

## OMeGA – OtiMização da Gestão de Albufeiras

### PRODUTO 5

# Avaliação dos caudais e proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para as barragens de Maranhão e Montargil

## TOMO 4 – Avaliação dos caudais ecológicos e proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para a barragem de Montargil

### Versão Final

Junho, 2021

# OMeGA - Otimização da Gestão de Albufeiras

## FASE 7. PRODUTO 5

### AVALIAÇÃO DOS CAUDAIS E PROPOSTA DE REGIME DE CAUDAIS DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PARA AS BARRAGENS DE MARANHÃO E MONTARGIL

### TOMO 4 – AVALIAÇÃO DOS CAUDAIS ECOLÓGICOS E PROPOSTA DE REGIME DE CAUDAIS DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PARA A BARRAGEM DE MONTARGIL

## ÍNDICE

	Pág.
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS .....	4
1.2 ESTRUTURA DO PRODUTO .....	4
<b>2 CAUDAIS ECOLÓGICOS - ENQUADRAMENTO E ÂMBITO</b> .....	<b>6</b>
2.1 ENQUADRAMENTO GERAL DOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS .....	6
2.1.1 CONSIDERAÇÕES.....	6
2.1.2 ÂMBITO TEMPORAL.....	6
2.1.3 ÂMBITO ESPACIAL.....	6
2.2 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO SOBRE RCE.....	6
<b>3 ABORDAGEM METODOLÓGICA</b> .....	<b>8</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES.....	8
3.2 REGIME DE CAUDAIS NATURAIS .....	8
3.2.1 Considerações prévias.....	8
3.2.2 Análise dos dados hidrométricos .....	9
3.2.3 Afluências em regime natural.....	12
3.2.4 Método do Plano Nacional da Água - PNA .....	13
3.2.5 Método IFIM .....	14
<b>4 REGIME DE CAUDAIS DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PARA A BARRAGEM DE MONTARGIL</b> .....	<b>15</b>
4.1 REGIME ACTUAL .....	15
4.2 REGIME PROPOSTO .....	16
4.2.1 MEDIÇÃO DE CAUDAL.....	16
4.2.2 MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA DO ESCOAMENTO .....	19
4.2.3 CRITÉRIOS DE USO DE HABITAT .....	23

4.2.4	MODELAÇÃO DO HABITAT .....	27
4.2.5	IFIM .....	28
4.2.6	REGIME DE CAUDAL DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PROPOSTO .....	30
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

<b>FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
Figura 3.1 – Localização das estações hidrométricas na proximidade na barragem de Montargil. ....	10
Figura 3.2 – EH de Pavia. Teste de valores simplesmente acumulados. ....	11
Figura 3.3 – Curva de duração anual do caudal médio diário da barragem de Montargil. ....	13
Figura 4.1 – Localização da bacia de restituição da central e canal de <i>bypass</i> . ....	16
Figura 4.2 – Exemplo de secção transversal da linha de água. ....	17
Figura 4.3 – Ficha de campo para medição de caudal. ....	18
Figura 4.4 – Modelação do troço na ribeira de Sor: a) modelo topográfico; b) classes de substrato. ....	21
Figura 4.5 – Resultados da modelação hidráulica para $Q = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$ : a) velocidade (m/s); b) profundidade (m). ....	23
Figura 4.6 – Curvas SPU em função do caudal, para o outono. ....	29
Figura 4.7 – Curvas SPU em função do caudal, para o inverno. ....	29
Figura 4.8 – Curvas SPU em função do caudal, para o primavera. ....	29
Figura 4.9 – Curva SPU adimensionalizada em função do caudal para o outono. ....	31
Figura 4.10 – Curvas SPU adimensionalizadas em função do caudal para o inverno. ....	31
Figura 4.11 – Curvas SPU adimensionalizadas em função do caudal para o primavera. ....	31

<b>QUADROS</b>	<b>Pág.</b>
Quadro 3.1 – Características das estações hidrométricas analisadas existentes na proximidade da bacia hidrográfica da barragem. ....	10
Quadro 3.2 – EH de Pavia. Resultados do teste de Wald-Wolfowitz. ....	12
Quadro 3.3 – Afluências em ano médio à barragem de Montargil. ....	13
Quadro 4.1 – Distribuição percentual mensal do regime de caudais ecológicos estipulada no CC. ....	15
Quadro 4.2 – Regime de caudais ecológicos estipulados no CC da barragem do Montargil. ....	15
Quadro 4.3 – Principais características das medições efetuadas. ....	19
Quadro 4.4 – Correspondência entre as classes de substrato e a rugosidade do leito. Ribeira de Sor. ....	22
Quadro 4.5 – Valores médios (+ desvio padrão) das variáveis profundidade (em cm) e velocidade da corrente (em m/s) disponíveis e utilizadas nas 3 épocas do ano avaliadas. ....	24
Quadro 4.6 – Critérios de preferência (entre 0 e 1) de duas classes de dimensão do barbo-comum para variáveis habitacionais na área de estudo. ....	25

Quadro 4.7 – RCE do CC e RCE proposto. ....	32
Quadro 4.8 – RCE proposto e RCE proposto para os anos secos. ....	33

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Este documento integra ao Produto 5, intitulado “**AVALIAÇÃO DOS CAUDAIS E PROPOSTA DE REGIME DE CAUDAIS DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PARA AS BARRAGENS DE MARANHÃO E MONTARGIL**”, referente ao término da FASE 7 – Análise de Caudais e Definição de RCE. Este produto está previsto no âmbito do “*Grupo Operacional OMEGA – Otimização da Gestão de Albufeiras*”.

A FASE 7 integra as seguintes cinco (5) atividades:

- Atividade 1: Análise dos caudais modelados, resultantes das FASES 3 e 4.
- Atividade 2: Campanhas de amostragem.
- Atividade 3: Trabalhos de topografia.
- Atividade 4: Avaliação dos caudais ecológicos.
- Atividade 5: Proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para as barragens de Maranhão e Montargil.

O presente tomo aborda os tópicos indicados a seguir e que se referem à metodologia adotada.

### 1.2 ESTRUTURA DO PRODUTO

O **PRODUTO 5** consiste no Relatório de avaliação dos caudais e proposta de regime de caudais ecológicos (RCE) para as barragens de Maranhão e Montargil, no qual consta a análise dos caudais modelados, descrição das campanhas de amostragem e levantamentos topográficos, avaliação dos caudais ecológicos e proposta final de regime de caudais para ambas as barragens aqui consideradas. Para a concretização deste produto foram elaborados quatro (4) relatórios organizados em Tomos, conforme apresentado a seguir.

- Tomo 1 – Análise de caudais.
- Tomo 2 – Campanhas de Amostragem e levantamentos topográficos.
- Tomo 3 – Avaliação dos caudais ecológicos e Proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para a barragem de Maranhão.
- **Tomo 4 – Avaliação dos caudais ecológicos e Proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para a barragem de Montargil.**

O presente documento –**Tomo 4 – Avaliação dos caudais ecológicos e Proposta de regime de caudais de manutenção ecológica para a barragem de Montargil** – apresenta as atividades realizadas e está organizado em seis (6) capítulos, que após o item introdutório, inclui os seguintes capítulos:

- **Capítulo 2 – Caudais ecológicos – Enquadramento e Âmbito**
- **Capítulo 3 – Abordagem metodológica**
- **Capítulo 4 – Regime de caudais de manutenção ecológica para a barragem de Montargil**
- **Capítulo 5 – Considerações finais**
- **Capítulo 6 – Referências bibliográficas.**

## 2 CAUDAIS ECOLÓGICOS - ENQUADRAMENTO E ÂMBITO

### 2.1 ENQUADRAMENTO GERAL DOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS

#### 2.1.1 CONSIDERAÇÕES

A alteração do regime de caudais fluviais naturais, através da construção e exploração de Aproveitamentos Hidráulicos (AH) com obras transversais à linha de água, é um fenómeno global que tem gerado impactes ambientais significativos, representando uma das principais pressões sobre os ecossistemas fluviais a nível mundial (e.g., EC, 2015). Como é hoje plenamente reconhecido, as infraestruturas hidráulicas associadas a utilizações como a rega, a produção de energia e o abastecimento público de água, alteram o regime natural de caudais sólidos e líquidos e, por extensão, o ambiente físico-químico, com modificações subsequentes no ecossistema e nas comunidades biológicas.

Com a disseminação das infraestruturas hidráulicas transversais, emergiram preocupações com os seus impactes sobre os ecossistemas fluviais. Em sequência, e maioritariamente partir da década de sessenta do século XX, começaram a ser implementadas medidas de mitigação específicas para os AH, nomeadamente, a quantificação e implementação de RCE, por vezes também designados de caudais ambientais. De acordo com Alves e Bernardo (2003) os RCE foram definidos como regimes de caudais a assegurar no curso de água, variáveis ao longo do ano, por forma a promover a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos.

#### 2.1.2 ÂMBITO TEMPORAL

O presente trabalho teve início na primavera de 2020. A componente de campo teve início em maio de 2020 e foi concluída em março de 2021. O trabalho de gabinete decorreu durante a primavera de 2021.

#### 2.1.3 ÂMBITO ESPACIAL

Os RCE foram estabelecidos para as massas de água fortemente modificadas existentes a jusante das barragens dos aproveitamentos hidroagrícolas de Maranhão e de Montargil. A definição dos critérios de preferência foi realizada nas mesmas linhas de água, mas em setores lóticos a montante das duas albufeiras, em locais não influenciados pela presença e funcionamento dos dois aproveitamentos hidroagrícolas.

### 2.2 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO SOBRE RCE

Uma análise pormenorizada da legislação nacional e comunitária sobre os RCE pode ser consultada em Pinheiro (2019). Uma súmula dessa legislação é apresentada seguidamente.

Na legislação portuguesa está consagrada a gestão e exploração dos recursos hídricos, bem como a conservação dos ecossistemas naturais em geral e dos dulçaquícolas em particular. Especificamente sobre os RCE, o seu enquadramento legal tem vindo a sofrer alterações, transitando de uma situação em que tal medida de mitigação era referida de forma implícita, para a sua consagração explícita nos documentos legislativos mais recentes

Na sequência da entrada em vigor da Lei da Água, foi estabelecido um novo regime sobre as utilizações dos recursos hídricos e respetivos títulos, nos termos do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio – na sua redação atual –, e da Portaria 1450/2007, de 12 de novembro, destacando-se neste último diploma a obrigatoriedade de assegurar os RCE no âmbito dos processos de licenciamento dos aproveitamentos hidroelétricos. O mesmo normativo define ainda que os títulos de utilização que incluam a implantação de infraestruturas hidráulicas devem contemplar a definição de um RCE e a necessidade de instalação de um dispositivo próprio para a sua libertação, caso se justifique.

A Lei da Pesca em Águas Interiores (Lei n.º 7/2008, de 15 de fevereiro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 221/2015, de 8 de outubro e revisto pelo Decreto-Lei n.º 112/2017, de 6 de setembro) reforçou a obrigatoriedade de estabelecer um RCE em todos os AH independentemente do fim a que se destinam, com o intuito de adequar o regime de caudais à manutenção do ciclo de vida das espécies aquícolas e da integridade do ecossistema aquático. A referida legislação refere ainda que a avaliação do caudal ecológico deve ser assegurada pelos proprietários ou utilizadores, permitindo a adaptação do caudal ecológico de modo a assegurar a sua eficácia.

Os Planos de Gestão de Região Hidrográfica em vigor (Resolução do Conselho de Ministros n.º 52/2016, de 20 de setembro, retificada e republicada pela Declaração de Retificação n.º 22-B/2016, de 18 de novembro) identificam a necessidade de definição de caudais ecológicos em diferentes cursos de água das bacias de cada Região Hidrográfica.

O Plano Nacional da Água, publicado pelo Decreto-Lei n.º 76/2016, de 9 de novembro, que refere a existência de aspetos que necessitam de ser corrigidos, nomeadamente a fixação e implementação dos RCE.

É neste quadro que se insere a necessidade de libertar um RCE a jusante das barragens de Maranhão e de Montargil. O presente estudo visa propor um RCE alternativo ao estabelecido nos contratos de concessão dos aproveitamentos, que a Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia pondera submeter à apreciação da APA.

### 3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES

Um RCE, em sentido lato, pode ser definido como o caudal que permite assegurar a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos e os aspetos estéticos da paisagem, ou outros de interesse científico ou cultural. Em síntese, o RCE pode então ser definido como o caudal mínimo a libertar no curso de água, a jusante de um aproveitamento hidráulico, que permita assegurar a conservação e proteção dos ecossistemas dulçaquícolas em presença

O RCE será assim composto por um conjunto de caudais a libertar ao longo do ano e terá em consideração: i) o regime hidrológico natural da linha de água, ii) as necessidades do ecossistema aquático, em particular das espécies efetivamente presente, e das várias fases do seu ciclo de vida, e iii) a qualidade ecológica da água (*sensu* Directiva-Quadro da Água, DQA) no troço lótico a jusante da barragem. Em termos conceptuais, uma das características principais do RCE a propor é o de mimetizar o regime hidrológico natural, nomeadamente a sua variabilidade.

A avaliação dos caudais ecológicos para o caso em estudo será efetuada recorrendo aos seguintes métodos:

- Regime de caudais naturais;
- Método do INAG (método hidrológico);
- Metodologia IFIM (método ecohidráulico).

#### 3.2 REGIME DE CAUDAIS NATURAIS

##### 3.2.1 Considerações prévias

Os caudais fluviais naturais determinam intrinsecamente as características morfológicas e hidráulicas dos sistemas fluviais, definindo a organização física do meio fluvial e o funcionamento biológico do ecossistema. Por tal motivo, a avaliação dos caudais de manutenção ecológica a jusante das duas barragens, qualquer que seja o método para o efeito utilizado, dever-se-á fundamentar nas características do regime de escoamento em condições naturais, tanto mais que a generalidade dos métodos disponíveis procura que o RCE mimetize o ocorrente em condições naturais.

### 3.2.2 Análise dos dados hidrométricos

A estimativa da altura de escoamento na bacia hidrográfica foi efetuada recorrendo ao mapa de escoamentos publicado no Portal SNIAmb<sup>1</sup> da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), mais concretamente no *Atlas da Água - Escoamento Médio Anual*. Os escoamentos publicados resultam do modelo precipitação-escoamento segundo Temez, elaborado no âmbito do Plano Nacional da Água (PNA) 2002.

A altura de escoamento médio anual obtida na bacia da barragem de Montargil é de 160 mm, correspondendo a um caudal modelar de 6,02 m<sup>3</sup>/s e um escoamento médio anual de 190 hm<sup>3</sup>.

Foram analisados os registos de escoamento mensal e caudais médios diários das estações hidrométricas (EH) existentes na proximidade da barragem. No **Quadro 3.1** são apresentadas as principais características das estações, bem como o escoamento anual médio e a correspondente altura de escoamento. A localização das estações está identificada na **Figura 3.1**.

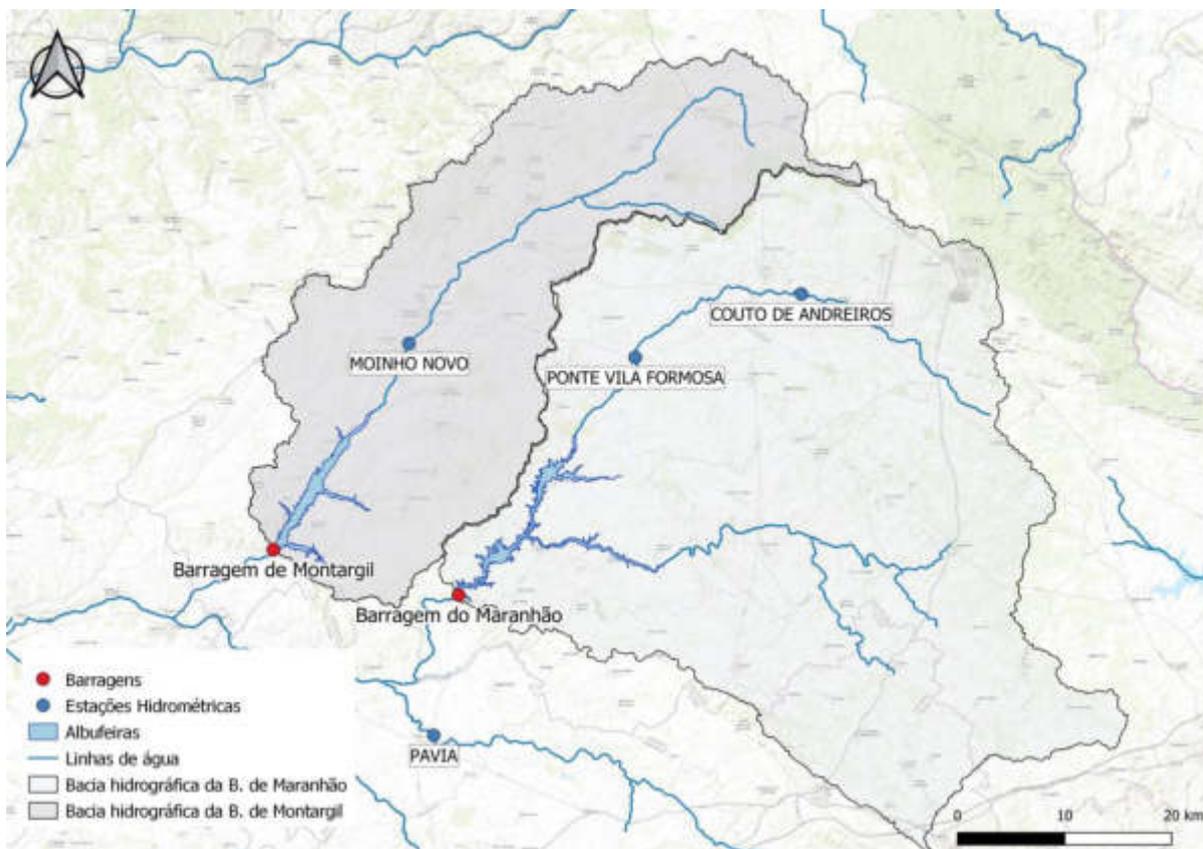
---

<sup>1</sup> Sistema Nacional de Informação de Ambiente

**Quadro 3.1 – Características das estações hidrométricas analisadas existentes na proximidade da bacia hidrográfica da barragem.**

	Pavia	Moinho Novo	Couto de Andreiros	Ponte Vila Formosa
Área bacia (km <sup>2</sup> )	616	647	244	665
N.º registos analisados	31 anos (1959/60 a 1989/90)	13 anos (1981/82 a 1989/90 e 2004/05 a 2007/08)	22 anos (1964/65 a 1971/72 e 1979/80 a 1992/93)	17 anos (1980/81 a 1989/90 e 2003/04 a 2009/10)
Qmod (m <sup>3</sup> /s)	2,55	3,58	1,75	3,93
Esc. (hm <sup>3</sup> )	80	113	55	124
Esc. (mm)	130	174	226	187
Prep.(mm)*	622	773	720	722
Esc / Prep (-)	0,21	0,23	0,31	0,26

\* Calculada através da *shapefile* de precipitação total anual (1959/60-1990/91) disponibilizada pelo SNIAmb no Atlas da Água



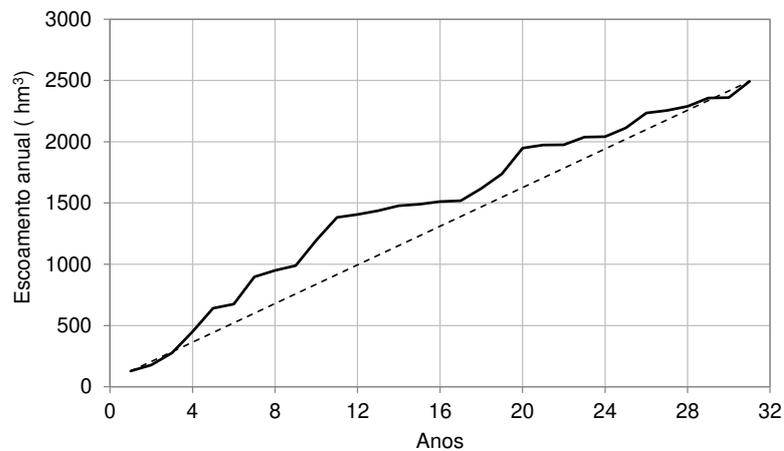
**Figura 3.1 – Localização das estações hidrométricas na proximidade da barragem de Montargil.**

Para obter a curva de duração anual do caudal médio diário, foi seleccionada a EH de Pavia, que apresenta uma altura de escoamento semelhante à obtida para a barragem e apresenta a série mais longa de registos, de cerca de 31 anos.

A análise de qualidade dos dados hidrométricos incidiu sobre os registos de escoamento anual e teve como objetivo avaliar a homogeneidade e consistência dos mesmos. A análise da homogeneidade dos registos foi efetuada mediante ensaios de valores simplesmente acumulados e o teste de Wald-Wolfowitz para as EH em análise, apresentando-se de seguida os resultados apenas para a EH seleccionada (Pavia).

O teste de valores simplesmente acumulados utiliza a representação gráfica do correspondente escoamento acumulado ao longo dos sucessivos anos do período de registos. Foi considerado que uma série de registos não denota quebra de homogeneidade se a poligonal de escoamentos acumulados obtida não apresentar desvios alectórios e pouco significativos em relação ao segmento de reta definido pela origem dos registos e pelo ponto correspondente ao último ano do período de registos.

A **Figura 3.2** apresenta os resultados para os escoamentos médios anuais na EH de Pavia. A observação do gráfico não permite aferir a qualidade da série.



**Figura 3.2 – EH de Pavia. Teste de valores simplesmente acumulados.**

Desta forma, foi efetuado também o teste de Wald-Wolfowitz para evitar alguma subjetividade na apreciação dos resultados inconclusivos da análise dos valores acumulados.

O teste estatístico de Wald-Wolfowitz verifica se os  $N$  elementos de uma série  $\alpha$  têm todos a mesma distribuição, constituindo um teste geral de homogeneidade. No **Quadro 3.2** são apresentados os resultados da aplicação do teste de Wald-Wolfowitz, assim como os limites superiores e inferiores da estatística  $R$  do teste para o nível de confiança de 95%. Estes resultados mostram que a hipótese de homogeneidade da série de escoamentos anuais não é rejeitada, para o nível de confiança considerado.

**Quadro 3.2 – EH de Pavia. Resultados do teste de Wald-Wolfowitz.**

Nº de registos	Teste de Wald-Wolfowitz			
	Limite inferior	Limite superior	Estatística	Hipótese de homogeneidade
31	9	24	17	Não rejeitada

Assim, e de acordo com o exposto anteriormente, foi considerado que os registos da EH de Pavia são homogéneos, pelo que foram considerados na caracterização do regime de caudais naturais afluentes à barragem de Montargil.

### 3.2.3 Afluências em regime natural

A série de caudais médios diários afluentes à secção da barragem de Montargil foi obtida por transposição da série de caudais médios diários registada na estação hidrométrica de Pavia.

A transposição da série de caudais da EH para a secção da barragem foi efetuada recorrendo à relação entre o caudal modular na barragem e o caudal modular na EH:

$$Q_{i\text{bar}} = \frac{Q_{\text{mod bar}}}{Q_{\text{mod EH}}} Q_{i\text{EH}}$$

onde

$Q_{i\text{bar}}$  – caudal médio diário no dia  $i$ , na barragem;

$Q_{i\text{EH}}$  - caudal médio diário no dia  $i$ , na EH;

$Q_{\text{mod bar}}$  - caudal modular na barragem ( $Q_{\text{mod bar}} = 6,02 \text{ m}^3/\text{s}$ );

$Q_{\text{mod EH}}$  - caudal modular na EH ( $Q_{\text{mod EH}} = 2,55 \text{ m}^2/\text{s}$ ).

Na **Figura 3.3** é apresentada a curva de duração anual do caudal médio diário para a barragem de Montargil e no **Quadro 3.2** são apresentadas as afluências mensais em ano médio.

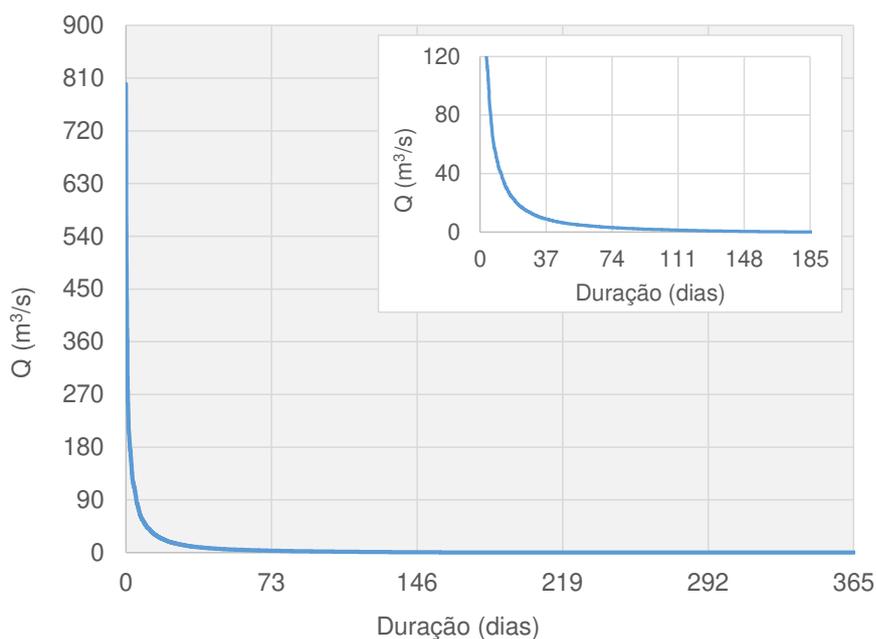


Figura 3.3 – Curva de duração anual do caudal médio diário da barragem de Montargil.

Quadro 3.3 – Afluências em ano médio à barragem de Montargil.

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
Caudal (m³/s)	1,15	5,57	12,47	15,72	19,08	11,93	5,51	0,88	0,66	0,08	0,00	0,01	6,02

### 3.2.4 Método do Plano Nacional da Água - PNA

Alves e Bernardo (2003) propõem um método hidráulico, designado por método do PNA (2002), aplicável a Portugal Continental para determinar o RCE a garantir a jusante de AH, que admitem conduzir a um regime modificado que, na sua variabilidade intra-anual, mimetiza o regime natural.

Tal método considera a divisão do país em três regiões – a área de estudo está incluída na “Região a Sul do rio Tejo” –, que os autores identificam como hidrologicamente homogéneas, cada uma com um RCE associado, definido à escala mensal, com base nos quantis obtidos a partir das curvas de duração médias anuais referentes aos sucessivos meses.

Este método habitualmente serve de base para a definição do RCE dos Contratos de Concessão (CC), de acordo com o Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio. No caso dos aproveitamentos hidroagrícolas do Maranhão e de Montargil, o CC (ARHT/2071.10/T/C.CA.S) foi assinado em 2010, e será apresentado no **subcapítulo 4.1**.

### 3.2.5 Método IFIM

A *Instream Flow Incremental Methodology* – IFIM – (Bovee et al., 1982), desenvolvida pelo *Cooperative Instream Flow Service Group* do *United States Fish and Wildlife Service*, constitui uma das metodologias ecohidráulicas mais amplamente utilizadas a nível mundial para a determinação de RCE. Pode ser considerado como um sistema de apoio à decisão, incorporando conhecimentos interdisciplinares (e.g., biologia, ecologia, hidráulica) com o intuito de avaliar os benefícios e as consequências de diferentes regimes de caudais.

Os procedimentos de amostragem de campo associados ao IFIM foram descritos no **Tomo 2**, sendo em seguida descrita a metodologia do tratamento da informação.

Com base nos resultados obtidos foram realizados histogramas de frequência de uso para incrementos das variáveis descritoras do habitat (i.e. número de exemplares capturados naquela classe de incremento/número total de exemplares capturados).

Para analisar diferenças ontogenéticas no habitat preferido do barbo, os dados obtidos foram estratificados em duas classes de dimensão (< 120 e > 120 mm de comprimento total, CT); que genericamente correspondem aos estágios de vida de juvenil e adulto. Da mesma forma foram gerados histogramas de frequência para incrementos dos valores de habitat disponível (Maki-Petays et al. 1997).

Por fim, a preferência (estratificada para as classes de dimensão/idade dos exemplares) em relação ao habitat foi definida, numa base sazonal, para cada incremento e para cada variável ambiental, de acordo como: (uso proporcional) / (disponibilidade proporcional). Os valores de preferência para cada incremento de determinada variável ambiental foram divididos pelo maior valor de preferência para que o índice de preferência final esteja compreendido entre: 0 – habitat não adaptado – até 1 – habitat ótimo.

## 4 REGIME DE CAUDAIS DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PARA A BARRAGEM DE MONTARGIL

### 4.1 REGIME ACTUAL

O RCE foi definido no CC (ARHT/2071.10/T/C.CA.S) assinado em 2010, não se tendo ainda iniciado a libertação de caudais. Importa referir que nenhuma das barragens tem atualmente dispositivos dedicados para descarga dos RCE.

No referido CC está identificado que no a jusante da barragem deverá ser assegurado um RCE com a distribuição mensal percentual indicada no quadro seguinte.

**Quadro 4.1 – Distribuição percentual mensal do regime de caudais ecológicos estipulada no CC.**

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
<b>Regime de Caudal Ecológico (15% do Escoamento médio anual)</b>	4	8	13	17	21	13	10	7	4	1	0	2

O escoamento anual médio estimado para a barragem de Montargil é de 190 hm<sup>3</sup>. O regime de caudal ecológico do CC corresponde a cerca de 15% deste escoamento anual médio, ou seja, cerca de 28,50 hm<sup>3</sup>, correspondendo a um caudal médio diário de 0,90 m<sup>3</sup>/s. No **Quadro 4.2** é apresentado o RCE identificado no CC.

**Quadro 4.2 – Regime de caudais ecológicos estipulados no CC da barragem do Montargil.**

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Anual
<b>Regime de Caudal Ecológico (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,43	0,88	1,38	1,81	2,47	1,38	1,10	0,74	0,44	0,11	0,00	0,22	0,90

Os registos de caudais libertados a jusante da barragem do Montargil foram analisados, tendo como objetivo compreender o regime de exploração da barragem, bem como o regime de caudais existente na ribeira de Sor. Os registos analisados são referentes a um período de seis anos hidrológicos, de 2013/2014 a 2018/2019.

Os caudais existentes na ribeira de Sor, em situações normais de exploração (excluindo os caudais libertados pelo descarregador de cheias e pela descarga de fundo) são provenientes do *bypass* existente no canal de rega, a cerca 130 m da zona de restituição da central hidroelétrica. Os caudais turbinados e os caudais fornecidos para rega são libertados na bacia de restituição existente a jusante da central, sendo posteriormente encaminhados para o canal de rega (**Figura 4.1**).



Figura 4.1 – Localização da bacia de restituição da central e canal de *bypass*.

Os registos disponíveis são insuficientes para se conhecer o caudal médio diário libertado para ribeira de Sor através deste canal de *bypass*.

## 4.2 REGIME PROPOSTO

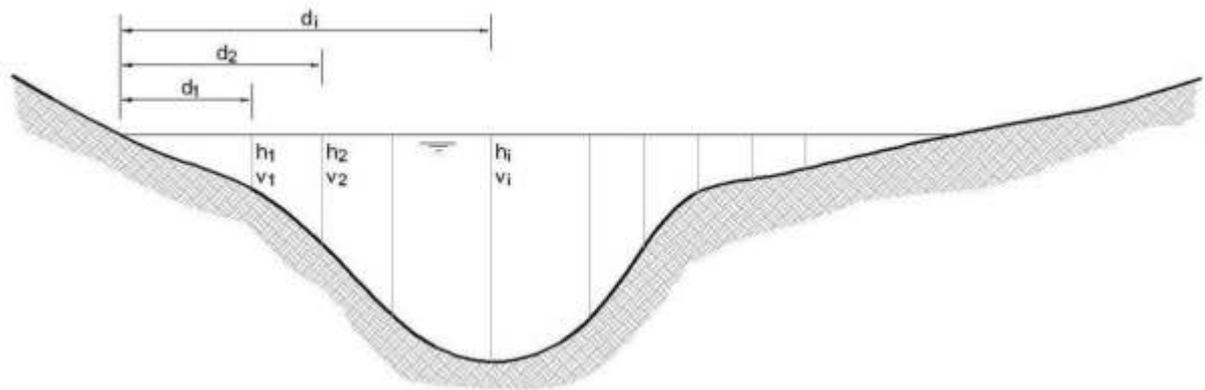
### 4.2.1 MEDIÇÃO DE CAUDAL

#### 4.2.1.1 Metodologia

A medição de caudal de um curso de água pode ser efetuada pela integração das velocidades numa secção normal ao escoamento. O procedimento adotado é uma simplificação deste método, adequada ao âmbito do trabalho em curso.

Para o efeito foi selecionada uma secção aproximadamente perpendicular ao escoamento, com o menor número possível de obstáculos e irregularidades que induzam variações bruscas na velocidade ao longo da secção.

Foi Estabelecido um conjunto de perfis verticais que, no seu conjunto, permitisse caraterizar a distribuição transversal da velocidade, colocando um maior número de perfis nas zonas com maiores variações, quer de velocidade, quer de profundidade, conforme se apresenta na **Figura 4.2**.



**Figura 4.2 – Exemplo de secção transversal da linha de água.**

Foram registados os valores da velocidade e respetiva profundidade de cada perfil ( $h_i$ ). Se a profundidade  $h$  for inferior a 0,75 m, deve executar-se a medição de velocidade a  $0,6 h$ , caso contrário deve executar-se duas medições a  $0,2 h$  e a  $0,8 h$ , adotando o respetivo valor médio.

A profundidade foi medida com uma régua graduada e a velocidade com um molinete, mantendo o eixo na direção do escoamento e respeitando um tempo de espera não inferior a 40 s (Kondolf *et al.*, 2000).

O registo das velocidades e das respetivas profundidades de cada secção transversal foi efetuado na ficha de campo (**Figura 4.3**).



**FICHA DE MEDIÇÃO DE CAUDAL**

Trabalho: \_\_\_\_\_

Linha de água: \_\_\_\_\_ Local: \_\_\_\_\_

Data e hora: \_\_\_\_\_ Técnicos Presentes: \_\_\_\_\_

Largura total da secção: \_\_\_\_\_ cm  
 Profundidade máxima: \_\_\_\_\_ cm  
 Número de perfis verticais: \_\_\_\_\_

Perfil vertical #	Distância à margem (cm)	Profundidade do perfil (cm)	Velocidade medida (cm/s)		Velocidade média (cm/s)	Caudal entre os perfis i e i-1 (m <sup>3</sup> /s)	Observações
			med. a 0,6h (h<75cm) med. a 0,2h (h>75cm)	med. a 0,8h (h>75cm)			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4} = \frac{\quad}{\quad} \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{l/s}}$$

Figura 4.3 – Ficha de campo para medição de caudal.

Após preenchimento da ficha de medição de caudal procede-se ao cálculo do caudal com recurso à seguinte expressão:

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4}$$

em que:

- Q – caudal na secção (m<sup>3</sup>/s);
- D<sub>i</sub> – distância à margem do perfil i (m);
- h<sub>i</sub> – profundidade no perfil i (m);
- v<sub>i</sub> – velocidade no perfil i (m/s).

#### 4.2.1.2 Medições efetuadas

A medição de caudal ocorreu no dia 12 de abril de 2021, na ribeira de Sor, em três secções transversais do trecho representativo, com profundidades compatíveis com a realização das medições pretendidas (**Fotografia 4.1**).



Fotografia 4.1 – Medição de caudal na ribeira da Sor.

No **Quadro 4.3** é apresentado um resumo das principais características das medições efetuadas, constando do Anexo I as respetivas fichas de campo.

Quadro 4.3 – Principais características das medições efetuadas.

Local	Largura total da secção (m)	Velocidade máxima (m/s)	Profundidade máxima (m)	Caudal medido (m <sup>3</sup> /s)
Secção 1	2,40	1,30	0,21	0,36
Secção 2	3,70	1,10	0,23	0,37
Secção 3	2,60	1,25	0,22	0,33

#### 4.2.2 MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA DO ESCOAMENTO

##### 4.2.2.1 Características gerais

Existe atualmente um conjunto alargado de estudos que comprovam a utilidade da aplicação dos modelos bidimensionais (2D) na modelação de *habitats* para as espécies aquáticas. Referem-se as principais potencialidades e vantagens na utilização destes modelos:

- os modelos 2D conseguem prever com maior rigor alterações nos valores de superfície ponderada utilizável (SPU), devido a alterações no caudal e também a alterações na morfologia do leito;
- os modelos 2D representam, explicitamente, os habitats complexos, incluindo escoamentos transversais, gradientes de velocidade e variação da altura de escoamento transversal no curso de água;
- a distribuição da velocidade é feita a uma microescala, ao contrário dos modelos unidimensionais, o que possibilita um estudo pormenorizado dos habitats no troço;

- d) os modelos 2D evitam problemas de localização dos transeptos, uma vez que a unidade de mesohabitat pode ser modelada na totalidade;
- e) a resolução espacial dos modelos 2D é adaptável à escala do habitat individual piscícola;
- f) a escala espacial do modelo pode ser alterada de acordo com os objetivos do estudo e os recursos disponíveis, aumentando ou diminuindo a discretização da malha;
- g) os modelos 2D têm potencialidades para modelar a profundidade e velocidade de uma forma mais exata que os modelos unidimensionais, porque têm conta a rugosidade e a topografia do leito para montante e para jusante.
- h) os modelos 2D interpretam o curso de água como uma continuidade de pontos individuais numa malha bidimensional, em vez de considerarem o curso de água como um número de secções transversais (como os modelos unidimensionais). A velocidade e a profundidade são calculadas para células individuais distribuídas ao longo do canal;
- i) os modelos 2D, em geral, não necessitam de um esforço muito grande de calibração.

A modelação de *habitats* piscícolas usando modelos hidrodinâmicos 2D, com base numa representação topográfica tão rigorosa quanto possível da morfologia do curso de água, é uma das linhas de análise que atualmente assume maior importância.

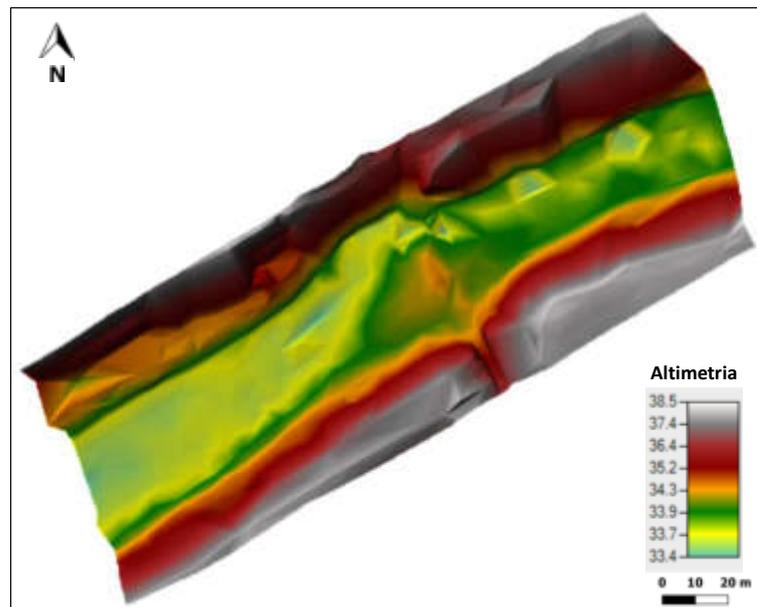
O leito é discretizado numa malha de elementos finitos e em cada ponto de cálculo são obtidos os valores da profundidade e as duas componentes (horizontais) da velocidade.

Na modelação 2D a velocidade de escoamento varia de ponto a ponto, segundo a sua direcção, considerando o respetivo valor médio segundo a vertical. Os modelos 2D são baseados na equação da conservação da massa e da conservação do momento segundo duas direcções horizontais.

A modelação 2D do escoamento foi efetuada com recurso ao modelo HecRas2D, tendo permitido obter a distribuição em planta da velocidade média vertical e a aplicação da metodologia IFIM.

#### 4.2.2.2 Modelação do troço em estudo

A modelação do escoamento no troço em estudo foi efetuada para a gama de caudais de 0,20 a 8 m<sup>3</sup>/s, considerando o modelo topográfico apresentado na **Figura 4.4 a)** e as classes de substrato na **Figura 4.4 b)**, obtidas através da observação direta em campo e de imagens de satélite.



a)



b)

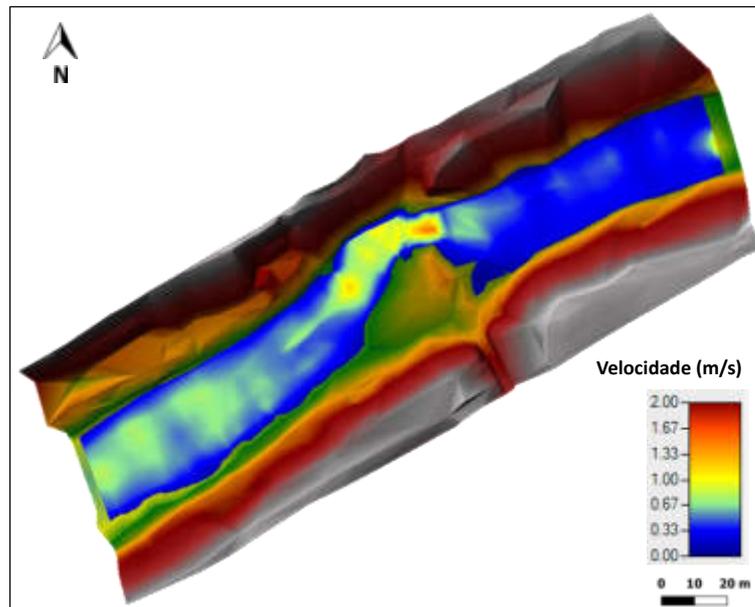
**Figura 4.4 – Modelação do troço na ribeira de Sor: a) modelo topográfico; b) classes de substrato.**

O substrato do troço da ribeira de Sor utilizado é constituído maioritariamente por areia, facilmente alterado por eventos de cheia, correspondendo, assim, a um leito com elevada mobilidade. Após as cheias ocorridos no inverno de 2020/21, o leito do rio assumiu uma configuração diferente da registada no levantamento topográfico anteriormente efetuado. Desta forma, não foi possível efetuar a calibração do modelo hidráulico, pelo que a rugosidade do leito foi atribuída de acordo com as classes de substrato existentes (**Quadro 4.4**).

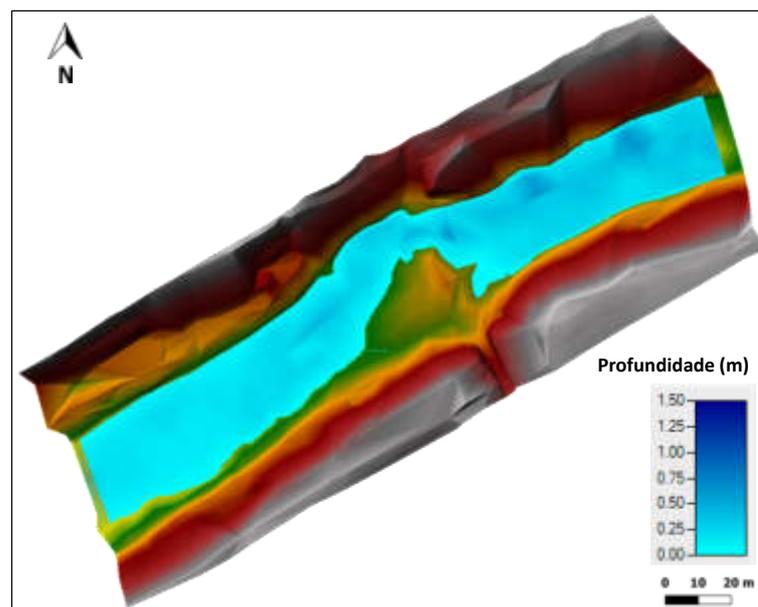
**Quadro 4.4 – Correspondência entre as classes de substrato e a rugosidade do leito.  
Ribeira de Sor.**

Substrato	Rugosidade	
	K	n
Areia (0,02 - 0,2 cm)	45	0,022
Areia grossa/ Cascalho (1,6 - 6,4 cm)	38	0,026
Pedras (6,4 - 26 cm)	20	0,050
Vegetação	16	0,063

Como exemplo dos resultados obtidos, na **Figura 4.5** são apresentadas as velocidades e profundidades de escoamento obtidos para um caudal de 2,00 m<sup>3</sup>/s.



a)



b)

Figura 4.5 – Resultados da modelação hidráulica para  $Q = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$ : a) velocidade (m/s); b) profundidade (m).

## 4.2.3 CRITÉRIOS DE USO DE HABITAT

### 4.2.3.1 Considerações prévias

Os critérios de utilização piscícola são elementos essenciais na aplicação da metodologia IFIM, devendo ser estabelecidos na área de estudo como foi o caso, já que a possibilidade de transferência destes critérios entre bacias é globalmente criticada, podendo ser realizada

somente após validação para a bacia específica em estudo (e.g., Groshens e Orth, 1993; Thomas e Bovee, 1993). Os critérios determinados são posteriormente utilizados para avaliar a qualidade do habitat nas áreas de estudo através da metodologia incremental (IFIM).

A determinação de critérios de aptidão habitacional pode utilizar diferentes abordagens (Bovee *et al.*, 1998). Os critérios da categoria I são desenvolvidos com base na literatura, opinião pericial e experiência profissional sobre uma dada espécie, ou ainda definidos através de negociação.

Os critérios de Categoria II incidem nas distribuições de frequências das características dos microhabitats ocupados pelos indivíduos das espécies alvo no momento em que estes são observados. Estes critérios são designados por funções de utilização ou de uso de *habitat* e descrevem as características de *habitat* utilizadas para um dado segmento fluvial, por uma espécie, numa determinada fase do seu ciclo de vida (Bovee *et al.*, 1998). Os critérios estabelecidos deste modo têm a vantagem de serem baseados em dados de campo recolhidos para o efeito e não somente com base em opinião pericial. Não obstante, estes critérios não têm em linha de conta a disponibilidade ambiental, que naturalmente varia nos sistemas fluviais mediterrânicos, podendo, conseqüentemente, ser enviesados. De facto, as funções de uso podem não descrever rigorosamente as preferências das espécies, já que as condições ótimas nem sempre estão presentes ou têm uma representação pequena no curso de água, sendo conseqüentemente pouco utilizadas (Bovee *et al.*, 1998).

Os critérios de Categoria III foram desenvolvidos para reduzir o enviesamento associado ao *habitat* disponível (Bovee *et al.*, 1998), estabelecendo-se, para esse fim, critérios de preferência, cujo princípio assenta na relação entre o habitat utilizado e disponível. Os critérios de preferência são mais independentes das condições do meio do que as funções de uso. Como limitação, cita-se o facto de ser necessária maior quantidade de informação de campo do que na categoria II (Bovee e Zuboy, 1986).

#### 4.2.3.1 Resultados

No **Quadro 4.5** são apresentados os valores médios de disponibilidade e de uso para as variáveis contínuas pelas duas classes de dimensão do barbo-comum.

**Quadro 4.5 – Valores médios (+ desvio padrão) das variáveis profundidade (em cm) e velocidade da corrente (em m/s) disponíveis e utilizadas nas 3 épocas do ano avaliadas.**

	Barbo < 120 mm	Barbo > 120 mm
<b>Primavera</b>		
<b>Profundidade (cm)</b>		
Disponível	48,85+25,79	
Utilizada	46,43+31,02	62,24+21,77

	Barbo < 120 mm	Barbo > 120 mm
<b>Outono</b>		
<b>Velocidade (m/s)</b>		
Disponível	0,33+0,29	
Utilizada	0,36+0,25	0,52+0,28
<b>Profundidade (cm)</b>		
Disponível	53,09+27,58	
Utilizada	39,63+13,85	N/A
<b>Velocidade (m/s)</b>		
Disponível	0,59+0,47	
Utilizada	0,19+0,32	N/A
<b>Inverno</b>		
<b>Profundidade (cm)</b>		
Disponível	57,10+21,98	
Utilizada	59,97+13,03	61,57+23,92
<b>Velocidade (m/s)</b>		
Disponível	0,37+0,33	
Utilizada	0,11+0,13	0,37+0,28

No **Quadro 4.6** são apresentados os critérios de preferência (uso proporcional/disponibilidade proporcional, relativizada para variar entre 0 e 1) determinados para incrementos das variáveis descritoras do *habitat* piscícola (profundidade, substrato e velocidade).

**Quadro 4.6 – Critérios de preferência (entre 0 e 1) de duas classes de dimensão do barbo-comum para variáveis habitacionais na área de estudo.**

	Barbo < 120 mm		Barbo > 120 mm	
<b>PRIMAVERA</b>				
Velocidade	<b>Velocidade</b>	<b>Preferência</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Preferência</b>
	<0,18	0,39	<0,18	0,08
	0,19-0,36	0,80	0,19-0,36	0,15
	0,37-0,54	0,51	0,37-0,54	0,24
	0,55-0,71	0,56	0,55-0,71	0,35
	0,72-0,89	0,00	0,72-0,89	1,00
	0,90-1,07	1,00	0,90-1,07	0,39
	>1,08	0,00	>1,08	0,25

		Barbo < 120 mm		Barbo > 120 mm	
Profundidade	<b>Profundidade</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Preferência</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Preferência</b>
		<5,9	0,00	6,0-22,7	0,07
		6,0-22,7	0,28	22,8-39,4	0,29
		22,8-39,4	0,59	39,5-56,1	0,57
		39,5-56,1	0,25	56,2-72,9	0,66
		56,2-72,9	0,06	73,0-89,6	0,88
		73,0-89,6	0,36	89,7-106,3	1,00
		89,7-106,3	0,37	>106,4	0,00
		>106,4	1,00		
Substrato	<b>Substrato</b>	<b>Substrato</b>	<b>Preferência</b>	<b>Substrato</b>	<b>Preferência</b>
		areia	0,74	areia	0,33
		cascalho	0,23	cascalho	0,22
		Pedra	1,00	Pedra	1,00
		gravilha	0,00	gravilha	0,82
<b>OUTONO</b>					
Velocidade	<b>Velocidade</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Preferência</b>		
		<0,27	1,00		
		0,28-0,54	0,26		
		0,55-0,81	0,20		
		0,82-1,09	0,12		
		1,10-1,36	0,04		
		1,37-1,63	0,25		
		1,64-1,90	0,19		
	>1,90	0,00			
Profundidade	<b>Profundidade</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Preferência</b>		
		<25,9	0,78		
		26,0-40,7	0,87		
		40,8-55,6	1,00		
		55,7-70,4	0,52		
		70,5-85,3	0,14		
		85,4-100,1	0,00		
	>100,1	0,00			
Substrato	<b>Substrato</b>	<b>Substrato</b>	<b>Preferência</b>		
		areia	0,68		
		cascalho	0,40		
		Pedra	0,46		
		gravilha	1,00		
		vasa	0,00		
	rocha	0,00			

	Barbo < 120 mm		Barbo > 120 mm	
	INVERNO			
Velocidade	Velocidade	Preferência	Velocidade	Preferência
	<0,20	1,00	<0,20	0,69
	0,21-0,40	0,53	0,21-0,40	0,53
	0,41-0,60	0,10	0,41-0,60	1,00
	0,61-0,80	0,00	0,61-0,80	0,44
	0,81-1,00	0,00	0,81-1,00	0,87
	1,01-1,20	0,00	1,01-1,20	0,29
	>1,21	0,00	>1,21	0,00
Profundidade	Profundidade	Preferência	Profundidade	Preferência
	<27,7	0,00	<27,7	0,21
	27,8-41,4	0,11	27,8-41,4	0,44
	41,5-55,1	0,40	41,5-55,1	0,36
	55,2-68,9	1,00	55,2-68,9	1,00
	69,0-82,6	0,07	69,0-82,6	0,16
	82,7-96,3	0,23	82,7-96,3	0,60
	>96,4	0,00	>96,4	0,96
Substrato	Substrato	Preferência	Substrato	Preferência
	areia	0,66	areia	0,19
	cascalho	0,04	cascalho	0,04
	Pedra	0,02	Pedra	0,21
	gravilha	0,00	gravilha	0,21
	vasa	0,00	vasa	0,00
	rocha	1,00	rocha	1,00

#### 4.2.4 MODELAÇÃO DO HABITAT

Os modelos de simulação de habitat têm vindo a ser utilizados de forma a prever e quantificar os impactos ecológicos que derivam de alterações das propriedades físicas dos ecossistemas.

A avaliação da adequação do habitat depende da definição de índices que relacionam as condições bióticas e abióticas. O indicador mais usado para descrever a resposta biológica a determinadas condições físicas é o índice de adequação de habitat (HSI, *Habitat Suitability Index*), que utiliza as preferências da espécie-alvo em relação à velocidade do escoamento, à profundidade e ao substrato.

O HSI para um determinado valor de velocidade, profundidade e substrato pode calcular-se através do produto, da média aritmética ou da média geométrica dos valores de VSI (*Velocity*

*Suitability Index*), DSI (*Depth Suitability Index*) e SSI (*Substrate Suitability Index*). As expressões referentes ao produto, média aritmética e geométrica estão representadas de seguida.

$$HSI_p = VSI \times DSI \times SSI$$

$$HSI_a = \frac{VSI + DSI + SSI}{3}$$

$$HSI_g = \sqrt[3]{VSI \times DSI \times SSI}$$

Para o cálculo do índice de adequação de habitat recorreu-se à média geométrica, que assume a existência de compensação de adequabilidade, atribuindo a mesma importância às três variáveis, podendo fornecer um resultado de habitat nulo sempre que uma adequabilidade seja nula.

A superfície ponderada útil (SPU) foi calculada através do somatório do produto do índice de adequação de habitat (HSI) pela sua área de influência em função do caudal modelado, como apresenta a seguinte expressão.

$$SPU = \sum_{n=1}^i A_i \times HSI_i = f(Q)$$

em que  $A_i$  representa a área.

#### 4.2.5 IFIM

Com base na modelação bidimensional do escoamento e nos critérios de uso de habitat estabelecidos no subcapítulo 4.2.3, obtiveram-se as curvas de superfície ponderada útil (SPU) em função dos caudais modelados para o troço fluvial analisado. A SPU é geralmente utilizada como variável decisória no âmbito da definição de RCE a através da aplicação da metodologia IFIM.

Nas **Figura 4.6**, **Figura 4.7** e **Figura 4.8** são apresentadas as curvas de SPU para as três estações do ano em estudo (outono, inverno e primavera) e para os dois estágios de vida do barbo-comum analisados (juvenis e adultos).

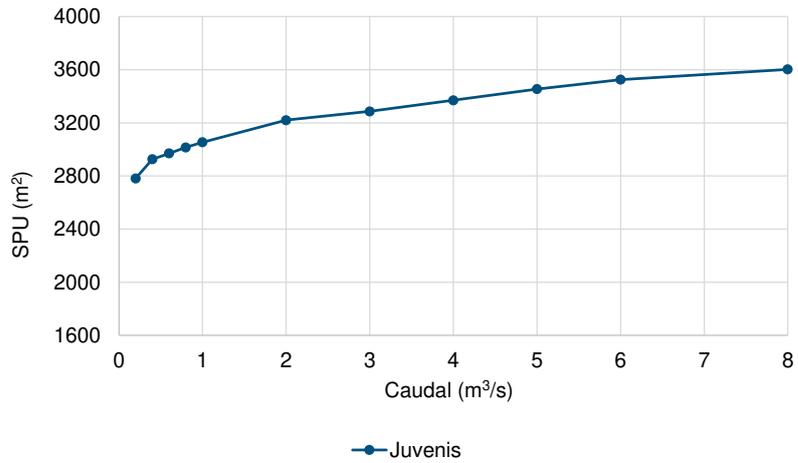


Figura 4.6 – Curvas SPU em função do caudal, para o outono.

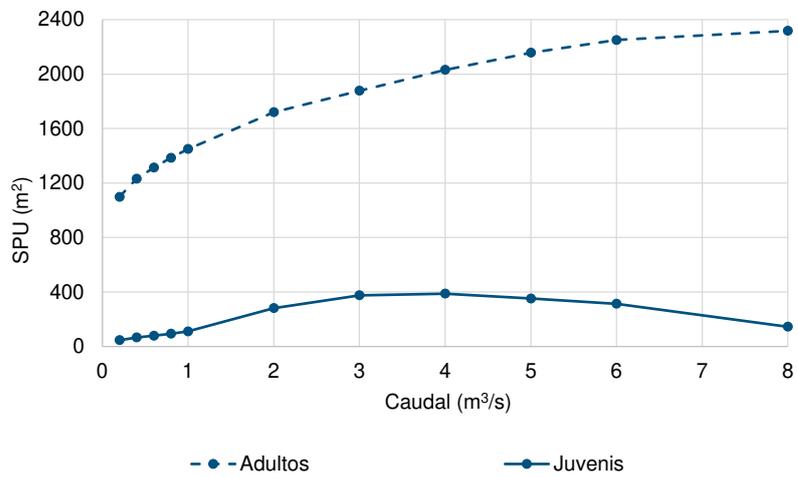


Figura 4.7 – Curvas SPU em função do caudal, para o inverno.

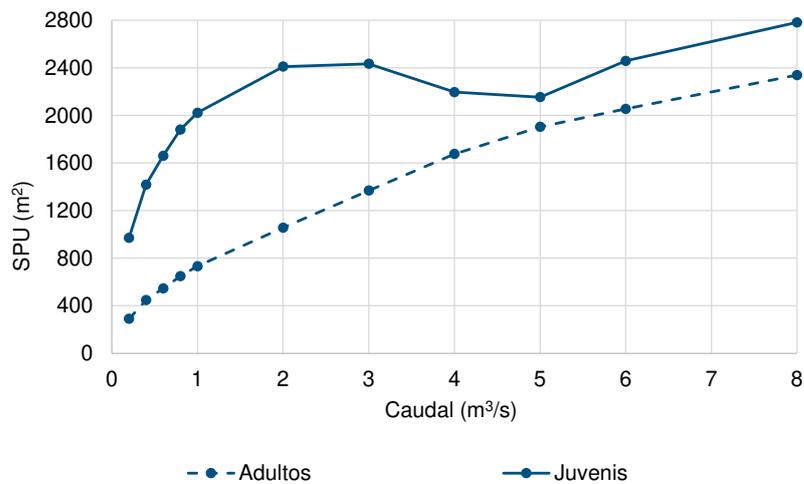


Figura 4.8 – Curvas SPU em função do caudal, para o primavera.

No outono, a curva de SPU para os barbos juvenis atinge um máximo para o caudal de 8 m<sup>3</sup>/s, o maior dos caudais simulados. Nesta estação do ano não foi possível determinar o habitat para os barbos adultos, por não terem sido capturados em número estatisticamente suficiente.

No inverno, os barbos juvenis apresentam valores de SPU significativamente inferiores quando comparados com os barbos adultos. A curva de SPU para os barbos adultos é crescente, sendo verificado um decréscimo da taxa de crescimento para o caudal de 6 m<sup>3</sup>/s. A curva de SPU dos juvenis apresenta um valor máximo para caudais compreendidos entre 3 a 4 m<sup>3</sup>/s.

Na primavera, a curva de SPU para os adultos cresce de forma contínua, não se verificando uma taxa de decréscimo acentuado para a gama de caudais analisada. A curva de SPU para os juvenis apresenta um primeiro máximo compreendido entre os caudais de 2 a 3 m<sup>3</sup>/s, verificando-se um decréscimo seguido de um acréscimo para caudais mais elevados da ordem dos 6 m<sup>3</sup>/s.

De notar que as curvas SPU apresentadas estão fortemente dependentes da topografia do local analisado, que neste caso particular não apresenta um carácter fixo, visto que o leito é constituído maioritariamente por areia. Acresce que em rios de planície, com leito de máxima cheia de grandes dimensões e com um leito não confinado e com características habitacionais pouco diversas, o aumento do caudal simulado produz, frequentemente, um aumento continuado da SPU, que só estabiliza para caudais muito elevados. Desta forma, as curvas SPU obtidas devem ser interpretadas com precaução, também por serem incontornavelmente variáveis em função do tempo para o mesmo local.

Assim, e dado o carácter variável das curvas SPU, foi decidido assumir uma SPU máxima para o caudal de 6 m<sup>3</sup>/s para os juvenis no outono e para os adultos no inverno e primavera. No caso particular dos juvenis na primavera, foi assumido o valor correspondente ao primeiro máximo da curva SPU (caudal de 3 m<sup>3</sup>/s).

#### 4.2.6 REGIME DE CAUDAL DE MANUTENÇÃO ECOLÓGICA PROPOSTO

O estabelecimento do RCE com recurso à análise dos resultados das curvas SPU, para massas de água fortemente alteradas hidrologicamente, aponta para valores de SPU variáveis entre 30 a 80% do valor máximo de SPU (AQUALOGUS, 2017).

Na **Figura 4.9**, **Figura 4.10** e **Figura 4.11** são apresentadas as curvas de SPU adimensionalizadas pelo valor máximo de SPU para a três estações do ano analisadas. Foram consideradas, para efeitos de análise, percentagens de SPU máxima de 50 e 75%, ou seja, um valor mínimo bastante superior ao limite inferior indicado no parágrafo anterior, e um valor máximo próximo do valor indicado nesse parágrafo.

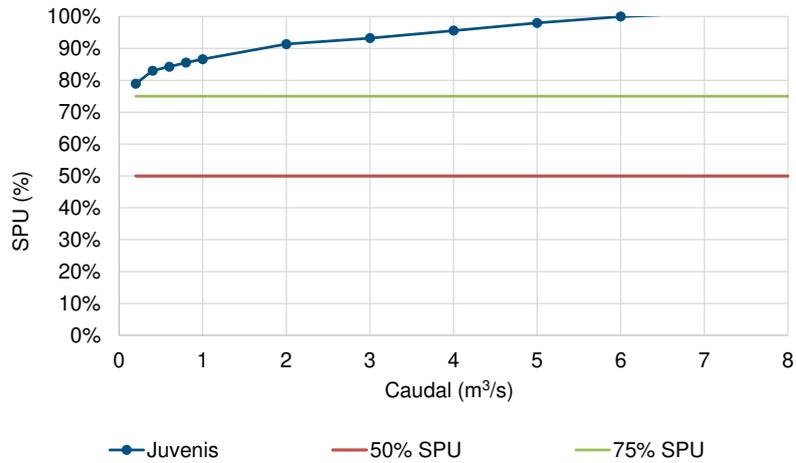


Figura 4.9 – Curva SPU adimensionalizada em função do caudal para o outono.

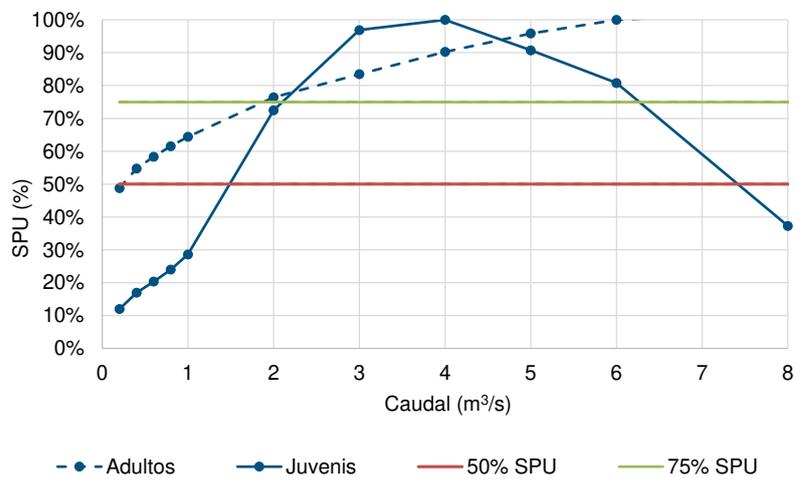


Figura 4.10 – Curvas SPU adimensionalizadas em função do caudal para o inverno.

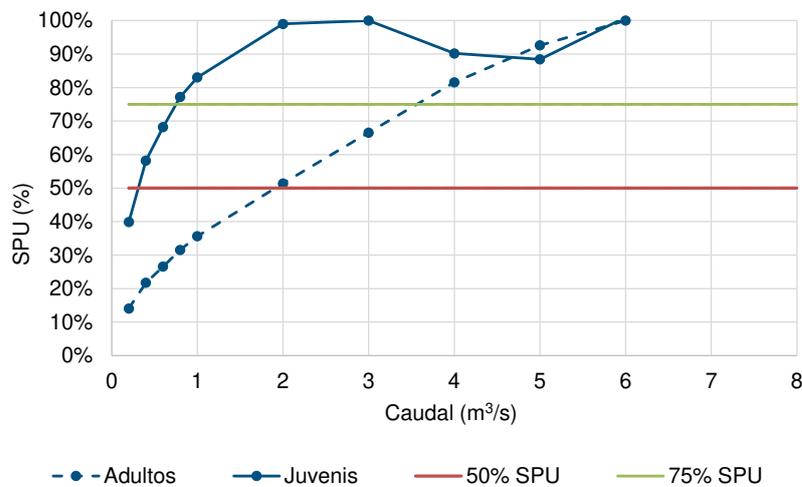


Figura 4.11 – Curvas SPU adimensionalizadas em função do caudal para o primavera.

Da observação das curvas de SPU anteriores, foi verificado que o valor correspondente a 50% da SPU máxima conduz a valores significativamente baixos de caudal no rio (inferior ao caudal mínimo modelado de 0,20 m<sup>3</sup>/s para o outono).

Desta forma, foi definido o RCE com base no estabelecimento dos 75% de SPU máxima da espécie alvo em função da estação do ano. Para o inverno a prioridade foi obter valores de SPU superiores para os adultos, enquanto na primavera a prioridade recaiu sobre os juvenis, com o objetivo de manter um caudal que permita uma SPU igual ou superior a 75%.

Os valores de caudal propostos, tendo em conta as curvas de SPU obtidas e os limites indicados, são:

- Outono – caudal de 0,50 m<sup>3</sup>/s, superior a 75% de SPU máxima para os juvenis;
- Inverno – caudal de 1,50 m<sup>3</sup>/s, cerca de 70% de SPU máxima para os adultos e próximo do valor de 50% de SPU máxima para os juvenis;
- Primavera – caudal de 0,80 m<sup>3</sup>/s, correspondente a 75% de SPU máxima para os juvenis e cerca de 30% de SPU máxima para os adultos.

No **Quadro 4.7** é apresentado o RCE do CC e o proposto em função dos resultados do método IFIM. O RCE proposto através da aplicação da metodologia IFIM corresponde a cerca de 12% do escoamento anual médio afluente à barragem.

**Quadro 4.7 – RCE do CC e RCE proposto.**

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Volume anual (hm <sup>3</sup> )	% Escoamento anual médio
<b>Q<sub>ecc</sub> CC (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,43	0,88	1,38	1,81	2,47	1,38	1,10	0,74	0,44	0,11	0,00	0,22	28,50	15
<b>Q<sub>ecc</sub> Proposto (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,50	0,50	1,50	1,50	1,50	0,80	0,80	0,80	0,20	0,20	0,10	0,20	22,50	12

Em anos secos, os caudais constantes do RCE para situações normais poderão ser corrigidos por fatores de redução. Para que o ano possa ser considerado como seco, para efeitos de aplicação dos referidos fatores de redução, pode ser verificado se a precipitação acumulada num ou mais postos udográficos situados na bacia hidrográfica da barragem (ou na sua proximidade) é inferior a 20 % do respetivo valor médio anual acumulado para os 6 meses antecedentes ou de, comprovadamente, as reservas existentes na albufeira não poderem satisfazer simultaneamente os usos previstos e o RCE estabelecido para uma situação normal.

Para o caso específico do AH de Montargil, para comprovar junto da Autoridade Nacional da Água que se cumprem os pressupostos acima identificados, recomenda-se a análise de pelo menos os seguintes postos udométricos, incluídos na bacia hidrográfica: Comenda (17K/01UG); Laranjal (18I/01C) e Barragem de Montargil (19H/02C).

É frequente considerar que o fator de redução de base mensal, não poderá ser inferior a 0,25. Desta forma, o RCE em ano seco foi obtido através do RCE definido afetado pelo fator de 0,25 para a generalidades dos meses. A única exceção corresponde ao período estival, junho a setembro, onde se verificam caudais ecológicos inferiores, tendo sido neste caso assumindo um fator redução de 0,50.

O **Quadro 4.8** apresenta o RCE geral proposto bem como o que deverá ser aplicado nos anos secos. Importa novamente referir que a situação de anos secos terá de ser previamente justificada à Autoridade Nacional da Água, sendo que a descarga desses valores só poderá ocorrer após a autorização da referida Entidade.

**Quadro 4.8 – RCE proposto e RCE proposto para os anos secos.**

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
<b>Q<sub>eco</sub> Proposto (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,50	0,50	1,50	1,50	1,50	0,80	0,80	0,80	0,20	0,20	0,10	0,20
<b>Fator de redução (-)</b>	0,25								0,50			
<b>Q<sub>eco</sub> Proposto em ano seco (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,13	0,13	0,38	0,38	0,38	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,05	0,10

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A massa de água fortemente modificada da ribeira de Sor a jusante da barragem de Montargil apresenta um leito constituído maioritariamente por areia, com escassas zonas de ensombramento e, conseqüentemente, de abrigo para a espécie-alvo (barbo-comum). A estes fatores acresce a largura considerável do leito do rio e o seu reduzido confinamento, que promove a existência de um escoamento para caudais inferiores em leito central de reduzida largura, impossibilitando o abrigo das ictiocenoses.

Estas características do rio refletem-se indiretamente nos resultados das curvas de SPU, obtendo-se curvas sempre crescentes para uma gama de caudais alargada.

Como anteriormente referido, as curvas SPU obtidas para a ribeira de Sor são inevitavelmente variáveis em função do tempo, à medida que ocorrem eventos de cheias, visto que estamos perante leitões móveis. Esta particularidade conduz à aplicação da metodologia IFIM com reservas.

Não obstante, foi possível aplicar o IFIM, correspondendo o RCE proposto a cerca de 12% do escoamento anual médio à barragem.

Como é referido por vários autores (e.g. Godinho *et al.*, 2014), a aplicação das metodologias de determinação de RCE em rios Ibéricos, incluindo a metodologia IFIM, continua a apresentar vários aspetos menos consolidados, pelo que a implementação de qualquer RCE deve adotar uma estratégia adaptativa.

Somente a monitorização ecológica dos efeitos do RCE irá permitir avaliar se os caudais libertados permitem, ou não, alcançar os objetivos ecológicos estabelecidos e se é necessário ponderar a alteração desses valores ou a adoção de medidas complementares de mitigação. Acresce referir que no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio, mais especificamente no Artigo 5.º, é referido que o Concessionário terá de implementar Programas de Monitorização de Autocontrolo<sup>2</sup> cujo objetivo para as massas de água fortemente modificadas a jusante da barragem do Maranhão é o de Bom Potencial Ecológico.

---

<sup>2</sup> Definidos na Lei da Água como “processo de recolha e processamento de informação sobre as várias componentes do ciclo hidrológico e elementos de qualidade para a classificação do estado das águas, de forma sistemática, visando acompanhar o comportamento do sistema ou um objetivo específico”

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, M.H. e J.M. Bernardo (2003). *Caudais Ecológicos em Portugal*. INAG, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, Portugal.

Aqualogus (2017). Guia Metodológico de Definição de Regimes de Caudais Ecológicos para Aproveitamentos Hidráulicos, adaptado às diferentes Regiões de Portugal Continental, visando melhorar o Estado das Massas de Água. Tarefa 1. Projeto POSEUR-03-2013-FC-000001 – Melhoria da Avaliação do Estado das Massas de Água – Relatório não publicado.

Bovee, K. D. (1982) - A Guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper 12, U.S. Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-82-26.

EC (2015). *Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive*. Guidance Document No. 31 European Commission.

Godinho, F.; Costa, S.; Pinheiro, P.; Reis, F. e A. Pinheiro (2014). Integrated procedure for environmental flow assessment in rivers. *Environmental Processes* 1(2):137-147.

Kondolf, G. M., Larsen, E. W., e Williams, J. G. (2000). Measuring and Modelling the Hydraulic Environment for Assessing Instream Flows. *North American Journal of Fisheries Management*, 20, 1016–1028.

INAG, I.P. e AFN. 2012. Desenvolvimento de um Índice de Qualidade para a Fauna Piscícola. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.

Pinheiro (2019). Enquadramento jurídico dos regimes de caudais ecológicos em Portugal. *In* Miranda, J., Marques, R. C. e A. L. Guimarães (Editores). *Temas de Direito da Água - Volume 2*. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas (ICJP), Centro de Investigação de Direito Público(CIDP).

## **ANEXO I**

### FICHA DE MEDIÇÃO DE CAUDAL

Trabalho: 500\_4\_Omega

Linha de água: Sor Local: Jusante da barragem de Montargil

Data e hora: 12/04/2021 14h30 Técnicos Presentes: Prof. António Pinheiro, Isabel Pragana e Inês Lúcio

Largura total da secção: 2.4 m  
 Profundidade máxima: 0.21 m  
 Número de perfis verticais: 12

Perfil vertical #	Distância à margem (m)	Profundidade do perfil (m)	Velocidade medida (m/s)		Velocidade média (m/s)	Caudal entre os perfis i e i-1 (m³/s)	Observações
			med. a 0,6h (h<75cm) med. a 0,2h (h>75cm)	med. a 0,8h (h>75cm)			
1	0.00	0.00			0.00		
2	0.30	0.09			0.30	0.002	
3	0.50	0.14			0.80	0.013	
4	0.70	0.19			1.10	0.031	
5	0.90	0.19			1.30	0.046	
6	1.10	0.19			1.30	0.049	
7	1.30	0.20			1.30	0.051	
8	1.50	0.20			1.20	0.050	
9	1.70	0.19			1.10	0.045	
10	1.90	0.21			1.10	0.044	
11	2.10	0.17			0.40	0.029	
12	2.40	0.00			0.00	0.005	
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4} = \frac{0.364}{\text{-----}} \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{l/s}}$$

### FICHA DE MEDIÇÃO DE CAUDAL

Trabalho: 500\_4\_Omega

Linha de água: Sor Local: Jusante da barragem de Montargil

Data e hora: 12/04/2021 14h30 Técnicos Presentes: Prof. António Pinheiro, Isabel Pragana e Inês Lúcio

Largura total da secção: 3.7 m  
 Profundidade máxima: 0.23 m  
 Número de perfis verticais: 18

Perfil vertical #	Distância à margem (m)	Profundidade do perfil (m)	Velocidade medida (m/s)		Velocidade média (m/s)	Caudal entre os perfis i e i-1 (m³/s)	Observações
			med. a 0,6h (h<75cm) med. a 0,2h (h>75cm)	med. a 0,8h (h>75cm)			
1	0.00	0.00			0.00		
2	0.50	0.08			0.30	0.003	
3	0.70	0.14			0.50	0.009	
4	0.90	0.18			0.50	0.016	
5	1.10	0.17			0.60	0.019	
6	1.30	0.19			0.80	0.025	
7	1.50	0.21			0.60	0.028	
8	1.70	0.23			0.80	0.031	
9	1.90	0.22			0.90	0.038	
10	2.10	0.21			1.00	0.041	
11	2.30	0.19			1.10	0.042	
12	2.50	0.16			1.10	0.039	
13	2.70	0.14			0.80	0.029	
14	2.90	0.13			0.60	0.019	
15	3.10	0.12			0.85	0.018	
16	3.30	0.15			0.40	0.017	
17	3.50	0.10			0.00	0.005	
18	3.70	0.00			0.00	0.000	
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4} = \frac{0.378}{\text{-----}} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### FICHA DE MEDIÇÃO DE CAUDAL

Trabalho: 500\_4\_Omega

Linha de água: Sor Local: Jusante da barragem de Montargil

Data e hora: 12/04/2021 14h30 Técnicos Presentes: Prof. António Pinheiro, Isabel Pragana e Inês Lúcio

Largura total da secção: 2.6 m  
 Profundidade máxima: 0.22 m  
 Número de perfis verticais: 12

Perfil vertical #	Distância à margem (m)	Profundidade do perfil (m)	Velocidade medida (m/s)		Velocidade média (m/s)	Caudal entre os perfis i e i-1 (m <sup>3</sup> /s)	Observações
			med. a 0,6h (h<75cm) med. a 0,2h (h>75cm)	med. a 0,8h (h>75cm)			
1	0.00	0.05			0.00		
2	0.20	0.13			0.50	0.005	
3	0.40	0.16			1.10	0.023	
4	0.60	0.15			1.10	0.034	
5	0.80	0.18			1.20	0.038	
6	1.00	0.19			1.20	0.044	
7	1.20	0.22			1.25	0.050	
8	1.40	0.15			1.20	0.045	
9	1.60	0.17			0.80	0.032	
10	1.80	0.17			0.60	0.024	
11	2.00	0.20			0.55	0.021	
12	2.60	0.00			0.00	0.017	
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4} = \frac{0.333 \text{ m}^3/\text{s}}{\text{I/s}}$$