BE WATER
ÁGUAS DE VALONGO

PROJETO DE EXECUÇÃO DA ETAR DE ERMESINDE E ALFENA



ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

RELATÓRIOS TÉCNICOS
VOLUME 1 – SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO LEÇA

DEZEMBRO 2024

www.aqualogus.com

AQUALOGUS
Engenharia e Ambiente

INFORMAÇÃO DO PROJETO

Cliente:	Be Water, S.A - Águas de Valongo
Nome do Projeto:	Estudo de Impacte Ambiental do Projeto de Execução da ETAR de Ermesinde e Alfena
Designação:	Projeto de Execução da ETAR de Ermesinde e Alfena – Estudo de Impacte Ambiental
Data de Assinatura do Contrato:	9 de maio de 2024
Autores:	AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda. (AQUALOGUS)

INFORMAÇÃO DO ENTREGÁVEL

Entregável: **Estudo de Impacte Ambiental**

Preparado por: AQUALOGUS

Rev. N.º	Ref.:	Data	Elaborado	Verificado	Aprovado
0	261.01.03	20/12/2024	MDM, DGE	FMR	DGE

PROJETO DE EXECUÇÃO DA ETAR DE ERMESINDE E ALFENA

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

ÍNDICE DE VOLUMES

RELATÓRIO

VOLUME 1 – PEÇAS ESCRITAS

TOMO 1 – CAPÍTULOS INTRODUTÓRIOS

TOMO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

TOMO 3 – AVALIAÇÃO DE IMPACTES

TOMO 4 – MITIGAÇÃO, MONITORIZAÇÃO E CONCLUSÕES

VOLUME 2 – PEÇAS DESENHADAS

RELATÓRIOS TÉCNICOS

VOLUME 1 – SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO LEÇA

VOLUME 2 – PLANO DE GESTÃO AMBIENTAL

RESUMO NÃO TÉCNICO

PROJETO DE EXECUÇÃO DA ETAR DE ERMESINDE E ALFENA

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

RELATÓRIOS TÉCNICOS

VOLUME 1 – SIMULAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO LEÇA

ÍNDICES

TEXTO **Pág.**

1 INTRODUÇÃO 4
2 METODOLOGIA 5
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS 5
2.2 MODELO COMPUTACIONAL 5
2.3 DADOS UTILIZADOS 6
2.3.1 Domínio de modelação 6
2.3.2 Caudal 7
2.3.3 Qualidade da água 8
2.3.4 Dados meteorológicos 12
2.4 CONDIÇÕES DAS SIMULAÇÕES 13
2.4.1 Cenário futuro 14
2.5 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS 15
2.5.1 Considerações gerais 15
2.5.2 Comparação entre cenários 15
2.5.3 Importância da comparação dos cenários 15
2.6 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO 16
3 RESULTADOS 17
3.1 CENÁRIO ATUAL 17
3.2 CENÁRIO FUTURO 19
4 CONCLUSÕES 24
4.1 AVALIAÇÃO CRÍTICA DO MODELO 24
4.2 RESULTADOS DO ESTUDO 25

QUADROS **Pág.**

Quadro 2.1 – Médias mensais utilizadas para definir as condições da qualidade da água do rio Leça, a partir de dados do SNIRH, para a estação Ponte de Leça (Alfena) (06F/04), entre os anos de 2009 e 2019 9
Quadro 2.2 – Fracionamento do azoto e do fósforo em matéria orgânica dissolvida (MOD) e matéria orgânica particulada (MOP), assim como nas formas lábeis (facilmente degradáveis) e refratárias (persistentes). 9
Quadro 2.3 – Médias mensais entre 2016 e 2024, utilizadas para definir as condições da qualidade da água do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena. 10
Quadro 2.4 – Médias mensais utilizadas para definir as condições meteorológicas de referência no modelo. 12
Quadro 2.5 – Valores utilizados para definir as condições da qualidade da água do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena, no cenário futuro. 14
Quadro 3.1 – Resumo dos valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água simulados para os cenários de referência e futuro (a azul). . 23

FIGURAS **Pág.**

Figura 2.1 – Segmentos longitudinais considerados na geração da malha de computação. .. 7
Figura 2.2 – Caudais utilizados para caracterizar o rio Leça e a descarga da ETAR (cenário de referência). 8
Figura 2.3 – Valores de entrada (médias mensais) dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água do rio Leça e do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena. 11
Figura 3.1 – Comparação das concentrações de parâmetros de qualidade da água a montante e a jusante da descarga da ETAR de Ermesinde e Alfena, no rio Leça. Os valores a montante foram obtidos através de dados da estação de qualidade do SNIRH, enquanto os valores a jusante correspondem às simulações do modelo, representando as condições atuais (situação de referência). 18
Figura 3.2 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro de parâmetros de qualidade da água - nutrientes. 20
Figura 3.3 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro – fitoplâncton, COT e CBO. 21
Figura 3.4 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro – OD e pH. 22

1 INTRODUÇÃO

A descarga de efluentes de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) em cursos naturais de água tem como principal objetivo o tratamento e devolução da água ao ambiente com qualidade admissível. Contudo, este processo pode alterar significativamente as condições hidrológicas e a qualidade da água no meio recetor. Pela complexidade das interações envolvidas, torna-se essencial prever e quantificar o impacte dos efluentes após a sua descarga, tarefa que só é possível com o uso de ferramentas de modelação computacional.

Neste contexto, o presente relatório descreve a aplicação de um modelo computacional de simulação da qualidade da água a uma secção do rio Leça sob a influência da ETAR de Ermesinde e Alfena. O objetivo é simular e prever as principais alterações físicas, químicas e ecológicas decorrentes da sua descarga. O estudo baseia-se em dados empíricos e condições ambientais atuais que servem como referência para avaliar os efeitos da descarga na qualidade ecológica do rio, incluindo a simulação de cenários alternativos de caudais e carga de poluentes, permitindo identificar possíveis impactes.

O uso de modelos computacionais para a simulação de impactes de efluentes em massas de água é amplamente reconhecido, sendo mencionada em legislação nacional e europeia, como é exemplo o Anexo III do Decreto-lei n.º 77/2006, de 30 de março, que destaca a sua importância na gestão de recursos hídricos. A modelação permite antecipar a evolução da qualidade da água com base em pressupostos controlados, apresentando uma vantagem clara sobre a monitorização pontual, ao possibilitar a avaliação de diferentes cenários de operação e possíveis alterações nos fatores ambientais.

No caso do presente estudo, a descarga do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena no rio Leça é avaliada no que diz respeito ao seu impacte nas condições de qualidade da água.

Este relatório está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** descrição da metodologia aplicada, incluindo o modelo computacional utilizado, a fonte dos dados e a caracterização da área de estudo;
- **Capítulo 3:** apresentação e análise dos principais resultados da modelação, com destaque para os parâmetros de qualidade da água;
- **Capítulo 4:** resumo das conclusões principais, com ênfase na utilidade do modelo para o planeamento de ações de mitigação.

2 METODOLOGIA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Cada sistema aquático apresenta características únicas, determinadas pelas condições ambientais específicas da sua localização geográfica. No entanto, estes sistemas apresentam propriedades físicas, químicas e ecológicas relativamente semelhantes, permitindo que a sua dinâmica seja simulada através do uso de modelos computacionais baseados em processos mecanicistas ou fenomenológicos. Estes replicam as leis físicas dos fenómenos naturais, assim como as reações químicas e biológicas que governam tais ambientes.

Estes modelos são suficientemente versáteis para serem aplicados a diferentes tipos de sistemas aquáticos, mas também suficientemente detalhados para capturar as particularidades de cada sistema. Desta forma, permitem prever a evolução dos constituintes que afetam a qualidade da água, considerando as características específicas de cada massa de água estudada.

2.2 MODELO COMPUTACIONAL

A ferramenta computacional utilizada neste estudo é o CE-QUAL-W2, um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água bidimensional, transversalmente homogéneo[1]. Este modelo permite a simulação de massas de água sujeitas a fluxos variáveis de entrada e saída ao longo do tempo, classificando-o como um modelo dinâmico, apto para simular variações espaciais e temporais (e.g., sazonais) na qualidade da água. O CE-QUAL-W2 é particularmente adequado para estudos de massas de água que apresentam gradientes verticais e longitudinais na qualidade da água, mas que podem ser consideradas transversalmente homogéneas. O rio Leça enquadra-se, assim, nestas características.

A implementação do modelo exige um conjunto de dados que permite caracterizar as condições físicas da área de estudo e definir os intervalos de valores para diversos parâmetros ambientais que influenciam a dinâmica hidrológica e ecológica da linha de água. Estes dados incluem informações batimétricas, valores típicos de parâmetros (utilizados como condições iniciais para as simulações), condições meteorológicas, caudais afluentes e descarregados, tal como as concentrações dos principais constituintes nos caudais afluentes.

[1] Cole, T. M., Wells, S.A. (2002). CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodinamic and Water Quality Model, Version 3.1. Instruction Report EL-2002-1, US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg, USA.

2.3 DADOS UTILIZADOS

2.3.1 Domínio de modelação

O domínio de modelação foi definido com o objetivo de representar, de forma realista, o volume total de água no troço do rio estudado. A grelha batimétrica, que modela a geometria da massa de água, foi construída com base em dados batimétricos obtidos em campo e informação georreferenciada, permitindo uma representação fiel do seu contorno e do seu volume.

A grelha é composta por células de cálculo, formadas pela divisão vertical em camadas e longitudinal em segmentos, de modo a capturar a variação espacial do fluxo e da qualidade da água ao longo do rio. No presente estudo, o domínio de modelação foi subdividido em 20 segmentos longitudinais, com 110 m de comprimento cada. Esta divisão foi realizada de acordo com o perfil geométrico do rio Leça (**Figura 2.1**), garantindo que o contorno e a inclinação natural do rio fossem respeitados.

Cada segmento longitudinal é, por sua vez, subdividido verticalmente em 4 camadas, com profundidades de 1 m cada. A largura média dos segmentos é de 8 m à superfície, reduzindo gradualmente 1 m por camada, até atingir 5 m na quarta e última camada. Esta distribuição espacial foi cuidadosamente estipulada para garantir que o volume de água representado em cada célula do modelo se aproximasse o mais possível da realidade, assegurando a precisão do modelo de cálculo da circulação da água e dos processos de transporte e transformação de substâncias ao longo do rio.

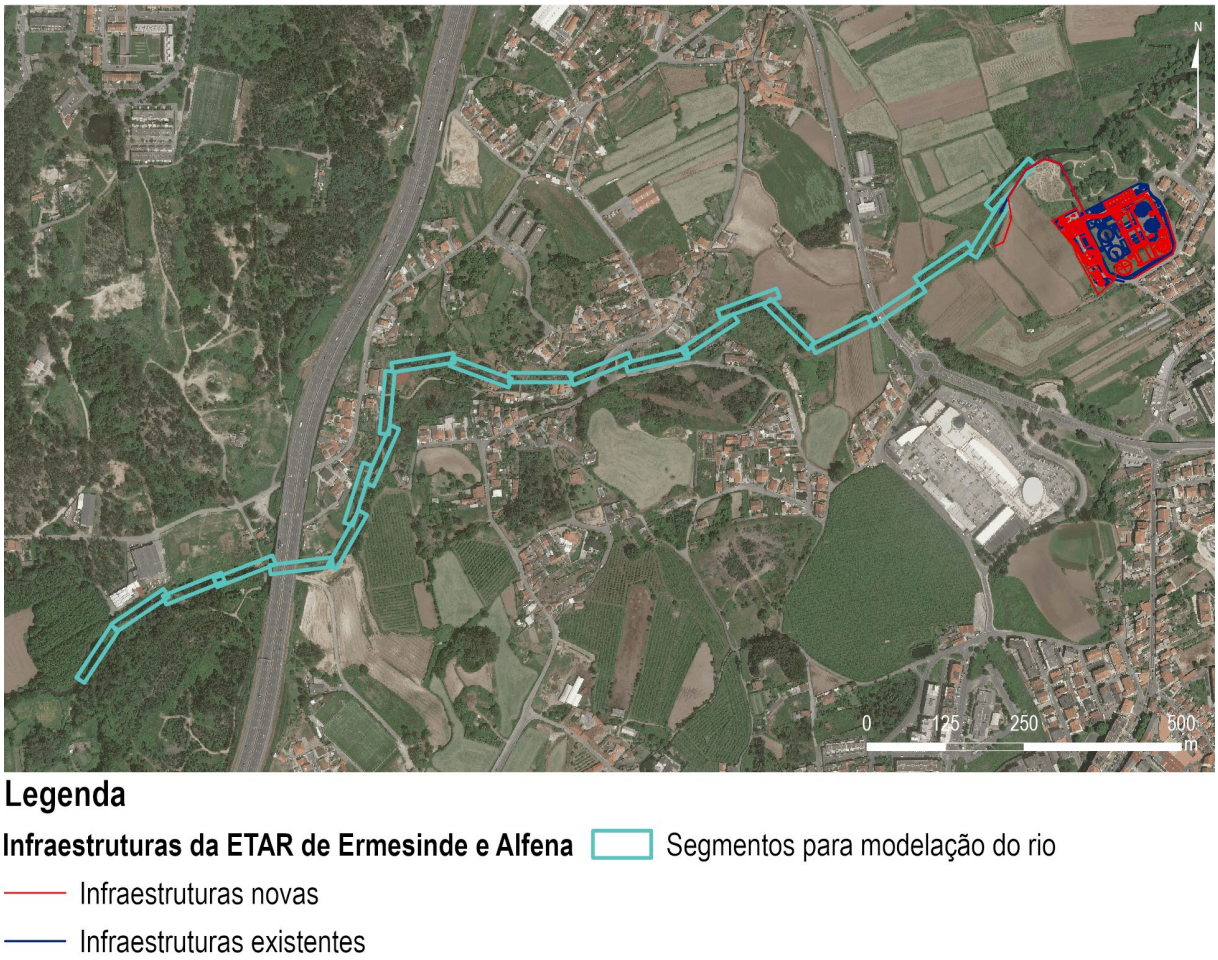


Figura 2.1 – Segmentos longitudinais considerados na geração da malha de computação.

2.3.2 Caudal

Os valores utilizados para a caracterização do caudal do rio Leça foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), especificamente para a estação de monitorização Pereiras (código 06G/03H) – estação que se encontra quase na nascente do rio Leça, sendo que a ETAR se encontra, sensivelmente, a meio do desenvolvimento do rio (20 km da nascente). Os dados utilizados correspondem a médias mensais de caudal calculadas para o período compreendido entre 1980 e 1990, refletindo a variação sazonal ao longo de uma década. Esta série temporal oferece uma base para avaliar o comportamento hidrológico do rio Leça, fornecendo uma descrição consistente das condições de caudal ao longo do ano.

Por outro lado, o caudal do efluente proveniente da ETAR de Ermesinde e Alfena foi determinado com base em dados medidos no período mais recente, entre os anos de 2022 e 2024. Estes valores representam a capacidade de descarga atual da ETAR, tomando em consideração as possíveis variações operacionais e os volumes de tratamento.

Ambos os caudais – do rio Leça e da ETAR – são apresentados de forma comparativa na **Figura 2.2**, ilustrando a diferença entre o regime natural do rio e a contribuição adicional da ETAR.

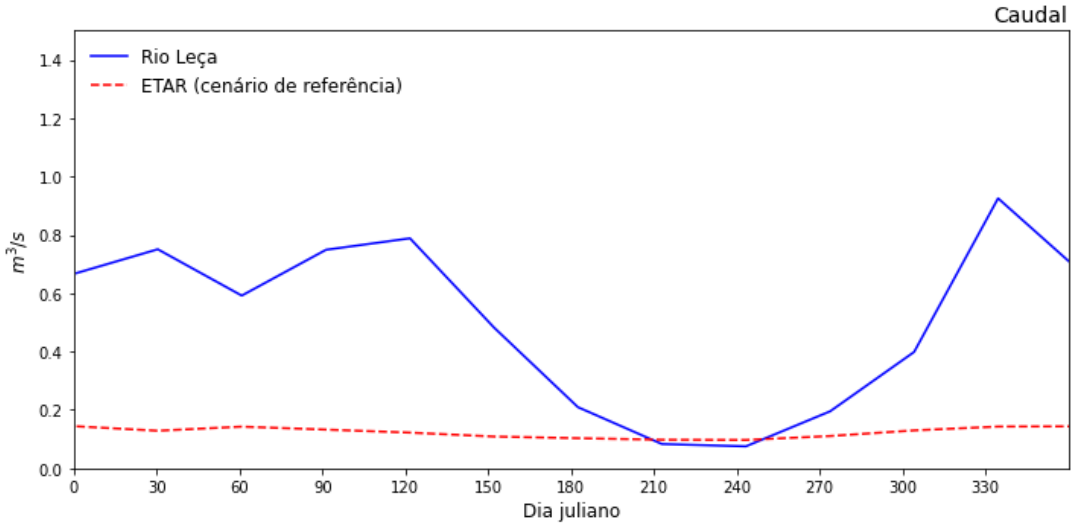


Figura 2.2 – Caudais utilizados para caracterizar o rio Leça e a descarga da ETAR (cenário de referência).

2.3.3 Qualidade da água

O domínio do modelo abrange duas fontes de entrada de água: o rio Leça e o efluente da ETAR. Cada uma dessas fontes apresenta características distintas, sendo essencial definir os valores de entrada das suas propriedades de qualidade da água.

Para o rio Leça foram consideradas as seguintes variáveis de qualidade da água: oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, azoto amoniacal, nitratos, nitritos, fosfatos, azoto orgânico dissolvido, azoto orgânico particulado, fósforo orgânico dissolvido e fósforo orgânico particulado. Devido à sua relevância para a avaliação da qualidade da água, as formas orgânicas de azoto e fósforo foram ainda subdivididas em frações lábeis (facilmente degradáveis) e refratárias (mais resistentes à degradação), totalizando oito componentes específicos.

Os valores de oxigénio dissolvido, sólidos suspensos totais, azoto amoniacal, nitrato, nitrito, azoto total e fósforo total foram obtidos através do SNIRH, especificamente para a estação de monitorização Ponte de Leça (Alfena) (06F/04). Estes valores foram utilizados como base de entrada no modelo (**Quadro 2.1** e **Figura 2.3**), e correspondem a médias mensais de dados disponíveis entre 2009 e 2019. As diferentes frações orgânicas de azoto e fósforo foram determinadas com base em proporções empíricas assumidas para águas influenciadas por atividades humanas, conforme detalhado no **Quadro 2.2**.

Relativamente à caracterização do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena, foi determinada uma média mensal de dados obtidos através de análises laboratoriais realizadas entre 2022

e 2024 (**Quadro 2.3** e **Figura 2.3**). A partir destas análises, foram calculadas médias mensais para os seguintes parâmetros: sólidos suspensos totais, azoto amoniacal, nitratos, nitritos, fosfatos, azoto orgânico dissolvido, azoto orgânico particulado, fósforo orgânico dissolvido e fósforo orgânico particulado.

Destaca-se que apenas os valores de azoto total e fósforo total são diretamente medidos nas análises laboratoriais; as restantes frações de azoto e de fósforo foram calculadas com base nos valores de azoto total e fósforo total, utilizando o fracionamento empírico descrito no **Quadro 2.2**. Para o oxigénio dissolvido foi assumido um valor constante de 2,0 mg/L, assumido como característico de efluentes desta natureza. A temperatura do efluente foi determinada como sendo 2 ºC acima da água do rio.

Esta abordagem permite uma representação realista das entradas de nutrientes, e outros constituintes, que afetam a qualidade da água, fornecendo uma base sólida para a simulação das dinâmicas físico-químicas e ecológicas do sistema aquático em estudo.

Quadro 2.1 – Médias mensais utilizadas para definir as condições da qualidade da água do rio Leça, a partir de dados do SNIRH, para a estação Ponte de Leça (Alfena) (06F/04), entre os anos de 2009 e 2019

Mês	N Total (mgN/L)	P Total. (mgP/L)	PO4 (mgP/L)	NH4 (mgN/L)	NO3+NO2 (mgN/L)	O2 (mg/L)	SST (mg/L)
Jan.	3,3	0,074	0,052	0,043	2,62	9,7	8,8
Fev.	3,2	0,051	0,036	0,064	2,47	10,4	5,1
Mar.	3,1	0,063	0,044	0,068	2,41	9,8	3,4
Abr.	3,7	0,063	0,044	0,034	2,89	9,9	2,2
Mai.	3,3	0,073	0,051	0,076	2,53	9,1	3,4
Jun.	2,9	0,081	0,057	0,097	2,20	8,4	3,6
Jul.	3,8	0,030	0,021	0,187	2,83	7,8	5,0
Ago.	3,0	0,180	0,126	0,205	2,16	6,5	4,5
Set.	3,7	0,060	0,042	0,505	2,30	5,8	5,5
Out.	3,6	0,128	0,090	0,115	2,71	7,3	21,7
Nov.	3,5	0,034	0,024	0,056	2,74	9,6	5,7
Dez.	3,7	0,025	0,018	0,055	2,89	9,9	11,8

Quadro 2.2 – Fracionamento do azoto e do fósforo em matéria orgânica dissolvida (MOD) e matéria orgânica particulada (MOP), assim como nas formas lábeis (facilmente degradáveis) e refratárias (persistentes).

Fração		Azoto (% de N Total)	Fósforo (% de P Total)
Inorgânico	Azoto amoniacal	**30%**	-
	Nitratos + Nitritos	**50%**	-
	Fosfatos	-	**70%**

Fração		Azoto (% de N Total)	Fósforo (% de P Total)
Orgânico lábil	**Total**	**10%**	**10%**
	Dissolvido	8%	6%
	Particulado	2%	4%
Orgânico refratário	**Total**	**10%**	**20%**
	Dissolvido	7%	12%
	Particulado	3%	8%

Quadro 2.3 – Médias mensais entre 2016 e 2024, utilizadas para definir as condições da qualidade da água do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena.

Mês	N Total (mgN/L)	P Total. (mgP/L)	PO4 (mgP/L)	NH4 (mgN/L)	NO3+NO2 (mgN/L)	O2 (mg/L)	SST (mg/L)
Jan.	41,1	3,6	2,6	12,3	20,5	2,0	19,4
Fev.	34,7	4,0	2,8	10,4	17,3	2,0	18,3
Mar.	40,1	3,1	2,2	12,0	20,0	2,0	17,3
Abr.	40,1	3,5	2,4	12,0	20,1	2,0	21,6
Mai.	54,0	4,4	3,1	16,2	27,0	2,0	18,8
Jun.	52,7	3,8	2,7	15,8	26,3	2,0	16,3
Jul.	50,7	3,9	2,7	15,2	25,3	2,0	14,5
Ago.	51,5	4,7	3,3	15,4	25,7	2,0	13,7
Set.	45,2	5,1	3,6	13,6	22,6	2,0	14,8
Out.	37,6	4,2	3,0	11,3	18,8	2,0	13,8
Nov.	41,1	3,6	2,3	10,8	18,0	2,0	14,6
Dez.	34,7	4,0	3,0	9,3	15,5	2,0	16,7

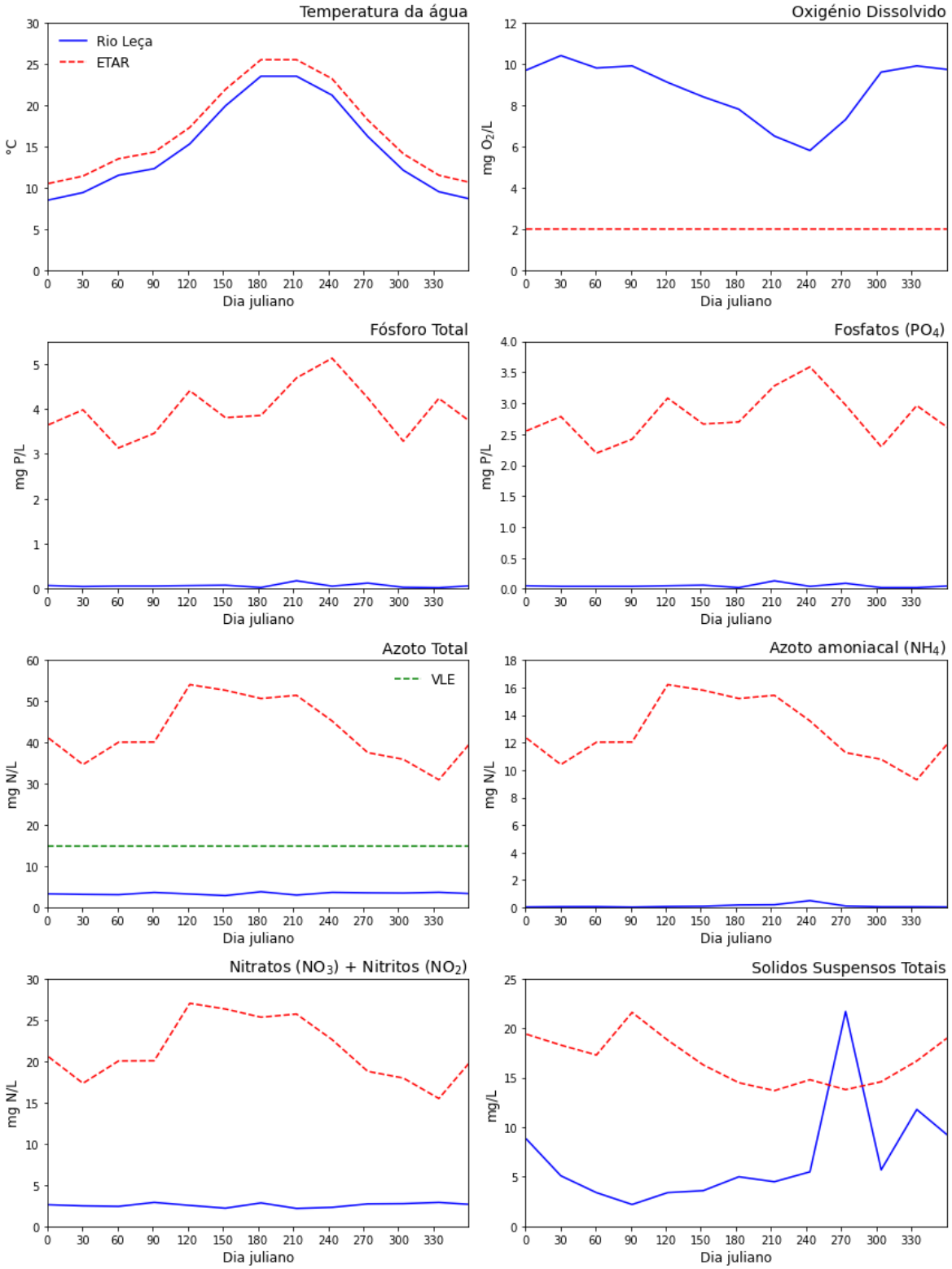


Figura 2.3 – Valores de entrada (médias mensais) dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água do rio Leça e do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena.

2.3.4 Dados meteorológicos

O modelo CE-QUAL-W2 necessita de um conjunto de parâmetros meteorológicos para realizar simulações precisas da hidrodinâmica e qualidade da água. Os principais parâmetros utilizados incluem a temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, e cobertura de nebulosidade. Considerando que nem todos esses parâmetros são frequentemente registados de forma sistemática em estações meteorológicas, alguns deles necessitam ser calculados, ou estimados, com base nos dados disponíveis.

Neste estudo, estes dados foram retirados da normal climatológica de Porto/Pedras Rubras, representando médias mensais de temperatura do ar e velocidade do vento, medidas no período compreendido entre 1971 e 2000 dada a escassez de dados. Para a direção do vento, assumiu-se uma direção predominante de norte, considerada adequada para a região com base nas características climatológicas locais.

A temperatura do ponto de orvalho (T_{po}) foi obtida a partir dos dados de temperatura do ar (T_{ar}) e de humidade relativa (HR), também disponíveis para esta estação, de acordo com a expressão proposta por Lawrence (2005)[2]:

$$T_{po} = T_{ar} - \left(\frac{100 - HR}{5}\right)$$

A cobertura de nebulosidade, variando de 0 a 10, foi estimada de forma empírica, tendo em consideração o número de dias de ocorrência de fenómenos meteorológicos registados na referida normal climatológica como precipitação, trovoadas, neve, nevoeiro e granizo, em cada mês. Esses parâmetros foram selecionados e ajustados com base em padrões climatológicos observados, de forma a fornecer uma representação das condições meteorológicas da região.

Os valores médios mensais utilizados nas simulações, que servem como condições de referência para a modelação, estão apresentados detalhadamente no **Quadro 2.4**.

Quadro 2.4 – Médias mensais utilizadas para definir as condições meteorológicas de referência no modelo.

Mês	Tar (°C)	Tpo (°C)	Vento (radianos)	Vento (m/s)	Cobertura nublosa
Jan.	8,5	5,3	0,0	4,4	1,8
Fev.	9,4	6,2	0,0	4,5	1,9
Mar.	11,5	7,7	0,0	4,2	1,7
Abr.	12,3	7,9	0,0	4,2	1,8

[2] Lawrence, M. G. (2005). The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. Bull. Amer. Meteor. Soc. 86: 225-233. doi: http;//dx.doi.org/10.1175/BAMS-86-2-225

Mês	Tar (°C)	Tpo (°C)	Vento (radianos)	Vento (m/s)	Cobertura nublosa
Mai.	15,3	11,1	0,0	4,1	2,0
Jun.	19,9	15,5	0,0	3,8	2,5
Jul.	23,5	19,9	0,0	3,5	3,5
Ago.	23,5	20,1	0,0	3,4	4,2
Set.	21,2	18,0	0,0	3,3	3,6
Out.	16,2	13,4	0,0	3,7	2,7
Nov.	12,1	9,1	0,0	3,9	2,2
Dez.	9,5	6,5	0,0	4,5	1,9

2.4 CONDIÇÕES DAS SIMULAÇÕES

A análise dos impactes da descarga de efluentes de uma ETAR sobre a qualidade da água de um rio baseia-se em cenários de modelação, que permitem simular tanto as condições atuais (cenário atual, ou de referência) como as futuras em que, no caso, se assume uma redução das cargas poluentes provenientes da ETAR, assim como uma variação no caudal. Estes cenários são essenciais para avaliar a evolução da qualidade da água a jusante da descarga e prever os efeitos de melhorias no tratamento dos efluentes.

A modelação foi conduzida para um período contínuo de um ano, tendo como objetivo a avaliação do impacte do cenário escolhido sobre a qualidade da água do rio. Exceto pelos parâmetros mencionados, todos os outros parâmetros, condições iniciais e de forçamento externo permaneceram constantes, de modo a isolar o efeito no rio da variação de caudal da ETAR e do nível de tratamento.

O cenário preditivo (futuro) foi comparado com o cenário de referência, cujas condições foram descritas anteriormente. Esta análise comparativa foi efetuada com base nos resultados obtidos no último segmento da malha computacional, situado aproximadamente a 2 km a jusante do ponto de descarga do efluente da ETAR. Tal localização foi estrategicamente escolhida para captar adequadamente o impacte do efluente ao longo do gradiente do rio.

Os parâmetros considerados para quantificar as diferenças entre os cenários incluem: concentração e percentagem de saturação de oxigénio dissolvido, azoto amoniacal, nitratos e nitritos, fosfatos, sólidos suspensos totais (SST) e pH. A escolha destes parâmetros baseou-se na sua relevância para caracterizar a qualidade da água e identificar potenciais alterações nas condições ecológicas do rio decorrentes das mudanças no tratamento do efluente e nas características do efluente descarregado.

2.4.1 Cenário futuro

Neste cenário, mantêm-se as condições do cenário de referência, exceto os valores de caudal descarregado pela ETAR e os valores associados à qualidade da água do efluente tratado descarregado no rio, que foram ajustados à nova realidade. Para este cenário, dois valores de caudal foram estabelecidos para refletir as variações sazonais: 0,16 m³/s durante os meses secos e 0,2 m³/s durante os meses húmidos. Estes caudais representam uma diferenciação importante nas dinâmicas de descarga de efluentes, influenciando diretamente o regime fluvial.

Relativamente aos parâmetros de qualidade da água, foram definidos valores constantes para o azoto total, fracionado em suas formas orgânicas e inorgânicas. Estes valores foram estipulados com base numa reunião realizada nas instalações da APA / CCDR-N de 25 de junho de 2024, em que se estabeleceu um limite de emissão de 15 mg N/L. Tal abordagem visa garantir a conformidade do efluente com as normas europeias para águas residuais, assegurando que os níveis de nutrientes, especialmente de azoto, não excedam os limites recomendados.

Para os sólidos suspensos totais (SST) e o fósforo total, não houve necessidade de aplicar limites adicionais, uma vez que os valores da situação de referência já se encontram abaixo dos limites estabelecidos na legislação (35 mg/L para SST e 10 mg P/L para fósforo total). Logo, os valores destes parâmetros foram mantidos inalterados em relação ao cenário de referência, garantindo a consistência dos resultados.

No **Quadro 2.5** são apresentados os valores dos parâmetros utilizados para este cenário futuro, representando uma projeção realista das condições operacionais e do impacte ambiental da ETAR sob diferentes regimes de caudal e qualidade do efluente.

Quadro 2.5 – Valores utilizados para definir as condições da qualidade da água do efluente da ETAR de Ermesinde e Alfena, no cenário futuro.

Mês	N Total (mgN/L)	P Total. (mgP/L)	PO4 (mgP/L)	NH4 (mgN/L)	NO3+NO2 (mgN/L)	O2 (mg/L)	SST (mg/L)
Jan.	15,0	3,6	2,6	4,5	7,5	2,0	19,4
Fev.	15,0	4,0	2,8	4,5	7,5	2,0	18,3
Mar.	15,0	3,1	2,2	4,5	7,5	2,0	17,3
Abr.	15,0	3,5	2,4	4,5	7,5	2,0	21,6
Mai.	15,0	4,4	3,1	4,5	7,5	2,0	18,8
Jun.	15,0	3,8	2,7	4,5	7,5	2,0	16,3
Jul.	15,0	3,9	2,7	4,5	7,5	2,0	14,5
Ago.	15,0	4,7	3,3	4,5	7,5	2,0	13,7
Set.	15,0	5,1	3,6	4,5	7,5	2,0	14,8
Out.	15,0	4,2	3,0	4,5	7,5	2,0	13,8

Mês	N Total (mgN/L)	P Total. (mgP/L)	PO4 (mgP/L)	NH4 (mgN/L)	NO3+NO2 (mgN/L)	O2 (mg/L)	SST (mg/L)
Nov.	15,0	3,3	2,3	4,5	7,5	2,0	14,6
Dez.	15,0	4,2	3,0	4,5	7,5	2,0	16,7

2.5 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS

2.5.1 Considerações gerais

Numa fase inicial, os parâmetros analisados no cenário de referência incluem Nitratos e Nitritos, Azoto Amoniacal, Sólidos Suspensos Totais e Oxigénio Dissolvido. Estes foram escolhidos por serem indicadores amplamente utilizados na avaliação da qualidade da água, mas sobretudo pela sua disponibilidade nos dados que caracterizam as condições do rio Leça a montante da descarga da ETAR. A combinação destes parâmetros oferece uma visão abrangente do estado trófico do sistema e da sua capacidade de suportar vida aquática.

2.5.2 Comparação entre cenários

Para a comparação entre o cenário atual e o cenário futuro, foram escolhidos os seguintes parâmetros adicionais: Fosfatos, Fitoplâncton, Carbono Orgânico Total (COT), Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO), pH e Oxigénio Dissolvido (OD). Esta seleção mais abrangente permite uma avaliação mais detalhada dos efeitos da redução de cargas poluentes no rio Leça.

Considerou-se os seguintes aspetos na escolha de alguns destes indicadores:

- Fitoplâncton: utilizado como um bioindicador do estado trófico e da saúde geral do ecossistema aquático, sendo sensível a variações de nutrientes como o azoto e o fósforo.
- Carbono Orgânico Total: reflete a quantidade de matéria orgânica dissolvida e particulada na água, fornecendo uma estimativa da carga orgânica que pode originar a formação de subprodutos indesejados.
- Carência Bioquímica de Oxigénio: indicador da quantidade de oxigénio necessário para a degradação da matéria orgânica presente na água, sendo essencial para avaliar o impacte das descargas de efluentes.

2.5.3 Importância da comparação dos cenários

A comparação entre os dois cenários permite identificar as diferenças na concentração destes parâmetros críticos, oferecendo uma visão clara dos benefícios da redução de cargas poluentes no rio Leça. Os resultados da modelação não só ajudam a compreender o impacte

da descarga da ETAR, como também fornecem dados para uma gestão mais eficaz do sistema, orientada para a melhoria da qualidade da água e para o cumprimento de diretrizes ambientais, como a Diretiva Quadro da Água (DQA).

A análise dos parâmetros selecionados proporciona, assim, uma visão detalhada do comportamento do sistema sob diferentes condições de carga poluente, permitindo prever o impacte das alterações no tratamento de efluentes, tanto na saúde do ecossistema quanto na qualidade da água disponível para usos humanos e ambientais.

2.6 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

A calibração e validação de modelos numéricos são etapas cruciais na verificação da sua capacidade de simular com precisão os processos dinâmicos e as interações dentro de sistemas aquáticos. Estas atividades requerem dados de campo que possam ser utilizados para comparar com as previsões do modelo, permitindo uma avaliação da sua performance. O processo de calibração ajusta os parâmetros do modelo para melhor refletir as condições observadas, enquanto a validação garante que o modelo reproduza corretamente o comportamento do sistema sob diferentes cenários. No entanto, no presente caso, a inexistência de dados atuais para o sistema em estudo, impede a execução de tais exercícios de calibração e validação.

Apesar dessa limitação, a utilização do modelo numérico mantém-se válida e relevante para a previsão do comportamento do sistema. Mesmo sem calibração e validação diretas, o modelo pode ser usado para simular cenários futuros com base nas características projetadas e parâmetros típicos de sistemas semelhantes. A capacidade do modelo de reproduzir padrões hidrodinâmicos e de qualidade da água, esperados para esse tipo de sistema, confere-lhe utilidade na antecipação de possíveis condições que poderão ocorrer no futuro.

Assim, os resultados obtidos a partir das simulações devem ser interpretados como indicativos, fornecendo uma visão preliminar do desempenho do sistema sob diferentes cenários operacionais e ajudando na tomada de decisões informadas, mesmo sem uma base de dados completa para verificação empírica.

3 RESULTADOS

3.1 CENÁRIO ATUAL

Quando comparados os valores utilizados para caracterizar o Rio Leça, a montante e a jusante da ETAR, os resultados do modelo para o cenário atual (referência) evidenciam um aumento previsto nas concentrações das principais formas de nutrientes, nomeadamente azoto e fósforo (**Figura 3.1**). Este aumento resulta diretamente da introdução de carga orgânica e inorgânica através do efluente da ETAR, refletindo a sua influência nas condições de qualidade da água a jusante do ponto de descarga.

Este incremento nas concentrações é particularmente acentuado durante os meses de menor pluviosidade, período em que o caudal do rio Leça sofre uma redução significativa (**Figura 2**.2). A diminuição do caudal reduz a capacidade de diluição natural do corpo hídrico recetor, aumentando o tempo de residência da água, o que contribui para uma maior concentração de poluentes, especialmente nutrientes, no sistema fluvial.

Relativamente aos sólidos suspensos totais, a variação observada é menos expressiva. Apesar do aporte de SST do efluente, os processos naturais de floculação e sedimentação ao longo do rio favorecem a sua remoção progressiva. Assim, a acumulação de SST não apresenta um impacte tão relevante quanto os nutrientes.

Embora o aumento de nutrientes tenha o potencial de estimular o crescimento de microalgas, o que, em sistemas aquáticos mais estagnados, pode conduzir a fenómenos de eutrofização e subsequente depleção de oxigénio, os resultados da modelação não indicam tal efeito no Rio Leça, pelo menos até uma distância de dois quilómetros a jusante da ETAR. Este comportamento pode ser atribuído à morfologia e hidrodinâmica do sistema, que, devido às características do leito do rio (como a presença de zonas turbulentas, pequenas quedas de água e outros mecanismos de arejamento), favorece a oxigenação das águas e a diluição do efluente.

Dessa forma, é possível concluir que, embora os efeitos da carga de nutrientes oriunda da ETAR sejam detetáveis a jusante, a cerca de dois quilómetros do ponto de descarga, o impacte sobre a qualidade da água, particularmente no parâmetro crítico do oxigénio dissolvido, não é severo. Esta conclusão sugere que os processos físicos e a morfologia do curso de água desempenham um papel mitigador, atenuando os efeitos adversos da poluição por nutrientes no troço do rio estudado.

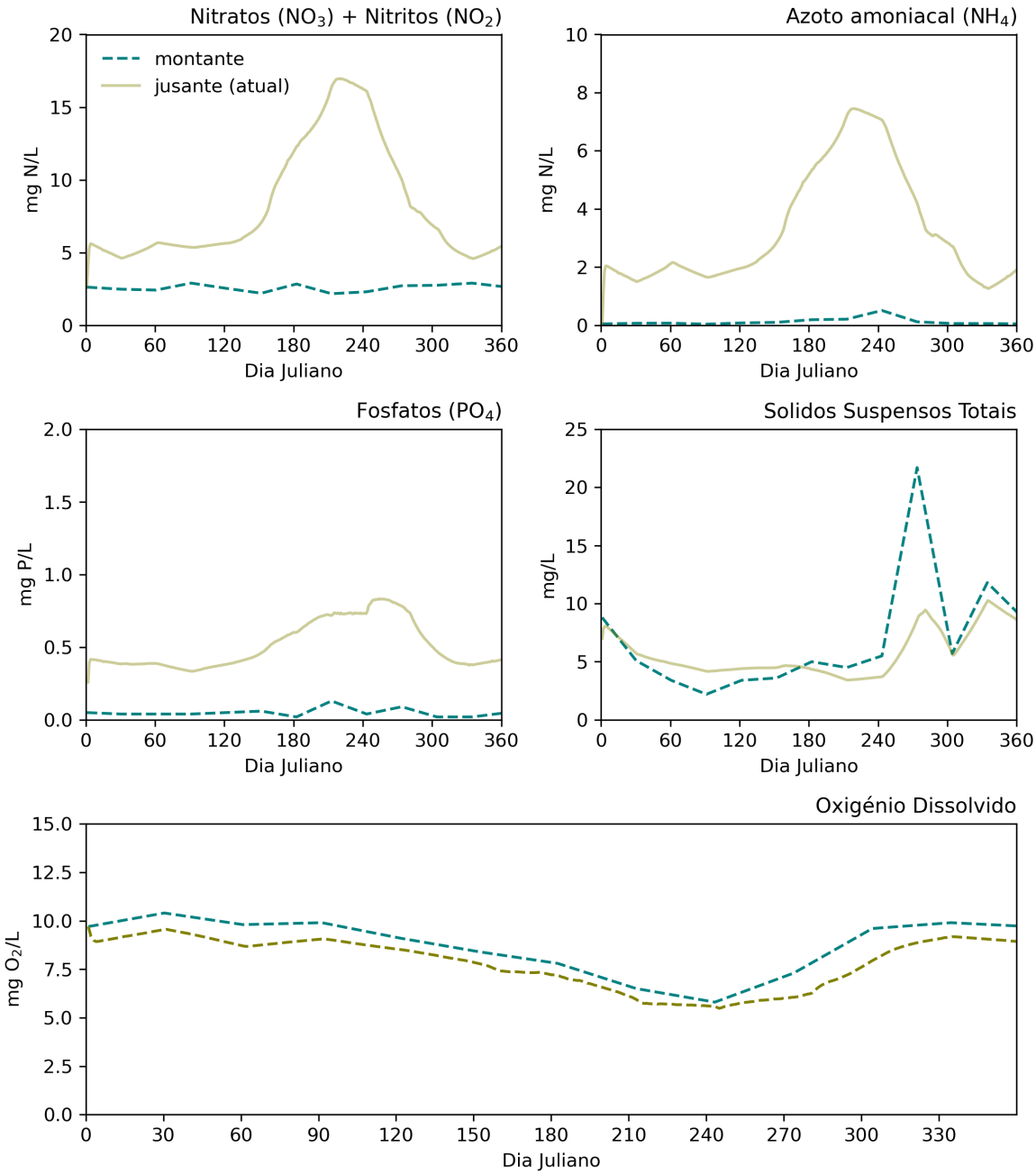


Figura 3.1 – Comparação das concentrações de parâmetros de qualidade da água a montante e a jusante da descarga da ETAR de Ermesinde e Alfena, no rio Leça. Os valores a montante foram obtidos através de dados da estação de qualidade do SNIRH, enquanto os valores a jusante correspondem às simulações do modelo, representando as condições atuais (situação de referência).

3.2 CENÁRIO FUTURO

Os resultados para os cenários atual (referência) e futuro, juntamente com as suas diferenças percentuais, são apresentados entre a **Figura 3.2** e a **Figura 3.4**. Estes resultados ilustram as variações nos parâmetros de qualidade da água entre o cenário de referência e o cenário futuro. Diferenças percentuais positivas indicam um aumento no valor do parâmetro no cenário futuro, enquanto as variações negativas refletem uma diminuição.

O **Quadro 3.1** mostra os valores médios, máximos e mínimos de cada parâmetro em ambos os cenários, evidenciando as variações esperadas nos parâmetros de qualidade da água resultantes das melhorias no tratamento de efluentes da ETAR.

Para os nutrientes (**Figura 3.2**), o modelo prevê uma redução significativa nas concentrações de azoto amoniacal e nitratos + nitritos, com diminuições de 50% e 47%, respetivamente, no cenário futuro. Este resultado é esperado, dada a redução da carga de azoto no cenário de tratamento de efluentes melhorado.

Os fosfatos, contudo, apresentam um aumento, subindo de uma média de 0,51 mg/l no cenário de referência para 0,71 mg/l no cenário futuro. Este aumento pode ser explicado pela alteração no rácio de azoto para fósforo disponível no sistema. Com a redução significativa de azoto no cenário futuro, o crescimento do fitoplâncton, que necessita de azoto em maiores proporções em comparação com o fósforo, é limitado. Como consequência, ocorre uma diminuição de biomassa de fitoplâncton, visível na **Figura 3.3**, que reduz a absorção de fósforo, levando a uma acumulação deste nutriente na coluna de água, explicando o aumento observado nas concentrações de fosfatos. Ainda assim, salienta-se a reduzida importância e significância deste aumento.

O carbono orgânico dissolvido e a carência bioquímica de oxigénio apresentam, ambos, reduções no cenário futuro (**Figura 3.3**), devido à melhoria no tratamento da matéria orgânica do efluente. Especificamente, o carbono orgânico reduz-se em cerca de 15%, e o CBO em 17%.

O oxigénio dissolvido (%) mostra ligeiras variações entre os cenários (**Figura 3.4**) mantendo-se relativamente estável, exceto a queda nos meses de verão, provavelmente devido aos menores caudais verificados e às temperaturas mais elevadas, que reduzem a solubilidade do oxigénio. A dinâmica do oxigénio é controlada principalmente pelo equilíbrio entre a fotossíntese realizada pelo fitoplâncton e a decomposição da matéria orgânica. O impacte mínimo no oxigénio dissolvido é provavelmente mitigado pelos processos de reaeração física, como anteriormente mencionado.

Por fim, o pH mantém-se praticamente inalterado entre os cenários (**Figura 3.4**), apresentando variações mínimas, indicando que as alterações no tratamento dos efluentes, e decorrentes impactes, não afetam significativamente a acidez ou alcalinidade do rio.

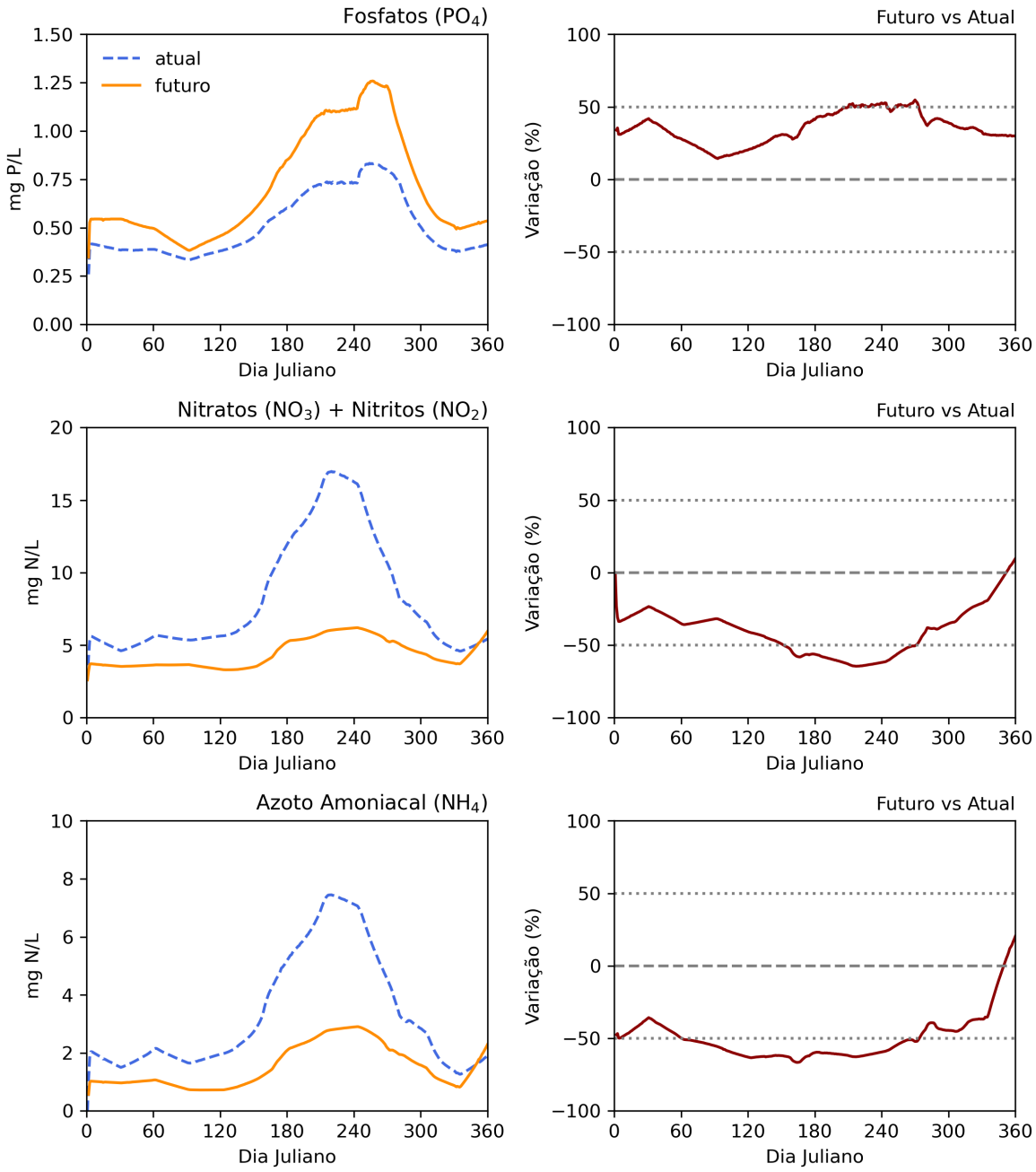


Figura 3.2 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro de parâmetros de qualidade da água - nutrientes.

Os resultados do modelo para os cenários atual e futuro dos parâmetros de qualidade da água PO_4, NO_3, NH_4, com diferenças percentuais entre eles, são apresentados na **Figura 3.2**. A linha em y=0 indica ausência de alteração. A amplitude das variações reflete a resposta do sistema às mudanças no tratamento de efluentes, indicando o impacte esperado na qualidade da água.

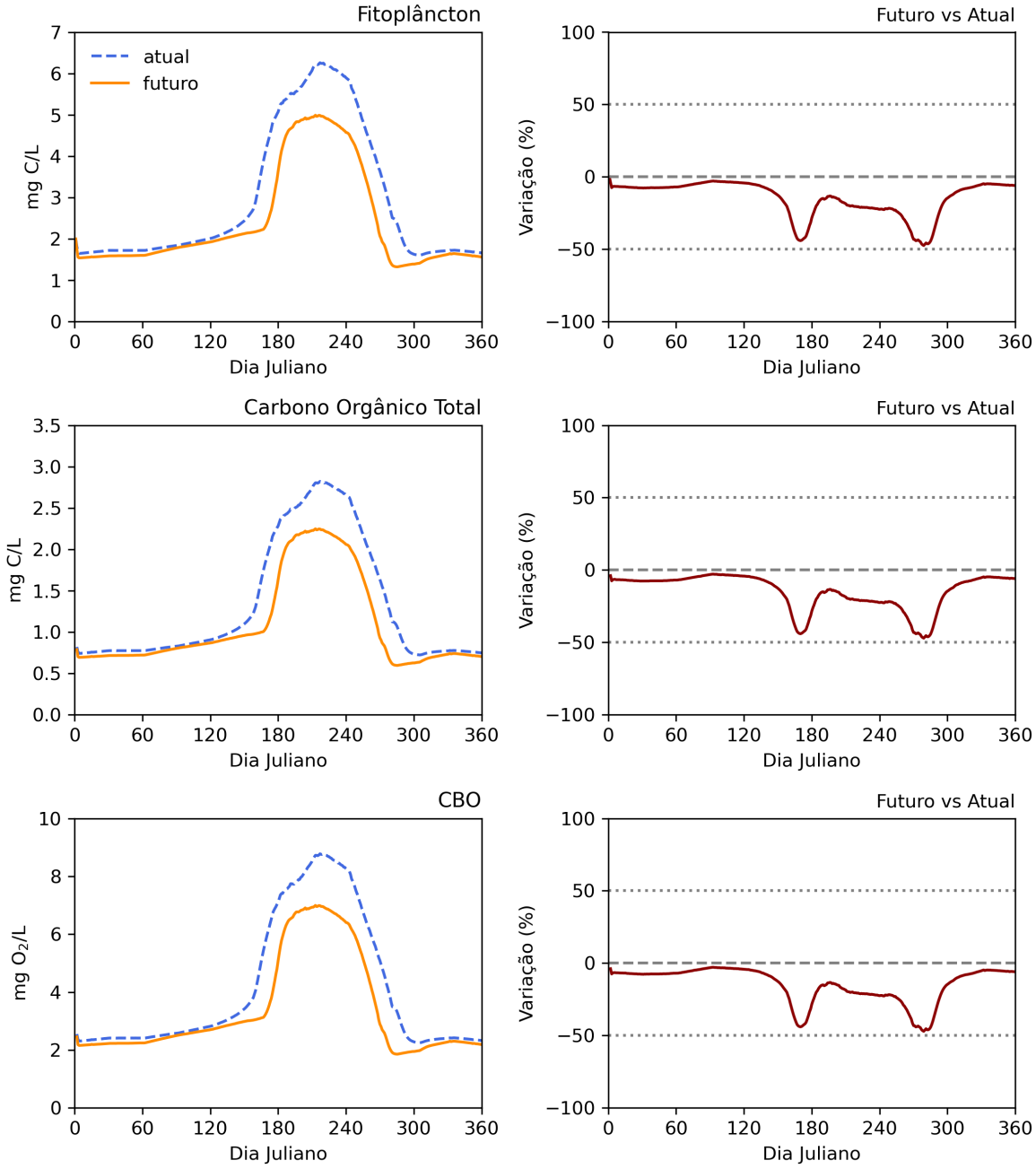


Figura 3.3 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro – fitoplâncton, COT e CBO.

A **Figura 3.3** apresenta os resultados do modelo para os cenários atual e futuro dos parâmetros de qualidade da água fitoplâncton, COT e CBO com diferenças percentuais entre eles. A linha em y=0 indica ausência de alteração. A amplitude das variações reflete a resposta do sistema às mudanças no tratamento de efluentes, indicando o impacte esperado na qualidade da água.

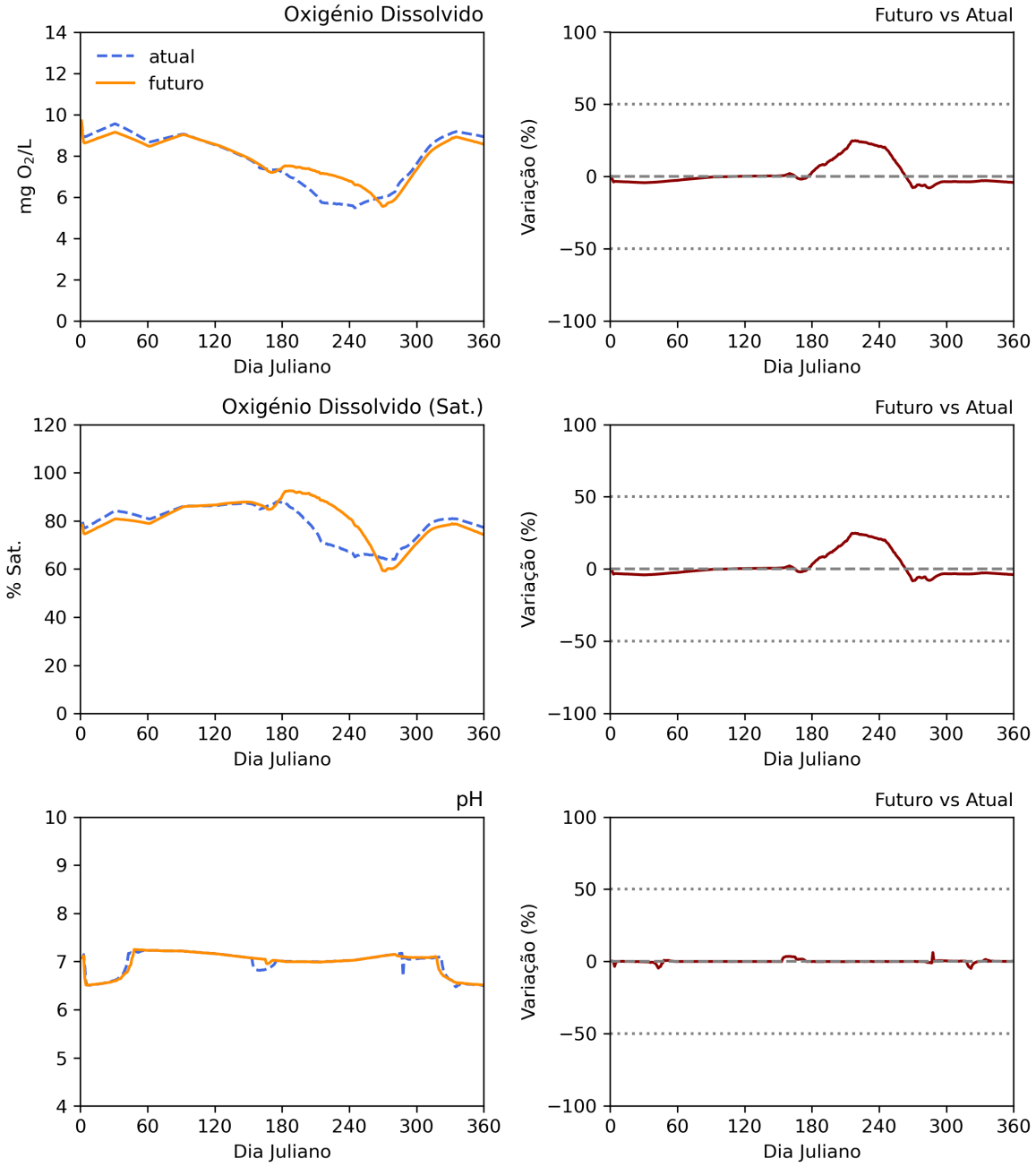


Figura 3.4 – Resultados do modelo para os cenários atual e futuro – OD e pH.

Na **Figura 3.4** apresentam-se os resultados do modelo para os cenários atual e futuro de parâmetros de qualidade da água, com diferenças percentuais entre eles. A linha em y=0 indica ausência de alteração. A amplitude das variações reflete a resposta do sistema às mudanças no tratamento de efluentes, indicando o impacte esperado na qualidade da água.

Quadro 3.1 – Resumo dos valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água simulados para os cenários de referência e futuro (a azul).

Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo
Fosfatos (mg P/L)	0,51 0,71	0,83 1,26	0,26 0,35
Azoto Amoniacal (mg N/L)	3,3 1,5	7,4 2,9	0,0 0,6
Nitratos + Nitritos (mg N/L)	8,3 4,4	17,0 6,2	2,6 2,6
Fitoplâncton (mg C/L)	2,9 2,4	6,3 5,0	1,6 1,3
Oxigénio dissolvido (mg O_2/L)	7,9 7,9	9,7 9,7	5,5 5,5
Carbono Orgânico Total (mg C/L)	1,3 1,1	2,8 2,2	0,7 0,6
CBO (mg O_2/L)	4,1 3,4	8,8 7,0	2,2 1,9
pH	7,0 7,0	7,2 7,3	6,5 6,5

Importa referir que no **Quadro 3.1** os parâmetros incluem a concentração de fosfatos (PO_4), azoto amoniacal (NH_4), nitratos (NO_3) e nitritos (NO_2), biomassa de fitoplâncton, oxigénio dissolvido, carbono orgânico total, percentagem de saturação de oxigénio, carência bioquímica de oxigénio e pH.

4 CONCLUSÕES

4.1 AVALIAÇÃO CRÍTICA DO MODELO

Cada sistema fluvial tem um conjunto distinto de características relacionadas com a sua localização, caudal e a presença de fontes de poluição, como o efluente de uma ETAR. No entanto, os rios partilham processos ecológicos e hidrológicos comuns que determinam a qualidade e quantidade da água. Conhecendo esses processos e simulando-os através de modelos numéricos, é possível prever os impactes das atividades humanas, como as descargas de efluentes, sobre a dinâmica do sistema fluvial.

A aplicação de modelos numéricos para previsão enfrenta, inevitavelmente, o desafio de não poder realizar calibração e validação completa quando se simulam condições futuras ou alterações significativas do sistema, como é o caso de uma melhoria no tratamento de uma ETAR. A falta de calibração e validação compromete, de certa forma, a precisão dos resultados, mas não elimina o valor das simulações. Estes modelos baseiam-se em processos físicos e biogeoquímicos conhecidos e, por isso, fornecem uma representação útil da evolução e dinâmica do sistema fluvial.

No futuro, à medida que programas de monitorização sejam implementados no rio e os dados de qualidade da água se tornem disponíveis, será possível calibrar e validar o modelo de forma mais rigorosa. Isso tornará o modelo uma ferramenta mais robusta para a gestão da qualidade da água, permitindo, por exemplo, avaliar com maior precisão o impacte contínuo das descargas da ETAR ou de outras fontes de poluição pontual e difusa.

Até ao momento, os resultados da modelação apresentados alcançam dois objetivos fundamentais:

- **Melhorar a compreensão do sistema fluvial**, nomeadamente no que diz respeito aos padrões de variação espacial e temporal das suas propriedades, e fornecer uma primeira quantificação das concentrações esperadas de parâmetros críticos, como oxigénio dissolvido, nutrientes e sólidos suspensos. Estas informações são fundamentais para avaliar a capacidade do rio em diluir e processar os poluentes provenientes da ETAR.
- **Estabelecer uma base para futuros estudos**, criando um ponto de partida para cenários mais realistas. O modelo poderá ser ajustado no futuro, incorporando dados reais de monitorização e considerando novas pressões antrópicas, como a urbanização ou alterações no uso do solo, e avaliar o impacte de diferentes cenários de exploração do sistema.

Assim, apesar das limitações decorrentes da ausência de calibração e validação completa, o modelo constitui uma ferramenta essencial para a previsão de impactes e para o apoio à gestão do sistema fluvial, com particular foco na melhoria da qualidade da água.

4.2 RESULTADOS DO ESTUDO

Este estudo de modelação da qualidade da água no rio Leça fornece uma visão detalhada do impacte da descarga de efluentes da ETAR de Ermesinde e Alfena, considerando as condições atuais e um cenário futuro. As principais conclusões são as seguintes:

1. **Impacte das descargas da ETAR**: As simulações revelam que a ETAR contribui significativamente para o aumento das concentrações de nutrientes, especialmente azoto amoniacal e fósforo, a jusante do ponto de descarga. Estes aumentos são mais acentuados nos meses de menor pluviosidade, quando o caudal do rio é reduzido, diminuindo a sua capacidade de diluição. O impacte é visível, principalmente, nas zonas imediatamente próximas à descarga, com redução progressiva dos efeitos a montante.
2. **Qualidade da água**: Embora se tenha verificado um aumento na carga de nutrientes, os resultados indicam que os efeitos sobre a qualidade da água em termos de oxigénio dissolvido são mitigados pelas características físicas do rio. A presença de zonas de turbulência e mecanismos naturais de oxigenação contribui para a manutenção de níveis aceitáveis de oxigénio dissolvido, evitando, assim, problemas mais graves como a eutrofização em trechos mais próximos da ETAR.
3. **Cenário futuro**: As projeções para cenários futuros, com melhorias no tratamento do efluente, indicam uma redução significativa nas concentrações de azoto amoniacal e nitratos + nitritos, demonstrando que a implementação de melhores práticas no tratamento de efluentes pode ter um impacte positivo na qualidade da água. No entanto, foi observado um aumento na concentração de fosfatos, provavelmente devido à alteração no balanço de nutrientes no sistema, o que requer monitorização adicional.
4. **Eficiência da Modelação**: O modelo utilizado mostrou-se uma ferramenta robusta para a previsão dos impactes da descarga de efluentes e para a simulação de cenários alternativos de operação da ETAR. Apesar da ausência de calibração e validação completas devido à falta de dados observacionais, as simulações fornecem uma base sólida para a avaliação de medidas mitigadoras e para o planeamento de futuras intervenções no sistema.

Em suma, o estudo conclui que, embora a descarga da ETAR afete a qualidade da água do rio Leça, a sua morfologia e características hidrodinâmicas atenuam os efeitos mais adversos. As melhorias no tratamento dos efluentes reduzem ainda mais esses impactes, promovendo a sustentabilidade ecológica do rio.

AQUALOGUS
Engenharia e Ambiente

Rua do Mar da China, 1 - Escritório 2.4 • Parque das Nações, 1990-137 Lisboa • Portugal
Telefone (+351) 21 752 01 90 • Fax (+351) 21 752 01 99 • E-mail geral@aqualogus.com

www.aqualogus.com