/urbanas).
- Utilizar dados de matrizes de correlação para detectar rapidamente alterações na dinâmica dos poluentes.

5. Comunicação e Participação Comunitária

- Criar canais de comunicação directa entre técnicos, autoridades e a comunidade agrícola.
- Organizar sessões públicas de esclarecimento sobre os resultados das análises, reforçando o papel da gestão participativa dos recursos hídricos.

Após o término da reabilitação da ETAR, recomendo que se faça um estudo semelhante, para que se compare os resultados deste trabalho com os que serão obtidos.

8. BIBLIOGRAFIA

1. APHA, A. & W. (2017) – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23a Edição). Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
2. ARAÚJO, R. F.; CARAN. G. M.; SOUZA. I. V. P. (2016) – Orientação temática e coeficiente de correlação para análise comparativa entre dados altimétricos e citações: uma análise da revista Data Grama Zero. Porto Alegre.
3. BRANCO, L. C. S. C. (2022) – Desenvolvimento de uma ferramenta baseada em BIM para apoiar a Avaliação de Riscos em projectos de construção.
4. BRAZIL ESCOLA. Água. [s.d.]. Disponível em: <https://brasile escola.uol.com.br/geografia/agua.htm>. Acesso em 23 de Set. 2023.
5. BORGES, M. G. (2021) – Água e contaminantes químicos: avaliação da qualidade da água nos 5 municípios mais populosos do Rio Grande do Sul.
6. CHAPMAN, D. (1996) – Water Quality Assessments- A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Enviromental Monitoring. London: Cambridge.
7. CETESB. (2018) – Fundamentos Do Controle De Poluição Das Águas. São Paulo.
8. COUSIDO, M. A. (2010) – Contaminación de cuencas con residuos industriales: estudio del caso Matanza Riachuelo, Argentina. La Habana, Cuba: Revista CENIC. Ciências Químicas.
9. COSTA, I. A., Nogueira, F. F., & Pereira, U. A. (2015) – Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás.
10. DIAS, A. C. (2016) - Análise e identificação da origem de contaminação dos. Universidade de Lisboa, Lisboa.
11. DUARTE, E. A. (2005) – Apontamentos das aulas teóricas e práticas de Tratamento de Efluentes, COPISA, Lisboa.
12. FIELD, A. (2017). Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (5^{ed.}). SAGE Publications.
13. FILHO, D. B. F.; ROCHA, E. C.; JÚNIOR, J. A. S.; PARANHOS, R.; NEVES, J. A.; SILVA, M. B. (2014) – Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno. Leviathan | Cadernos de Pesquisa Política.
14. FIORUCCI, A. R., & FILHO, E. B. (2005) – Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. *Química e Sociedade*.

15. FUGITA, S. R. (2018) - Fundamentos do Controle de Poluição das Águas. São Paulo.
16. GOMES.A.S, CLAVICO.E. (2005) – Propriedades Físico-Químicas da Água, Universidade Federal Fluminense, Brazil.
17. GOMES, J. O., AREZES, P. M. Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho. Braga: Universidade do Minho, 2002.
18. GUERRA, Inês & Amador, T.A. (2021) – Projeto De Reabilitação E Expansão Da Estação De Tratamento De Águas Residuais De Infulene – Maputo. Vol.3 – Plano de Gestão Ambiental e Social – PGAS
19. GUERRA, Inês & Amador, T.A. (2021) – Projeto De Reabilitação E Expansão Da Estação De Tratamento De Águas Residuais De Infulene – Maputo. Vol.2 – Relatório do Estudo do Impacto Ambiental e Social –REIAS
20. JORDAO, E.P.; PESSOA, C.A (1995) – Tratamento de Esgotos Domésticos. 4.ed.- Rio de Janeiro: ABES.
21. LIMA, L., Oliveira, J., Siqueira, J., Fia, R., & Mateus, M. (2017) – Determinação da concentração de sólidos dissolvidos totais por meio da medição da condutividade elétrica. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Maceió: CONBEA.
22. LIN, S. D.; LEE, C. C. (2007) – Water and wastewater calculations manual.
23. MAIER, R. M.; Pepper, I.; Gerba, C. (2009) – Environmental microbiology.
24. METCALF, A.; EDDY, D. (2003) – Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4^a ed. International Edition McGraw-Hill, New York.
25. MIOT, H. A. (2018) Out-Dez – Correlation analysis in clinical and experimental studies.
26. NETO, F., PEREIRA, S., & NETO, H. (2018) – Avaliação de Riscos Biológicos e implementação do plano de ação em Laboratórios BSL3.CESQUA – Cadernos de Engenharia de Segurança, Qualidade e Ambiente.
27. NOGUEIRA, F. F., COSTA, I. A., & PEREIRA, U. A. (2015) – Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás. GOIÂNIA.
28. PARRON, L. M., Muniz, D. H., & Pereira, C. M. (2011) – Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-Químico de água. PR: Colombo.
29. Ramos, A. D. S., Oliveira, V. D. P. S. de, & Araújo, T. M. de R. (2019) - Qualidade da água: parâmetros e métodos mais utilizados para análise de água de recursos hídricos superficiais. Holos Environment.

30. SANEAMENTO DO MEIO. (2021, novembro 19) Poluição hídrica no Vale do Infulene. Maputo.
31. SILVA, C. Avaliação de Riscos Profissionais: Método MARAT. Lisboa: ACT – Autoridade para as Condições do Trabalho, 2008.
32. SOUSA, P. (2010) – Estudo de Identificação e Avaliação de Riscos para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho.
33. SPERLING, M. VON (1996) – Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (2ª Edição, Vol. 1). Belo Horizonte.
34. TILLMAN, G. M. (1992) – Primary treatment at wastewater treatment plants.
35. TOLEDO, L. Q. L. L. (2019) – Análise preliminar da qualidade e quantidade da água do ribeirão das rosas em juiz de fora.
36. VASCO, J. R. J. (2016) – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável.
37. VIEIRA, P. de C. (2008) – Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma micro bacia urbanizada no município de Belo Horizonte.

ANEXOS

Anexo 1: Parâmetros de Campo

Campanha	Data	Ponto	Temperatura °C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
1	11/09	P1	26,9	7,13	8,39	946	605,44
			26,7	7,13	8,44	948	606,72
			26,7	7,12	8,45	950	608
		P2	26,4	7,09	1,82	1954	1250,56
			26,3	7,09	1,91	1982	1268,48
			26,3	7,09	1,83	1993	1275,52
		P3	26,2	7,04	4,07	1146	733,44
			25,6	7,04	3,98	1162	743,68
			25,3	7,05	3,93	1172	750,08
		P4	26,6	7,05	3,45	1683	1077,12
			26,6	7,04	4,5	1691	1082,24
			26,2	7,03	3,2	1694	1084,16
		P5	27,8	7,04	6,31	1029	658,56
			27,2	7,04	6,35	997	638,08
			27,2	7,03	6,36	990	633,6
2	13/10	P1	21,4	7,02	4,78	992	634,88
			21,5	7,02	4,78	1032	660,48
			21,5	7,02	4,78	1001	640,64
		P2	24,7	7,03	0,99	1882	1204,48
			25	7,02	0,94	1889	1208,96
			25	7,03	0,87	1900	1216
		P3	20	7,03	2,91	1232	788,48
			21	7,02	2,89	1143	731,52
			21,2	7,02	2,82	1154	738,56
		P4	20,1	7,02	1,31	1575	1008
			22,7	7	1,28	1576	1008,64
			22,7	7	1,26	1576	1008,64
		P5	21	7,02	5,05	1110	710,4
			21,2	7,02	4,92	1098	702,72
			21,2	7,01	4,91	1092	698,88
3	01/12	P1	26,9	7,07	3,21	985	630,4
			25,8	7,06	3,11	991	634,24
			26,3	7	3,18	992	634,88
		P2	29,3	7,12	0,79	2090	1337,6
			28,6	7,11	0,71	1997	1278,08
			28,8	7,1	0,7	2003	1281,92
		P3	26,6	7,14	2,5	993	635,52
			27,1	7	2,35	980	627,2
			26,8	7,05	2,2	1001	640,64
		P4	27,8	7,13	2,02	1286	823,04
			27	7,12	1,99	1279	818,56
			27,1	7	2	1286	828,04
		P5	26,3	7,12	3,72	1261	807,04
			26,2	7,1	3,69	1262	807,68
			26,2	7,11	3,68	1263	808,32

Anexo 2: Parâmetros Laboratoriais

Campanha	Data	Pontos	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)
1	11/09/2023	P1	3,2	19,2	1,04	538000	20000	7,2
			2,4	17	1			7,87
			4,08	13,6	1,01			8,31
		P2	12,68	1,93	2,06	5780000	520000	5,73
			12,16	1,9	4,6			6,83
			15,68	1,8	3,07			5,33
		P3	3,65	23,2	11,3	650000	10000	1,02
			5,34	22	10,5			0,93
			4,2	24,3	7,6			0,95
		P4	9,32	49,6	51,2	304400000	1,2E+07	45,4
			7,13	48,9	57,6			44,7
			8,12	49,6	52			44,3
2	13/10/2023	P1	4,3	23,2	9,7	1670000	98000	4,67
			5,4	22,9	9,6			3,28
			3,6	23,1	9,9			3,18
		P2	3,92	2,04	1,6	541000	10000	8,32
			3,96	1,05	1,63			6,78
			2,72	0,05	1,62			7,59
		P3	17,84	0	3,2	47100000	7500000	11,9
			17,72	0,01	2,2			10,7
			18,88	0,02	1			12,8
		P4	3,56	2,03	4,6	173000	10000	7,7
			4,74	0,95	4,61			5,58
			7,04	1,34	4,65			5,56
3	01/12/2023	P1	8,04	4,05	1,5	68100000	1,7E+07	13
			7,13	3,5	2,55			9,41
			6,8	0,01	5,6			11,1
		P2	4,2	0	3,8	410000	100000	5,01
			4,28	0,01	3,86			4,84
			4,68	0	3,86			3,75
		P3	3,26	0,02	2,12	1515000	10000	4,59
			3,31	0,04	2,12			4,53
			3,01	0	2,18			4,49
		P4	16,31	0,1	1,02	64700000	8500000	11,6
			17,31	0,2	2,22			13,3
			16,58	0	1,95			12,3
		P5	5,02	0,1	3,5	178000	65000	3,92
			4,23	0,18	3,7			4,35
			3,78	0,14	3,9			4,01
		P4	8,31	0,09	2,03	396000000	7000000	4,69
			7,16	0,07	1,09			4,65
			8,24	0,1	0,9			4,61
		P5	4,12	1,05	0,02	6540000	970000	4,94
			3,31	0,05	0,03			5,24
			4,31	0,09	0			4,95

Anexo 2-A

DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)
3.23	16.6	1.02	7.79	538000	20000
13.51	1.88	3.243333333	5.96	5780000	520000
4.40	23.16666667	9.80	0.97	650000	10000
8.19	49.37	53.6	44.8	304400000	12200000
4.43	23.07	9.73	3.71	1670000	98000
3.53	1.046666667	1.62	7.56	541000	10000
18.15	0.01	2.13	11.8	47100000	7500000
5.11	1.44	4.62	6.28	173000	10000
8.19	2.52	53.6	11.17	68100000	17300000
4.43	0.003	3.22	4.53	410000	100000
3.53	0.02	2.14	4.54	1515000	10000
18.15	0.14	1.73	12.4	64700000	8500000
4.34	0.14	3.7	4.09	178000	65000
7.90	0.086666667	1.34	4.65	396000000	18000000
3.91	0.40	0.02	5.04	6540000	970000

Anexo 3: Padrões de emissão de efluentes

A: Padrões gerais de descarga de águas residuais domésticas e industriais no meio receptor estabelecido pelo regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de Drenagem de Águas residuais (Decreto nº 30/2003 de 1 de Julho).

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Admissível
Demanda química de oxigénio (DQO)	mg/l O ₂	150,0
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/l	60,0
Azoto total (N _{total})	mg/l	15,0
Fósforo Total (P _{total})	mg/l	10,0
Cor	Presença/Ausência	Diluição 1:20
Cheiro	Presença/Ausência	Diluição 1:20
pH, 25°C	Escala de Sorensen	6.0-9.0
Temperatura	°C	35

B: Padrões de emissão de efluentes domésticos e industriais em sistemas de drenagem estabelecido pelo regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de Drenagem de Águas residuais (Decreto nº 30/2003 de 1 de Julho).

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Admissível
Temperatura	°C	45
pH, 25°C	Escala de Soronsen	6,0 – 9,0
Sólidos suspensos totais (SST)	Mg/l	1000
Demanda química de oxigénio (DQO)	Mg/l O ₂	2000
Óleos e gorduras	Mg/l	100

C: Padrões de emissão de efluentes líquidos pelas industriais estabelecido pelo regulamento sobre padrões de qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes (Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho).

Parâmetro	Valor	MS
pH	6-9	*
DBO ₅	8,0	*
DQO	80	
SST (Sólidos suspensos totais)	15	*
Óleos e Gorduras	10	
Azoto (NH ₄)	10	
E-Coliformes (moléculas/100ml)	400	*
Aumento da Temperatura	≤3°C	

- As unidades são em mg/L, excepto pH
- Os parâmetros de maior significado (MS) são assinalados com (*). Aqueles parâmetros que normalmente são determinados nas análises ambientais

Anexo 4: Qualidade da água para fins de irrigação (regulamento sobre padrões de qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes), Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho.

Irrigação:

- Total de sólidos dissolvidos < 500 mg/L.
- Total de bactérias < ou = 100000/100ml.
- Salinidade: media através da condutividade eléctrica da água (CE água, mS/Cm).
- Níveis de absorção de sólidos (SAR) da água de rega.
- Nitratos (N-NO₃⁻, mg/L): Intervalo de 5 – 30
- Fosfatos (P-PO₄³⁻, mg/L): intervalo normal 0 – 2.

Anexo 5 : Classificação, quantificação e interpretação de análises laboratoriais de Água para condutividade eléctrica (CE)

Condutividade Eléctrica da Água (<i>mS/cm</i>)				
Min	Max	Classificação	Qualificação	Interpretação
0.10	0.25	Muito Baixo	Não Salgada	Sem restrições para rega
0.26	0.75	Baixo	Pouco Salgada	Pouco risco para rega com lavagem moderada
0.76	2.00	Médio	Salgada	Risco para rega: utilizar água sobre solos moderadamente a mal permeáveis e culturas com media a boa tolerância a salinidade: lavagem é necessária.
2.01	4.00	Alto	Altamente Salgada	Riscos altos para a rega: utilizar água sobre solos bem permeáveis e cultuarias tolerantes a salinidade “condições especiais de lavagem necessárias”
4.01	6.00	Muito Alto	Extremamente Salgada	Rega não desejável: apenas sobre solos altamente permeáveis e culturas altamente tolerantes a salinidade.
>6.00		Extremamente Alto	Excessivamente Salgada	Água não apta para rega, somente em condições muito especiais