



MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2022/2023

MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FERREIRA ENQUANTO FATOR DE SUSTENTABILIDADE

FRANCISCO VIDINHA FERREIRA

(up201805308@edu.fc.up.pt)

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri:

Adrián Manuel Tavares da Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia Química
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientador Académico:

Francisco de Almeida Taveira Pinto, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia
Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Coorientador na Câmara Municipal de Paredes:

Maria João Nunes, Técnica Superior do Ambiente da Divisão de Planeamento

Outubro, 2023

AGRADECIMENTOS

No culminar deste meu percurso, quero agradecer a todos os que me apoiaram de forma direta ou indireta de modo a tornar este trajeto possível.

Em primeiro lugar, agradeço à Câmara Municipal de Paredes pela oportunidade de concretizar a minha dissertação e por todo o carinho.

Ao meu orientador académico, Prof^o Francisco Taveira Pinto, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela supervisão e orientação, pelo apoio incondicional e compreensão no decorrer de todo este percurso. Agradeço, ainda por todos os conhecimentos transmitidos, disponibilidade e experiências partilhadas.

À Dr^a Ana Ferreira, um agradecimento especial por ter sempre acreditado em mim e no meu trabalho, pela sua disponibilidade, sugestões, conselhos e cooperação ao longo de todo este percurso.

À minha coorientadora externa de estágio, Eng^a Maria João Nunes da CMP, por toda a orientação, cuidado e apoio para uma boa integração neste contexto.

Aos colegas de gabinete António Moreira, Rui Sousa, Beatriz Torres, Mariana Ribeiro e Bento Moreira, um obrigado, não só pela ajuda na elaboração dos gráficos, mas também pelo companheirismo sempre demonstrados.

Agradecimento especial aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio e amor incondicional, por acreditarem em mim e por todos os esforços que fizeram para que eu tivesse as oportunidades que estes não tiveram.

RESUMO

Atualmente, o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos e a qualidade da água continua a ser uma grande preocupação ambiental. Tendo em conta a importância da água na natureza, bem como para as necessidades humanas, é urgente garantir a sua qualidade, assim como a necessidade de antecipar os problemas possíveis do futuro.

A presente dissertação tem como principal objetivo a criação de um modelo hidrológico de precipitação-escoamento na bacia hidrográfica do rio Ferreira, o estudo da qualidade dos parâmetros físico química de suporte geral e hidromorfológicos no conselho de Paredes, assim como a apresentação de algumas medidas.

Para esta dissertação foi usado o programa ArcGis com as expansões ArcHydroTools e HEC-GeoHMS para criar o modelo da bacia hidrográfica do rio Ferreira contendo a informação geográfica necessária relativa às mesmas. Em seguida, recorreu-se ao programa HEC – HMS para a realização das simulações precipitação-escoamento para os períodos de avaliação.

Posteriormente a modelação foi estendida a um período de validação, com o propósito de inferir se as metodologias usadas na calibração são válidas para o modelo de bacia. Uma vez comprovada a veracidade/confiabilidade do processo, foi possível através do uso de dados disponibilizados pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) realizar a simulação de caudais.

Palavras-Chave: Ecossistemas fluviais, HEC-HMS, Modelação Hidrológica, SIG; Bacia Hidrográfica do Rio Ferreira

ABSTRACT

Currently, the increased occurrence of extreme weather events and water quality remains a major environmental concern. Given the importance of water in nature as well as for human needs, it is urgent to ensure its quality, as well as the need to anticipate the possible problems of the future.

The main objective of this dissertation is the creation of a hydrological model of precipitation-runoff in the Ferreira River watershed, the study of the quality of the physicochemical parameters of general support and hydromorphological parameters in the council of Paredes, as well as the presentation of some measures.

For this dissertation, the ArcGis program with the ArcHydroTools and HEC-GeoHMS expansions was used to create the model of the Ferreira River watershed containing the necessary geographical information related to them. Then, the HEC-HMS program was used to perform the precipitation-runoff simulations for the evaluation periods.

Subsequently, the modelling was extended to a validation period, with the purpose of inferring whether the methodologies used in calibration are valid for the basin model. Once the veracity/reliability of the process is proven, it is possible through the use of data made available by SNIRH (National Water Resources Information System) perform a simulation of runoffs.

Keywords: River ecosystems, HEC-HMS, Hydrological Modeling, GIS; Ferreira River Watershed

DECLARAÇÃO

Francisco Vidinha Ferreira, declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Assinado por: **Francisco Vidinha Ferreira**
Num. de Identificação: 15488070
Data: 2023.11.05 21:29:58+00'00'



ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Declaração	ix
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xiv
Notação e Glossário	xvii
Variáveis	xvii
Lista de Siglas	xvii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Descrição da estrutura da dissertação	2
2 Sustentabilidade e o Meio Hídrico	3
2.1 Introdução	3
2.2 Meio Hídrico	3
2.3 Quadro jurídico-legal de referência	5
2.3.1 Planeamento dos Recursos Hídricos em Portugal Continental	6
2.4 Impacto e Vulnerabilidades às Alterações Climáticas	8
2.5 Casos de Estudo	10
2.5.1 Construção de um visualizador com base na simulação do caudal em HEC-HMS	11
2.5.2 Modelação Hidrológica para a Previsão de Fenómenos de Cheia na Bacia Hidrográfica do Rio Douro	12
2.5.3 Avaliação ecológica dos dois rios com recurso aos indicadores macroinvertebrados e macrófitas	13
3 Caso de Estudo	15

3.1	Introdução	15
3.2	Caraterização da Área de Estudo	15
3.2.1	Localização	15
3.2.2	Geologia	17
3.2.3	Ocupação do Solo e Coberto Vegetal	18
3.2.4	Clima	19
3.2.5	Demografia e Urbanização	20
3.3	Estado das Massas de Água	22
3.4	Antecedentes	24
4	Metodologia	27
4.1	Introdução	27
4.2	Amostragem <i>In situ</i>	27
4.3	Modelação Hidrológica	30
4.3.1	Pré Processamento de Elementos de Base	30
4.3.2	Processo de Modelação	35
4.3.3	Cálculo do Tempo de Concentração e do Tempo de Retardo	39
4.3.4	Modelo da Simulação	39
5	Resultados	41
5.1	Introdução	41
5.2	Parâmetros Físico-químicos	41
5.3	Parâmetros Hidromorfológicos	44
5.4	Modelação Hidrológica com HEC-HMS	45
5.4.1	Escoamento Superficial e Perdas de Precipitação	47
5.4.2	Cálculo do Tempo de Concentração e do Tempo de Retardo	48
5.4.3	Obtenção e Análise dos Resultados	49
6	Conclusões e Perspetivas Futuras.....	53
7	Referências Bibliográficas	57
	Anexo A – Legenda da COS.....	61
	Anexo B – Locais de Amostragem	63
	Anexo C – Parâmetros Hidromorfológicos	67

Anexo D – Dados de Base SNIRH	71
Anexo E – Estação Hidrométrica	73
Anexo F – Estado das Massas de Água	74

Índice de Figuras

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO MUNDIAL VS UTILIZAÇÃO DA ÁGUA (GLEICK, 2009).	1
FIGURA 2 - CICLO HIDROLÓGICO (FIÚZA, 2009).	4
FIGURA 3 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR MÁXIMA E MÍNIMA ANUAL EM PORTUGAL CONTINENTAL (IPMA, 2022).	9
FIGURA 4 - POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO EXCESSIVA (CMPAREDES, 2020).	10
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHUANCHANG, DO SEU SISTEMA FLUVIAL E ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO (LIN ET AL., 2022).	11
FIGURA 6 - FERRAMENTAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DO TERRENO COM O HEC-GEOHMS, (FERREIRA, 2022)	13
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DA BHRF E DOS LIMITES ADMINISTRATIVOS (DGTERRITÓRIO, 2023).	16
FIGURA 8 - CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, À ESCALA 1:1 000 000 (LNEG, 2023).	17
FIGURA 9 - UTILIZAÇÃO DOS SOLOS (Cos1018v1) (DGTERRITÓRIO, 2023).	19
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA POPULAÇÃO RESIDENTE (INE, 2022).	20
FIGURA 11 - COBERTURA DE SANEAMENTO BÁSICO E ÁGUAS PLUVIAIS (CMPAREDES, 2023).	22
FIGURA 12 - CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO POTENCIAL DAS MASSAS DE ÁGUA (SNIAMB, 2019).	23
FIGURA 13 - CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO QUÍMICO DAS MASSAS DE ÁGUA (SNIAMB, 2019).	24
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.	28
FIGURA 15 - AMOSTRAGEM DE UMA AMOSTRA DE ÁGUA; Sonda MULTIPARAMÉTRICA HORIBA, MODELO U-51.	28
FIGURA 16 – A) MDT OBTIDO A PARTIR DO ASTER NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FERREIRA (1:25 000) (NASA, 2021). B) MDT DA BHRF NO CONCELHO DE PAREDES (1:5 000).	31
FIGURA 17 - ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS POSTOS SELECIONADOS NA BHRF.	33
FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PRECIPITAÇÃO HORÁRIA DOS POSTOS UDOMÉTRICOS (SW: HEC-DSSVue)	33
FIGURA 19 – MAPA CN (GNC250) (JAAFAR, 2019)	34
FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS	35
FIGURA 21 - LAYER RESULTANTE DA OPERAÇÃO “FILL SINKS”.	36
FIGURA 22 - LAYER RESULTANTE DA OPERAÇÃO “FLOW DIRECTION”.	36
FIGURA 23 - LAYER RESULTANTE DA OPERAÇÃO “FLOW ACCUMULATION”.	37
FIGURA 24 - LAYER RESULTANTE DE “STREAM DEFINATION”.	38
FIGURA 25 - LAYER GERADO NO PROCESSO DE DEFINIÇÃO FINAL DAS SUB-BACIAS.	38
FIGURA 26 - ETAPAS APLICADAS.	40
FIGURA 27 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICO DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SUPORTE GERAL DOS RIOS.	42

FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICO DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SUPORTE GERAL DAS RIBEIRAS	43
FIGURA 29 - PERTURBAÇÕES IDENTIFICADAS NOS PONTOS P3 E P2	44
FIGURA 30 - PERTURBAÇÕES IDENTIFICADAS NOS PONTOS P4 E P5	45
FIGURA 31 - PROJETO DESENVOLVIDO EM AMBIENTE HEC-HMS	46
FIGURA 32 - CURVE NUMBER	47
FIGURA 33 - VALORES DE CN PARA BHRF	48
FIGURA 34 – CARATERÍSTICAS A CONSIDERAR, E AMBIENTE HEC-HMS	48
FIGURA 35 - ESCOAMENTO TOTAL PARA O PERÍODO DE OUTUBRO DE 1978 A SETEMBRO DE 1985.....	49
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS CAUDAIS SIMULADOS PARA O PERÍODO DE OUTUBRO DE 2019 A SETEMBRO DE 2020, NA BHRF	50
FIGURA 37 – RESULTADOS GLOBAIS	51
FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO A) COMPORTAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA AO LONGO DA SIMULAÇÃO; B) EVENTO SIGNIFICATIVO DE PICO DE DESCARGA E VOLUME	52
FIGURA 39 - LEGENDA DA COS.....	62
FIGURA 40 - PONTO DE AMOSTRAGEM P1.....	63
FIGURA 41 - PONTO DE AMOSTRAGEM P2.....	63
FIGURA 42 - PONTO DE AMOSTRAGEM P3.....	64
FIGURA 43 - PONTO DE AMOSTRAGEM P4.....	64
FIGURA 44 - PONTO DE AMOSTRAGEM P5.....	65
FIGURA 45 - PONTO DE AMOSTRAGEM P6.....	65
FIGURA 46 - PONTO DE AMOSTRAGEM P7.....	66
FIGURA 47 - PONTO DE AMOSTRAGEM P8.....	66
FIGURA 48 - PONTO DE AMOSTRAGEM P9.....	67
FIGURA 49 - ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DE Balsa.....	73

Índice de Tabelas

TABELA 1 - OBJETIVOS DO PNA (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2016).....	7
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DA BHRF PELOS VÁRIOS CONCELHOS.	16
TABELA 3 - OCUPAÇÃO DOS SOLOS (DG TERRITÓRIO, 2018).	18
TABELA 4 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM NOS AFLUENTES DO RIO FERREIRA.	27
TABELA 5 - LIMIARES MÁXIMOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS GERAIS (APA, 2022)	29
TABELA 6 - CLASSE DE QUALIDADE DOS ECOSISTEMAS RIBEIRINHOS - QBR (MUNNÉ & PRAT, 1998).....	29
TABELA 7 - AMPLITUDES DE VARIAÇÃO CONSIDERADAS PARA O GQC, E O SEU SIGNIFICADO EM TERMOS DE QUALIDADE (FERREIRA, 2011)	30
TABELA 8 - POSTOS UDOMÉTRICOS SELECIONADOS.	32
TABELA 9 - ÁREAS DE INFLUÊNCIAS DOS POSTOS SELECIONADOS EM CADA UMA DAS SUB-BACIAS.....	33

TABELA 10 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS HIDROMORFOLÓGICOS: ÍNDICE QBR E GQC	45
TABELA 11 – CARATERÍSTICAS FÍSICAS DO CURSO DE ÁGUA (STREAM) NA BHRF	46
TABELA 12 - CARATERÍSTICAS FÍSICAS DO SEGMENTO (REACH) NA BHRF	47
TABELA 13 - CARATERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS A CONSIDERAR.....	48
TABELA 14 - RELATÓRIO DO PARÂMETRO ESCOAMENTO MENSAL EM Balsa (06G/01H) (SNIRH, 2023)	49
TABELA 15 - ÍNDICE QBR: FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA ZONA RIBEIRINHA DOS ECOSISTEMAS FLUVIAIS	67
TABELA 16 - ÍNDICE GQC: FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE QUALIDADE DO CANAL	69
TABELA 17 - DADOS DE BASE DE LAMOSO	71
TABELA 18 - DADOS DE BASE DE PENAFIEL	71
TABELA 19 - DADOS DE BASE DE ÁGUA LONGA	71
TABELA 20 - DADOS DE BASE DE BUSTELO.....	72
TABELA 21 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SUPORTE GERAL DOS RIOS.	74
TABELA 22 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SUPORTE GERAL DAS RIBEIRAS.....	75

NOTAÇÃO E GLOSSÁRIO

Variáveis

Variáveis	Definição	Unidade
A	Área	m ²
Q	Caudal	m ³ /s

Lista de Siglas

Abreviação	Definição
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BHRF	Bacia hidrográfica do rio ferreira
BHRD	Bacia Hidrográfica do Rio douro
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CMP	Câmara Municipal de Paredes
COS	Carta de Uso e Ocupação do Solo
DQA	Diretiva-Quadro da Água
EEA	European Enviromental Agency
ESRI	Environmental Research Systems Institute
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
INAG	Instituto Nacional da Água
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MDT	Modelo Digital do Terreno
NSE	Indicador de eficiência de Nash-Sutcliffe
PBIAS	Porcentagem de viés
PGRH	Planos de Gestão de Região Hidrográfica
PDM	Plano Diretor Municipal
PNA	Plano Nacional da Água
RAN	Reserva Agrícola Nacional
REN	Reserva Ecológica Nacional
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIAmb	Sistema Nacional de Informação de Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SW	<i>Software</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os recursos hídricos representam um papel central nos ecossistemas e na regulação climática, promovendo o crescimento económico e prosperidade, ainda que a sua disponibilidade se encontre especialmente vulnerável às alterações climáticas e às ações antrópicas (Ferreira, 2000).

O facto da quantidade da água disponível para a generalidade da população não se alterar no tempo fundamentou, durante muitos anos, a ideia de que o recurso era inesgotável, levando a comportamentos inconscientes e irrefletidos por parte do Homem. Efetivamente, este recurso tem sido explorado pelas sociedades com o intuito de gerarem e manterem o crescimento económico, em atividades como a agricultura, a produção de energia, a produção industrial, os transportes, uma vez que a sua população se encontra em contínuo crescimento (Figura 1) (Gleick, 2009; Sánchez, 2007).

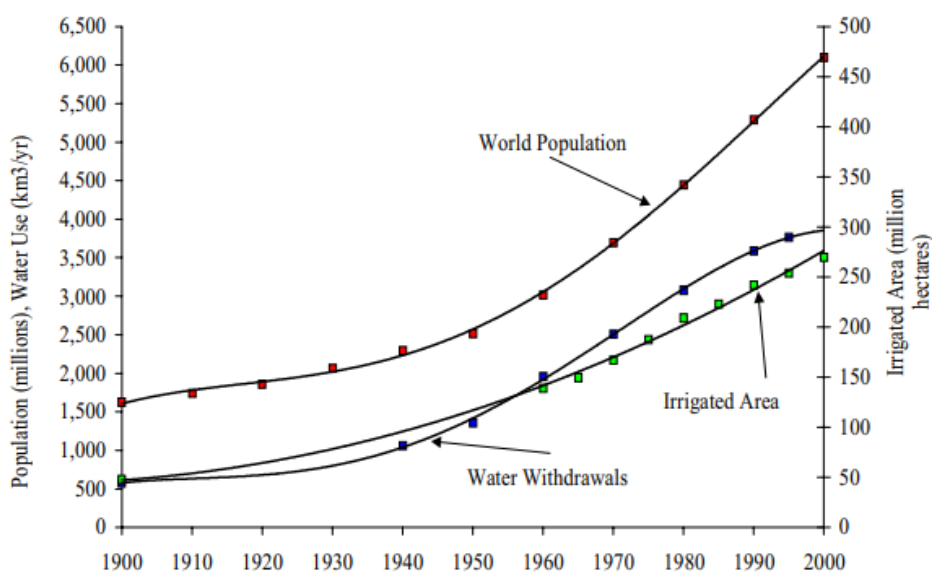


Figura 1 - Evolução da população mundial vs utilização da água (Gleick, 2009).

A crise hídrica tem suscitado preocupações entre cientistas das diversas áreas no mundo, uma vez que as atitudes humanas, desde que ele se tornou parte dominante dos sistemas, têm uma tendência em contrariar a manutenção e preservação do equilíbrio ambiental, já que contribuem significativamente para a degradação ambiental (Moraes & Jordão, 2002).

Desta forma, muitos dos problemas ambientais estão enraizados no avanço imparável das áreas urbanas, culminando no aumento do aquecimento global. Com o intuito de atenuar as repercussões do

crescimento populacional exponencial que se tem verificado, devem ser tomadas decisões que passem pela otimização das infraestruturas (e.g., rede de saneamento e abastecimento de água) implementar medidas de reutilização da água e garantir que a descarga desta no meio ambiente é realizada em condições que não ponham em causa o meio recetor (Branco, 2022).

1.2 Objetivos

Esta dissertação insere-se no âmbito de um protocolo para a realização da dissertação em ambiente empresarial na Câmara Municipal de Paredes (CMP), no departamento de Planeamento.

Com esta dissertação pretende-se avaliar a bacia hidrográfica do rio Ferreira, tendo como objetivo base a construção de um modelo hidrológico conceptual na zona em estudo, avaliar os parâmetros físico-químicos de suporte geral das massas de água, bem como apresentar um conjunto de medidas que tornem as massas de água adequadas.

A vertente de modelação do trabalho, foi realizada com recurso à aplicação informática HEC-HMS e HEC-DSSVue, sendo toda a informação geográfica analisada no programa QGIS e ArcGIS.

1.3 Descrição da estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por cinco capítulos que seguem uma ordem sequencial de acordo com o estudo feito. Desta forma, este relatório está dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução – descrição dos objetivos, âmbito e enquadramento do estudo;
- Capítulo 2: Sustentabilidade e o Meio Hídrico – enquadramento, revisão bibliográfica e identificação de exemplos e casos de estudo;
- Capítulo 3: Caso Estudo – caracterização da área de estudo, avaliação dos parâmetros físico-químicos de suporte geral e dos parâmetros hidromorfológicos;
- Capítulo 4: Metodologia;
- Capítulo 5: Resultados - apresentação e discussão dos resultados obtidos;
- Capítulo 6: Conclusões e Desenvolvimentos Futuros;
- Capítulo 7: Referências Bibliográficas;
- Anexos.

2 SUSTENTABILIDADE E O MEIO HÍDRICO

2.1 Introdução

O presente capítulo aborda as questões relacionadas com a sustentabilidade e o meio hídrico, no qual se refere a importância dos recursos hídricos e quais os fatores que levam à ocorrência de pressões sobre as massas de água.

Neste capítulo pretende-se apresentar uma revisão da literatura sobre o tema, é feita uma abordagem às especificidades dos sistemas lóticos, referindo-se a sua complexidade, onde é necessário compreender os processos que condicionam a qualidade da água e a forma de atuar na sua preservação e é apresentado, ainda, algum do enquadramento legal em vigor.

Por fim, são apresentadas medidas de adaptação climática, atendendo às diferentes vulnerabilidades e riscos, tendo como base três casos de estudo presentes na bibliografia.

2.2 Meio Hídrico

A água é um recurso natural imprescindível, seja como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores culturais e sociais e até como meio de produção de eletricidade (Sousa, 2012).

Cerca de 70% do planeta é constituído por água, sendo que somente 3% são de água doce e, desse total, 98% corresponde a água subterrânea. Isto implica que a maior parte da água disponível e própria para consumo é escassa. Nas sociedades contemporâneas, a busca do conforto inevitavelmente resulta num substancial aumento das necessidades diárias de água, sendo importante a sua reutilização (Freire, 2015).

A água presente na superfície terrestre, incluindo oceanos, rios, lagos, lagoas, águas subterrâneas, entre outros, corpos de água define-se como meio hídrico. Este meio, apesar de muitas vezes subvalorizado, foi dado, em tempos, como um recurso inesgotável assegurando as necessidades impostas pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento económico das sociedades, culminando na sua sobre-exploração, com uso a um ritmo superior ao da sua renovação. Desta forma, o conceito dominante de desenvolvimento sustentável “consiste em descobrir como o planeta pode proporcionar recursos” suficientes para assegurar o bem-estar das pessoas, em todo o mundo, tendo como base a compreensão do ciclo hidrológico (M. Ferreira, 2022).

O ciclo hidrológico (Figura 2) descreve o movimento contínuo de água sobre a Terra e na atmosfera. Este inicia-se pela precipitação na forma de chuva, neve ou granizo, tratando-se de uma etapa fundamental no ciclo hidrológico, permitindo abastecer os sistemas com escoamento à superfície ou infiltrar-se no solo

(Silva, 2021). As escorrências superficiais concentram-se na forma de correntes, ribeiros, rios até atingirem lagos ou oceanos. Uma parte da água é devolvida à atmosfera pela evaporação e outra parte da água infiltra-se no solo. Aí começa por encontrar a zona de infiltração, também conhecida como zona não saturada, um meio poroso em que coexistem três fases: sólida, constituída pelos materiais não consolidados do subsolo, líquida constituída pela água em movimento ou preenchendo os poros do meio e uma fase gasosa. A água pode continuar o seu movimento descendente até encontrar uma zona constituída por apenas duas fases (a zona saturada) ou pode ser parcialmente devolvida à atmosfera através da evapotranspiração, quer de origem vegetal, quer animal (Fiúza, 2009).

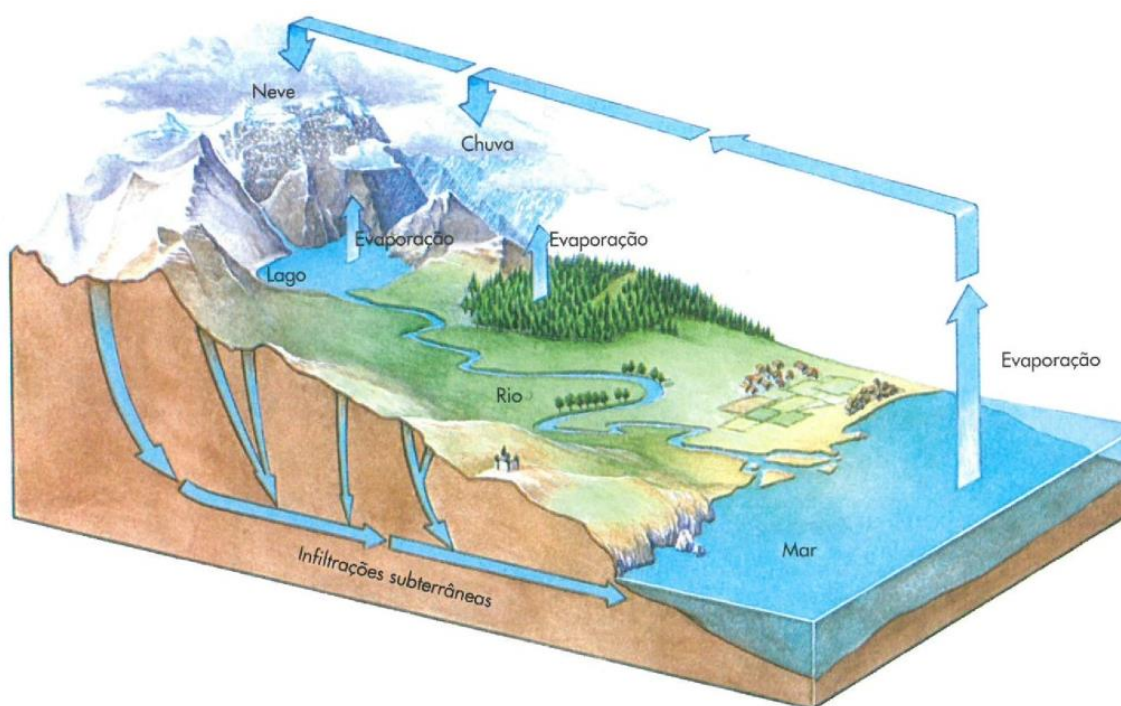


Figura 2 - Ciclo hidrológico (Fiúza, 2009).

O rio caracteriza-se por ser um curso de água que apresenta um fluxo parcialmente contínuo, que representa um papel crucial na regulação dos serviços de ecossistema, fornecendo nutrientes e diversas formas de vida para o desenvolvimento da fauna e da flora na área envolvente. Contudo, estes desempenham de igual modo um papel essencial na manutenção dos nutrientes e sais minerais presentes nos oceanos (Eurostat, 2023) .

Os nutrientes são fundamentais para a sobrevivência do ecossistema aquático. Tais nutrientes podem ser encontrados naturalmente nas propriedades da água do rio, porém estes podem estar sob a influência da atividade humana, como a agricultura intensiva e a urbanização, provocando a proliferação e a eutrofização do meio, alterando o seu estado ecológico (Eurostat, 2023).

Devido à grande utilização dos recursos hídricos, são raros os ecossistemas aquáticos que se mantêm inalterados através da influência antropogénica (e.g., poluição orgânica e industrial incorporada de forma

difusa e/ou tópica; regularização de rios; degradação e fragmentação dos habitats aquáticos). A disponibilidade de água doce num país é principalmente determinada pelas condições climáticas e fluxos de água transfronteiriços, isto é, afluências externas. Face a estes factos, verificam-se enormes variações na dinâmica dos ecossistemas, bem como das comunidades aquáticas que neles se desenvolvem, uma vez que as massas de água atuam como receptores de todo o tipo de materiais provenientes da bacia hidrográfica, incluindo as pressões antropogénicas que contribuem, muitas vezes, para a redução da qualidade da água sendo desta forma indispensável o desenvolvimento de novas metodologias para sistematizar de forma clara a avaliação da qualidade dos ecossistemas aquáticos (Machado, 2009; Silva, 2010).

2.3 Quadro jurídico-legal de referência

A importância e complexidade inerentes à temática dos recursos hídricos torna necessária a adoção de instrumentos de planeamento eficazes, que visem uma gestão rigorosa, e medidas específicas de prevenção, proteção, recuperação e valorização (ambiental, social e económica) da água (APA, 2012) .

A gestão dos recursos hídricos apresenta graus de complexidade, significativos e diversificados, tanto pelos impactos profundos que a água e os sistemas conexos apresentam em quase todas as atividades biológicas e antropogénicas, condicionando os processos de desenvolvimento e de ordenamento do espaço, como pelo seu carácter instável e dinâmico. É neste quadro que se coloca a necessidade de promover, com o mínimo consumo de recursos e a máxima eficácia, soluções para problemas de diversas índoles que sejam economicamente viáveis, em conformidade com a lei e regulamentações ambientais (APA, 2012).

Em dezembro de 2000, a Diretiva Quadro da Água (DQA) entrou em vigor com a finalidade de implementar medidas abrangentes, na qual estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, tendo em vista alcançar o bom estado de todas as águas doces superficiais lênticas e lóticas, águas de transição, águas costeiras e águas subterrâneas (Ferreira, 2021). O Instituto da Água (INAG, I.P.) foi um organismo pioneiro na regulação dos recursos hídricos, tendo sido mais tarde extinto e integrado na Agência Portuguesa do Ambiente (APA) em 2013.

A APA resulta da fusão da Agência Portuguesa do Ambiente, do Instituto da Água, das cinco Administrações de Região Hidrográfica, da Comissão para as Alterações Climáticas, da Comissão de Acompanhamento da Gestão de Resíduos e da Comissão de Planeamento de Emergência do Ambiente que entrou em vigor em 2012 e desde então permaneceu o principal instrumento da Política da União Europeia relativa à água (APA, 2021a).

A APA tem “*competências de monitorização, planeamento e avaliação, licenciamento e fiscalização, sendo por isso o principal regulador ambiental em Portugal com a finalidade de implementar medidas abrangentes*”. No domínio da água, a APA integra a proteção e gestão da água, tendo em vista alcançar o

bom estado de todas as águas doces superficiais lênticas e lóticas, águas de transição, águas costeiras e águas subterrâneas (APA, 2021d).

No que concerne à gestão dos recursos hídricos, a APA disponibiliza o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), no qual existe uma série de base de dados e sistemas de informação, que permitem monitorizar e avaliar a situação dos recursos hídricos em Portugal. O objetivo principal do SNIRH é apoiar a elaboração de planos e estratégias que garantam a proteção dos recursos hídricos e a sua utilização sustentável (SNIRH, 2023).

2.3.1 Planeamento dos Recursos Hídricos em Portugal Continental

Os instrumentos de planeamento têm como propósito definir o quadro estratégico fundamental onde se alinham as grandes opções de política da água (Plano Nacional da Água) ou orientar os diferentes níveis e instâncias da decisão administrativa na conceção das regras de gestão, na programação e nas ações de proteção no quadro das diferentes bacias hidrográficas (Planos de Gestão de Região Hidrográfica e Planos Específicos de Gestão das Águas) (Reigada, 2014).

No planeamento dos recursos hídricos, os planos e programas definem critérios e orientações para a qualidade ambiental e estado das águas e para a harmonização da gestão das águas e território associado com o desenvolvimento de diretrizes regionais, setoriais e de interesse locais. Além disso, estabelecem normas de salvaguarda dos recursos naturais e valores ambientais, sujeitas a condicionantes em função dos respetivos objetivos (APA, 2021b). Exemplo disso, são os Planos de Gestão dos Riscos de Inundações, Planos de Gestão de Seca e Escassez, Estratégia Nacional para a Gestão Integrada das Zonas Costeiras, Planos e Programas da Orla Costeira, Planos e Programas de Albufeiras de Águas Públicas, Programas de Estuários, Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico, Planos Setoriais de Conservação dos setores da Natureza, da Agricultura, Urbanização, Energia, Indústria e Turismo.

2.3.1.1 Lei da Água

Com a entrada em vigor da Diretiva Quadro da Água (DQA) em 2000, foi necessário efetuar uma revisão da legislação nacional, tendo sido publicado a Lei da Água (Lei nº 58/2005, de 29 de dezembro) que assegura a sua transposição (Casado, 2008).

A lei da água define a gestão das águas superficiais, atendendo aos seguintes objetivos (Diário da República, 2005):

- I. Evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos bem como dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água;

- II. Fomentar uma utilização sustentável da água, baseada numa preservação a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
- III. Obter uma proteção reforçada e um melhoramento do ambiente aquático, nomeadamente através de medidas específicas para a redução gradual e a cessação ou eliminação por fases das descargas, das emissões e perdas de substâncias prioritárias;
- IV. Assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar o agravamento da sua poluição;
- V. Mitigar os impactos das inundações e das secas;
- VI. Assegurar o fornecimento em quantidade suficiente de água de origem superficial e subterrânea de boa qualidade, conforme necessário para uma utilização sustentável, equilibrada e equitativa da água;
- VII. Proteger as águas marinhas, incluindo as territoriais;
- VIII. Assegurar o cumprimento dos objetivos dos acordos internacionais pertinentes, incluindo os que se destinam à prevenção e eliminação da poluição no ambiente marinho.

2.3.1.2 Plano Nacional da Água

O Plano Nacional da Água (PNA) tem o seu conteúdo aprovado no Decreto-Lei nº 76/2016 de 9 de novembro (Diário da República, 2016). A implementação veio promover a alteração do pensamento ligado à gestão dos recursos hídricos, dado que se passou a enfatizar as questões da qualidade, incluindo a dos ecossistemas, conforme se confere nos objetivos descritos pelo PNA, Tabela 1 (APA, 2021c).

Tabela 1 - Objetivos do PNA (Diário da República, 2016).

Plano Nacional da Água (PNA):	A proteção e requalificação do estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e das zonas húmidas que deles dependem, no que respeita às suas necessidades de água;
	A promoção do uso sustentável, equilibrado de água de qualidade, com a sua afetação aos vários tipos de usos tendo em conta o seu valor económico, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
	A mitigação dos efeitos decorrentes das inundações e das secas.

2.3.1.3 Planos de Gestão de Região Hidrográfica

Juntamente com o PNA foram elaborados outros planos mais descritivos e característicos de cada região hidrográfica, nomeadamente, os planos de gestão de região hidrográfica (PGRH), os quais visam a gestão das águas ao nível da bacia hidrográfica, com o foco na proteção e na valorização ambiental, social e económica, adaptando o uso às suas disponibilidades (APA, 2021b). Estes planos elaboram medidas

básicas ou suplementares para se atingir o bom estado das águas implementando metodologias de análise custo-eficácia e custo-benefício (DQA, 2000).

Uma Região Hidrográfica é área de terra e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas contíguas e pelas águas subterrâneas e costeiras que lhes estão associadas (Conselho Nacional da Água, 2020).

De acordo com a Lei da Água, que transpõe a Diretiva Quadro da Água (DQA), os PGRH “são instrumentos de planeamento das águas que visam a gestão, a proteção e a valorização ambiental, social e económica das águas ao nível da região hidrográfica (RH), promovendo o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e a utilização sustentável da água” (APA, 2022).

Os PGRH são revistos e atualizados de seis em seis anos, mantendo um ciclo de planeamento. Atualmente, encontra-se a vigorar o 3º ciclo de planeamento (2022-2027), com o objetivo de atingir o bom estado das massas de água (APA, 2022).

Atualmente, em Portugal Continental existem oito regiões hidrográficas, sendo que na região Norte estão presentes três regiões hidrográficas: a região hidrográfica do Minho e Lima (RH1), a região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça (RH2) e a região hidrográfica do Douro (RH3) (Carvalho, 2014).

A região hidrográfica do Douro, que engloba a Bacia Hidrográfica do rio Ferreira, é uma região hidrográfica internacional com uma extensão total de 19 218 km² dentro do território português, ao qual corresponde cerca de 20% da região hidrográfica compartilhada com Espanha. Esta região alberga não apenas a bacia hidrográfica do rio Douro, mas também a bacia hidrográfica das ribeiras da costa ao longo da região hidrográfica e as massas de água subterrâneas, costeiras e de transição, corresponde à Região Hidrográfica 3 (RH3) no território português.

2.4 Impacto e Vulnerabilidades às Alterações Climáticas

Os dados atualmente disponíveis pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicam que o aumento da temperatura média anual na área terrestre da Europa desde a época pré-industrial até 2007 foi de 1,5°C, valor superior ao aumento da temperatura média global que, para o mesmo período foi de 0,8°C (IPCC, 2018). Em Portugal Continental, o valor médio da temperatura máxima do ar em 2022, foi de 22,32 °C (Figura 3) e o valor médio da temperatura mínima do ar de 10,96 °C (Cascais, 2021).

Atendendo à globalidade e transversalidade do problema, as decisões em termos de adaptação devem envolver ações e opções a todos os níveis da tomada de decisão, desde o nível mais local à comunidade internacional, envolvendo todos os governos.

A nível nacional, os esforços resultaram numa resposta política e institucional nesta matéria que se traduziu no Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC), desdobrado na Estratégica Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAA 2020) e no Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030).

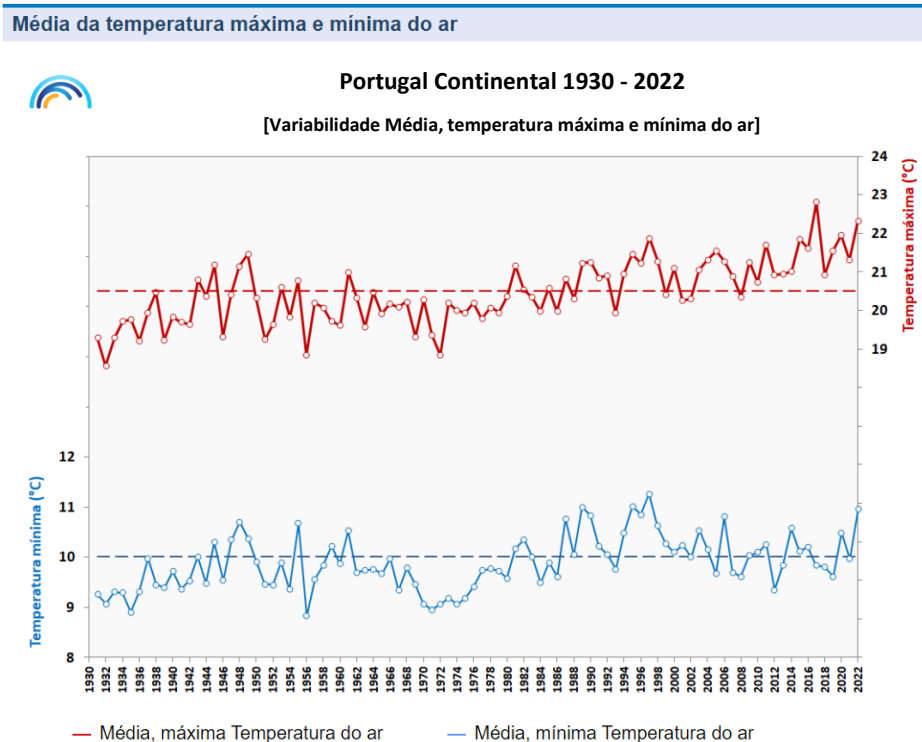


Figura 3 - Variação da temperatura do ar máxima e mínima anual em Portugal continental (IPMA, 2022).

Assim, face à probabilidade de aumento da frequência e intensidade de fenómenos meteorológicos adversos, importa priorizar e implementar um conjunto de opções e medidas de adaptação que promovam o conhecimento sobre a emergência climática, a avaliação dos seus potenciais impactos e consequências (e.g., incêndios florestais, secas, temporais, inundações) (CMParedes, 2020; Santos, 2015).

Esta metodologia de combate deve ser acompanhada de mecanismos de participação nos momentos de tomada de decisão que tenham em consideração as incertezas associadas às ameaças. Deste modo, serão utilizadas duas vias:

- I. Por consulta de agentes sectoriais, visto que estes presenciam as realidades de cada domínio;
- II. Por recolha de informação relativa a boas práticas existentes ao nível nacional e internacional, já que a prática do *benchmarking* permitirá encontrar soluções adequadas e eficazes com base em países com características idênticas.

Com o agravar dos impactos das AC na gestão da água é espectável a intensificação dos fluxos que constituem o ciclo hidrológico. O aumento da temperatura provoca uma maior evaporação e, por sua vez, um aumento da concentração de vapor de água na atmosfera. Assim sendo, existe um aumento da potencial precipitação (Duarte, 2007).

Face à observação das alterações nos padrões de precipitação europeus, é possível constatar uma propensão para a diminuição nas regiões meridionais e de acréscimo nas setentrionais. Ademais, acresce uma menor periodicidade na ocorrência de episódios climáticos extremos prorrogando-se com maior intensidade (Duarte, 2007). Como ilustrado na Figura 4, os impactos destes eventos climáticos vão desde alterações no uso de equipamentos/serviços, alterações nos estilos de vida, cheias, danos para o ecossistema, danos para as infraestruturas (e.g., viárias, ferroviárias, rede de saneamento e águas pluviais etc.), incêndios (i.e., como consequência do aquecimento global ou outros eventos extremos) (CMParedes, 2020).

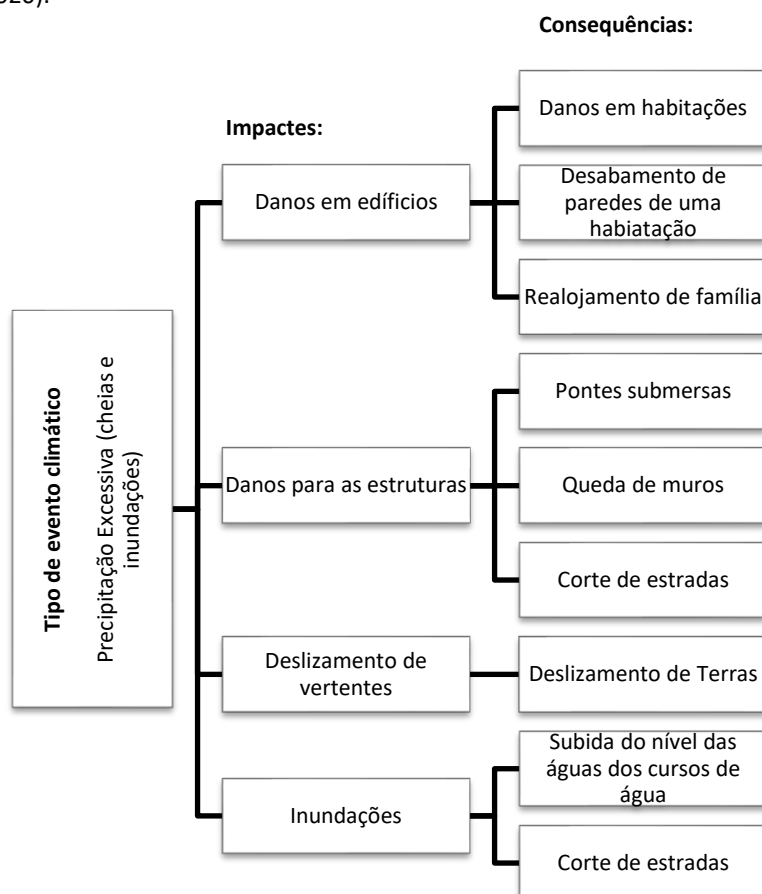


Figura 4 - Possíveis consequências da precipitação excessiva (CMParedes, 2020).

2.5 Casos de Estudo

Neste estudo, foram escolhidos três casos de estudo com o intuito de garantir uma representação abrangente a nível mundial, nacional e local. A escolha destes casos foi feita de forma a capturar uma ampla variedade de perspetivas e contextos. Desta forma, nos subcapítulos subsequentes, será apresentada uma descrição concisa de cada caso de estudo e da sua representatividade:

2.5.1 Construção de um visualizador com base na simulação do caudal em HEC-HMS

Lin et al., (2022) caracteriza a bacia hidrográfica do rio Chuanchang localizada no sudeste da província de Fujian, na China (Figura 5), com o intuito de avaliar as funcionalidades e a precisão do modelo de previsão de cheias. WSFF (*web-based prototype system for flood simulation and forecasting*), um protótipo de um sistema baseado na *web* para simulação e previsão de inundações com base no modelo HEC-HMS.

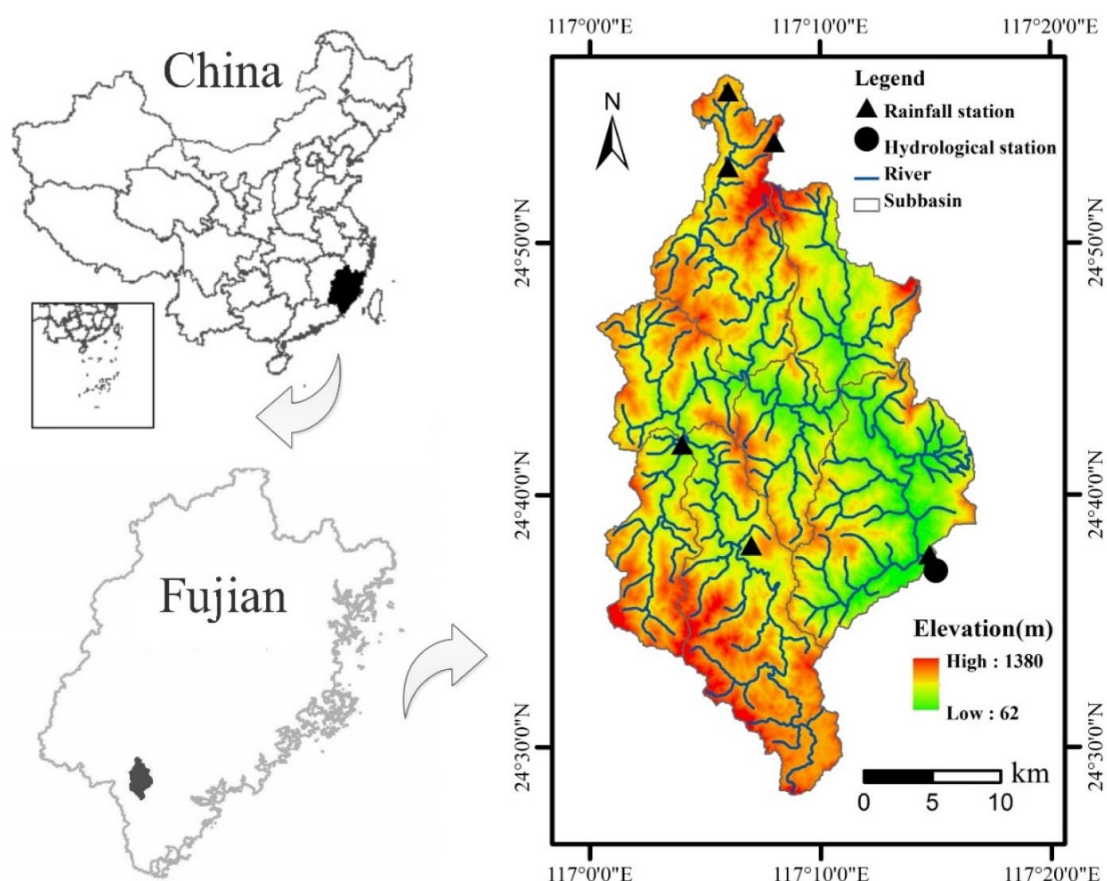


Figura 5 - Localização da bacia hidrográfica do rio Chuanchang, do seu sistema fluvial e estações de medição (Lin et al., 2022).

O desempenho do WSFF foi avaliado em relação a doze eventos históricos de inundação ocorridos na bacia hidrográfica do rio Chuanchang, sendo que nove eventos serviram para efetuar a sua calibração e três eventos para verificar a precisão do WSFF em termos de previsão de enchentes.

Os resultados dos testes indicam que o WSFF apresenta um desempenho geral satisfatório na previsão do caudal máximo, volume total de inundação, tempo de caudal máximo e do hidrograma. Lin et al., (2022) referem, que na sua ótica, esta é a primeira solução de código aberto baseada no modelo HEC-HMS servindo como um mecanismo de previsão de cheias em ambiente *web*. Com a robustez do modelo HEC-HMS e “Open-source software”, Lin et al., (2022) defendem que o *software* desenvolvido neste estudo pode servir como uma base útil para a outros projetos de características idênticas.

O WSFF pode ser operado em ambiente *web*, o que significa que os usuários podem aceder remotamente, possibilitando o recurso a divulgação de informações e alertas de previsão de cheias ao público, tornando-se num recurso importante para a tomada de decisões.

Contudo, o WSFF foi desenvolvido com base no sofisticado modelo HEC-HMS, que apresenta alguns constrangimentos, uma vez que este modelo requer dados de entrada detalhados, como dados topográficos e dados de uso de solo. Estes dados podem não estar disponíveis o que pode limitar a aplicação do modelo em algumas regiões. Adicionalmente, este é um modelo baseado em modelos conceptuais que podem ter limitações na caracterização de processos hidrológicos, como evapotranspiração, infiltração, etc.

2.5.2 Modelação Hidrológica para a Previsão de Fenómenos de Cheia na Bacia Hidrográfica do Rio Douro

Ferreira (2022) desenvolveu um modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Douro, com base nos dados dos eventos de cheia nos períodos de 14 a 24 de dezembro de 2019, 01 a 11 de março de 2001 e 20 a 30 de novembro de 2006.

Para as simulações executadas foi utilizado o *software* HEC-HMS, onde foi inserido o modelo digital com informação geográfica da bacia do rio Douro. Foram introduzidos dados de entrada, recolhidos pelas estações de monitorização dispersas ao longo da bacia hidrográfica do rio Douro. Posteriormente de forma a averiguar a eficiência das metodologias utilizadas na modelação, foi avaliando a aplicabilidade geral dos parâmetros definidos e a sua validação com recurso a eventos passados de precipitação extrema e executada a simulação do mesmo.

A construção e calibração do modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Douro foi desenvolvida em torno de duas áreas de estudo denominadas “Modelos”. O Modelo A apresenta valores de caudal efluente na Albufeira de Pocinho e o Modelo B exibe os valores de caudal efluente na Albufeira de Miranda e na Albufeira de Almendra. A Figura 6 ilustra o fluxograma das etapas desenvolvidas.

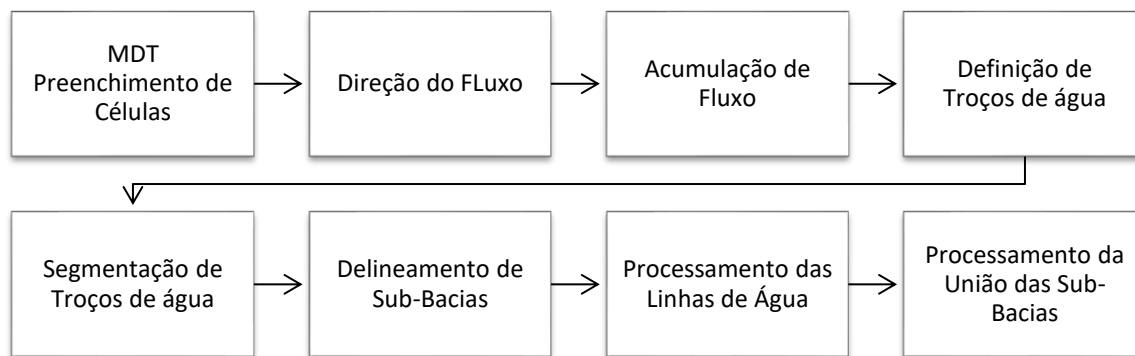


Figura 6 - Ferramentas de pré-processamento do terreno com o HEC-GeoHMS, (Ferreira, 2022)

Para o período de dezembro de 2019, o modelo A conduziu a uma aproximação mais fidedigna da simulação de caudais apresentando um desempenho muito bom na previsão dos parâmetros PBIAS (Porcentagem de viés - que avalia a diferença no volume de escoamentos simulado e registado) e NSE (Indicador de eficiência de Nash-Sutcliffe - que avalia a diferença na forma dos hidrogramas, simulado e registado), mostrando ser o modelo mais adequado. Ambos os modelos desenvolvidos mostraram ser menos eficientes na simulação do ponto de subida ou descida do hidrograma.

Com base no modelo, foi constatada a eficácia na previsão de potenciais inundações, o que também permitiu a simulação de caudais da bacia hidrográfica do rio Douro, de forma a, posteriormente, ser viável a sua utilização na mitigação dos impactos nos ecossistemas e nas atividades humanas.

No entanto, o estudo apresenta limitações práticas devido à falta de dados disponíveis sobre a área em estudo, com especial atenção para a inexistência de qualquer dado registado de precipitação e caudais afluentes e efluentes acessíveis ao público, nos períodos necessários.

2.5.3 Avaliação ecológica dos dois rios com recurso aos indicadores macroinvertebrados e macrófitas

Rodrigues (2019) tem como objetivo avaliar o estado ecológico de dois pequenos rios mediterrânicos (i.e., o rio Âncora (AR) e o rio Ferreira (FR)) através da análise de elementos de qualidade biológica (e.g., macroinvertebrados bentónicos e macrófitas), físico-químicos e hidromorfológicos.

Os parâmetros físico-químicos da água foram monitorizados mensalmente, tendo sido medida a temperatura da água (°C), o pH, a concentração de oxigénio dissolvido (mg O₂/L) e percentual de saturação (%DO), os sólidos totais dissolvidos (mg/L), a condutividade (µS/cm) e a salinidade (PSU) foram medidos *in situ* usando uma sonda de campo. Em laboratório, foi analisada a concentração de alguns dos nutrientes presentes nas amostras; nitratos (µg/L, NO₃), nitritos (mg/L, NO₂), amónia (mg/L, NH₄), fosfato (mg/L, PO₄) com auxílio do fotómetro de bancada multiparamétrica (Hanna Instruments).

Em relação aos parâmetros biológicos foi realizada sazonalmente a monitorização dos macroinvertebrados bentónicos e das macrófitas no verão de 2013 e verão de 2014. As amostras foram analisadas em laboratório, onde os organismos foram separados, contados e identificados até o nível de género, tendo sido avaliada pela aplicação do Índice Português de Invertebrados do Norte (IPTLN) para os macroinvertebrados bentónicos e o Índice Biológico de Macrófitas de Rio (IBMR).

Adicionalmente, foi efetuada a caracterização da qualidade do bosque ribeirinho (índice QBR), a descrição da viabilidade de um local no suporte da vida aquática (índice GQC), HQA, HMS e RVI. Um aspecto importante nestes índices é o facto de eles serem muito subjetivos, visto que derivam dos conhecimentos e da experiência do observador.

Rodrigues (2019) classificando também o estado ecológico como Razoável ou Medíocre em todos os pontos de amostrados do rio Ferreira. Os elevados teores de nutrientes observados, principalmente na primavera e verão, sugerem uma contínua entrada de nutrientes no curso de água. Os locais a jusante (FR4 a FR6) foram os mais impactados, uma vez que recebem poluição difusa da atividade agrícola, descarga de efluentes não tratados e descargas de águas residuais da ETAR de Arreigada a montante.

Os resultados mostram que o rio Ferreira, que faz parte da Rede Natura 2000, precisa de medidas para reduzir a poluição difusa, bem como restaurar a vegetação envolvente, a fim de melhorar o seu estado ecológico e preservar os seus habitats naturais, a fauna e a flora.

Os autores sugerem a aplicação de medidas que reduzam os impactos do uso do solo, melhorar a cobertura da rede de saneamento e aumentar a eficiência das ETARs. Os agricultores também devem ser advertidos contra o uso descuidado e excessivo de fertilizantes, a limpeza dos cursos de água, bem como o corte da vegetação, que deve ser sempre supervisionada e condicionada de acordo com as medidas de salvaguarda para os habitats ribeirinhos.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Introdução

Neste capítulo é descrito o caso de estudo, nomeadamente as principais características da bacia hidrográfica do rio Ferreira assim como o sistema fluvial e os dados aplicados no decorrer do estudo. Assim, é apresentada uma caracterização da Bacia Hidrográfica do rio Ferreira (BHRF) relativamente aos seguintes temas: localização geográfica; geologia; ocupação do solo; caracterização demográfica e industrial e caracterização do clima da área envolvente. Posteriormente, são expostos os principais problemas do rio Ferreira, assim como a caracterização da qualidade atual das massas de água superficiais, com base na cartografia homologada, dados do SNIAMB e amostragem “*in situ*” dos parâmetros físico químicos gerais e hidromorfológicos. Por fim, são apresentados alguns levantamentos de antecedentes em termos de intervenção e identificação dos principais problemas relativos à ocorrência da degradação ambiental.

3.2 Caraterização da Área de Estudo

A caraterização da área de estudo assume um papel crucial na compreensão da área de estudo, abordando tópicos de extrema relevância para a análise abrangente da sua dinâmica e das interações que moldam o ambiente em questão. A caracterização dos elementos-chave, tais como a localização geográfica, geologia, ocupação do solo e cobertura vegetal, clima, demografia e urbanização, é essencial para o alcance dos objetivos desta tese.

A abordagem destes elementos não é meramente descritiva, mas sim um meio de desvendar os fatores que moldam a perigosidade da área e a gestão do ambiente. A compreensão do clima, por exemplo, desempenha um papel fundamental na avaliação dos riscos naturais e na identificação de padrões climáticos que afetam diretamente a área em estudo. A ocupação do solo, por sua vez, é um fator-chave na determinação do coeficiente de escoamento, influenciando as respostas a eventos climáticos extremos e a gestão de recursos hídricos.

3.2.1 Localização

O rio Ferreira nasce em Raimonda, Paços de Ferreira, e desagua no rio Sousa, na freguesia de Foz do Sousa em Gondomar. A bacia hidrográfica do rio Ferreira (BHRF) é limitada a norte pela região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça, a nascente pela bacia hidrográfica do rio Ave, a Sudoeste, pelas bacias hidrográficas dos rios Torto e Tinto, a Oeste, pela bacia hidrográfica do rio Leça e a Sudeste pela bacia hidrográfica do rio Sousa (AMPorto, 2009). De acordo com a cartografia digital disponibilizada pela Direção Geral do Território, o rio Ferreira surge cartografado nas folhas nº 98, 99, 111, 122, 123 e 134 das cartas militares,

apresentando uma extensão de 22 km e uma área de drenagem de 104 km². Com base no polígono delimitante da BHRF, a sua área é de 184 km² e um perímetro de 83 km (CIGeoE, 2023a).

O rio Ferreira é um dos principais afluentes do rio Sousa, situando-se na zona Noroeste do distrito do Porto. Na Tabela 2 e na Figura 7 é apresentada a distribuição da BHRF pelos vários municípios.

Tabela 2 - Distribuição da BHRF pelos vários concelhos.

Concelho	Área (km²)	Fração da área total (%)
Lousada	4,10	2,2
Santo Tirso	0,85	0,5
Paredes	45,17	24,7
Paços de Ferreira	64,96	35,5
Gondomar	20,90	11,4
Valongo	47,14	25,7
Total	183,13	100

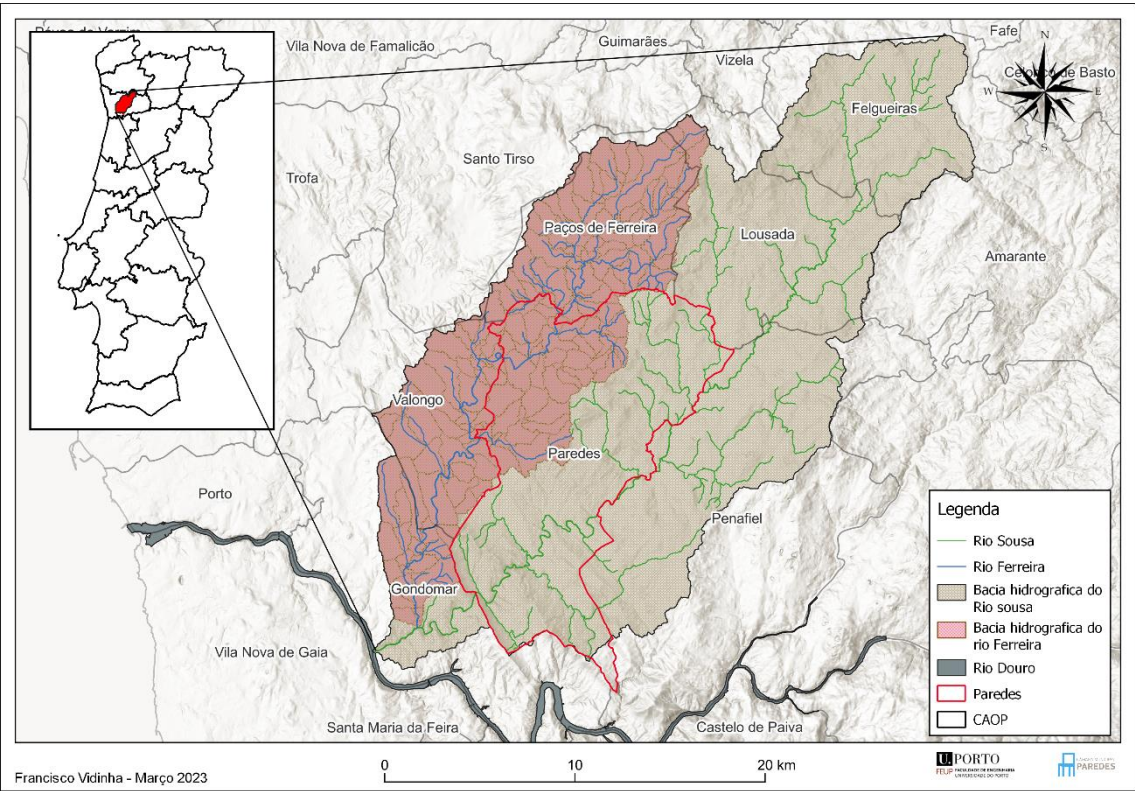


Figura 7 - Representação da delimitação da BHRF e dos limites administrativos (DGterritório, 2023).

3.2.2 Geologia

Com base na Carta Geológica à escala de 1:1 000 000, disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) no seu geoPortal da Energia e Geologia, recorreu-se a uma operação SIG, a partir da qual é possível obter uma caracterização da geologia da BHRF. Deste modo, a Figura 8 representa as formações geológicas que ocorrem na área em questão.

É possível verificar que a área em estudo se encontra essencialmente encaixada em rochas graníticas (i.e., cerca de 310 a 290 milhões de anos), que no seu conjunto representam cerca de 40% da área total da bacia. Ao longo das margens dos rios, são igualmente abundantes os depósitos aluvionares quaternários, da idade holocénica (i.e., 12 mil anos à atualidade) e os quartzitos, filitos e os xistos. Relativamente às litologias existentes nos vales do rio Ferreira, distinguem-se três tipos: aluviões, terraços e rochas metassedimentares granitoides. Os aluviões são abundantes, sendo a sua extensão maior onde o rio se encontra encaixado por rochas graníticas, sendo fundamentalmente constituídos por areias grosseiras e cascalhos de idade holocénica (AMPorto, 2009). Os terraços fluviais são típicos das áreas baixas do Minho e do Douro, onde se localizam os depósitos arenosos-argilosos (i.e., de origem continental). Estes depósitos situam-se em áreas topograficamente deprimidas relativamente às áreas mais próximas, podendo estar depositados em depressões tectónicas (Brito, 2008).

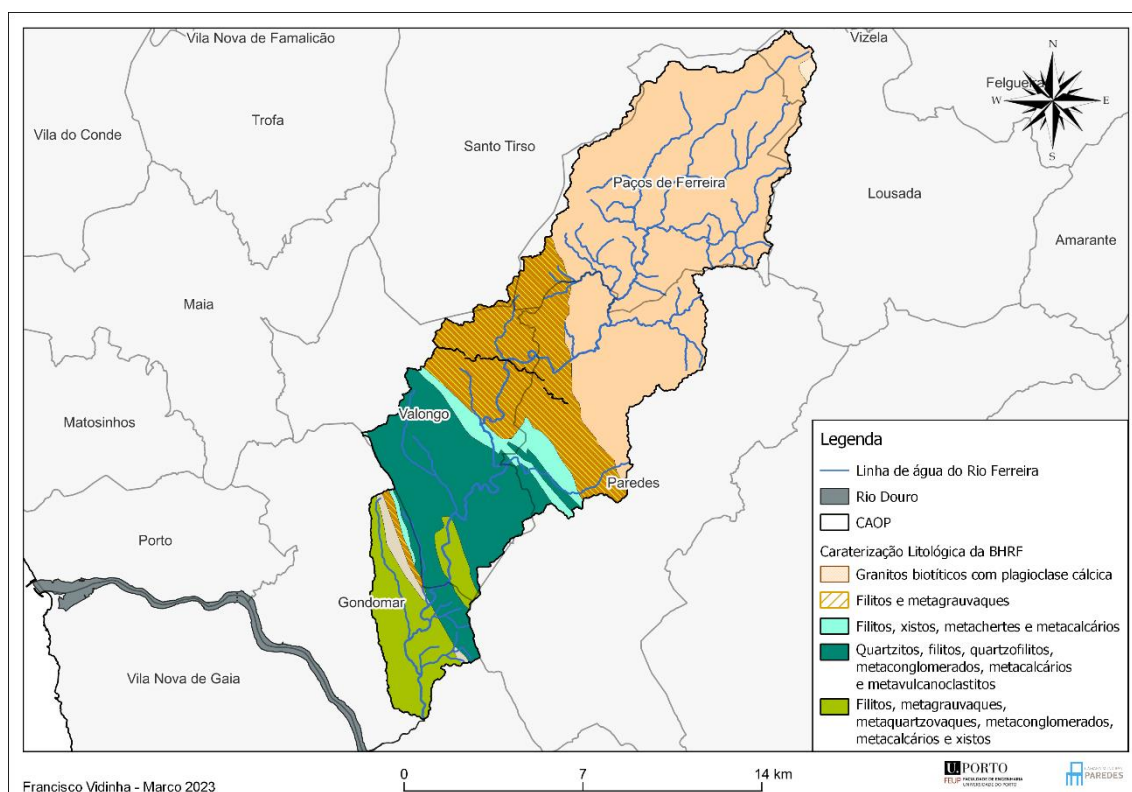


Figura 8 - Carta geológica de Portugal, à escala 1:1 000 000 (LNEG, 2023).

3.2.3 Ocupação do Solo e Coberto Vegetal

Tendo por base a informação disponível na carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 resultante dos meta dados recolhidos no Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), Figura 9, procedeu-se também a uma operação SIG, a partir da qual foi possível produzir um levantamento da representatividade dos principais grupos de solo com expressão na Bacia Hidrográfica do rio Ferreira.

Através da análise espacial do cartograma representada na Figura 9, na Tabela 3 são apresentados as áreas e respetiva fração, de cada uma das suas classes de uso do solo. Da análise, foram identificados alguns fatores da paisagem e das utilizações do solo sendo que os territórios artificializados constituem o principal revestimento da bacia (36,86%). Uma fração significativa da bacia insere-se no revestimento vegetal, cerca de 27,15% e uma pequena porção possui um revestimento de matos e espaços descobertos ou com pouca vegetação.

Tabela 3 - Ocupação dos solos (dgTerritório, 2018).

Ocupação do solo	Área (km²)	Fração da área total (%)
Agricultura	460754	22,10
Agricultura protegida e viveiros	2231	0,11
Áreas agrícolas heterogéneas	88135	4,23
Culturas permanentes	68053	3,26
Culturas temporárias	302335	14,50
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	5020	0,24
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	5020	0,24
Florestas	566181	27,15
Florestas	566181	27,15
Matos	281138	13,48
Matos	281138	13,48
Pastagens	3347	0,16
Pastagens melhoradas e pastagens espontâneas	3347	0,16
Territórios artificializados	768667	36,86
Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	54108	2,59
Equipamentos	58570	2,81
Indústria, comércio e instalações agrícolas	169018	8,11
Infraestruturas	1116	0,05
Parques e jardins	6694	0,32
Tecido edificado	433979	20,81
Transportes	45183	2,17
Total	2085108	100,00

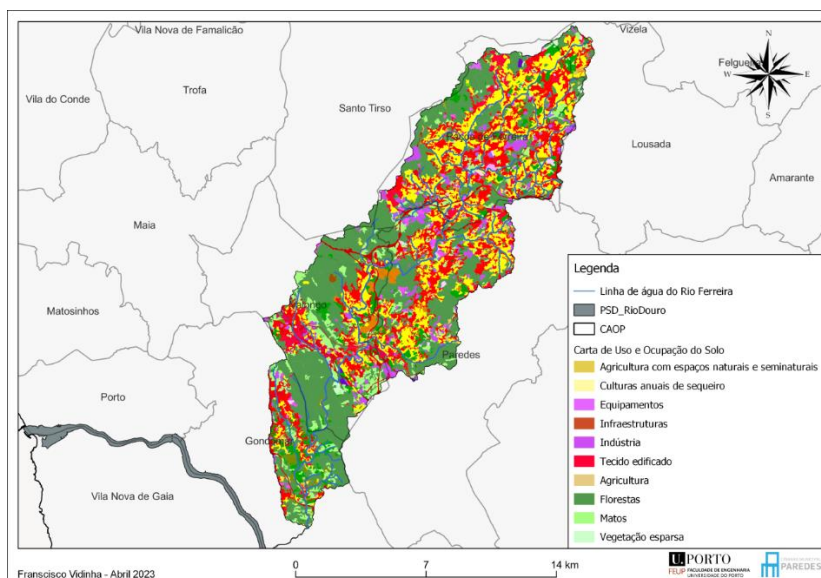


Figura 9 - Utilização dos Solos (Cos1018v1) (dgTerritório, 2023).

Do ponto de vista hidrológico os valores expressos têm bastante significado, pois verifica-se uma significativa presença de solo urbanizado nas margens dos rios, representando potenciais aumentos de solo urbano.

Os espaços industriais são pouco significativos (na ordem dos 8% da área total), distribuindo-se ao longo da BHRF. A maior incidência ocorre em Paços de Ferreira (tanto em área total como na dimensão dos espaços) e em Paredes (com maior número de áreas industriais, mas menor dimensão dos respetivos perímetros) (CIGeoE, 2023a).

A grande parte dos espaços industriais localizam-se em malha urbana ou em espaço contíguo e alguns apresentam contacto direto com o rio, colocando pressão sob a conservação dos recursos hídricos, afectando as suas potenciais utilizações.

Por outro lado, os espaços agrícolas têm uma incidência crescente até aos concelhos de Paços de Ferreira e Paredes, diminuindo acentuadamente para jusante. De facto, a área mais a montante do rio Ferreira representa um território essencialmente composto por espaços agrícolas, com alguns núcleos urbanos densos e pequenas manchas florestais inseridas em espaços agrícolas. Verifica-se que as áreas classificadas como RAN têm maior incidência na parte intermédia (Valongo, Paredes) da área em questão. Por outro lado, a REN representa cerca de 15% da área incidente no município de Paredes (Brito, 2008; dgTerritório, 2023).

3.2.4 Clima

Em termos climáticos a região de influência apresenta valores médios mensais de temperatura de 15,67°C, atingindo o valor máximo em agosto (26,1°C) e o mínimo em dezembro (2,7°C), resultando numa amplitude térmica de 23,4°C (IPMA, 2022, 2023).

Atendendo ao valor registado, o IPMA caracteriza a região como sendo do tipo chuvoso ($1000 < P < 2000$ mm), dado que a precipitação média anual registada é aproximadamente 1900 mm. Contudo tem-se verificado a intensificação de eventos mais extremos durante os meses mais secos, devido à ausência de precipitação e à maior influência do clima mediterrâneo o que resulta numa forte influência no caudal dos rios da região do Douro e, em casos mais extremos, na transição de rios perenes para rios temporários (Portaldoclima, 2023).

A humidade relativa da região é de 77%, considerando-se, portanto, que se trata de uma área com elevada humidade ($> 70\%$).

Os ventos mais frequentes sopram de sudoeste (SO) seguindo-se os ventos dos quadrantes Sudeste (SE) e Noroeste (NO), embora em termos gerais se possa considerar como fraca a velocidade média dos ventos em todos os quadrantes (HPN, 2010; Windfinder, 2023).

3.2.5 Demografia e Urbanização

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística, em 2021, a área em estudo é uma área contínua de 6 concelhos com cerca de 298281 habitantes, o que representa cerca de 17% da população residente na área metropolitana do porto (INE, 2022). Em termos de distribuição da população dentro da BHRF, verifica-se que é junto aos grandes centros onde se concentra a maioria da população residente, ganhando naturalmente expressão as áreas onde se localizam os edifícios de habitação colectiva. Na Figura 10 é apresentada a distribuição da população residente na BHRF por subsecção estatística, com base nos dados obtidos a partir dos censos de 2021.

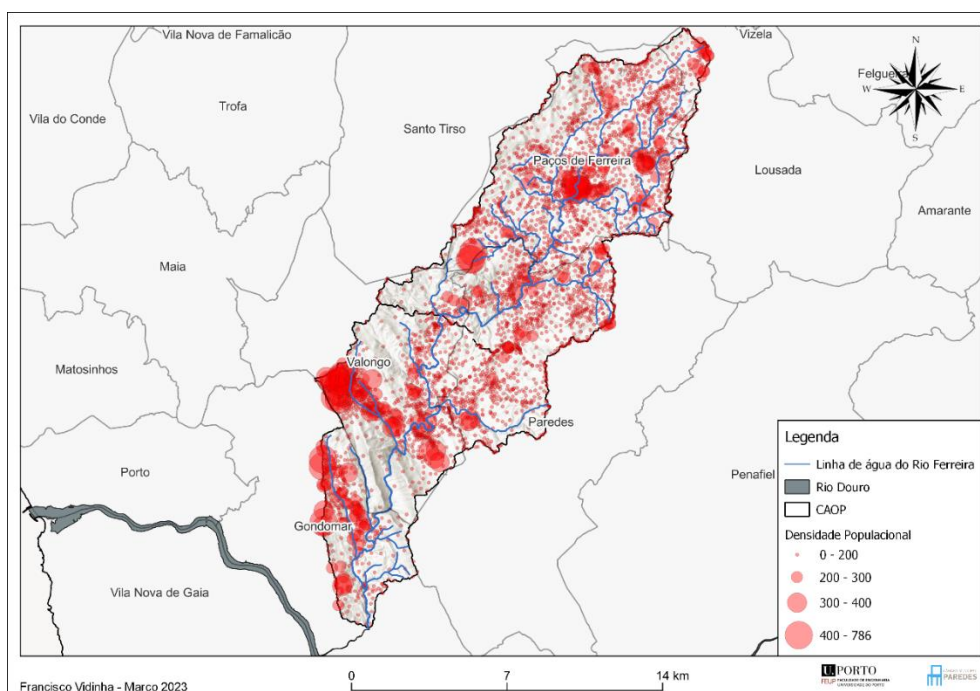


Figura 10 - Distribuição geográfica da população residente (INE, 2022).

Em termos de estrutura etária, trata-se de uma população jovem, com cerca de 34% da população abaixo dos 25 anos. A população entre os 25 e 64 anos representam cerca de 56% da população residente na ARU e apenas 11% têm idade superior a 64 anos (INE, 2022).

No último Censo de 2021, a área metropolitana do Porto (AMP) possui um total de 416 191 edifícios, dos quais 82 025 (57%) se localizam na área da bacia hidrográfica em estudo. Destes edifícios existentes na BHRF, 81 815 eram exclusivamente residenciais. Ao número total de edifícios da AMP corresponde um total de 837 386 alojamentos, dos quais 124 704 (na ordem dos 15%) se localizam na bacia em estudo, um número bastante significativo fora do grande centro Porto que denota a concentração existente nessa área (INE, 2022).

Enquanto sede de seis concelhos consolidados, mas em fase de crescimento, o território da BHRF apresenta alguma diversidade de morfologias urbanas e tipologias de habitação. Desta forma, a zona a jusante, incluiu áreas de expansão com matriz de povoamento disperso constituído normalmente por moradias unifamiliares, como em grande parte do território, enquanto, na parte nascente, se pode observar um conjunto urbano mais coeso que apresenta, genérica e independentemente da génese, duas morfotipologias claramente distintas (núcleos rurais, frentes urbanas consolidadas) (CMParedes, 2016). Assim, a área mais ao centro caracteriza-se, fundamentalmente, por uma ocupação difusa/dispersa, tendo como suporte o desenvolvimento espontâneo de áreas cada vez mais fracionadas onde se misturam o uso residencial e industrial, um processo, no qual perdura a iniciativa individual, apoiado na autoconstrução, e, portanto, sem planeamento (Nunes, 2016).

A título complementar apresenta-se a localização das principais indústrias presentes na bacia hidrográfica, bem como as duas ETAR em funcionamento. A informação utilizada consta do levantamento georreferenciado levado a cabo e disponibilizada pelos Municípios de Gondomar, Valongo, Santo Tirso e Paços de Ferreira. Refere-se que, à semelhança do considerado para as águas residuais domésticas, apenas foi possível caracterizar a sua utilização no município de Paredes.

A ETAR de Arreigada localizada em Paços de Ferreira, da responsabilidade das águas de Paços de Ferreira, foi dimensionada para tratar efluentes urbanos de uma população de 48 482 habitantes para um caudal médio diário de 4 552 m³/dia, através de tratamento preliminar e biológico com biorreator de membrana. Nos últimos anos, esta ETAR tem operado acima da sua capacidade (5800 m³/dia) (PEV, 2020), o que leva ao lançamento de efluentes com tratamento inadequado, ou mesmo sem tratamento, para o Rio Ferreira (AMPorto, 2009; Diogo, 2021).

Localizada em Valongo, a ETAR de Campo foi construída em 1999, dimensionada para servir uma população de 51 317 habitantes de diversas freguesias do concelho de Valongo, e ainda, as populações do município de Paredes, bem como algumas indústrias já existentes na sua área de influência, permitindo tratar um caudal de 12 234 m³/dia. Resultante do crescimento desordenado da indústria e da carência de infraestruturas de saneamento básico verificou-se que a evolução dos caudais à principal unidade de

tratamento era superior ao previsto, colocando a instalação em sobrecarga. Face a esta pressão, foi realizado um investimento, permitindo uma capacidade de tratamento de 98 278 habitantes e um caudal máximo de 1673 m³/h (AMPorto, 2009; APA, 2007; AVK, 2008).

No que concerne às infraestruturas, no município de Paredes, de saneamento público e de águas pluviais existentes, a primeira abrange a maioria da área em causa assegurando os grandes núcleos e a segunda é praticamente inexistente, com a exceção de uma parte do lugar de Rebordosa e Lordelo, onde a cobertura é parcial (Figura 11).

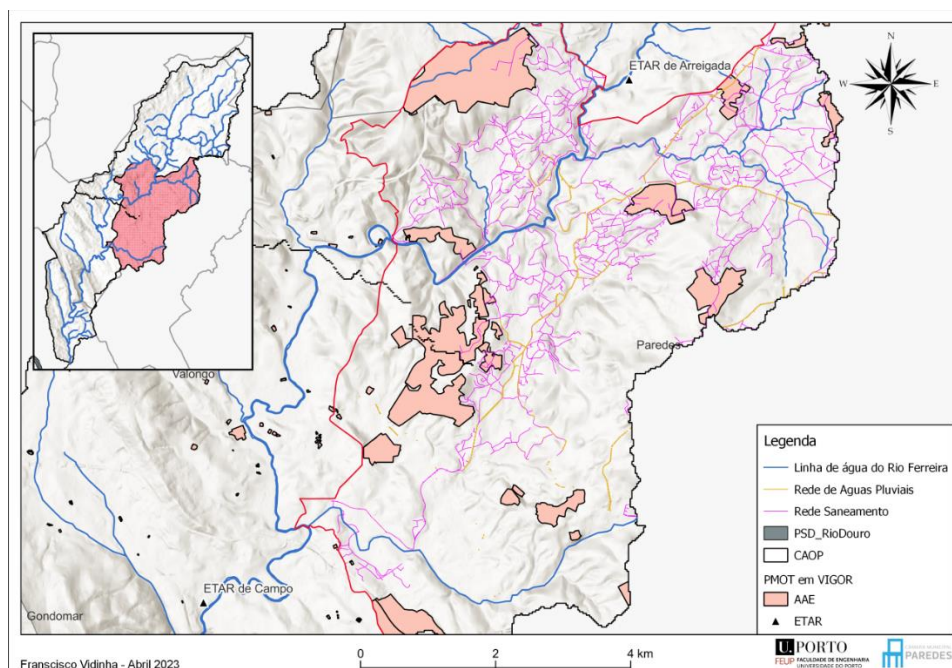


Figura 11 - Cobertura de saneamento básico e águas pluviais (CMParedes, 2023).

A deficiente cobertura das redes de saneamento básico e tratamento de efluentes é outra das causas responsáveis pela poluição nos rios Sousa e Ferreira. Apenas cerca de 60% da população residente em Paredes, Paços de Ferreira e Valongo está servida por redes de drenagem de águas residuais. Constatase, assim, que ainda é bastante grande a carência em infraestruturas de saneamento básico verificando-se que a rede existente, tanto ao nível de coletores como de interceptores e emissários é, em muitos locais, precária e necessita de reparação ou, mesmo, substituição, afetando significativamente a qualidade do serviço prestado e contribuindo para a contaminação do solo e principais linhas de água.

3.3 Estado das Massas de Água

A avaliação das massas de águas superficiais naturais no seu estado global inclui a avaliação do Estado Ecológico e do Estado Químico.

O Estado Ecológico traduz a qualidade estrutural e funcional dos ecossistemas aquáticos associados às águas de superfície, ou seja, é definido pelo “desvio entre as características das comunidades de

organismos aquáticos (flora aquática, invertebrados bentónicos e peixes) que estão presentes em condições naturais e as características dessas mesmas comunidades quando sujeitas a uma pressão (descarga de um efluente urbano, extração de areias, águas lixiviantes, entre outros)” (INAG, 2006). Além da avaliação das comunidades de organismos aquáticos, também é efetuada a análise de parâmetros físico-químicos (pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigénio dissolvido (% e mg/L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), CBO_5 , sólidos suspensos totais (mg/L), nutrientes, etc.) e de parâmetros hidromorfológicos (vegetação ribeirinha, caudal, entre outros).

A DQA classifica o estado ecológico como resultado da pior combinação entre os parâmetros físicos e químicos, biológicos e hidromorfológicos resultando numa classificação final de cinco níveis, sendo “excelente” o estado sem alterações e “mau” correspondente à péssima qualidade (Figura 12). Deste modo, o bom estado ecológico de uma massa de água define-se pelo desvio entre as características dos organismos aquáticos presentes e as condições de referência (estado natural). Os valores dos parâmetros físicos e químicos e as características hidromorfológicas contribuem, ainda, para analisar os resultados, uma vez que estes se correlacionam com a componente biológica (INAG, 2006).

No âmbito dos trabalhos de implementação da DQA em Portugal continental foram classificados, em colaboração com a APA, o estado ecológico das massas de água, como se verifica na Figura 12. A nível regional, registou-se uma evolução negativa ao nível das águas superficiais, sendo que a maioria apresentou níveis de qualidade Mediocre. O rio Ferreira é classificado em duas secções, sendo que a montante é classificado como Razoável e a jusante como Mediocre.

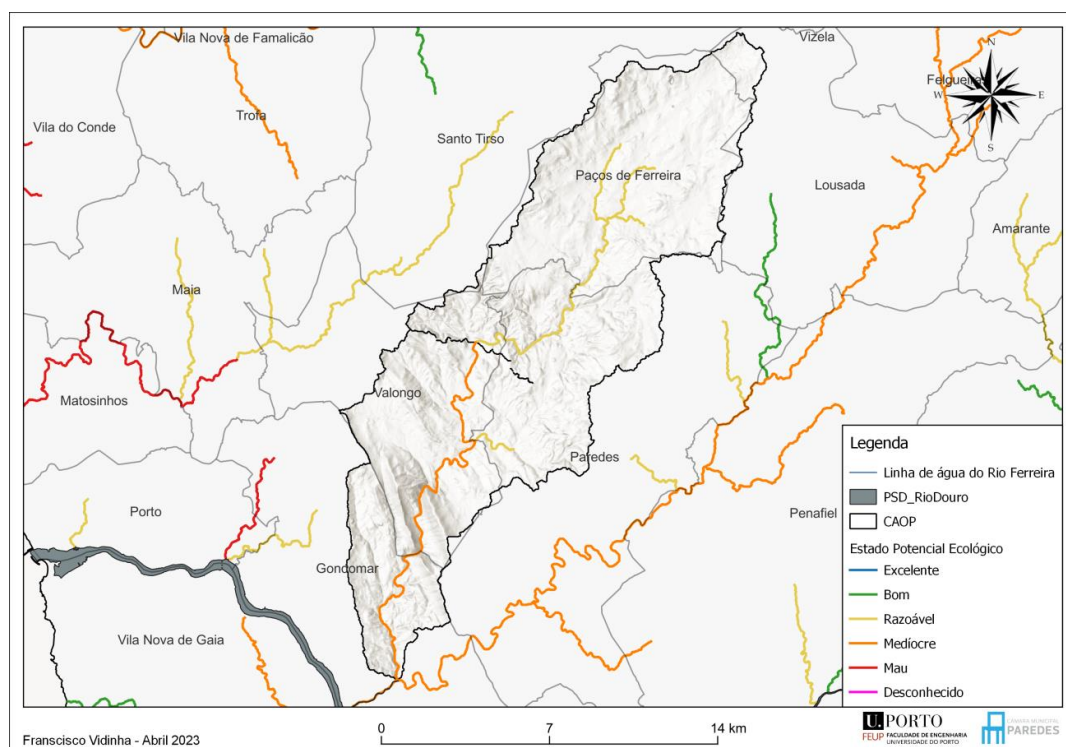


Figura 12 - Classificação do estado potencial das massas de água (SNIAmb, 2019).

A presença de substâncias químicas no ambiente aquático está, intrinsecamente, relacionada com o estado químico que, em condições naturais são inexistentes ou em concentrações reduzidas, e que são suscetíveis de causar danos significativos ou por intermédio do ambiente aquático, para a saúde humana e para a flora e fauna, pelas suas características de persistência, toxicidade e bioacumulação (Instituto da água, 2009).

Em Portugal as dificuldades são acrescidas, nomeadamente devido à escassez de dados normalizados e sistematizados relativos aos elementos químicos nas águas superficiais. Neste contexto, e ciente dos condicionalismos existentes, a APA, enquanto entidade gestora definiu os critérios para a classificação da qualidade, resultando numa classificação final de três níveis, sendo “bom” o estado sem alterações e “insuficiente” correspondente à péssima qualidade.

Na Figura 13 é indicado a classificação, para parte dos rios da bacia hidrográfica do rio Douro, sendo que o rio Ferreira apresenta melhor qualidade a montante.

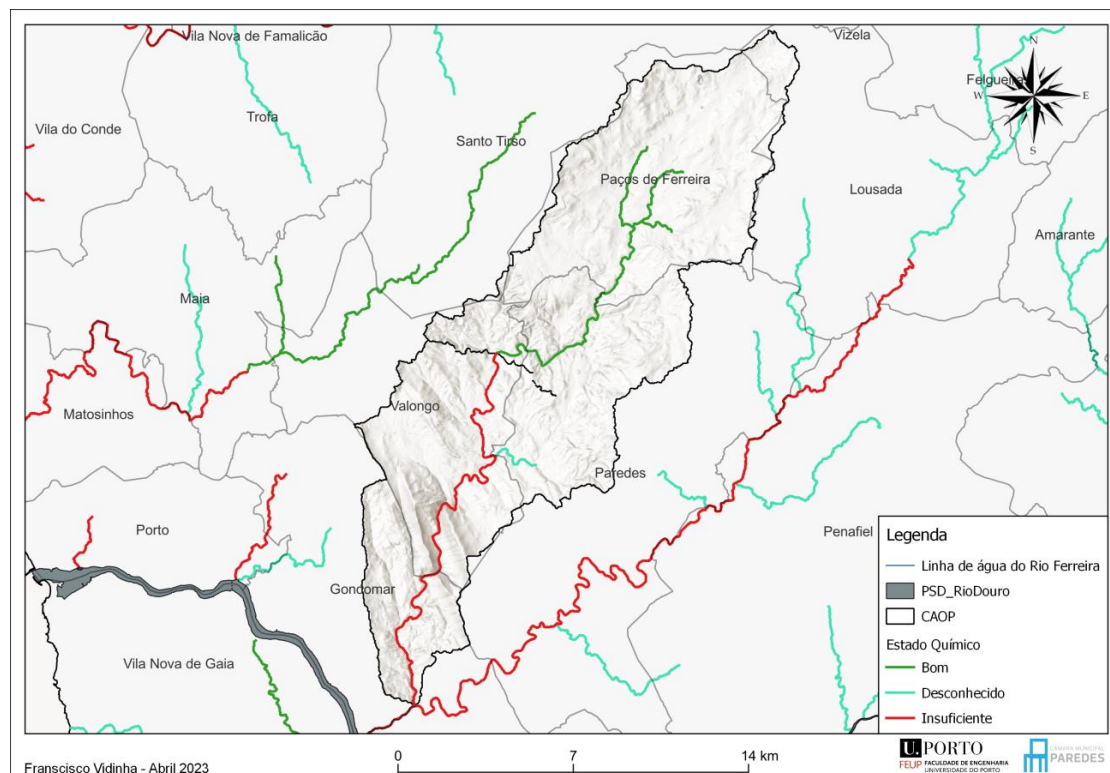


Figura 13 - Classificação do estado químico das massas de água (SNIAmb, 2019).

3.4 Antecedentes

O Rio Ferreira apresenta uma elevada deterioração do meio ambiente, seja por descargas de poluentes industriais ou descargas de efluentes sem tratamento prévio. Os impactos pontuais e difusos, em grande parte, estão diretamente relacionados com o crescimento populacional da região, associados muitas

vezes a falhas no dimensionamento da rede de saneamento básico, da rede de águas pluviais, do sector agrário e do funcionamento das estações de tratamento de águas residuais.

É de notar a existência de marcos significativos relacionados com as indústrias poluidoras, que são consideradas os principais focos de poluição, como é o caso da UNITECA, uma empresa química envolvida na produção têxtil, tendo esta encerrado em 1984 e a CIFA, Companhia industrial de fibras artificiais, que encerrou na década de 80 (AMPorto, 2009).

Historicamente, tem havido algumas notícias importantes relativas à presença de indústrias poluidoras, nomeadamente, no passado dia 03/01/2022, foi detetado na zona da Azenha, em Campo, um rasto de vestígios da espuma proveniente da zona industrial de Campo, nomeadamente, ao afluente Ribeira de Santa Baia adjacente à rede de águas pluviais da rua do Balteiro.

Em Paços de Ferreira, o mau funcionamento da ETAR de Arreigada, em operação há 27 anos, drenava efluentes para o rio Ferreira, prejudicando sobretudo as freguesias a jusante, nomeadamente Lordelo e Rebordosa, no norte do concelho de Paredes. A 08/03/2023 o ministro do ambiente, Duarte Cordeiro, admitiu existir “um problema ambiental”. Ao longo da notícia é perceptível a atribuição de financiamento no sentido de resolver a situação. Foram realizadas intervenções na sua remodelação, no valor de 5,1 milhões de euros, todavia sem impacto significativo na minimização do problema (JN, 2023; POSEUR, 2018).

Após a remodelação realizada recentemente no equipamento, a APA afirmou que esta não cumpre com as normas de descarga estabelecidas na legislação em vigor, o que, por sua vez, compromete toda a biota existente nesse rio, assim como a saúde pública de todos aqueles que habitam na área circundante (JN, 2021).

De acordo com o processo de avaliação de impacto ambiental de 14/04/2008, no âmbito da ampliação da ETAR de Campo o troço do rio Ferreira, que atravessa o concelho de Valongo, e no caso específico dos meses de verão (junho a setembro), foi constatado adicionalmente que os caudais de águas residuais são da mesma ordem de grandeza dos caudais naturais escoados no rio, ou seja, neste troço, o caudal natural do rio é quase na sua totalidade constituído por águas residuais. Todavia, esta calamidade foi minimizada após a conclusão da remodelação em 2021 (FEUP e CMValongo, 2007).

4 METODOLOGIA

4.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se a metodologia adotada para a previsão da precipitação com base na modelação hidrológica que pode afluir à bacia hidrográfica do rio Ferreira, utilizando para o efeito o modelo conceptual hidrológico HEC-HMS, com base nos processos de precipitação-escoamento. Deste modo, são apresentados parâmetros base utilizados na construção do modelo, assim como toda a metodologia associada ao estado das massas de água, nomeadamente a Amostragem *In situ*, os parâmetros Físico-químicos e os parâmetros Hidromorfológicos.

4.2 Amostragem *In situ*

Numa primeira fase, foi efetuada uma pré-seleção de potenciais locais de amostragem com base em registos cartográficos, de forma a identificar os locais de fácil acesso, para numa fase seguinte realizar-se uma análise *in situ*. Nesta etapa de seleção diversos critérios foram definidos como objetivos, escolha das estações de amostragem, periodicidade, registo de fatores abióticos e, finalmente, a recolha. Após a verificação destes critérios foram selecionados nove locais de amostragem, no final do inverno e início da primavera. Na Tabela 4, Figura 14 e anexo B estão descritos os locais de amostragem e os respetivos acrónimos adotados no estudo assim como as suas coordenadas geográficas.

Tabela 4 - Locais de amostragem nos afluentes do Rio Ferreira.

Símbolo Adotado	Tipologia	Categoria	Coordenadas
P1	Rios do Norte de média ou grande dimensão (T3)	Rio	41°14'49.32" N8°24'21.09"W
P2		Rio	41°14'17.03" N8°24'27.98"W
P3		Rio	41°14'17.68" N8°24'38.99"W
P9		Rio	41°13'59.26" N8°24'45.73"W
P4	Rios do Norte de pequena dimensão (T2)	Ribeira	41°14'17.23" N8°24'20.37"W
P5		Ribeira	41°14'55.03" N8°24'22.42"W
P6		Ribeira	41°13'44.10" N8°24'52.18"W
P7		Ribeira	41°13'36.78" N8°25'27.62"W
P8		Ribeira	41°13'29.98" N8°24'43.27"W

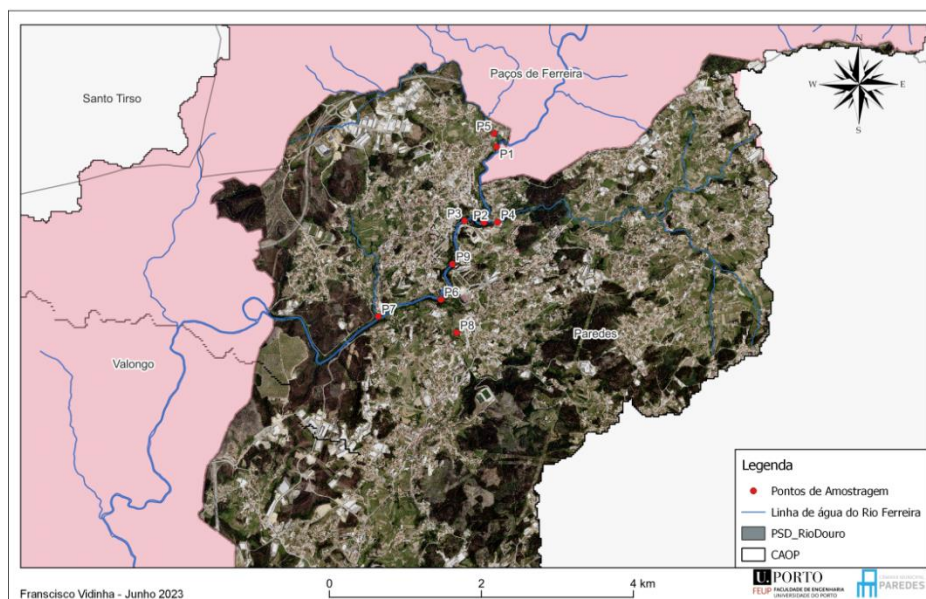


Figura 14 - Localização geográfica dos pontos de amostragem.

Dado que as alterações ambientais não resultam apenas de impactos poluentes, mas também por modificações físicas, juntamente com as características físico-químicas da água da qualidade da água foram utilizados o índice que avalia a Qualidade do Bosque de Ribeira (QBR) (Munné & Prat, 1998) e o índice que avalia o Grau de Qualidade do Canal (GQC) (Ferreira, 2011) que avaliam os parâmetros hidromorfológicos.

4.2.1.1 Parâmetros Físico-químicos

As análises físico-químicas de suporte geral adquirem grande importância, não só por se encontrar intimamente relacionada com a diversidade, mas também com a produtividade biológica. No período compreendido entre novembro de 2022 e maio de 2023, procedeu-se para cada um dos locais de amostragem à determinação, recorrendo a uma sonda multiparamétrica HI98130, de parâmetros físicos e químicos de suporte geral: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (escala de Sorensen), oxigénio dissolvido (% de saturação e mg/L), total de sólidos dissolvidos (mg/L) (Tabela 5 e Figura 15).



Figura 15 - Amostragem de uma amostra de água; Sonda multiparamétrica Horiba, modelo U-51.

No que concerne aos “Critérios para a Classificação das Massas de Água” da autoria da APA (3.º Ciclo de planeamento (2022-2027)), para os elementos físico-químicos gerais foram definidos valores de fronteira que permitiram estabelecer três classes de qualidade: Excelente, Bom e Razoável. Os limiares de qualidade aplicáveis aos diferentes parâmetros são estabelecidos tendo em conta a potencial influência sob as características do ecossistema e, sempre que possível, alvo de “Trabalho da Estratégia Comum de Implementação da DQA” relativo ao estado ecológico.

Tabela 5 - Limiares máximos para os parâmetros físico-químicos gerais (APA, 2022)

Grupo de Parâmetros	Parâmetros	Unidade	Agrupamento Norte	
			Excelente/ Bom	Bom/ Razoável
Condições de oxigenação	Oxigénio dissolvido	% sat	80 - 115	70 - 125
	Oxigénio dissolvido	mg/L O ₂	8 - 12	6
Condições térmicas	Temperatura da amostra	°C	--	6,5 - 23,5
Estado de acidificação	pH	Escala de Sorensen	6,5 - 8,5	6,0 - 9,0
Salinidade	Condutividade a 20°C	µS/cm	--	150
Outros parâmetros	Total de Sólidos Dissolvidos	mg/L	12,5	25,0

4.2.1.2 Parâmetros Hidromorfológicos

Os dados observados para avaliação dos parâmetros hidromorfológicos foram categorizados em cinco classes de qualidade, que variam desde a classe correspondente ao estado natural (Classe I) a péssima qualidade (Classe V) pelo do Índice de Qualidade do Ecossistema Ribeirinho – QBR (Tabela 6) e no índice de Qualidade do Canal – QQC (Tabela 7).

A classificação final define-se pelo conjunto dos parâmetros estabelecidos, isto é, largura e profundidade do canal, tipo de substrato, estrutura das margens, alteração artificial das margens, heterogeneidade do canal, estrutura do leito, exposição de finos intersticiais no índice de Qualidade do Canal – QQC (Anexo C) e pela presença de estruturas de retenção. Por outro lado, o índice QBR (Anexo C) compreende os seguintes parâmetros, o grau, estrutura e qualidade da cobertura vegetal, o grau de naturalidade do canal fluvial e o tipo de desnível da zona ripária. Relembrando que este tipo de índices são muito subjetivos, dependendo dos conhecimentos e da experiência do observador (Ferreira, 2021).

Tabela 6 - Classe de Qualidade dos Ecossistemas Ribeirinhos - QBR (Munné & Prat, 1998)

QBR (pontuação)	Classe	Significado (em termos de qualidade do ecossistema ribeirinho)
0-25	V	Degradação extrema - péssima qualidade
30-50	IV	Forte alteração - má qualidade
55-70	III	Início de uma importante alteração - qualidade aceitável
75-90	II	Cortina ripária ligeiramente perturbada - boa qualidade
>94	I	Cortina ripária sem alterações - estado natural

Tabela 7 - Amplitudes de variação consideradas para o GQC, e o seu significado em termos de qualidade (Ferreira, 2011)

GQC (pontuação)	Classe	Significado (em termos de qualidade do ecossistema ribeirinho)
>31	I	Canal sem alterações, estado natural
26-31	II	Canal ligeiramente perturbado
20-25	III	Início de uma importante alteração do canal
14-19	IV	Grande alteração do canal
8-13	V	Canal completamente alterado (canalizado, regularizado)

4.3 Modelação Hidrológica

4.3.1 Pré Processamento de Elementos de Base

4.3.1.1 Modelo Digital do Terreno

O Modelo Digital do Terreno (MDT) pode ser visto como uma representação de uma superfície baseada num conjunto de coordenadas X, Y, Z (CIGeoE, 2023b), sendo geralmente apresentado por uma camada raster de cores ou contornos de elevação. Os resultados dos modelos vão depender da precisão do MDT, existindo sempre algum tipo de erro, associado à origem do modelo digital de elevação (Henriques, 2021), assim como a escala que este é apresentado.

Dadas estas considerações, é possível afirmar que a capacidade de pormenorização, assim como otimização dos dados depende do grau de detalhe (escala) a que se encontra, visto que quanto maior for a escala de um mapa, mais pormenor este apresenta, bem como na extração de dados a partir dele.

Numa primeira instância, foi elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT) com base na altimetria facultada pela “European Environment Agency” à escala 1:25 000. Este MDT resulta num produto híbrido baseado em dados SRTM e ASTER GDEM fundidos por uma abordagem de média ponderada com um erro médio quadrático de aproximadamente 7m (NASA, 2021).

Adicionalmente, a Câmara Municipal de Paredes forneceu a cartografia à escala 1:5 000 possibilitando a criação de um modelo digital do terreno mais detalhado de uma parte da em área de estudo.

Na Figura 16 é apresentado o MDT da bacia hidrográfica em estudo à 1:25 000, no qual o concelho de Paredes é apresentado com mais ênfase (1:5 000).

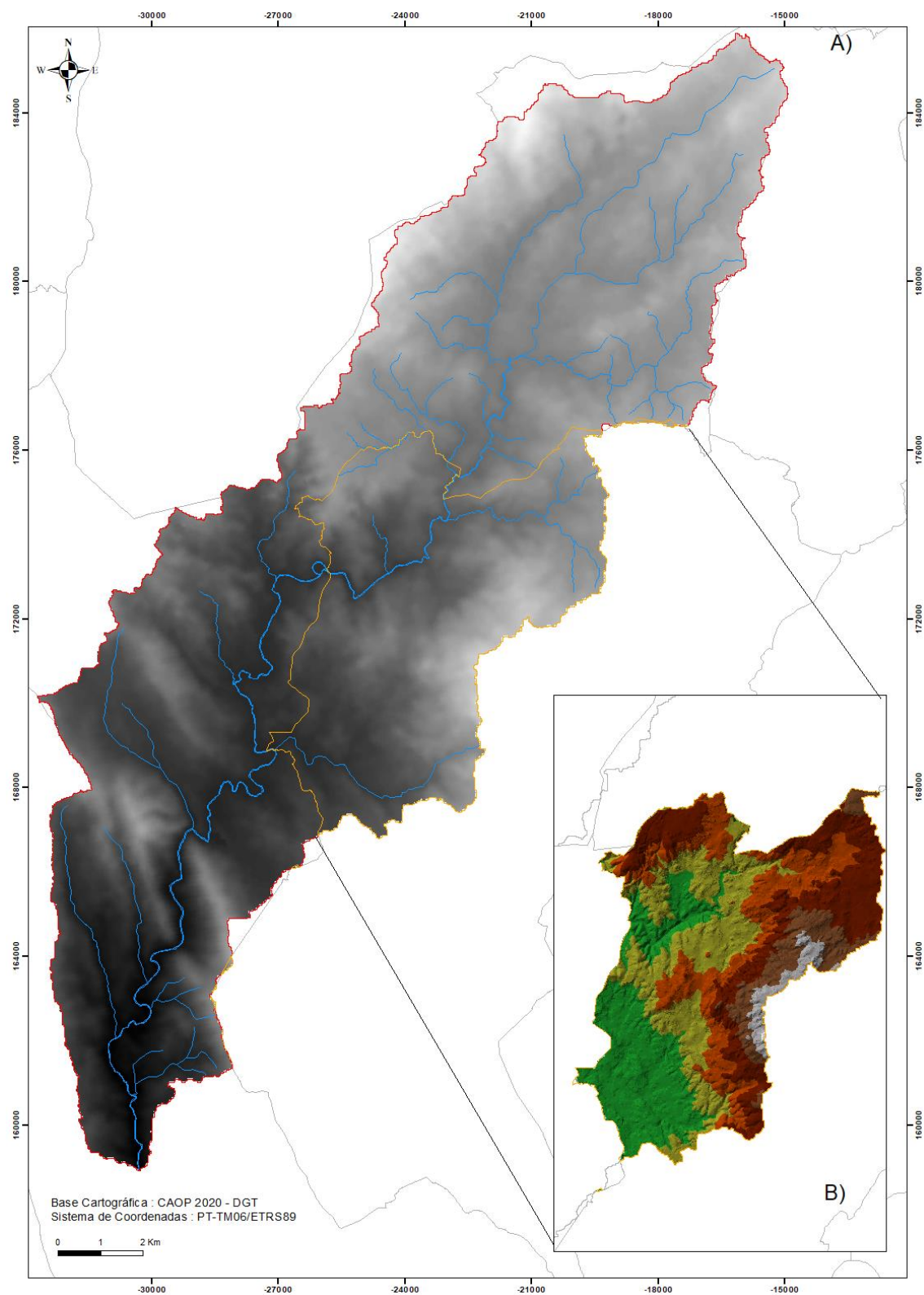


Figura 16 – A) MDT obtido a partir do ASTER na região da bacia hidrográfica do rio Ferreira (1:25 000) (NASA, 2021). B) MDT da BHRF no concelho de Paredes (1:5 000).

4.3.1.2 Dados Hidro-Meteorológicos

A caracterização pluviométrica de uma bacia hidrográfica identifica um período de observação que garanta uma cobertura espacial e temporal adequada da área em estudo, selecionando um número suficiente de postos udométricos que possuem suficientes dados.

Com base metodologia dada pelo Maroneze, 2014 e pelos dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH, foram selecionados quatro postos cujas principais características são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Postos Udométricos selecionados.

Código	Nome	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Bacia Hidrográfica
06F/03UG	Água Longa	41.221	-8.559	73	LEÇA
06G/02UG	Bustelo (Serra das Pias)	41.324	-8.353	381	DOURO
06H/01UG	Lamoso	41.212	-8.298	175	DOURO
07G/01G	Penafiel	41.152	-8.451	128	DOURO

Para os estudos hidrológicos não interessam só os valores registados nos postos udométricos, mas também o seu valor ponderado sobre uma região (e.g., bacia hidrográfica). Desta forma, utilizando o método de Thiessen determinou-se a área de influência de cada posto, bem como os coeficientes a utilizar para o cálculo de médias ponderadas com base no software QGIS (Figura 17), uma vez que este método permite estimar a pluviosidade média ponderada de uma região.

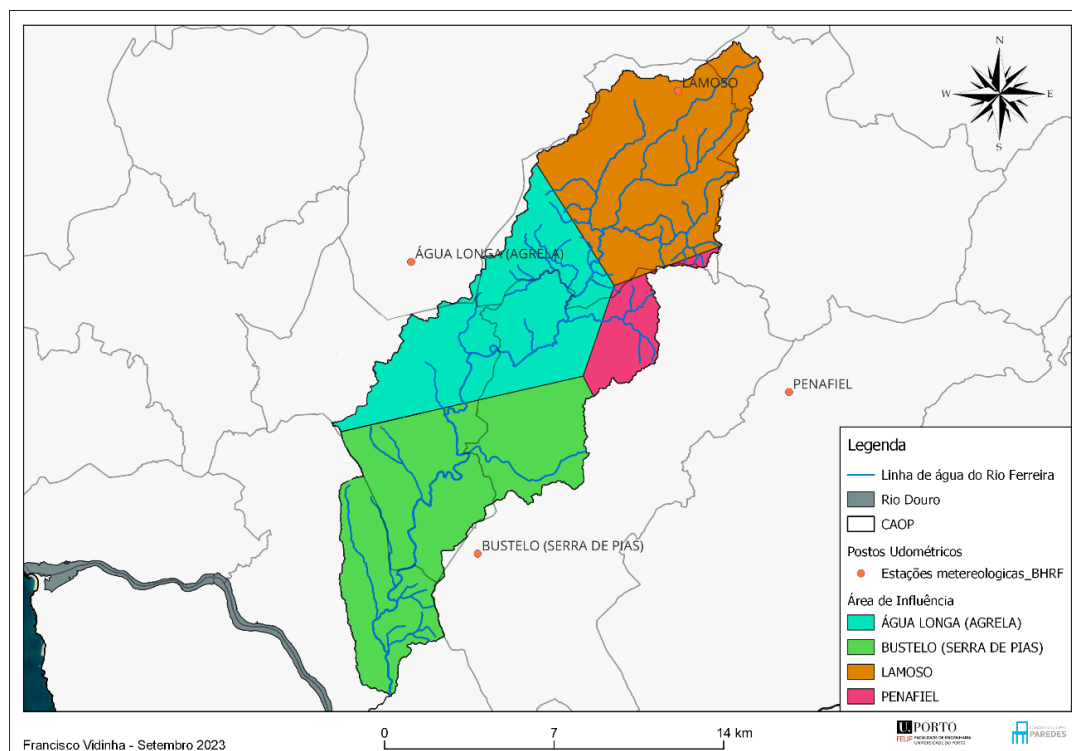


Figura 17 - Áreas de influência dos postos selecionados na BHRF.

Na Figura 19 estão representadas as áreas de influência dos quatro postos udométricos selecionados, obtidas com recurso a ferramentas SIG, através das opções de Geometria Vetorial, em Polígonos de Voronoi e na Tabela 9 apresentam-se os valores das áreas de influência de cada posto em cada uma das sub-bacias.

Tabela 9 - Áreas de Influências dos Postos Selecionados em cada uma das sub-bacias.

Estação	Área (km ²)	Fração da área total (%)
Água Longa	48,77	26,65
Bustelo (Serra das Pias)	64,92	35,47
Lamoso	53,99	29,50
Penafiel	15,34	8,38
Total	183,02	100,00

Devido ao elevado número de lacunas nos registos de precipitação horárias nas estações udométricas da região em estudo, bem como à ausência de registos contínuos de caudais na bacia modelo selecionada, apenas foi possível selecionar como período de análise os anos hidrológicos compreendidos entre outubro de 2019 e setembro de 2020, como se pode verificar na Figura 20, assim como as tabelas correspondentes no anexo D. Não obstante, convém salientar que foi necessário proceder ao preenchimento de várias falhas ao longo do mês de setembro nos dados de precipitação da estação de Penafiel (cuja área de influência abrange a 8,38 % da bacia em estudo).

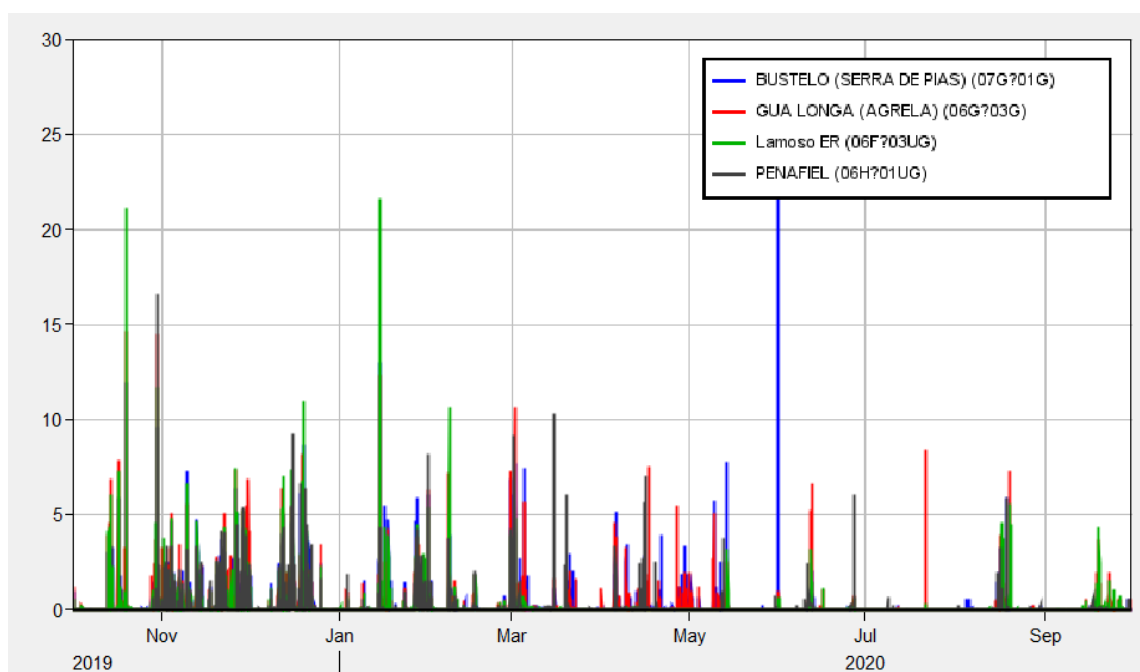


Figura 18 - Representação gráfica da precipitação horária dos postos udométricos (SW: HEC-DSSVue)

Adicionalmente, usou-se a estação hidrométrica de Balsa para extração do escoamento na área em estudo.

4.3.1.3 SCS Curve Number

Segundo o Soil Conservation Service (SCS) o número de Escoamento (CN) é um parâmetro hidrológico usado para estimar o escoamento e a infiltração da chuva na área de estudo, no qual prevê a quantidade de escoamento gerada por um evento de precipitação, com base na carta de uso e ocupação do solo.

Os valores de CN para Uso e Ocupação da Terra foram obtidos a partir do banco de dados CN global de Jaafar (2019), no qual é o resultado da combinação de dois conjuntos de dados globais: o conjunto de dados de cobertura do solo de 2015 da Agência Espacial Europeia (ESA CCI-LC), à uma resolução de 250 metros, e o conjunto de dados globais do grupo hidrológico de solos (HYSOGs250m) lançado em 2018. Jaafar (2019) afirmou que, atualmente, a maior parte do planeta apresenta um potencial de escoamento superficial médio a alto, com valores de curva variando de 75 a 85 (Figura 19).

Os números de escoamento global variam de 30 a 100 sendo que os valores mais baixos indicam maior infiltração (i.e., permeável) e os valores mais altos indicam maior potencial de escoamento (i.e., impermeável).

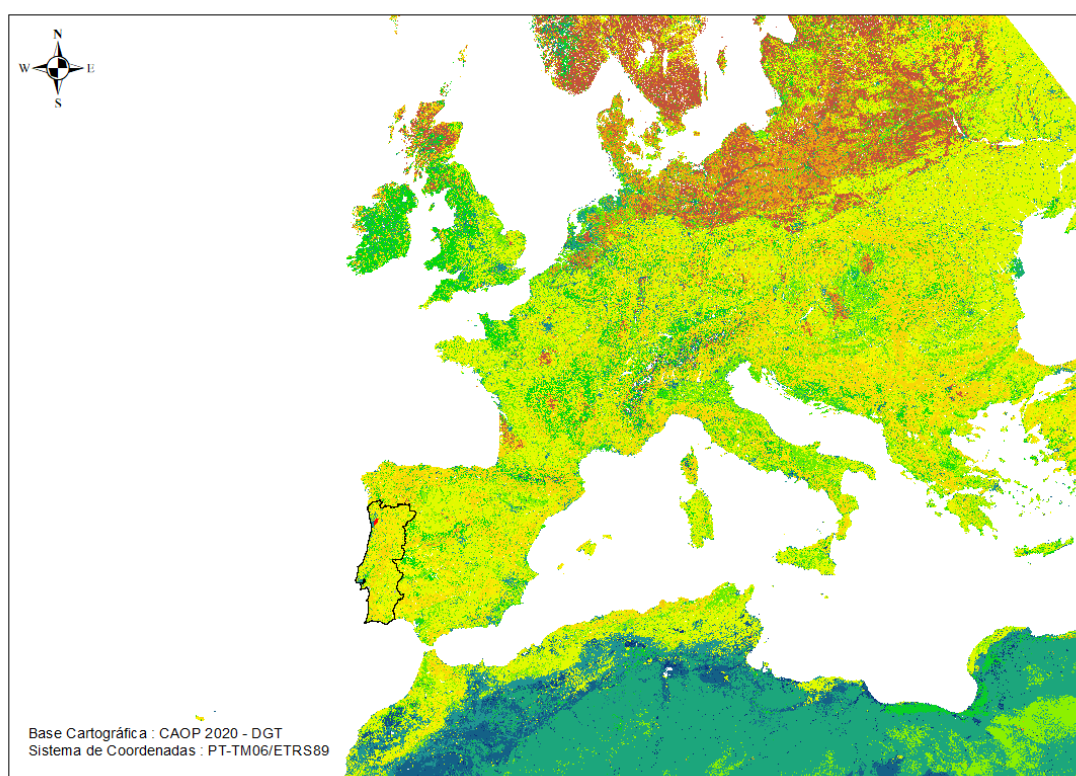


Figura 19 – Mapa CN (GNC250) (Jaafar, 2019)

Uma vez determinada a capacidade de infiltração do solo (CN), este é usado pelo HEC-HMS, seguindo o método do número de curva de escoamento (SCS), com o intuito de estimar a quantidade de escoamento superficial que ocorrerá perante um evento de precipitação específico.

4.3.2 Processo de Modelação

A construção do modelo da bacia recorreu ao programa ArcMap, em particular às suas extensões ArcHydroTools e HEC-GeoHMS, em que se utilizou o modelo digital do terreno, MDT, à escala 1:25 000, (Figura 16). Por meio das extensões procedeu-se à delimitação a bacia hidrográfica e criadas as respetivas sub-bacias, permitindo assim a geração de algumas das características físicas da bacia hidrográfica.

Numa análise hidrológica em SIG matricial (ArcHydro e HEC-GeoHMS) possui uma sequência de tarefas desenvolvidas conforme ilustrado na Figura 20.

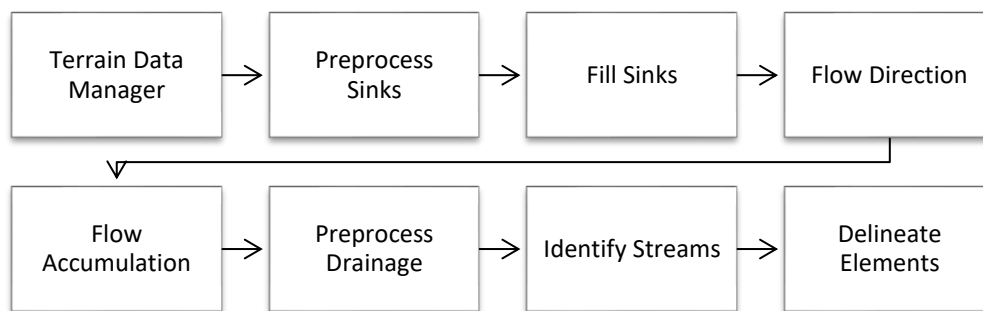


Figura 20 - Fluxograma das etapas desenvolvidas

Todo o processo inicia-se no MDT a partir do qual é calculada a direção do escoamento superficial. Seguidamente, podemos estimar a acumulação para estimar a rede hidrográfica e, no final do processo, bacias hidrográficas. Desta forma, é crucial eliminar os erros cartográficos ou outras falhas que impossibilitem ou condicionem a modelação em ambiente HEC-HMS, (e.g., ocorrência de depressões topográficas). Estas falhas são corrigidas com recurso à operação “Fill Sinks”, que ajusta as depressões identificadas (Bairos, 2021). Essas depressões podem ter surgido devido a erros durante a criação do MDT, muitas vezes relacionados a uma célula com um valor altimétrico menor que todos os vizinhos, gerando um ponto a partir da qual a água não terá por onde escorrer (Figura 21) (Madruça, 2013).



Figura 21 - Layer resultante da operação “Fill Sinks”.

A etapa subsequente no processo de modelação é a execução da operação “Flow Direction” (Direção do FLuxo), é calculada a grelha de direção do escoamento com base no método D8 (Jensen e Domingue, 1988), sendo que a cada célula é atribuído um dos oito valores análogos às direções cardinais (1 - Este; 2 – Sudeste; 4 – Sul; 8 – Sudoeste; 16 – Oeste; 32 – Noroeste; 64 – Norte; 128 – Nordeste), gerando assim a Layer Fdr (Figura 22).

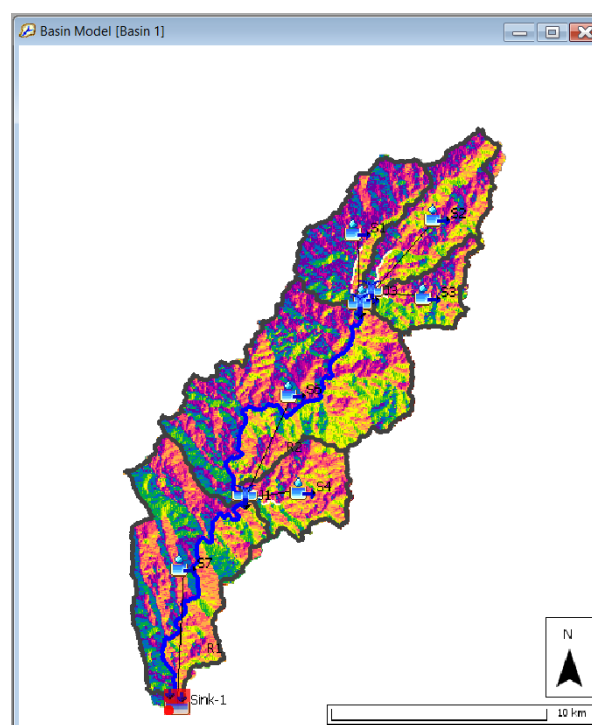
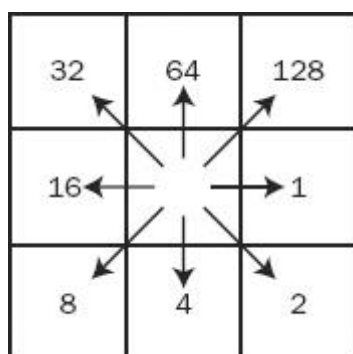


Figura 22 - Layer resultante da operação “Flow Direction”.

Na etapa seguinte, o comando “Flow Accumulation” (Acumulação de fluxo) ajusta a camada precedente e realiza o cálculo da grelha de acumulação de fluxo, com base na soma do número das células que se encontram a montante (Figura 23).

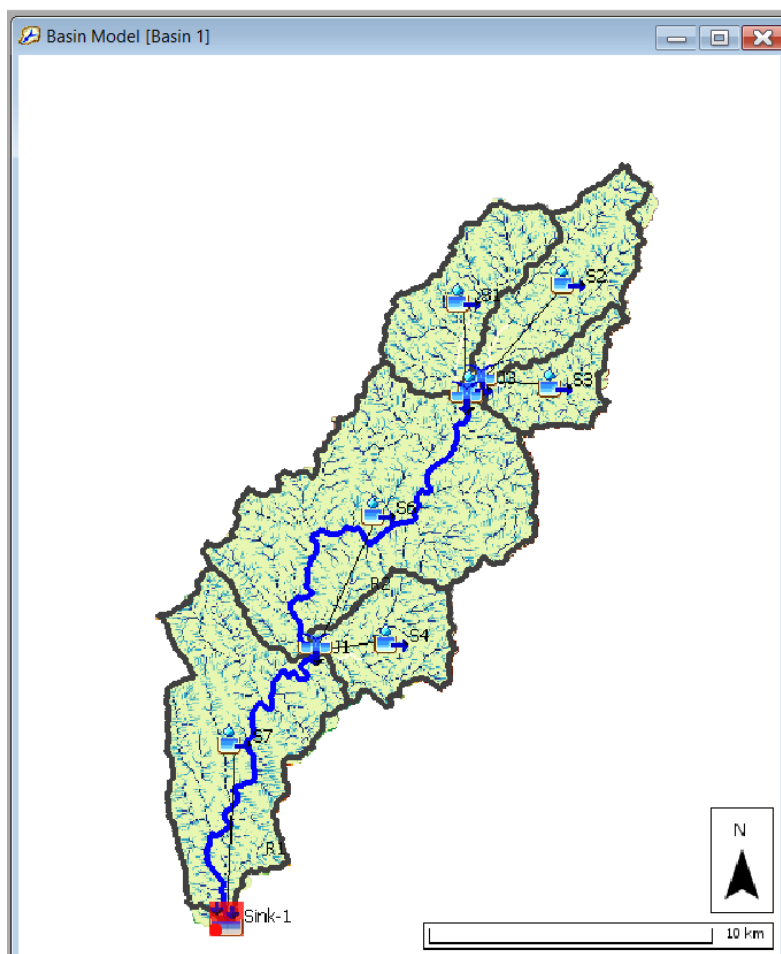


Figura 23 - Layer resultante da operação “Flow Accumulation”.

Com base na grelha gerada para acumulação do escoamento, inicia-se o processo de delimitação da rede de drenagem, conhecido como “Stream Segmentacion”. Neste processo, é gerado “Str” que identifica o que o modelo reconhece como sendo a rede de drenagem. Este comando baseia-se no valor máximo ou no limite definido pelo utilizador, que representa a área mínima de drenagem em quilómetros quadrados necessária para que se considere a presença de um curso de água. É importante mencionar que o software Arc Hydro utiliza, por padrão, um valor pré-definido para esse propósito, conforme ilustrado na Figura 24.

Posteriormente, com recurso ao comando Segmentação de Cursos de Água (Stream Segmentation), é criado um agrupamento de segmentos na rede de drenagem, denominado, StrLnK. Em seguida, é criada uma tabela de atributos que será posteriormente utilizada na delimitação das sub-bacias (Figura 24).

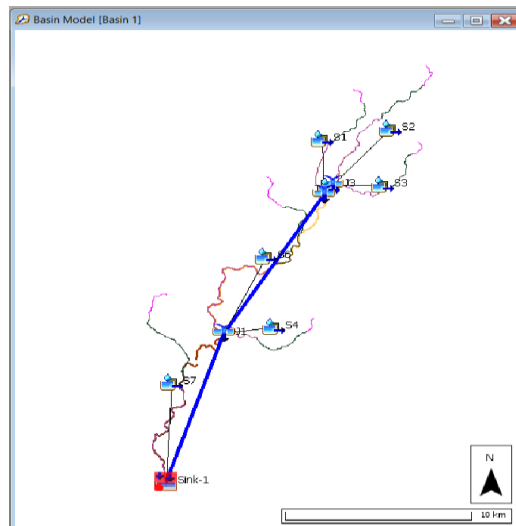


Figura 24 - Layer resultante de “Stream Defination”.

Agora, com o modelo de base completamente preparado (conforme ilustrado na Figura 25) e todos os aspetos físicos da bacia hidrográfica devidamente calculados, estamos prontos para avançar para a fase de análise e produção de resultados. Com base nas informações que foram reunidas até este ponto, seremos capazes de examinar como a bacia hidrográfica se comporta em termos de fluxo de água, analisar os padrões de escoamento e, finalmente, tomar decisões bem informadas para a gestão e planeamento dos recursos hídricos. A criação do modelo representou uma etapa fundamental e, neste momento, estamos preparados para validar e obter resultados.

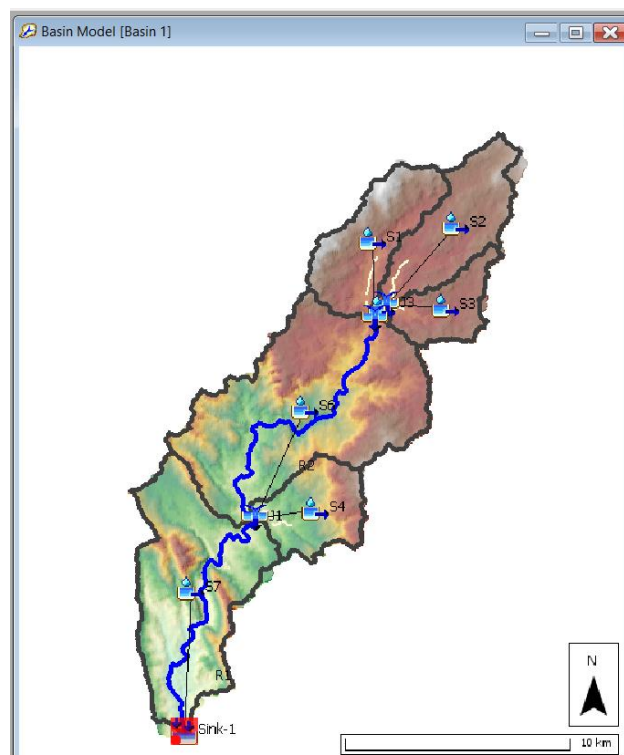


Figura 25 - | Layer gerado no processo de definição final das sub-bacias.

4.3.3 Cálculo do Tempo de Concentração e do Tempo de Retardo

De acordo com *United States Department of the interior* (1987), o tempo de concentração é definido como o período necessário que uma bacia hidrográfica contribui na sua totalidade para o escoamento superficial da secção avaliada. Segundo Lencastre e Franco (1992), o tempo de concentração é considerado uma característica constante da bacia, independente das características das precipitações.

Para a determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica, pode-se recorrer a vários métodos.

Assim, Kirpich propõe a seguinte expressão empírica:

$$t_c = 0.0195 * L^{0.770} * S^{-0.385} \quad (1)$$

onde: t_c é o tempo de concentração em min, L o comprimento do rio principal em km, S o respetivo declive médio.

Segundo Genovez (2001), com base nas análises efetuadas para a elaboração do hidrograma unitário sintético, o SCS definiu o tempo de retardo (t_r), como 0,6 vezes do tempo de concentração (t_c), como se pode verificar pela Equação 2.

$$t_r = 0,6 * t_c \quad (2)$$

onde: t_r é o tempo de retardo em min e t_c é o tempo de concentração.

Este valor deve ser convertido para minutos antes de ser tratado no comando Lag Time (período decorrido entre o pico de precipitação e o pico de vazão) no HEC-HMS.

4.3.4 Modelo da Simulação

Para o modelo de simulação, utilizei os dados do processo de modelação da bacia. Adicionei especificações de controlo para indicar que o período de análise abrange um ano hidrológico (de 2019 a 2020). Posteriormente, integrei os dados de séries temporais, que incluíram informações de precipitação das estações hidrométricas. Após calcular a média ponderada, determinei no modelo meteorológico a percentagem correspondente a cada subbacia em relação à estação hidrométrica, com base no modelo de Thiessen. Por fim, incorporei os valores do Número de Curva SCS (SCS Curve Number) para avaliar a infiltração do solo.

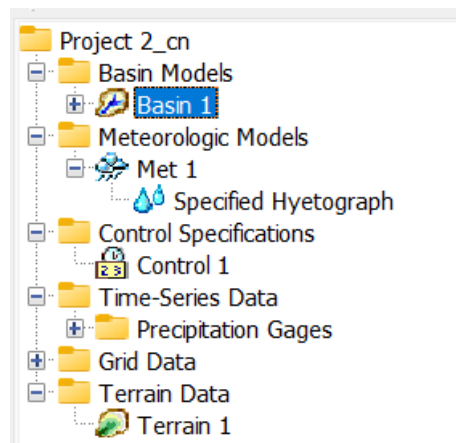


Figura 26 - Etapas aplicadas

5 RESULTADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da modelação hidrológica que pode afetar a bacia hidrográfica do rio Ferreira, utilizando o modelo conceptual hidrológico HEC-HMS, que se baseia nos processos de precipitação-escoamento. Assim, são disponibilizados no presente capítulo todos parâmetros fundamentais utilizados na construção do modelo.

Adicionalmente, são descritos os resultados provenientes da amostragem *In Situ*, nomeadamente os parâmetros Físico-químicos e os parâmetros Hidromorfológicos.

5.2 Parâmetros Físico-químicos

A Figura 27 e o anexo F apresentam os resultados dos parâmetros físicos e químicos quantificados em cada local de amostragem. Verifica-se que nos meses mais frios e chuvosos do inverno e início de primavera, nos registos caracterizam-se por valores de oxigénio dissolvido (mg/L e %) superiores aos limites estabelecidos pela APA. Estes resultados podem ser explicados pela existência da descarga de efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Arreigada que ocorrem a montante de vários dos pontos de amostragem, e à pressão da agricultura na área circundante. Os pontos pertencentes às ribeiras (Tabela 22) obedecem na sua maioria aos parâmetros definidos para uma Boa / Excelente qualidade da mesma.

No que concerne às condições térmicas, as medições estão dentro da faixa aceitável do enquadramento legal em todas as amostragens. Os valores mais elevados da temperatura da água foram registados na Primavera (abril, maio), oscilando entre 15,27°C (P4) e 16,95°C (P1) e os valores mais baixos foram observados nos meses correspondentes ao Inverno (dezembro, janeiro, fevereiro e março), oscilando entre 12,55 °C (P4) e 12,12 °C (P2) (anexo F).

Do ponto de vista do pH, é de notar que, na totalidade dos casos, a gama de variação situa-se entre 6,5 e 8,5, respeitando os limites toleráveis definidos pela entidade gestora (Figura 27 e Figura 28).

A condutividade é uma medida que reflete a capacidade de uma solução aquosa para transportar a corrente elétrica Rice (2017), sendo proporcional à quantidade de sais ionizáveis dissolvidos, variando conforme a quantidade de iões dissolvidos e da sua temperatura.

No contexto das tabelas analisadas, observou-se um aumento nos valores da condutividade nos rios. Tal facto deve-se à maior quantidade de água no rio, o que provocou um efeito de diluição capaz de se sobrepor ao efeito oposto provocado pela escorrência superficial. Já os pontos das ribeiras apresentam valores constantes ou melhorias.

Segundo Ferreira & Cortes (1997), a transparência da água depende do teor de sólidos (suspensos e dissolvidos), sendo um parâmetro que impacta significativamente as condições biológicas, reduzindo a luminosidade e perturbando a produtividade primária. Pela análise das tabelas os valores encontrados para o teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) observa-se que não há indícios de não conformidade com as normas estipuladas pela APA, uma vez que manteve ao longo do tempo de estudo valores relativamente uniformes, oscilando entre 0,089 mg/L e 0,116 mg/L.

No parâmetro ORP, embora sem valores de referência, é possível notar valores baixos, já a salinidade obteve valores dentro dos limites indicados na literatura. Para a compreensão mais precisa da variação espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos, sugere-se a realização de mais amostras por local e mês de amostragem, de forma a ser possível comparar a variação sazonal do local, assim como uma análise dos nutrientes.

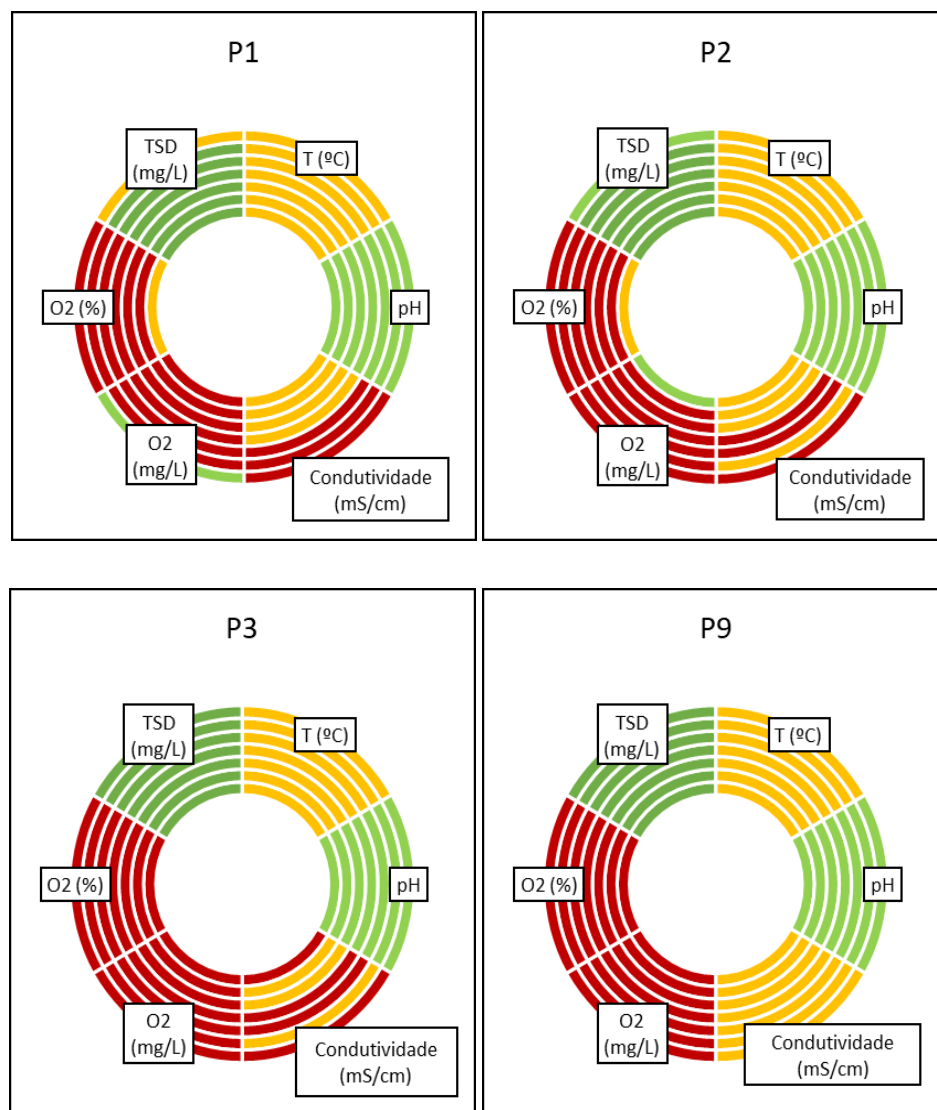


Figura 27 – Representação Gráfico dos resultados dos parâmetros físicos e químicos de suporte geral dos rios.

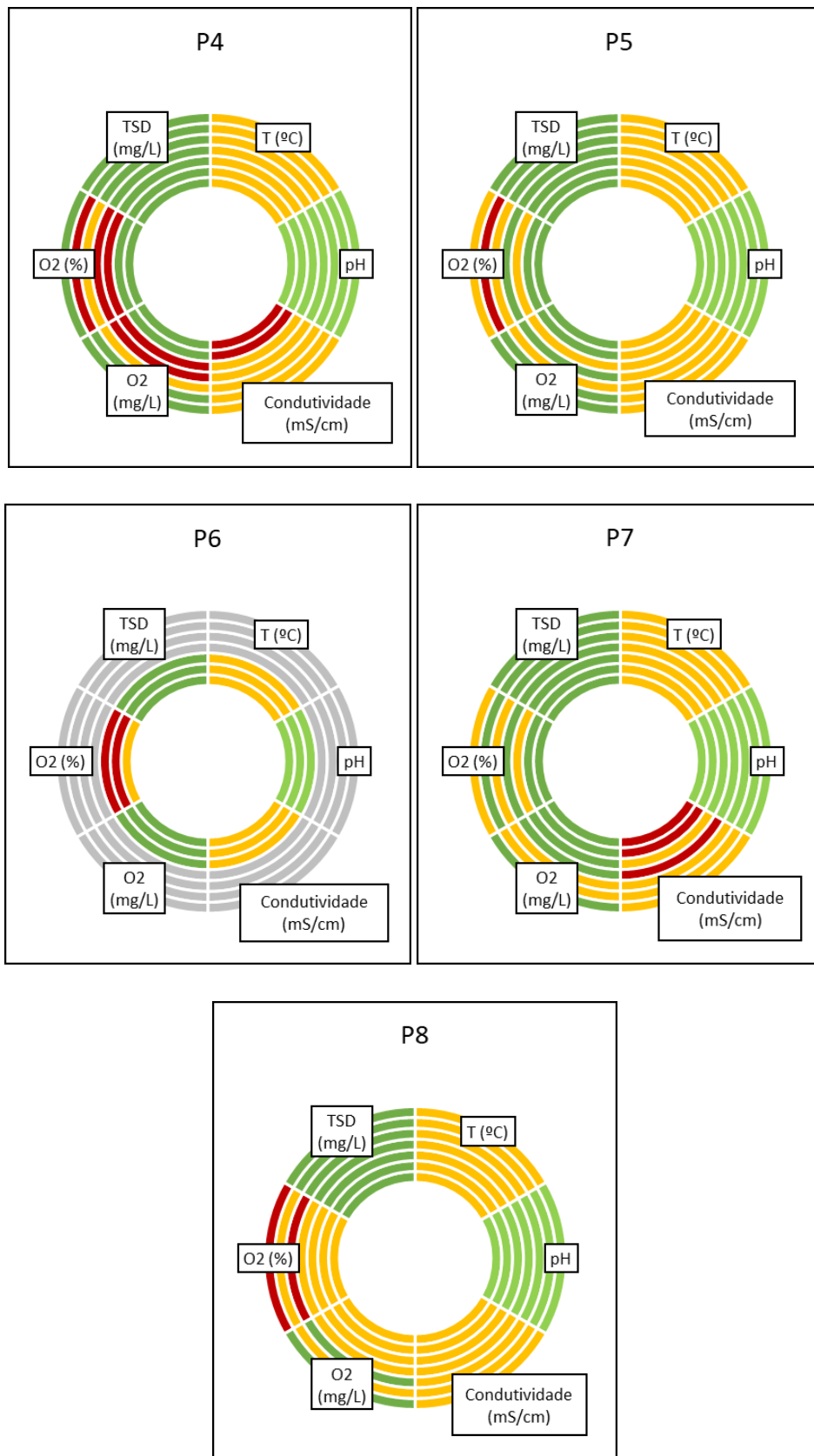


Figura 28 - Representação Gráfica dos resultados dos parâmetros físicos e químicos de suporte geral das Ribeiras

5.3 Parâmetros Hidromorfológicos

Em cada local de amostragem foi efetuado o levantamento da qualidade das margens, assim como análise visual dos aspetos físicos do curso de água. As observações efetuadas revelaram que os pontos P2, P3, P8, P9, apesar de estarem localizados dentro da área designada como "Parque do Rio Ferreira", apresentaram características distintas, caracterizando-se por uma maior perturbação nas margens, assim como na qualidade do canal, nos pontos com tipologia T3 (i.e, Rios do Norte de média ou grande dimensão) devido às alterações das margens (e.g., deterioração, erosão e construções antropogénicas) com implicações no ambiente natural. Estas alterações são perceptíveis pela instabilidade das margens, tendo sido necessário a deposição de pedregulhos (Figura 29) com o intuito de refazer a margem, assim como a presença de estruturas artificiais.



Figura 29 - Perturbações identificadas nos pontos P3 e P2

As observações revelaram tanto ao nível QBR e GQC um estado natural no ponto P6 (Tabela 10), uma vez que este apresenta cortina ripária sem alterações e um canal sem intervenções, com bons indicadores (e.g., plantas autóctones - vegetação arbustiva e alguma arbórea) para a existência do bosque ribeirinho. Tal facto deve-se por este se encontrar mais afastado da população urbana e com difíceis acessos onde não há grande influência antropogénica.

De forma semelhante, o ponto P7 apresenta características bastante semelhantes, contudo registou-se alguma atividade agrícola, assim como lixos a assorear a passagem da água na margem direita e alguma degradação do canal, acabando por ser atribuída a classificação de boa qualidade (II) em ambos os índices.

Por fim, no índice GQC verificou-se um "Canal ligeiramente perturbado", com bom suporte para a vida aquática, nos pontos P1, P4, P5 (Tabela 10), devido à fraca abundância de vegetação ripícola. No ponto P1, esta situação é notória pela desflorestação na margem direita e pelo corte da vegetação ripária em ambas as margens, condições que tornaram propício o desenvolvimento de macrófitos aquáticos.

Relativamente ao Índice GQC estes obtiveram a pontuação final umas das mais baixas, que resultou numa classificação "Início de uma importante alteração do canal", já que parâmetros como estrutura da

margem apresentam um desnível desfavorecendo o potencial da zona ribeirinha e a presença de margens artificiais (Figura 30).



Figura 30 - Perturbações identificadas nos pontos P4 e P5

Tabela 10 - Resultados dos parâmetros Hidromorfológicos: Índice QBR e GQC

Símbolo Adotado	Tipologia	Índice QBR		Índice GQC	
		Pontuações Finais	Classificação	Pontuações Finais	Classificação
P1	Rios do Norte de média ou grande dimensão (T3)	58	III	27	III
P2		56	III	20	III
P3		55	III	24	III
P9		68	III	31	II
P4	Rios do Norte de pequena dimensão (T2)	65	III	24	III
P5		69	III	25	III
P6		95	I	32	I
P7		76	II	29	II
P8		78	II	27	II

5.4 Modelação Hidrológica com HEC-HMS

Concluída a etapa de modelação do sistema HEC-HMS para a Bacia Hidrográfica do Rio Ferreira, resultaram diferentes camadas que descrevem diversas características morfológicas da bacia. Essas características são essenciais para o processo de transformação da precipitação em caudal, conforme se pode verificar na Tabela 11 e Tabela 12. A Figura 31 apresenta um exemplo das características na perspetiva dinâmica do software.

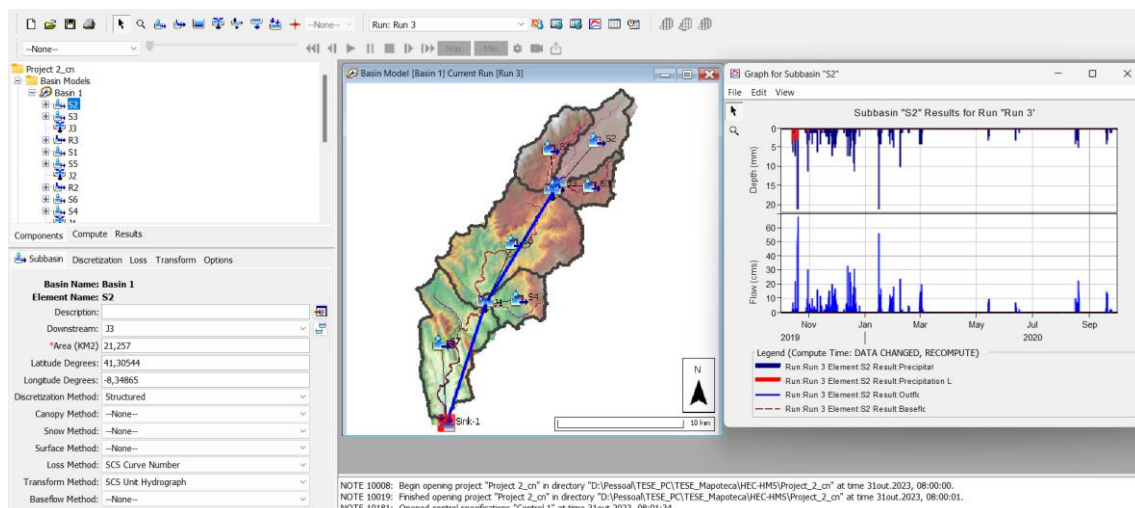


Figura 31 - Projeto desenvolvido em ambiente HEC-HMS

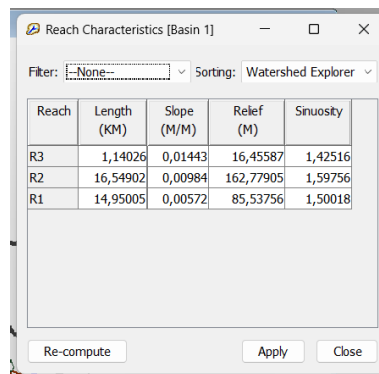
As características geradas automaticamente pelo software são:

- Longest flowpath length: Comprimento do caminho de escoamento mais longo.
- Longest flowpath slope: Declive do caminho de escoamento mais longo.
- Centroidal flowpath length: Comprimento do caminho de escoamento centróide.
- Centroidal flowpath slope: Declive do caminho de escoamento centróide.
- 10-85 flowpath length: Comprimento do caminho de escoamento 10-85.
- 10-85 slope: Declive do caminho de escoamento 10-85.
- Basin slope: Declive da bacia.
- Basin relief: Relevo da bacia (desnível).
- Relief ratio: Razão de relevo.
- Elongation Ratio: Razão de alongação.
- Drainage Density: Densidade de drenagem.

Tabela 11 – Características Físicas do curso de água (stream) na BHRF

Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope (M/M)	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope (M/M)	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope (M/M)	Basin Slope (M/M)	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM²)
S2	11,90215	0,01496	6,35082	0,00773	8,92661	0,01001	0,07642	178,07761	0,01496	0,43710	0,12964
S3	8,12974	0,01449	3,54624	0,00896	6,09731	0,01183	0,07450	122,45782	0,01506	0,45651	0,09318
S1	9,31036	0,02193	3,78124	0,00637	6,98277	0,01070	0,11602	292,34180	0,03140	0,55172	0,15822
S5	1,54831	0,02522	0,85109	0,01787	1,16123	0,02090	0,05844	71,17081	0,04597	0,57478	1,81303
S6	18,92306	0,01747	9,56648	0,00510	14,19230	0,01324	0,11968	351,14374	0,01856	0,47843	0,25688
S4	7,50143	0,04617	2,63268	0,00906	5,62607	0,03192	0,11633	360,24227	0,04802	0,58632	0,16137
S7	16,80358	0,01649	8,55192	0,00397	12,60269	0,01052	0,16335	344,07537	0,02048	0,44723	0,33733

Tabela 12 - Características Físicas do segmento (Reach) na BHRF



Reach	Length (KM)	Slope (M/M)	Relief (M)	Sinuosity
R3	1,14026	0,01443	16,45587	1,42516
R2	16,54902	0,00984	162,77905	1,59756
R1	14,95005	0,00572	85,53756	1,50018

5.4.1 Escoamento Superficial e Perdas de Precipitação

Com base nos dados globais da curva de escoamento foram extraídos para a área em estudo, conforme ilustrado na Figura 25 e Figura 32. Este procedimento resultou na determinação da área correspondente a cada valor específico de CN dentro da bacia hidrográfica. Posteriormente, foi conduzida uma média ponderada com base na área de cada sub-bacia para calcular um valor médio de CN para cada uma delas.

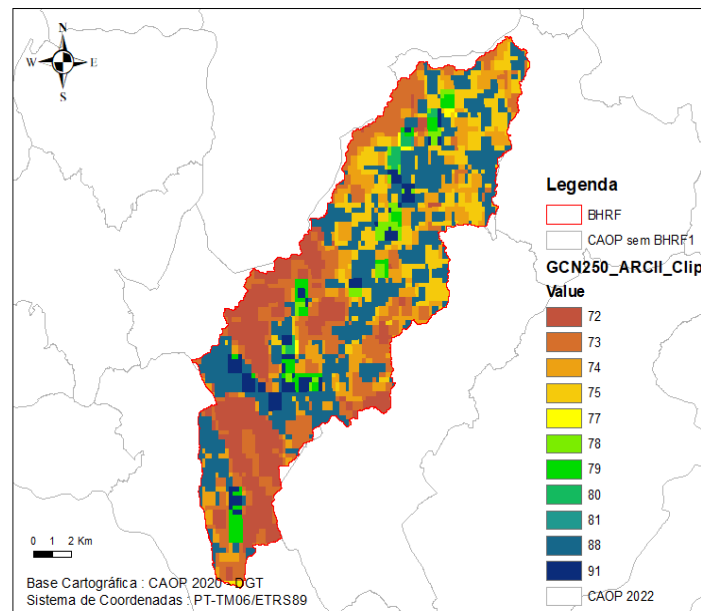


Figura 32 - Curve Number

Através da inserção dos valores obtidos para a totalidade da bacia no modelo hec-hms, este, por meio do comando “Grid Data Manager – SCS Curve Number” efetuou o cálculo da média ponderada entre os valores obtidos com base na área e na informação do geotiff. Na Figura 33 são apresentados esses valores iniciais calculados para cada sub-bacia.

Assim, tendo por base a bibliografia referida em 4.3.1.3, bem como as características gerais das bacias hidrográficas obtidas por dados oficiais, procedeu-se à definição de uma variação inicial do parâmetro CN em termos espaciais, com valores compreendidos entre 77,6 e 88,2.

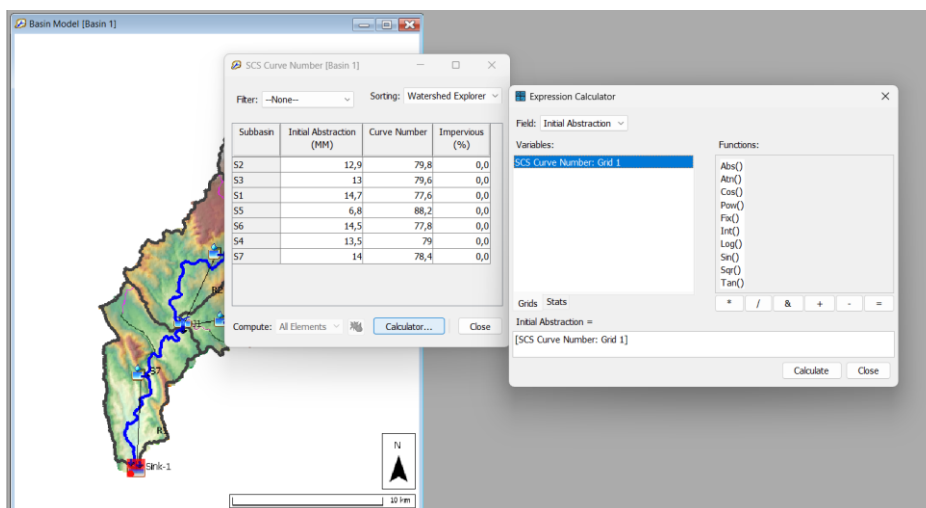


Figura 33 - Valores de CN para BHRF

5.4.2 Cálculo do Tempo de Concentração e do Tempo de Retardo

A partir das características físicas das sub-bacias, assim como dos troços fluviais, necessárias ao funcionamento do modelo hidrológico, indicadas na Tabela 11 e Tabela 12 com as quais foi possível estimar o t_c e o t_r (Tabela 13 e Figura 34):

Tabela 13 - Características das sub-bacias a considerar

Subbasin	t_c (mim)	t_r (min)
S1	96,57	57,94
S2	135,18	81,11
S3	102,04	61,23
S4	61,39	36,84
S5	22,99	13,79
S6	181,98	109,19
S7	169,81	101,89

Reach	t_c (mim)	t_r (min)
R1	233,3	139,98
R2	204,73	122,84
R3	22,52	13,51

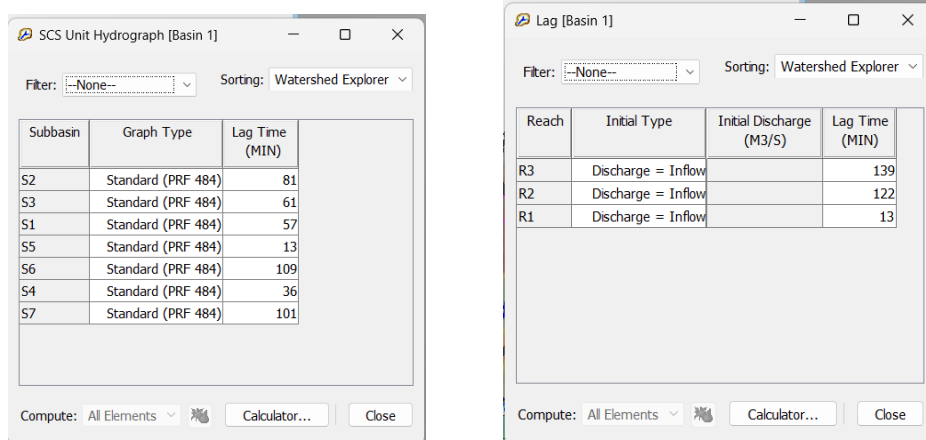


Figura 34 – Características a considerar, e ambiente HEC-HMS

5.4.3 Obtenção e Análise dos Resultados

Numa fase de validação do modelo, procedeu-se à avaliação do modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Ferreira para o período compreendido entre outubro de 1978 e setembro de 1985, uma vez que, para este período existia o registo de valores de escoamento observados na estação hidrométrica de Balsa (Anexo E). Assim, foi possível obter um escoamento médio anual simulado de 103792,6 m³/s (Figura 35). Ao comparar este valor com o escoamento médio anual observado para o mesmo período, cujo valor foi de 103971 m³/s (Tabela 14), permite constatar que o modelo replica de forma bastante aproximada os caudais existentes.

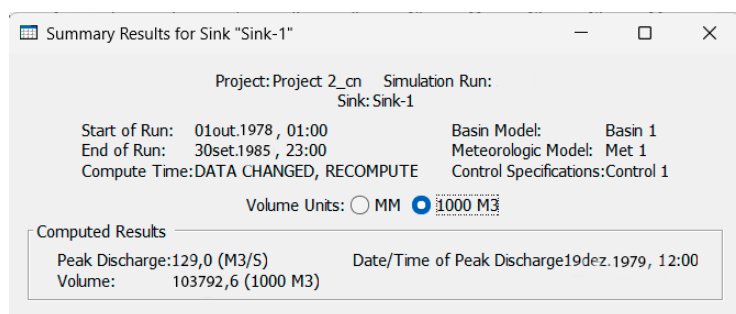


Figura 35 - Escoamento Total para o período de outubro de 1978 a setembro de 1985

Tabela 14 - Relatório do parâmetro Escoamento mensal em Balsa (06G/01H) (SNIRH, 2023)

Ano Hid.	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	N. Valores	Min.	Máx.	Soma Anual	Média Anual
1977/78	-	-	-	-	-	-	10292	9334	-	-	-	4835	3	-	-	-	-
1978/79	6048	6405	43583	24805	46401	21882	18470	10227	-	-	-	-	8	-	-	-	-
1979/80	9446	8599	12213	13234	13624	18877	12990	7791	3915	0	1089	1495	12	0	18877	103273	8806
1980/81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
1981/82	5608	2488	28175	19188	9630	5778	2840	8664	4991	1980	295	1557	12	295	28175	91194	7600
1982/83	5350	19163	19208	9322	9500	9082	13703	20875	9593	4119	1957	1017	12	1017	20875	122889	10241
1983/84	1293	3571	13498	15893	11480	9787	13897	9742	7102	2319	1787	2067	12	1293	15893	92436	7703
1984/85	5420	20611	14655	11927	16198	12466	14560	7444	4319	1246	819	397	12	397	20611	110062	9172
N. Valores	6	6	6	6	6	6	7	7	5	5	5	6					
Min.	1293	2488	12213	9322	9500	5778	2840	7444	3915	0	295	397		0			
Máx.	9446	20611	43583	24805	46401	21882	18470	20875	9593	4119	1957	4835			46401		
Média	5528	10140	21885	15728	17806	12979	12393	10582	5984	1933	1189	1895				103971	

Desta forma, introduzindo-se no modelo hidrológico os dados de precipitação diária para o período mais recente (outubro de 2019 a setembro de 2020), foi possível obter os caudais horários para este período (Figura 36).

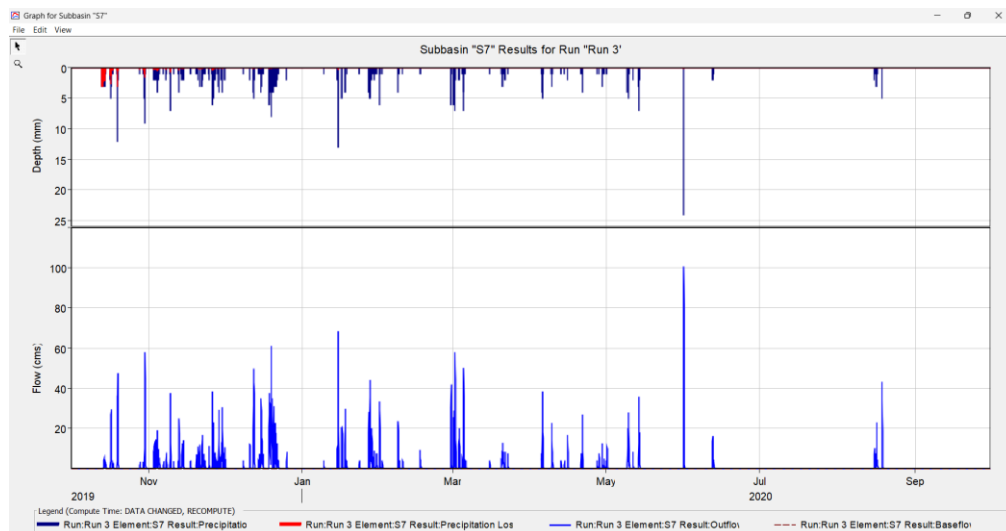


Figura 36 – Representação gráfica dos caudais simulados para o período de outubro de 2019 a setembro de 2020, na BHRF

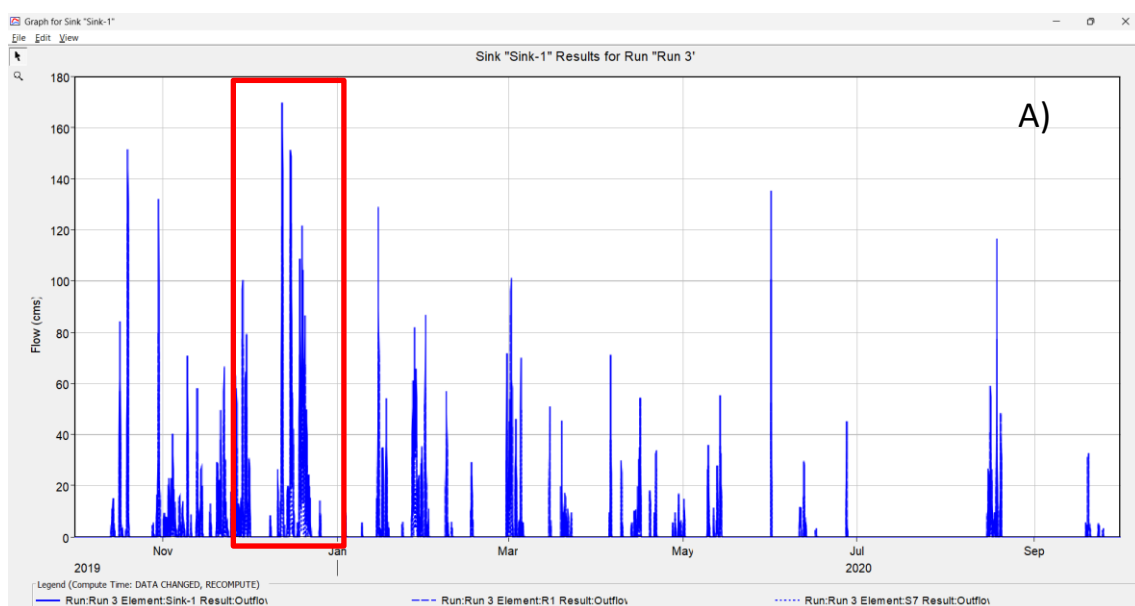
Com base nos dados fornecidos sobre várias características das bacias hidrográficas, como a área de drenagem, o pico de descarga, o tempo de pico e o volume, podemos tirar várias conclusões (Figura 37):

1. **Variação na Área de Drenagem:** As bacias hidrográficas S1, S2 e S3 têm áreas de drenagem semelhantes, com valores em torno de 20-21 km². No entanto, há uma variação nas descargas de pico entre elas, com S1 apresentando a maior descarga de pico (73 m³/s).
2. **Caudal Máximo:** As bacias S4 e S2 têm caudais máximos idênticos, indicando que essas bacias podem partilhar características hidrológicas semelhantes.
3. **Bacias sem Descarga de Pico:** A bacia S5 não apresentou um evento de descarga máxima relevante, registando apenas um valor muito reduzido de 3 m³/s. Esta situação pode ser atribuída ao facto de a bacia em questão possuir uma área muito limitada.
4. **Hora de Caudal Máximo:** A maioria das bacias apresenta um caudal máximo a 19 de outubro de 2019, o que sugere que este dia representa a ocorrência de um evento significativo. No entanto, a bacia S6 apresenta o seu pico de caudal a 1 de março de 2020.
5. **Sink-1:** O armazenamento, "Sink-1", é a maior em termos de área de drenagem (177 km²) e representa o registo maior de caudal máximo (169 m³/s), datado em 12 de dezembro de 2019.

Global Summary Results for Run "Run 3"				
Project: Project 2_cn Simulation Run: Run 3				
Start of Run: 01out.2019, 01:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 30set.2020, 23:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	MM ☒ 1000 M3	Sorting: Watershed Explorer
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
S2	21,0	67,0	19 October 2019, 14:00	13841,3
S3	10,0	38,0	19 October 2019, 13:00	7035,7
J3	32,0	103,0	19 October 2019, 13:00	20877,1
R3	32,0	100,0	19 October 2019, 16:00	20877,1
S1	20,0	73,0	19 October 2019, 13:00	13301,2
S5	0,0	3,0	19 October 2019, 13:00	425,3
J2	53,0	123,0	19 October 2019, 14:00	34603,6
R2	53,0	123,0	19 October 2019, 16:00	34603,6
S6	64,0	78,0	1 March 2020, 16:00	34048,0
S4	15,0	67,0	31 May 2020, 20:00	11593,6
J1	132,0	124,0	19 October 2019, 16:00	80245,2
R1	132,0	122,0	19 October 2019, 16:00	80245,2
S7	44,0	100,0	31 May 2020, 21:00	33732,4
Sink-1	177,0	169,0	12 December 2019, 18:00	113977,6

Figura 37 – Resultados Globais

No geral, esses dados hidrológicos podem ser úteis para avaliar o comportamento das bacias hidrográficas, identificar eventos significativos de pico de descarga e volume, bem como analisar mudanças temporais nas características hidrológicas dessas bacias. A interpretação completa exigiria uma análise mais aprofundada, tendo em consideração o contexto local e as condições meteorológicas e geográficas específicas bem como potenciais eventos anômalos. Desta forma, como se pode verificar na Figura 38 monitoriza retirar e quantifica-se o fluxo de água com base “Inflow from Reachs” (m^3/s), “Inflow from Subbasins” (m^3/s), “Total Inflow” (m^3/s).



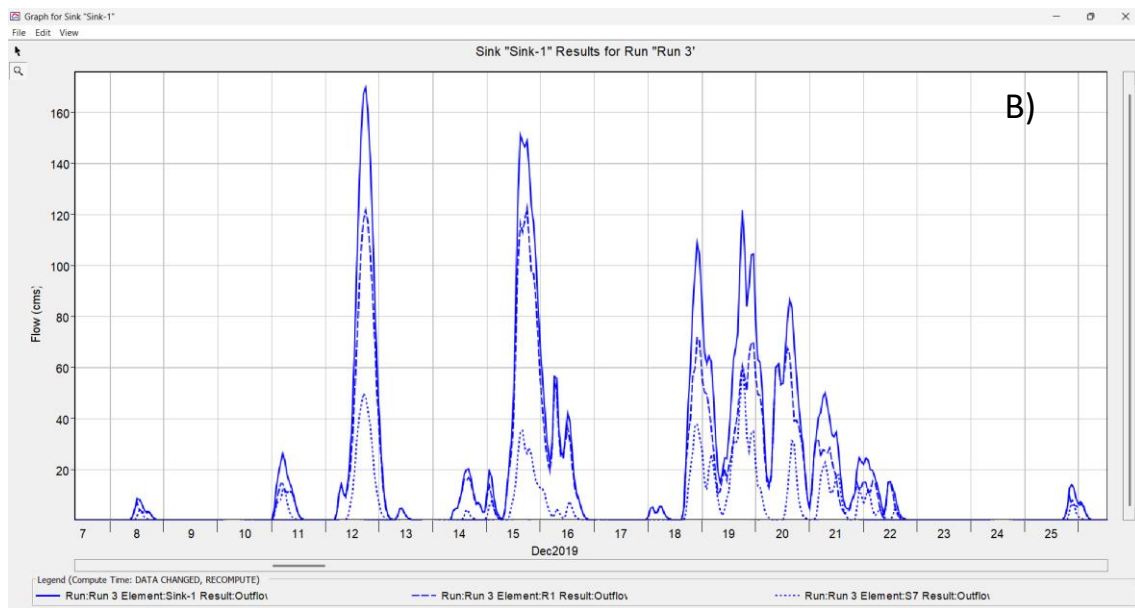


Figura 38 – Representação gráfica do A) Comportamento da bacia hidrográfica ao longo da simulação; B) Evento Significativo de pico de descarga e volume

A análise da linha azul contínua da Figura 38 demonstra a ocorrência de diversos picos de caudal médio diário, um no dia 19 de outubro de 2019, outro no dia 12 de dezembro de 2019, no dia 31 de maio de 2020, ente outros.

Por análise da figura verifica-se que o caudal máximo simulado no modelo armazenado atingiu 113977,6 m³ no dia 12 de dezembro de 2019 (Figura 38 – B)). Além disso, verifica-se que no dia 19 de outubro de 2019, na zona norte da bacia hidrográfica, existiu um pico de caudal nas suas sub-bacias.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Nos tempos atuais, cada vez mais existe a necessidade de prever e precaver cenários extremos, uma vez que as alterações climáticas se manifestam com maior intensidade. Deste modo, temas como simulação do escoamento e a qualidade dos recursos hídricos apresentam-se como os principais fatores para a realização deste trabalho. O aumento da preocupação nesta temática amplia igualmente a busca de conhecimentos nas ferramentas disponíveis para estimar e simular o tipo de cenário/situação.

A presente dissertação tem como principal objetivo o conhecimento profundo da bacia hidrográfica do rio Ferreira, com base na análise das características físicas da bacia, na avaliação dos parâmetros físico-químicos de suporte geral e na construção de um modelo hidrológico que permita compreender o melhor funcionamento desta bacia.

Face aos resultados obtidos na análise físico-química foi possível concluir que os afluentes amostrados apresentam pressões significativas sobre o ecossistema aquático. Nos pontos classificados como T3 (i.e., Rios do Norte de Média-Grande Dimensão) apresentam um estado mais perturbado, com destaque no ponto P1. Estes resultados são devidos aos altos valores de O_2 , e aos elevados valores de condutividade mS/cm. Já as ribeiras (i.e., rios Norte de pequena dimensão) são caracterizadas por um estado moderado ao longo de toda a campanha de amostragem.

Em relação aos parâmetros hidromorfológicos, estes vieram enfatizar os resultados, revelando que os rios com a tipologia T3 estão sujeitos a maiores pressões que afetam significativamente o ecossistema aquático. Especial atenção deve ser dada ao ponto P1, que está influenciado pela Estação de Tratamento de Águas Residuais de Arreigada. No entanto, é importante notar que o ponto P6 parece ser aquele que se encontra mais próximo do seu estado natural, o que pode ser considerado um aspeto positivo desta avaliação.

Para os futuros desenvolvimentos do seu trabalho relacionados à análise dos parâmetros físico-químicos, é fundamental realizar uma avaliação ecológica das linhas de água. Isso implica uma análise detalhada dos parâmetros físico-químicos, incluindo a avaliação dos nutrientes presentes, bem como a consideração dos parâmetros biológicos, tais como os macroinvertebrados bentónicos. Esta abordagem integrada permitirá uma compreensão mais completa da saúde e qualidade dos ecossistemas aquáticos em estudo.

No que diz respeito à conceção do modelo de precipitação-escoamento foi simulado um cenário de validação entre 78 e 85 para que no fim haja uma validação do modelo como caso real. Como é possível verificar na análise de resultados e sua discussão, é possível concluir que os resultados obtidos para a bacia hidrográfica do rio Ferreira apresentaram fiabilidade e eficiência, podendo esta afirmação ser suportada pela análise dos dados fornecidos pela estação hidrométrica de Balsa (Figura 35 e Tabela 14).

Assim, durante o período de simulação corresponde ao ano hidrológico 2019/2020 foi construído o hidrograma, que possibilitou a identificação das variações de caudal ao longo das sub-bacias durante os eventos de precipitação.

No que concerne a futuras investigações, existem muitas linhas de desenvolvimento que podem ser perseguidas. Seria interessante aprimorar os objetivos com vista a uma aplicação o mais real e fiel possível de um caso de estudo de um sistema de produção real. É recomendável que este estudo seja desenvolvido em ambiente HEC-RAS. Isso possibilitará a análise das áreas propensas a inundação e a identificação de potenciais zonas em risco de alagamento. Ao combinar informações provenientes da avaliação ecológica e do modelo hidrológico, será possível uma abordagem mais consciente e precisa na gestão e preservação dos recursos hídricos.

Em suma, à luz dos resultados obtidos em ambos os tópicos abordados, é sugere-se a implementação de medidas de mitigação para atenuar as pressões antrópicas identificadas nas áreas envolventes aos cursos de água. Numa perspetiva de ciência-cidadã, tendo em consideração o atual estado de conhecimento, marcado ainda por muitas incertezas, urge começar por:

- sistematizar toda a informação existente, tendo preferencialmente como unidade de estudo a bacia hidrográfica, com interesse na gestão das origens de água e dos próprios sistemas de abastecimento de água e de saneamento;
- identificar as principais lacunas de conhecimento, nomeadamente a quantificação dos fluxos associados aos ciclos hidrológico e urbano de cada unidade;
- selecionar e programar medidas e ações, entendendo-se como prioritária uma monitorização realista e continuada do meio hídrico, de modo a serem erradicadas progressivamente as lacunas identificadas e a ser possível sustentar, com maior rigor, os sistemas de suporte à decisão (SSD);
- aumentar os investimentos em iniciativas amigas do ambiente, assim como ser mais exigente na aplicação das leis ambientais;
- aplicação de medidas de recuperação das zonas ribeirinhas, como a plantação de espécies arbustivas e arbóreas nativas, de modo a criarem uma zona tampão com o meio aquático (Rodrigues, 2010);
- criação de um programa de monitorização contínuo que permitisse avaliar a evolução da comunidade biótica e a eficácia dos esforços de reabilitação e requalificação bem como detetar, atempadamente, algum problema que possa surgir (Rodrigues, 2010);
- elaboração de um plano global de gestão que vise a diminuição da poluição pontual e difusa em toda a bacia hidrográfica;
- proteger os valores paisagísticos, faunísticos e de flora que caracterizam esta área; apoiar as atividades económicas tradicionais compatíveis com a utilização racional dos recursos naturais; desenvolver atividades ecologicamente adequadas à exploração dos recursos e potenciar as

zonas de recreio, lazer e turismo de acordo com a especificidade da região em causa e a sua capacidade de suporte (Rodrigues, 2010).

Assim, é primordial reconhecer e atuar para que vários objetivos sejam atingidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMA Casado, (2008). *Sistema de Indicadores para a Caracterização da Qualidade de Águas Superficiais, Um Caso de Estudo*.
- AMPorto, (2009). *Relatório Final - Anexo A - Sistemas Estruturantes do rio Sousa e Ferreira*.
<http://rios,amp,pt/sitios-amp/static/public/rios/SistemasEstruturantes-SOUSA-e-FERREIRA,pdf>
- APA, (2007). *Ampliação da etar de campo valongo - estudo de impacte ambiental*.
[https://siaia,apambiente,pt/AIADOC/AIA1764/relatorio%20-%20etar%20campo%20\(valongo\)2018121111156,pdf](https://siaia,apambiente,pt/AIADOC/AIA1764/relatorio%20-%20etar%20campo%20(valongo)2018121111156,pdf)
- APA, (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro*.
https://apambiente,pt/sites/default/files/_SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PGRH/2010-2015/PTRH3/PGRH_1_RH3_Parte1,pdf
- APA, (2021a). *A APA*. <https://apambiente,pt/apa>
- APA, (2021b). *Planeamento e Ordenamento*. <https://apambiente,pt/agua/planeamento-e-ordenamento>
- APA, (2021c). *Plano Nacional da Água*. <https://apambiente,pt/agua/plano-nacional-da-agua>
- APA, (2021d). *Quem somos e o que fazemos*. <https://apambiente,pt/apa/quem-somos-e-o-que-fazemos>
- APA, (2022). *Plano de gestão de região hidrográfica do douro (RH3) - Resumo não técnico*.
https://www,apambiente,pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3_Fase/PGRH_3_RH3_ResumoNaoTecnico,pdf
- AVK, V., (2008). *ETAR Campo em Valongo*, <https://www,avkvalvulas,com/pt-pt/casos/produtos-avk-instalados-na-amplia%C3%A7%C3%A3o-etar-de-campo-em-valongo>
- Branco, J, H, A, C, (2022). *REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS-BACIAS DE RETENÇÃO-MODELAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO*, <http://www,fe,up,pt>
- Brito, A., Pinho, J., & Costa, S., (2008). *Estudo de valorização e desenvolvimento estratégico dos rios Cávado e Homem - Relatório Final*,
- Carvalho, J, B, (2014), *Análise comparativa dos Planos de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Douro em Portugal e em Espanha*,
- CIGeoE, (2023a), *Centro de Informação Geoespacial do Exército*, <https://www,igeoe,pt/index,php?id=1>
- CIGeoE, (2023b), *Informação Matricial (modelos digitais do terreno)*,
<https://www,igeoe,pt/index,php?id=122>
- CMCasais, (2021). *Alterações climáticas plano estratégico de cascais face às alterações climáticas*.
- CMParedes, (2016). *Plano estratégico de desenvolvimento urbano*, 1–189. <https://www,cm-paredes,pt/cmparedes/uploads/document/file/294/PEDUParedes2FASE,pdf>
- CM Paredes, (2020). *Estratégia municipal de adaptação às alterações climáticas*.
- CM Paredes, (2023). *Câmara Municipal de Paredes*. <https://www,cm-paredes,pt/>
- Conselho Nacional da Água, (2020). *Água em Portugal*.
<https://conselhonacionaldaagua,weebly,com/aacutegua-em-portugal,html/>

dgTerritório, (2018). *Carta de Uso e Ocupação do Solo*. <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-de-Uso-e-Ocupacao-do-Solo-para-2018>

dgTerritório, (2023). *Dados abertos*. <https://www.dgterritorio.gov.pt/dados-abertos>

Diário da República, (2016). *Decreto-Lei nº 76/2016*. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/76-2016-75701996>

Diogo, B, S, (2021). *Contribution of ecotoxicological approach for environmental assessment of urban Wastewater Treatment Plant under rehabilitation*.

DQA, (2000). *Derrogações*. <https://www.apambiente.pt/dqa/derrogacoes.html>

Duarte, A, A, L, S, (2007). *Impacto das alterações climáticas na gestão da água*.

Eurostat, (2023, June 30). *Water statistics - Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_as_a_resource

Ferreira, A., P., Ferreira, M., T., & Bochechas, J., (2000). *AVALIAÇÃO GLOBAL DOS EFEITOS ECOLÓGICOS DE PEQUENOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS SOBRE A ICTIOFAUNA*.

Ferreira, F., (2021). *Avaliação Ecológica das linhas de água no concelho de Paredes, FCUP*.

Ferreira, M., (2022). *MODELAÇÃO HIDROLÓGICA PARA PREVISÃO DE FENÓMENOS DE CHEIA NA BACIA DO RIO DOURO*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/144812/2/589265.pdf>

FEUP, & CMValongo, (2007). *Estudo de impacte ambiental da ampliação da etar de campo - resumo não técnico*.

Fiúza, A., (2009). *Reabilitação de Solos e Aquíferos Contaminados*, https://sigarra.up.pt/feup/pt/web_page.inicial

Freire, T., Silva A., (2015). *Águas não tratadas no Norte de Portugal Qualidade microbiológica e Resistência aos antibióticos Porto setembro 2015*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81111/2/36971.pdf>

Gleick, P., H., (2009). *A Look at Twenty-first Century Water Resources Development*, 25(1), 127–138. <https://doi.org/10.1080/02508060008686804>

Henriques, M., José, P., (2021). *ESTUDO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE DO SEU IMPACTO EM ALBUFEIRAS MARIA JOSÉ PEREIRA HENRIQUES. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL-ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/137171/2/511080.pdf>

HPN, (2010). *Estudo de impacte ambiental do projecto do pólo 5 da cidade empresarial de paços de ferreira*.

INAG, (2006). *Implementação da Directiva Quadro da Água 2000 – 2005*.

INE, (2022). *Censos2021*. https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos21_main&xpid=CENSOS21&xlang=pt

Instituto da água, (2009). *Critérios para a classificação do estado das massas de água*. <https://www.apambiente.pt/dqa/assets/crit%C3%A9rios-classifica%C3%A7%C3%A3o-rios-e-albufeiras.pdf>

- IPMA, (2022). *Boletim Anual*.
- IPMA, (2023). *E EM PORTUGAL? O CLIMA ESTÁ A MUDAR?*
https://www.ipma.pt/pt/educativa/faq/climatologia/faqdetail.html?f=/pt/educativa/faq/climatologia/faq_0004.html
- IPPC, (2018). *Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas*, 1–28.
- JN, (2021). *Câmara de Paços de Ferreira pediu auditoria à construção da ETAR de Arreigada*.
<https://www.jn.pt/local/noticias/porto/pacos-de-ferreira/camara-de-pacos-de-ferreira-pediu-auditoria-a-construcao-da-etar-de-arreigada-13673142.html>
- JN, (2023). *Ministro do Ambiente admite existir “problema ambiental” na ETAR de Paços de Ferreira*.
<https://www.jn.pt/local/noticias/porto/pacos-de-ferreira/ministro-do-ambiente-admite-existir-problema-ambiental-na-etar-de-pacos-de-ferreira-15967622.html>
- Lin, Q., Lin, B., Zhang, D., & Wu, J., (2022). Web-based prototype system for flood simulation and forecasting based on the HEC-HMS model, *Environmental Modelling and Software*, 158.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105541>
- LNEG, (2023). *GeoPortal*. https://geoportal,lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp1m/
- Machado, A., Silva, M., & Valentim, H., (2009). *Contributo para a avaliação do estado das massas de água na região norte*. https://www.aprh.pt/rh/pdf/rh31_n1-4.pdf
- Monteiro, P., S., (2007). *ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL DA AMPLIAÇÃO DA ETAR DE CAMPO ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL DA AMPLIAÇÃO DE ETAR DE CAMPO, VALONGO*.
- NASA, (2021). *Altimetria Portugal 25m*. <https://blog.viasig.com/2021/11/altimetria-portugal-25m/>
- Nunes, A., M., B., (2016). *Território de Urbanização Difusa-A Dispersão Industrial no Concelho de Paredes*.
- Pinheiro, C., Vieira, M., (2017). *Assessment of the Ecological Quality of Sousa River*.
- Portaldoclima, (2023). *Visualizador*, <http://portaldoclima.pt/pt/>
- POSEUR, (2018). *Adjudicação da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Paços de Ferreira, cofinanciada com 4 milhões de euros de Fundo de Coesão através do PO SEUR, considerada um “momentohistórico”*.<https://poseur,portugal2020.pt/pt/media/not%C3%ADcias/adjudica%C3%A7%C3%A3o-da-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-%C3%A1guas-residuais-etar-de-pa%C3%A7os-de-ferreira-cofinanciada-com-4-milh%C3%B5es-de-euros-de-fundo-de-coes%C3%A3o-atrav%C3%A9s-do-po-seur-considerada-um-momento-hist%C3%B3rico/>
- Reigada, M., A., dos S., (2014). *Avaliação do Impacto Económico da Aplicação da Taxa de Recursos Hídricos em Distintos Sectores Industriais Localizados na Região Hidrográfica do Norte*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/71563/2/26514.pdf>
- Rodrigues, C., (2010). *AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA DO RIO FERREIRA NOS CONCELHOS DE VALONGO E GONDOMAR*.
- Rodrigues, C., Alves, P., Bio, A., Vieira, C., Guimarães, L., Pinheiro, C., & Vieira, N., (2019). Assessing the ecological status of small Mediterranean rivers using benthic macroinvertebrates and macrophytes as indicators, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7766-8>

- Sánchez, E., Colmenarejo, M., F., Vicente, J., Rubio, A., García, M., G., Travieso, L., & Borja, R., (2007), Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution, *Ecological Indicators*, 7(2), 315–328, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>
- Santos, E., (2015). *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas ENAAC*.
- Silva, J., S., (2021). *Modelação e previsão de caudais efluentes na barragem de Crestuma-Lever*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/138868/2/522984.pdf>
- Silva, L., (2010). *Avaliação da Qualidade Ecológica de Sistemas Lóticos da Bacia Hidrográfica do Rio Sabor (Bacia do Douro)*. https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/4846/1/Silva_Liliana.pdf
- Simões, N., C., & Oliveira, D., (2007). *Caracterização físico-química e ecológica (diatomáceas) das linhas de água de Aveiro*.
- SNIAmb, (2019). *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. <https://sniamb.apambiente.pt/>
- SNIRH, (2023). *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=>
- Sousa, E., S., (2012). *Balanço hídrico uma ferramenta para gestão ambiental da cidade de Palmas-to*, 1–4.
- Windfinder, (2023). *Mapa de vento, previsão de vento e boletins meteorológicos*. <https://pt.windfinder.com/#7/41,5209/-8,5474>

ANEXO A – LEGENDA DA COS

Legenda

cos_paredes

-  2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais
-  2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos
-  2.3.1.3 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival
-  2.3.1.2 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar
-  2.3.1.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha
-  2.2.3.1 Olivais
-  2.2.2.1 Pomares
-  2.2.1.1 Vinhas
-  2.1.1.2 Arrozaís
-  2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio
-  1.6.5.1 Outros equipamentos e instalações turísticas
-  1.7.1.1 Parques e jardins
-  1.6.4.1 Cemitérios
-  1.6.3.1 Equipamentos culturais
-  1.6.2.2 Equipamentos de lazer
-  1.6.2.1 Parques de campismo
-  1.6.1.2 Instalações desportivas
-  1.6.1.1 Campos de golfe
-  1.5.3.1 Áreas em construção
-  1.5.2.2 Lixeiras e Sucatas
-  1.5.2.1 Aterros
-  1.5.1.2 Pedreiras
-  1.5.1.1 Minas a céu aberto
-  1.4.3.2 Aeródromos
-  1.4.3.1 Aeroportos
-  1.4.2.3 Marinas e docas pesca
-  1.4.2.2 Estaleiros navais e docas secas
-  1.4.1.2 Rede ferroviária e espaços associados
-  1.4.2.1 Terminais portuários de mar e de rio
-  1.3.2.2 Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais
-  1.4.1.1 Rede viária e espaços associados
-  1.3.1.2 Infraestruturas de produção de energia não renovável
-  1.3.1.1 Infraestruturas de produção de energia renovável
-  1.2.3.1 Instalações agrícolas
-  1.3.2.1 Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo
-  1.2.2.1 Comércio
-  1.2.1.1 Indústria
-  1.1.3.2 Espaços vazios sem construção
-  1.1.3.1 Áreas de estacionamento e logradouros
-  1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esparso
-  1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo
-  1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal

1.1.1.1	Tecido edificado contínuo predominantemente vertical
2.4.1.1	Agricultura protegida e viveiros
3.1.1.1	Pastagens melhoradas
3.1.2.1	Pastagens espontâneas
4.1.1.1	SAF de sobreiro
4.1.1.2	SAF de azinheira
4.1.1.3	SAF de outros carvalhos
4.1.1.4	SAF de pinheiro manso
4.1.1.5	SAF de outras espécies
4.1.1.6	SAF de sobreiro com azinheira
4.1.1.7	SAF de outras misturas
5.1.1.1	Florestas de sobreiro
5.1.1.2	Florestas de azinheira
5.1.1.3	Florestas de outros carvalhos
5.1.1.4	Florestas de castanheiro
5.1.1.5	Florestas de eucalipto
5.1.1.6	Florestas de espécies invasoras
5.1.1.7	Florestas de outras folhosas
5.1.2.1	Florestas de pinheiro bravo
5.1.2.2	Florestas de pinheiro manso
5.1.2.3	Florestas de outras resinosas
6.1.1.1	Matos
7.1.1.1	Praias, dunas e areais interiores
7.1.1.2	Praias, dunas e areais costeiros
7.1.2.1	Rocha nua
7.1.3.1	Vegetação esparsa
8.1.1.1	Pauis
8.1.2.1	Sapais
8.1.2.2	Zonas entremarés
9.1.1.1	Cursos de água naturais
9.1.1.2	Cursos de água modificados ou artificializados
9.1.2.2	Lagos e lagoas interiores naturais
9.1.2.1	Lagos e lagoas interiores artificiais
9.1.2.3	Albufeiras de barragens
9.1.2.4	Albufeiras de represas ou de açudes
9.1.2.5	Charcas
9.2.1.1	Aquicultura
9.3.1.1	Salinas
9.3.2.1	Lagoas costeiras
9.3.3.1	Desembocaduras fluviais
9.3.4.1	Oceano

Figura 39 - Legenda da COS

ANEXO B – LOCAIS DE AMOSTRAGEM



Figura 40 - Ponto de Amostragem P1



Figura 41 - Ponto de Amostragem P2



Figura 42 - Ponto de Amostragem P3



Figura 43 - Ponto de Amostragem P4



Figura 44 - Ponto de Amostragem P5

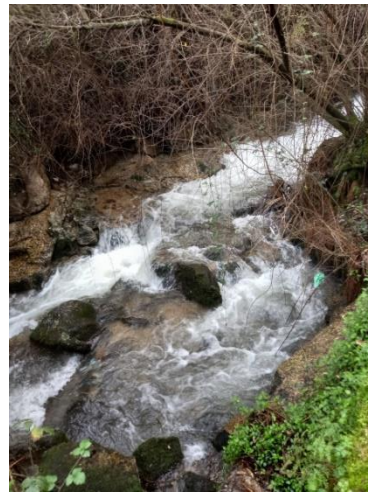


Figura 45 - Ponto de Amostragem P6

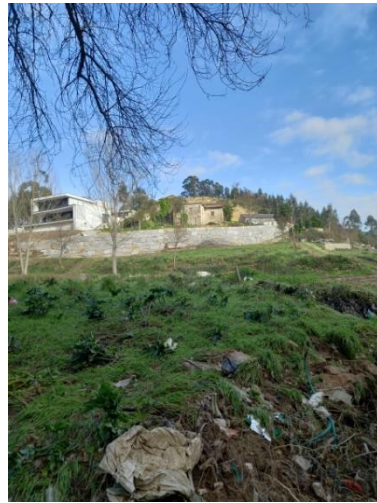


Figura 46 - Ponto de Amostragem P7

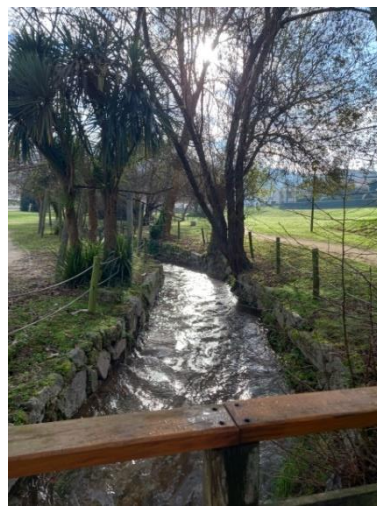


Figura 47 - Ponto de Amostragem P8



Figura 48 - Ponto de Amostragem P9

ANEXO C – PARÂMETROS HIDROMORFOLÓGICOS

Tabela 15 - Índice QBR: Ficha de classificação da Zona Ribeirinha dos Ecossistemas fluviais

Grau de cobertura da zona ripária		Pontuação entre 0 e 25
Pontuação		
25	>80% de cobertura vegetal na zona ripária (as plantas anuais não são contabilizadas)	
10	50-80% de cobertura vegetal na zona ripária	
5	10-50% de cobertura vegetal na zona ripária	
0	<10% de cobertura vegetal na zona ripária	
+10	se a conectividade entre o bosque de ribeira e o ecossistema florestal adjacente é total	
+5	se a conectividade entre o bosque de ribeira e o ecossistema florestal adjacente é maior que 50%	
-5	se a conectividade entre o bosque de ribeira e o ecossistema florestal adjacente é entre 25 e 50%	
-10	se a conectividade entre o bosque de ribeira e o ecossistema florestal adjacente é menor que 25%	
Estrutura da cobertura vegetal (contabiliza-se toda a zona de ribeira)		Pontuação entre 0 e 25
Pontuação		
25	cobertura de árvores superior a 75%	
10	cobertura de árvores entre 50 e 75%, ou cobertura de árvores entre 25 e 50% e de arbustos superior a 25%	
5	cobertura de árvores inferior a 50% e o resto da cobertura efectuada por arbustos entre os 10 e os 25%	
0	sem árvores e arbustos abaixo dos 10%	
+10	se na zona de inundação a concentração de helófitos ou arbustos é superior a 50%	
+5	se na zona de inundação a concentração de helófitos ou arbustos é entre 25 e 50%	
+5	se existe uma boa conexão entre a zona de arbustos e árvores com a zona de bosque adjacente	
-5	se existe uma distribuição regular dos pés de árvores e o bosque é superior a 50%	
-5	se as árvores e os arbustos se distribuem em manchas, sem continuidade	
-10	Se existe uma distribuição regular das árvores e dos arbustos e o bosque é inferior a 50%	

Qualidade da cobertura vegetal (depende do tipo geomorfológico da zona de ribeira)

Pontuação entre 0 e 25

Pontuação		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
25	número de espécies diferentes de árvores autóctones	>1	>2	>3
10	número de espécies diferentes de árvores autóctones	1	2	3
5	número de espécies diferentes de árvores autóctones	-	1	1-2
0	sem árvores autóctones			
+10	se existe uma continuidade da comunidade ao longo do rio uniforme e ocupando mais de 75% da zona de ribeira			
+5	se existe uma continuidade da comunidade ao longo do rio uniforme e ocupando entre 50 a 75% da zona de ribeira			
+5	se existe uma disposição em galeria das diferentes comunidades			
+5	se o número de espécies diferentes é:	>2	>3	>4
-5	se existem estruturas construídas pelo homem			
-5	se existe alguma árvore introduzida isolada			
-10	se existem espécies de árvores introduzidas formando comunidades			
-10	se existem descargas de efluentes			

Grau de naturalidade do canal fluvial

Pontuação entre 0 e 25

Pontuação	
25	o canal do rio não está modificado
10	modificações das zonas adjacentes ao rio com redução do canal
5	sinais de alteração e estruturas rígidas intermitentes que modificam o canal do rio
0	rio canalizado na totalidade do sector
-10	se existe alguma estrutura sólida dentro do leito do rio
-10	se existe alguma represa ou outra infra-estrutura transversal no leito do rio

(Somar o tipo de desnível da direita e da esquerda da zona de inundação e somar ou retirar segundo os outros atributos)

Tipos de desnível da zona ripária		Pontuação	
		Esquerda	Direita
Vertical/côncavo (declive >75%), com uma altura não superada pelas maiores cheias		6	6
Igual mas com um pequeno talude ou zona de inundação periódica		5	5
Declive entre 45 e 75°, em escada ou não. O declive conta-se como o ângulo entre a horizontal e a recta entre a zona de inundação e o último ponto da zona de ribeira.		3	3
Declive entre 20 e 45°, em escada ou não.		2	2
Declive menor que 20°, zona de ribeira uniforme ou plana		1	1
Existência de uma ou mais ilhas no meio do leito do rio			
Largura do conjunto superior a 5 m		-2	-2
Largura do conjunto entre 1 e 5 m		-1	-1
Potencialidade de suportar uma massa vegetal de ribeira. Percentagem de substrato duro com incapacidade para enraizar uma massa vegetal permanente.			
>80%		Não se pode medir	
60-80%		+6	
30-60%		+4	
20-30%		+2	

Pontuação total		
Tipo geomorfológico segundo a pontuação		
>8	Tipo 1	Ribeiras fechadas, normalmente de cabeceira, com baixa potencialidade de uma zona ripária extensa
5 a 8	Tipo 2	Ribeiras com uma potencialidade intermédia para suportar uma zona de vegetação, zonas médias dos rios
<5	Tipo 3	Ribeiras extensas, nas zonas baixas dos rios, com elevada potencialidade para possuir um bosque extenso

Tabela 16 - Índice GQC: Ficha de classificação do Grau de Qualidade do Canal

PROTOCOLO CAMPO																																										
GRAU DE QUALIDADE DO CANAL 1/2		Local: _____																																								
		Código: _____																																								
Data: _____	Técnico: _____	Observações: _____																																								
<i>realizado em pelo menos três transectos com distâncias entre si de 10-20 metros</i>																																										
1 — Presença de estruturas de retenção <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ausência de estruturas</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Açude rústico semidesagregado</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Açude rústico bem consolidado</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Açude ou barragem de betão</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table> 2 — Estrutura do canal <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Largura média do leito molhado^a/Profundidade máxima^b < 7</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 8-15</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 16-25</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Largura média do leito molhado/Profundidade máxima > 25</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table> a – valor obtido nos transectos. b – média da profundidade máxima obtida nos transectos. 3 — Sedimentos e estabilidade do canal <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ausência de alargamento do canal ou de acumulações de materiais transportados; canal único</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Algumas acumulações de materiais transportados; canal único</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Formações "não naturais" de tipo línguas ou ilhas de cascalho, areia e limo; o leito pode apresentar canais independentes</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Canal dividido em múltiplas línguas/ilhas de areia e limo</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table> 4 — Estrutura das margens <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Margens estáveis com vegetação ripária contínua e estruturalmente complexa (árvores e arbustos); sem sinais de erosão</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Margens estáveis mas com vegetação ripária fragmentada; algumas zonas desprovidas de vegetação</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Margens pouco consolidadas com vegetação ripária muito fragmentada e/ou mantidas por vegetação esparsa de herbáceas e arbustos</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Margens com vegetação muito escassa e uniforme, rebaixadas pela erosão ao longo do troço</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table> 5 — Alteração artificial das margens <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ausência quase completa de alteração artificial das margens</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Uma das margens apresenta alterações moderadas (e.g., enrocamentos em 30-50% do comprimento do troço), ou ambas as margens apresentam alterações pouco significativas (e.g., alguns muros desagregados e/ou "naturalizados")</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Ambas as margens apresentam alterações moderadas, ou uma delas está significativamente alterada (e.g., linearização da margem)</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Ambas as margens apresentam alterações muito significativas (e.g., rio canalizado)</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </table>			Ausência de estruturas	4	Açude rústico semidesagregado	3	Açude rústico bem consolidado	2	Açude ou barragem de betão	1	Largura média do leito molhado ^a /Profundidade máxima ^b < 7	4	Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 8-15	3	Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 16-25	2	Largura média do leito molhado/Profundidade máxima > 25	1	Ausência de alargamento do canal ou de acumulações de materiais transportados; canal único	4	Algumas acumulações de materiais transportados; canal único	3	Formações "não naturais" de tipo línguas ou ilhas de cascalho, areia e limo; o leito pode apresentar canais independentes	2	Canal dividido em múltiplas línguas/ilhas de areia e limo	1	Margens estáveis com vegetação ripária contínua e estruturalmente complexa (árvores e arbustos); sem sinais de erosão	4	Margens estáveis mas com vegetação ripária fragmentada; algumas zonas desprovidas de vegetação	3	Margens pouco consolidadas com vegetação ripária muito fragmentada e/ou mantidas por vegetação esparsa de herbáceas e arbustos	2	Margens com vegetação muito escassa e uniforme, rebaixadas pela erosão ao longo do troço	1	Ausência quase completa de alteração artificial das margens	4	Uma das margens apresenta alterações moderadas (e.g., enrocamentos em 30-50% do comprimento do troço), ou ambas as margens apresentam alterações pouco significativas (e.g., alguns muros desagregados e/ou "naturalizados")	3	Ambas as margens apresentam alterações moderadas, ou uma delas está significativamente alterada (e.g., linearização da margem)	2	Ambas as margens apresentam alterações muito significativas (e.g., rio canalizado)	1
Ausência de estruturas	4																																									
Açude rústico semidesagregado	3																																									
Açude rústico bem consolidado	2																																									
Açude ou barragem de betão	1																																									
Largura média do leito molhado ^a /Profundidade máxima ^b < 7	4																																									
Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 8-15	3																																									
Largura média do leito molhado/Profundidade máxima = 16-25	2																																									
Largura média do leito molhado/Profundidade máxima > 25	1																																									
Ausência de alargamento do canal ou de acumulações de materiais transportados; canal único	4																																									
Algumas acumulações de materiais transportados; canal único	3																																									
Formações "não naturais" de tipo línguas ou ilhas de cascalho, areia e limo; o leito pode apresentar canais independentes	2																																									
Canal dividido em múltiplas línguas/ilhas de areia e limo	1																																									
Margens estáveis com vegetação ripária contínua e estruturalmente complexa (árvores e arbustos); sem sinais de erosão	4																																									
Margens estáveis mas com vegetação ripária fragmentada; algumas zonas desprovidas de vegetação	3																																									
Margens pouco consolidadas com vegetação ripária muito fragmentada e/ou mantidas por vegetação esparsa de herbáceas e arbustos	2																																									
Margens com vegetação muito escassa e uniforme, rebaixadas pela erosão ao longo do troço	1																																									
Ausência quase completa de alteração artificial das margens	4																																									
Uma das margens apresenta alterações moderadas (e.g., enrocamentos em 30-50% do comprimento do troço), ou ambas as margens apresentam alterações pouco significativas (e.g., alguns muros desagregados e/ou "naturalizados")	3																																									
Ambas as margens apresentam alterações moderadas, ou uma delas está significativamente alterada (e.g., linearização da margem)	2																																									
Ambas as margens apresentam alterações muito significativas (e.g., rio canalizado)	1																																									

PROTOCOLO CAMPO																																								
GRAU DE QUALIDADE DO CANAL 2/2	Local:	Código:																																						
<i>realizado em pelo menos três transectos com distâncias entre si de 10-20 metros</i>																																								
6 — Heterogeneidade do canal <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Canal curvilíneo com sequência lótica/lêntica muito marcada (presentes todos os tipos de habitats)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Canal com reduzida sequência lótica/lêntica (ausência de alguns tipos de habitats)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Canal rectilíneo com velocidade praticamente constante ao longo de todo o troço</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Curso de água canalizado ou zona lêntica artificial</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> </table>			Canal curvilíneo com sequência lótica/lêntica muito marcada (presentes todos os tipos de habitats)	4	Canal com reduzida sequência lótica/lêntica (ausência de alguns tipos de habitats)	3	Canal rectilíneo com velocidade praticamente constante ao longo de todo o troço	2	Curso de água canalizado ou zona lêntica artificial	1																														
Canal curvilíneo com sequência lótica/lêntica muito marcada (presentes todos os tipos de habitats)	4																																							
Canal com reduzida sequência lótica/lêntica (ausência de alguns tipos de habitats)	3																																							
Canal rectilíneo com velocidade praticamente constante ao longo de todo o troço	2																																							
Curso de água canalizado ou zona lêntica artificial	1																																							
7 — Estrutura do leito <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px;">Tipo 1</td> <td style="padding: 5px;">Troços encaixados, normalmente de cabeceira e com muita rocha; baixa potencialidade para suportar um extenso bosque ribeirinho</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tipo 2</td> <td style="padding: 5px;">Troços com desníveis médios das margens; potencialidade intermédia para suportar um bosque ribeirinho; "zonas médias" do rio</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tipo 3</td> <td style="padding: 5px;">Troços com desníveis das margens muito pouco acentuados; potencialidade elevada para suportar um bosque ribeirinho; "zonas baixas" de alguns rios</td> </tr> </table> Tipo 1 (troço em que predomina a erosão) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria > 26,0 cm (blocos)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> </table> Tipo 2 (troço em que predomina o transporte) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">25-50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 25% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 75% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> </table> Tipo 3 (troço em que predomina a sedimentação) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">> 50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">25-50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">> 75% do material é constituído por granulometria < 0,5 cm (gravilha fina, areia e finos)</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">O leito é exclusivamente areia e finos</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> </table> 8 — Deposição de finos intersticiais^a <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A % de sedimentos finos é < 5%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">4</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A % de sedimentos finos é de 5 - 25%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">3</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A % de sedimentos finos é de 25 - 50%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">2</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A % de sedimentos finos é > 50%</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">1</td> </tr> </table> ^a Para os rios Tipo 1, consideram-se como sedimentos finos o material aproximadamente < 5 mm e, para os rios Tipo 2 e 3, consideram-se como sedimentos finos o material aproximadamente < 1 mm			Tipo 1	Troços encaixados, normalmente de cabeceira e com muita rocha; baixa potencialidade para suportar um extenso bosque ribeirinho	Tipo 2	Troços com desníveis médios das margens; potencialidade intermédia para suportar um bosque ribeirinho; "zonas médias" do rio	Tipo 3	Troços com desníveis das margens muito pouco acentuados; potencialidade elevada para suportar um bosque ribeirinho; "zonas baixas" de alguns rios	> 50% do material é constituído por granulometria > 26,0 cm (blocos)	8	> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	6	> 50% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)	3	> 50% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)	1	> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	8	25-50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	6	> 25% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)	3	> 75% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)	1	> 50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)	8	25-50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)	6	> 75% do material é constituído por granulometria < 0,5 cm (gravilha fina, areia e finos)	3	O leito é exclusivamente areia e finos	1	A % de sedimentos finos é < 5%	4	A % de sedimentos finos é de 5 - 25%	3	A % de sedimentos finos é de 25 - 50%	2	A % de sedimentos finos é > 50%	1
Tipo 1	Troços encaixados, normalmente de cabeceira e com muita rocha; baixa potencialidade para suportar um extenso bosque ribeirinho																																							
Tipo 2	Troços com desníveis médios das margens; potencialidade intermédia para suportar um bosque ribeirinho; "zonas médias" do rio																																							
Tipo 3	Troços com desníveis das margens muito pouco acentuados; potencialidade elevada para suportar um bosque ribeirinho; "zonas baixas" de alguns rios																																							
> 50% do material é constituído por granulometria > 26,0 cm (blocos)	8																																							
> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	6																																							
> 50% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)	3																																							
> 50% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)	1																																							
> 50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	8																																							
25-50% do material é constituído por granulometria > 6,4 cm (pedras)	6																																							
> 25% do material é constituído por granulometria > 1,6 cm (cascalho)	3																																							
> 75% do material é constituído por granulometria < 1,6 cm (finos, areia, gravilha)	1																																							
> 50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)	8																																							
25-50% do material é constituído por granulometria > 0,5 cm (gravilha grossa)	6																																							
> 75% do material é constituído por granulometria < 0,5 cm (gravilha fina, areia e finos)	3																																							
O leito é exclusivamente areia e finos	1																																							
A % de sedimentos finos é < 5%	4																																							
A % de sedimentos finos é de 5 - 25%	3																																							
A % de sedimentos finos é de 25 - 50%	2																																							
A % de sedimentos finos é > 50%	1																																							

ANEXO D – DADOS DE BASE SNIRH

Tabela 17 - Dados de base de Lamoso

Dados de Base  Imprimir  Exportar CSV  Exportar rede CSV  Exportar TSV  Exportar rede TSV					
Informação sobre os parâmetros com dados em cada estação.					
■ Meteorológica					
Estação	Parâmetro	Unidade	N.º Valores	Data Início	Data Final
LAMOSO (08G/02UG)	Direção do vento horária	°	34593	28/05/2006	12/05/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Precipitação anual	mm	23	01/10/1979	01/10/2015
LAMOSO (08G/02UG)	Precipitação diária	mm	9885	01/10/1979	12/05/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Precipitação diária máxima anual	mm	23	28/03/1980	04/01/2016
LAMOSO (08G/02UG)	Precipitação horária	mm	38075	28/05/2006	12/05/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Precipitação mensal	mm	311	01/10/1979	01/04/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Velocidade do vento horária	m/s	38878	28/05/2006	12/05/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Velocidade do vento máxima horária	m/s	38878	28/05/2006	12/05/2020
LAMOSO (08G/02UG)	Velocidade do vento média diária	m/s	1488	20/08/2006	12/05/2020

Tabela 18 - Dados de base de Penafiel

Dados de Base  Imprimir  Exportar CSV  Exportar rede CSV  Exportar TSV  Exportar rede TSV					
Informação sobre os parâmetros com dados em cada estação.					
■ Meteorológica					
Estação	Parâmetro	Unidade	N.º Valores	Data Início	Data Final
PENAFIEL (08H/01UG)	Direção do vento horária	°	127857	29/05/2003	14/09/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Precipitação anual	mm	91	01/10/1913	01/10/2020
PENAFIEL (08H/01UG)	Precipitação diária	mm	36742	01/10/1913	14/09/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Precipitação diária máxima anual	mm	92	27/02/1913	11/12/2020
PENAFIEL (08H/01UG)	Precipitação horária	mm	127882	29/05/2003	14/09/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Precipitação mensal	mm	1190	01/02/1913	01/08/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Velocidade do vento horária	m/s	131389	29/05/2003	14/09/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Velocidade do vento instantânea	m/s	5703	01/10/1983	31/12/1999
PENAFIEL (08H/01UG)	Velocidade do vento máxima horária	m/s	128238	29/05/2003	14/09/2023
PENAFIEL (08H/01UG)	Velocidade do vento média diária	m/s	5429	31/05/2003	14/09/2023

Tabela 19 - Dados de base de Água Longa

Dados de Base  Imprimir  Exportar CSV  Exportar rede CSV  Exportar TSV  Exportar rede TSV					
Informação sobre os parâmetros com dados em cada estação.					
■ Meteorológica					
Estação	Parâmetro	Unidade	N.º Valores	Data Início	Data Final
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Direção do vento horária	°	97558	18/03/2006	03/07/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Precipitação anual	mm	5	01/10/2006	01/10/2021
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Precipitação diária	mm	4059	18/03/2006	03/07/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Precipitação diária máxima anual	mm	5	12/02/2007	22/04/2022
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Precipitação horária	mm	97549	18/03/2006	03/07/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Precipitação mensal	mm	126	01/04/2006	01/08/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Velocidade do vento horária	m/s	97574	18/03/2006	03/07/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Velocidade do vento máxima horária	m/s	97574	18/03/2006	03/07/2023
ÁGUA LONGA (AGRELA) (08G/03G)	Velocidade do vento média diária	m/s	4059	18/03/2006	03/07/2023

Tabela 20 - Dados de base de Bustelo

Dados de Base  Imprimir  Exportar CSV  Exportar rede CSV  Exportar TSV  Exportar rede TSV

Informação sobre os parâmetros com dados em cada estação.

■ Meteorológica

Estação	Parâmetro	Unidade	N.º Valores	Data Início	Data Final
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Direção do vento horária	°	71503	15/03/2006	04/08/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Precipitação anual	mm	2	01/10/2014	01/10/2018
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Precipitação diária	mm	2971	17/03/2006	04/08/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Precipitação diária máxima anual	mm	2	31/01/2015	10/11/2018
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Precipitação horária	mm	71492	15/03/2006	04/08/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Precipitação mensal	mm	90	01/04/2006	01/07/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Velocidade do vento horária	m/s	71503	15/03/2006	04/08/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Velocidade do vento máxima horária	m/s	71503	15/03/2006	04/08/2020
BUSTELO (SERRA DE PIAS) (07G/01G)	Velocidade do vento média diária	m/s	2972	17/03/2006	04/08/2020

ANEXO E – ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA

Na BHRF existe uma estação hidrométrica (no SNIRH) com dados históricos. Assim, optou-se por seleccionar a estação hidrométrica de Balsa, uma vez que a estação tem um número considerável (quando comparado com outras estações hidrométricas próximas) de anos consecutivos com registos de caudais médios diários.

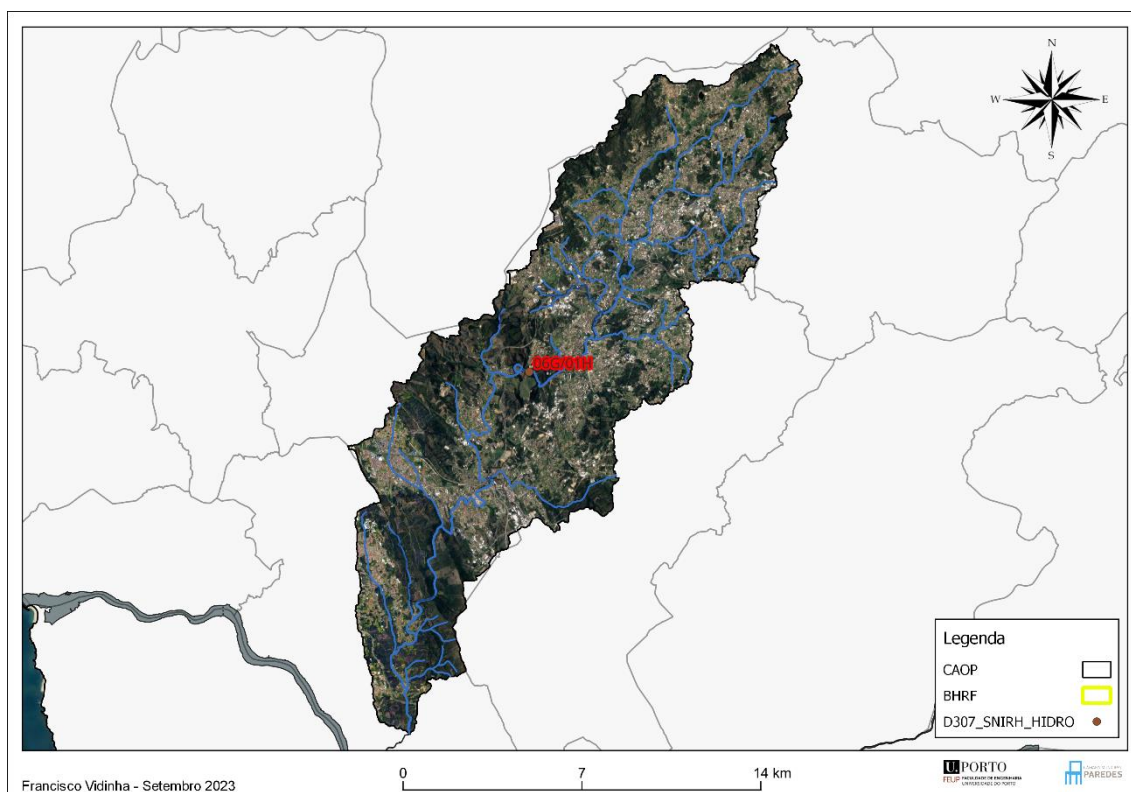


Figura 49 - Estação Hidrométrica de Balsa

ANEXO F – ESTADO DAS MASSAS DE ÁGUA

Tabela 21 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos de suporte geral dos rios.

		T (°C)	pH	pHmV (mV)	ORP (mV)	Condutividade (mS/cm)	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	TSD (mg/L)	Salinidade (ppt)
Métricas de referência de acordo com a DQA	Excelente/Bom	--	6,5 - 8,5	--	--	--	8 - 12	80 - 115	0,12	--
	Bom/Razoável	6,5 - 23,5	6,0 - 9,0	--	--	0,15	6	70 - 125	0,25	--
Data		Medições								
P1	11/11/2022	15,16	7,75	-49	210	0,137	12,52	124,7	0,089	0,2
	09/12/2022	15,25	8,1	-70	186	0,12	12,9	128,6	0,076	0,06
	06/01/2023	12,2	7,56	-39	225	0,075	15,21	141,8	0,048	0,05
	08/02/2023	12,2	7,52	-36	213	0,106	14,59	136	0,069	0,18
	15/03/2023	14,04	7,69	-46	247	0,164	13,35	129,7	0,107	0,08
	28/04/2023	16,07	8,06	-67	172	0,183	14	142,1	0,119	0,05
	23/05/2023	16,95	8,42	-88	155	0,223	10,91	112,8	0,145	0,15
P2	11/11/2022	15,27	7,74	-49	216	0,14	11,82	117,9	0,113	0,08
	09/12/2022	12,11	7,54	-37	244	0,11	14,42	134,2	0,071	0,05
	06/01/2023	12,12	7,54	-37	242	0,11	14,37	133,8	0,071	0,05
	08/02/2023	14,04	7,82	-53	280	0,169	13,2	128,3	0,11	0,07
	15/03/2023	14,02	7,84	-54	277	0,169	13,26	128,8	0,11	0,06
	28/04/2023	16,07	7,9	-58	215	0,13	13,07	132,7	0,084	0,06
	23/05/2023	16,5	8,03	-66	206	0,161	12,94	132,6	0,104	0,06
P3	11/11/2022	15,26	7,69	-46	230	0,179	12,25	122,2	0,116	0,05
	09/12/2022	12,12	7,6	-41	251	0,111	15,54	144,7	0,072	0,08
	06/01/2023	12,14	7,59	-40	248	0,112	14,3	133,2	0,072	0,06
	08/02/2023	14,29	7,79	-52	284	0,162	14,46	141,2	0,105	0,05
	15/03/2023	14,32	7,78	-51	285	0,162	14,41	141	0,105	0,07
	28/04/2023	16,09	7,92	-58	215	0,13	13,07	132,7	0,084	0,07
	23/05/2023	16,59	8,05	-66	206	0,161	12,94	132,6	0,104	0,06
P9	11/11/2022	15,36	7,3	-24	256	0,142	10,46	104,6	0,092	0,08
	09/12/2022	12,56	7,3	-23	251	0,126	14,15	133	0,082	0,06
	06/01/2023	12,55	7,37	-27	251	0,125	14,44	135,7	0,081	0,04
	08/02/2023	14,66	7,62	-42	276	0,123	13,33	131,2	0,08	0,09
	15/03/2023	14,67	7,67	-45	275	0,123	13,87	136,6	0,08	0,08
	28/04/2023	14,73	8,04	-66	210	0,127	14,51	143,1	0,082	0,05
	23/05/2023	15,27	7,55	-38	236	0,138	13,08	130,5	0,09	0,2

Tabela 22 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos de suporte geral das Ribeiras

		T (°C)	pH	pHmV (mV)	ORP (mV)	Condutividade (mS/cm)	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	TSD (g/L)	Salinidade (ppt)
Métricas de referência de acordo com a DQA	Excelente/Bom	--	6,5 - 8,5	--	--	--	8 - 12	80 - 115	0,12	--
	Bom/Razoável	6,5 - 23,5	6,0 - 9,0	--	--	0,15	6	70 - 125	0,25	--
Data		Medições								
P5	11/11/2022	15,93	7,93	-60	189	0,131	11,42	105,9	0,085	0,06
	09/12/2022	12,93	7,37	-28	213	0,115	11,05	113,1	0,075	0,05
	06/01/2023	13,02	7,99	-63	222	0,115	12,63	118,5	0,075	0,18
	08/02/2023	12,93	7,37	-28	213	0,115	11,05	113,1	0,075	0,08
	15/03/2023	15,56	7,45	-33	224	0,121	12,15	122	0,079	0,05
	28/04/2023	15,61	8,16	-73	201	0,115	11,09	141,6	0,074	0,15
	23/05/2023	16,1	7,42	-31	222	0,117	11,43	116,2	0,076	0,08
P6	11/11/2022	15,38	7,68	-46	270	0,133	12,2	122	0,087	0,05
	09/12/2022	12,74	7,49	-34	256	0,1	11,74	139,1	0,065	0,05
	06/01/2023	12,71	7,52	-36	260	0,1	10,08	142,2	0,065	0,07
	08/02/2023	Sem Acesso ao Local								
	15/03/2023									
	28/04/2023									
	23/05/2023									
P7	11/11/2022	15,45	7,4	-29	279	0,157	10,29	113,1	0,102	0,08
	09/12/2022	14,36	7,38	-31	270	0,158	10,29	113,1	0,103	0,06
	06/01/2023	13,05	7,31	-24	259	0,119	11,11	123,6	0,078	0,05
	08/02/2023	14,07	7,72	-48	283	0,159	10,65	112,7	0,104	0,07
	15/03/2023	15,86	8,38	-86	229	0,122	14,42	175,9	0,079	0,07
	28/04/2023	16,66	7,59	-40	253	0,146	12,84	132	0,095	0,06
	23/05/2023	16,67	7,55	-38	245	0,149	11,27	115,9	0,097	0,08
P8	11/11/2022	15,28	7,1	-12	306	0,12	12,75	127,3	0,078	0,06
	09/12/2022	13,28	6,92	-2	299	0,12	12,72	126,9	0,078	0,04
	06/01/2023	12,99	7,08	-11	226	0,083	13	142,3	0,054	0,09
	08/02/2023	13	7,02	-8	225	0,082	12,1	143,4	0,054	0,08
	15/03/2023	14,64	7,48	-34	280	0,112	11,44	152	0,073	0,05
	28/04/2023	15,63	7,46	-33	250	0,11	12,45	145,3	0,071	0,2
	23/05/2023	16,21	7,42	-31	243	0,12	11,17	134,1	0,078	0,06
4	11/11/2022	15,26	7,56	-39	251	0,179	10,99	109,6	0,116	0,05
	09/12/2022	14,26	7,36	-40	251	0,178	10,89	109,7	0,112	0,18
	06/01/2023	12,14	7,56	-38	250	0,112	15,26	142,1	0,073	0,08
	08/02/2023	12,16	7,51	-36	237	0,113	15,08	140,5	0,073	0,05
	15/03/2023	14,73	7,63	-43	216	0,145	13,53	13,69	0,094	0,15
	28/04/2023	15,92	7,64	-43	216	0,145	11,55	137,1	0,094	0,08
	23/05/2023	16,58	7,65	-44	200	0,135	10,86	111,4	0,088	0,05

