

Avaliação Ambiental de Metodologias para Definição de Caudais Ecológicos em Portugal

RICARDO SÉRGIO TEÓFILO ARAÚJO ALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Maia

Co-Orientador: Eng.^a Liliana Benites

FEVEREIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Tel. +351-22 508 1960

✉ miea@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente – 2009/2010 – Departamento de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica cedida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

“O futuro tem muitos nomes.
Para os fracos é o inatingível.
Para os temerosos, o desconhecido.
Para os fortes, a oportunidade.”

Victor Hugo

AGRADECIMENTOS

Embora o presente documento seja apresentado como o resultado de um trabalho individual é, na verdade, o corolário resultante de um conjunto de ensinamentos que o autor foi adquirindo no decorrer do seu processo de aprendizagem. Nesse sentido, todo o trabalho de formação e de construção de conhecimentos, assim como o da obtenção dos objectivos propostos, não seriam possíveis sem o apoio e incentivo de várias pessoas.

Deste modo, fica o meu mais sincero agradecimento:

Aos meus orientadores, Professor Doutor Rodrigo Maia e Eng.^a Liliana Benites, por toda a ajuda prestada e conhecimento partilhado no decorrer deste trabalho.

Ao Eng.^o Nuno Portal, pela oportunidade concedida de realização do trabalho em ambiente empresarial.

Ao Eng.^o Miguel Oliveira, por todo o conhecimento prestado e pelas espectaculares “Bolachas Maria”.

Aos colegas Bruno Sousa, Tiago Rodrigues, Eng.^o David Fernandes, Eng.^o Jorge Mayer, Eng.^o Nuno Brito, Eng.^a Inês Vasconcelos, Raquel Moura, Joana Santos, Catarina Matos e Liliana Silva pelo vosso companheirismo e boa disposição.

A toda a restante família EDP GESTÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA S. A., que integrou o estudo, pela disponibilidade e contribuição para a elaboração desta dissertação.

A todos os meus familiares, com um especial agradecimento ao meu primo David Gonçalves e ao meu padrinho Pedro Araújo Alves.

À minha mãe, namorada e irmã, envio os maiores e mais especiais agradecimentos por toda a atenção e apoio dado, sem os quais não seria possível concretizar este trabalho.

A todos aqueles que de algum modo contribuíram para a realização deste estudo, e que por um imperdoável esquecimento não foram aqui referidos, o mais profundo obrigado.

Por último e mais importante, ao meu pai a quem dedico este trabalho.

.

RESUMO

Este trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, que faz parte do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em ambiente empresarial e com a colaboração da Energias de Portugal (EDP) – Gestão da Produção de Energia S.A. (EDP Produção).

O tema do presente trabalho incide nas metodologias aplicadas para a definição de caudais ecológicos em Portugal, tendo como objectivo a análise e selecção das mais adaptadas às exigências ambientais da Directiva-Quadro da Água (DQA), bem como, inferir as limitações e incertezas das metodologias seleccionadas quando utilizadas em casos específicos.

São apresentadas metodologias para a definição de caudais ecológicos existentes a nível global e a frequência das respectivas aplicações em diversas regiões do mundo. Especificam-se as metodologias que têm histórico de aplicação em Portugal, bem como se dão a conhecer exemplos de métodos com pouca, ou nenhuma, aplicação em Portugal.

Seleccionaram-se metodologias que se consideraram mais apropriadas para a definição de regimes de caudais ecológicos (RCE's), tendo em vista os objectivos ambientais impostos pela DQA, a alcançar por Portugal até ao ano 2015. Refere-se também, a importância dos planos de monitorização no que respeita ao controlo da eficácia de implementação de um dado RCE.

Mencionam-se os objectivos e exigências dos estudos a realizar pela EDP Produção no que respeita à definição de RCE's, nos troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos. Além disso, apresentam-se as características das *massas de água fortemente modificadas* (troços) a estudar pela EDP Produção, os caudais médios mensais afluentes em regime natural às secções das barragens, bem como se revelam as metodologias aplicadas em alguns estudos realizados pela EDP Produção.

Investigam-se os pontos fracos das metodologias seleccionadas, especificando-se as limitações existentes de cada método, e face a estas metodologias desenvolveram-se e implementaram-se duas possíveis abordagens à interpretação de dados resultantes da aplicação dos respectivos métodos, definindo-se RCE's para cada metodologia e abordagem.

Procede-se a uma discussão global e comparação dos RCE's obtidos por cada método e abordagem, como também se discute a forma como estas metodologias são aplicadas, tendo em vista o alcance dos actuais objectivos ambientais neste domínio.

No último capítulo desta dissertação surgem as principais conclusões inferidas no presente trabalho e sugerem-se algumas recomendações que se julgam poder ser relevantes para o futuro da temática dos caudais ecológicos. Por último, e baseado nos dados inferidos não foi possível retirar conclusões definitivas e sistemáticas acerca de qual das metodologias aplicadas para definição de caudais ecológicos é a que melhor se adapta para uma aplicação generalizada no que respeita aos cursos de água portugueses.

PALAVRAS-CHAVE: caudais ecológicos, exigências ambientais, metodologias para definição de caudais ecológicos, curvas (P, Q) e SPU, planos de monitorização.

ABSTRACT

This work was developed within the scope of the Dissertation, a subject from the Integrated Master in Environmental Engineering program of Engineering Faculty of Oporto University, in the business environment with the help of EDP - Gestão da Produção de Energia S.A (EDP Produção).

The theme of this work focuses on the methodologies used for setting environmental flows in Portugal, with the aim of the analysis and selection of more adapted to environmental requirements of the Water Framework Directive (WFD), and infers the limitations and uncertainties of the methodologies when used in selected cases.

In this paper are presented methods for setting environmental flows existing at the global level and frequency of their applications in various world regions. It specifies the methodologies that have historic application in Portugal, as well as show examples of methods with little or no application in Portugal.

Methodologies were selected which were considered more appropriate to define environmental flow regimes, in view of the environmental objectives set by the WFD to achieve by Portugal until 2015. It also refers to the importance of monitoring plans in the monitoring of the effectiveness of implementing a certain environmental flow regime.

Mention was made of the objectives and requirements of the studies carried out by EDP Produção regarding the definition of environmental flows in the sections downstream of hydroelectric facilities. Also presented are the characteristics of *water bodies heavily modified* (sections) to study the EDP Produção, the average monthly flows under natural affluent to the downstream sections and it shows the methodology used by the EDP Produção, in some studies.

In this study we carried out a research about the weaknesses of the methodologies selected by specifying the existing limitations of each method and meet those developed and applied two possible approaches to the interpretation of data resulting from the application of their methods, defining ecological flows regimes for each methodology and approach.

Proceed to a global discussion and comparison of the environmental flows obtained for each method and approach, as also discussed how these methodologies are applied, given the range of existing environmental objectives of this domain.

In the last chapter of this dissertation, the main conclusions emerge inferred in this work and suggest some recommendations that think they can be relevant for the future of the theme of environmental flows. Finally, based on data gleaned was not possible to draw definitive and systematic conclusions as to which of the methods used for setting environmental flows is best suited to generalized application in respect of Portuguese Watercourses.

KEY WORDS: environmental flows, environmental requirements, methodologies for setting environmental flows, (P, F) and WUA curves, monitoring plans.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. CONTEXTO TEÓRICO	1
1.2.1. A ESCASSEZ GLOBAL DE ÁGUA	1
1.2.2. ACÇÃO COMUNITÁRIA NO DOMÍNIO DA POLÍTICA DA ÁGUA	2
1.2.3. NOÇÃO DE CAUDAL ECOLÓGICO	3
1.3. ESTADO DA ARTE	4
1.3.1. HISTORIAL A NÍVEL GLOBAL	4
1.3.2. HISTORIAL EM PORTUGAL	6
1.4. DESCRIÇÃO DO TRABALHO	8
2. METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE CAUDAIS ECOLÓGICOS	11
2.1. INTRODUÇÃO	11
2.2. CENÁRIO GLOBAL ACTUAL	11
2.2.1. PERSPECTIVAS GLOBAIS	11
2.2.2. TIPOS DE METODOLOGIAS	13
2.2.2.1. Métodos Hidrológicos	13
2.2.2.2. Métodos Hidráulicos	14
2.2.2.3. Métodos de Simulação de Habitat	14
2.2.2.4. Métodos Holísticos	16

2.2.2.5. Metodologias Combinadas e Outras Abordagens	17
2.2.2.6. Comparação a Nível Global	17
2.3. PRINCIPAIS METODOLOGIAS APLICADAS EM PORTUGAL	22
2.3.1. MÉTODO DO INAG.....	22
2.3.2. MÉTODO DE TENNANT OU MONTANA.....	22
2.3.3. MÉTODO DO CAUDAL BÁSICO OU DA NOVA INGLATERRA	24
2.3.4. MÉTODO DO CAUDAL BASE.....	25
2.3.5. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO.....	27
2.3.6. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METODOLOGY” (IFIM)	29
2.3.7. MÉTODO DE AVALIAÇÃO POR PAINEL DE ESPECIALISTAS (EXPERT PANEL ASSESSMENT METHOD)....	30
2.4. METODOLOGIAS ACTUALMENTE NÃO APLICADAS EM PORTUGAL	30
2.4.1. TIPOLOGIA E ORIGEM DAS METODOLOGIAS	30
2.4.2. MÉTODO DE CONSTRUÇÃO DE BLOCOS – BUILDING BLOCK METHODOLOGY (BBM)	31
2.5. SELECÇÃO DE METODOLOGIAS PARA INVESTIGAÇÃO	33
2.6. PLANOS DE MONITORIZAÇÃO – IMPORTÂNCIA PARA O ALCANCE DOS OBJECTIVOS AMBIENTAIS PROPOSTOS PELA DQA	34

3. ESTUDOS PARA A DEFINIÇÃO DE REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS EM TROÇOS A JUSANTE DE BARRAGENS

3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. OBJECTIVOS E EXIGÊNCIAS DOS ESTUDOS.....	37
3.3. BARRAGENS E TROÇOS DO LOTE A.....	37
3.3.1. LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS.....	37
3.3.2. CARACTERÍSTICAS DOS TROÇOS A JUSANTE DA BARRAGENS	38
3.3.3. METODOLOGIAS APLICADAS.....	39
3.3.4. CAUDAIS MÉDIOS MENSAIS EM REGIME NATURAL.....	39
3.4. BARRAGENS E TROÇOS DO LOTE B	39

3.4.1. LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS	39
3.4.2. CARACTERÍSTICAS DOS TROÇOS A JUSANTE DA BARRAGENS	40
3.4.3. METODOLOGIAS APLICADAS.....	41
3.4.4. CAUDAIS MÉDIOS MENSIS EM REGIME NATURAL.....	41

4. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SELECIONADOS

4.1. INTRODUÇÃO	43
4.2. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO.....	43
4.2.1. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO: “CURVAS (P, Q)”	43
4.2.1.1. Curva (P, Q) – tipo 1	44
4.2.1.2. Curva (P, Q) – tipo 2	45
4.2.1.3. Curva (P, Q) – tipo 3	46
4.2.2. POSSÍVEIS ABORDAGENS ÀS “CURVAS (P, Q)” FACE ÀS LIMITAÇÕES DO MÉTODO	46
4.2.2.1. Abordagem Menos Conservativa – Envolvente Inferior.....	47
4.2.2.2. Abordagem Mais Conservativa – Envolvente Superior	47
4.2.3. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 1.....	47
4.2.4 APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 2.....	49
4.2.5 APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 3.....	51
4.3. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METODOLOGY” (IFIM).....	53
4.3.1. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO: “CURVAS SPU”	53
4.3.1.1. Curva SPU – tipo 1	55
4.3.1.2. Curva SPU – tipo 2	56
4.3.2. POSSÍVEIS ABORDAGENS ÀS “CURVAS SPU” FACE ÀS LIMITAÇÕES DO MÉTODO	57
4.3.3. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 1.....	57

4.3.4. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 2.....	61
---	----

5. DISCUSSÃO GLOBAL E COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E METODOLOGIAS APLICADAS

64

5.1. INTRODUÇÃO

64

5.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS DIFERENTES ABORDAGENS

64

5.2.1. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO.....

64

5.2.1.1. Limitação 1 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens.....

64

5.2.1.2. Limitação 2 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens.....

65

5.2.1.3. Limitação 3 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens.....

66

5.2.1.4. Enquadramento dos Valores Obtidos pelas Diferentes Abordagens Aplicadas com as Limitações do Método

67

5.2.2. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METODOLOGY” (IFIM)

68

5.2.2.1. Limitação 1 – Intervalo de Regime de Caudais Ecológicos Obtido Através das Diferentes Abordagens

68

5.2.2.2. Limitação 2 – Intervalo de Regime de Caudais Ecológicos Obtido Através das Diferentes Abordagens

69

5.2.2.3. Enquadramento dos Valores Obtidos pelas Diferentes Abordagens Aplicadas com as Limitações da Metodologia

70

5.3. COMPARAÇÃO DE REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

70

5.3.1. PARADELA – INTERVALO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDO ATRAVÉS DAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

71

5.3.2. FRONHAS – INTERVALO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDO ATRAVÉS DAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

71

5.4. DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

72

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS 75

BIBLIOGRAFIA 79

ANEXOS 83

ANEXO A – EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS DA DQA 85

ANEXO A1 – BOM ESTADO ECOLÓGICO 85

ANEXO A2 – SISTEMA CONCEPTUAL DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS MASSAS DE ÁGUA 87

ANEXO A3 – BOM POTENCIAL ECOLÓGICO 88

ANEXO B – BARRAGENS DO LOTE A 89

ANEXO B1 – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS 89

ANEXO B2 – LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS MODELADOS 94

ANEXO B3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM 95

ANEXO C – BARRAGENS DO LOTE B 96

ANEXO C1 – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS 96

ANEXO C2 – LOCALIZAÇÃO DO TRECHO MODELADO 103

ANEXO C3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa mundial de diversos tipos de escassez de água.....	2
Figura 2 – Secção a jusante de uma barragem portuguesa (Venda Nova) com o ecossistema natural modificado com necessidade de descarga de caudal ecológico	4
Figura 3 – Vista aérea do troço imediatamente a jusante do aproveitamento hidroeléctrico – Barragem de Salamonde	9
Figura 4 - Distribuição de grandes aproveitamentos hidroeléctricos nas diversas regiões mundiais	12
Figura 5 - Exemplo das curvas de SPU em função do caudal para vários estádios do ciclo de vida de uma espécie.....	15
Figura 6 – Número de metodologias dos vários tipos existentes a nível global.....	17
Figura 7 – Percentagem relativa da aplicação de cada um dos 6 tipos de métodos de definição de caudais ecológicos para as diversas regiões do mundo	18
Figura 8 – Percentagem relativa do número de metodologias para definição de caudais ecológicos dos diferentes tipos e respectivas proporções em relação ao total global para 10 países onde maior aplicação de métodos foi registada.....	21
Figura 9 – Caudal ecológico a adoptar na aplicação do Método do Perímetro Molhado	27
Figura 10 – Curvas (P, Q) para secções de diferentes perfis obtidas pelo Método do Perímetro Molhado	28
Figura 11 - Exemplo de RCE instaurado após a aplicação do Método de Construção de Blocos.....	33
Figura 12 - Localização das barragens do Lote A na bacia hidrográfica do Rio Cávado	38
Figura 13 - Enquadramento geral da Barragem do Vilar	40
Figura 14 - Enquadramento geral das Barragens do Caldeirão, Açude de Trinta, Fronhas e Raiva	40
Figura 15 - Curva (P, Q) - tipo 1.....	44
Figura 16 - Curva (P, Q) - Limitação tipo 2.....	45
Figura 17 - Curva (P, Q) - Limitação tipo 3.....	46
Figura 18 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 1(Paradela)	48
Figura 19 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 2 (Caniçada)	50

Figura 20 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 3 (Fronhas)	52
Figura 21 - Curvas SPU - Limitação tipo 1	55
Figura 22 - Soma de Curvas SPU - Limitação tipo 1	56
Figura 23 - Curvas SPU - Limitação tipo 2	56
Figura 24 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas SPU – Limitação 1 (Paradela)	58
Figura 25 - Soma das curvas SPU: verificação do principal ponto de inflexão – Limitação 1 (Paradela)	59
Figura 26 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas SPU – Limitação 2 (Fronhas).....	61

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Top 20 dos países com mais aproveitamentos hidroeléctricos instalados	12
Quadro 2 – Número de metodologias usadas para definição de caudais ecológicos dos diferentes tipos e respectivas proporções em relação ao total global para 10 países onde maior aplicação de métodos foi registada	20
Quadro 3 – Definição dos caudais de manutenção ecológica de acordo com o Método do INAG, DSP, 2002.....	22
Quadro 4 – Regime de caudais recomendados, segundo o Método de Tennant	23
Quadro 5 – Regime de caudais recomendados, para as bacias hidrográficas dos rios internacionais portugueses Douro, Tejo e Guadiana, com base no Método de Tennant....	24
Quadro 6 – Caudais mínimos recomendados segundo o Método do Caudal Básico	24
Quadro 7 – Alguns Métodos com pouca ou nenhuma aplicação em Portugal.....	31
Quadro 8 - Características dos troços a jusante das barragens de Paradela e Caniçada	38
Quadro 9 - Caudais médios mensais afluentes às secções das barragens de Paradela e Caniçada e percentagens das mesmas aflúências mensais em regime natural em função da aflúência média anual.....	39
Quadro 10 - Características do troço a jusante da barragem de Fronhas	40
Quadro 11 - Caudais médios mensais afluentes à secção a jusante da barragem de Fronhas e percentagens das mesmas aflúências mensais em regime natural em função da aflúência média anual.....	41
Quadro 12 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1.....	49
Quadro 13 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – exemplo 2	51
Quadro 14 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 3.....	53
Quadro 15 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens e 3ª hipótese – Limitação 1	60
Quadro 16 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2.....	62
Quadro 17 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1	65

Quadro 18 – Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 1	65
Quadro 19 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2	66
Quadro 20 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 2.....	66
Quadro 21 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 3	67
Quadro 22 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 3.....	67
Quadro 23 - Diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações.....	67
Quadro 24 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1	68
Quadro 25 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 1	69
Quadro 26 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2	69
Quadro 27 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 2.....	70
Quadro 28 - Diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações.....	70
Quadro 29 - Comparação dos caudais ecológicos médios anuais definidos pelas diferentes metodologias através das diferentes abordagens – Paradela	71
Quadro 30 - Comparação dos caudais ecológicos médios anuais definidos pelas diferentes metodologias através das diferentes abordagens – Fronhas	71

ABREVIATURAS

BBM – Building Block Methodology

BH – Bacia Hidrográfica

DQA – Directiva-Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000)

EDP – Energias de Portugal

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IFIM – Instream Flow Incremental Methodology

INAG – Instituto Nacional da Água

PEM – Potencial Ecológico Máximo

(P, Q) – Perímetro molhado em função do caudal

RCE's – Regimes de Caudais Ecológicos

SPU – Superfície Ponderada Útil

v. g. – Por exemplo (*verbi gratia*)

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O trabalho apresentado foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, que faz parte do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Este trabalho foi realizado em ambiente empresarial e com a colaboração da empresa Energias de Portugal (EDP) – Gestão da Produção de Energia, S.A., enquadrada por protocolo específico.

O tema do trabalho incide sobre uma análise das metodologias usadas em Portugal para a definição de caudais ecológicos.

O objectivo desta dissertação consiste na avaliação das metodologias mais apropriadas para a aplicação a casos concretos, e que estejam ao alcance dos objectivos ambientais actualmente requeridos pela Directiva-Quadro da Água (DQA), como também investigar possíveis limitações das mesmas.

Recentemente, ao abrigo da legislação relativa à gestão das águas superficiais, nomeadamente à Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, que aprova a Lei da Água, do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, e das exigências da DQA, a EDP – Gestão da Produção de Energia, iniciou estudos com o objectivo de definir os regimes de caudais ecológicos (RCE's) para os troços a jusante dos vários aproveitamentos hidroeléctricos existentes em Portugal, tendo em vista a definição do Estado Ecológico dos mesmos troços, até ao ano 2015. Estes RCE's serão definidos com a intenção de preservar e de mimetizar os ecossistemas naturais dos cursos de água de Portugal ^[1, 2].

Esta investigação, realizada em ambiente empresarial pretende distinguir entre as metodologias já existentes, aquelas que melhor se enquadram para a definição de RCE's, bem como apontar possíveis limitações e/ou incertezas inerentes a estas metodologias. No final do estudo, irá se tentar definir qual a metodologia, das estudadas, que actualmente será, mais apropriada para a definição de RCE's em Portugal.

1.2. CONTEXTO TEÓRICO

1.2.1. A ESCASSEZ GLOBAL DE ÁGUA

O mundo presencia actualmente uma cada vez maior escassez de água a nível global (Fig. 1). O aproveitamento e uso da água por parte do Homem nem sempre são efectuados de uma forma sustentável e ambientalmente correcta. Assim é essencial definir políticas cada vez

mais rigorosas em termos ambientais, mas que se integrem e enquadrem o mínimo desenvolvimento económico. É cada vez mais necessário adoptar uma gestão integrada de todos os tipos de massas de água existentes no nosso planeta, tendo em vista a imprescindível continuação do uso da água por parte das gerações futuras.

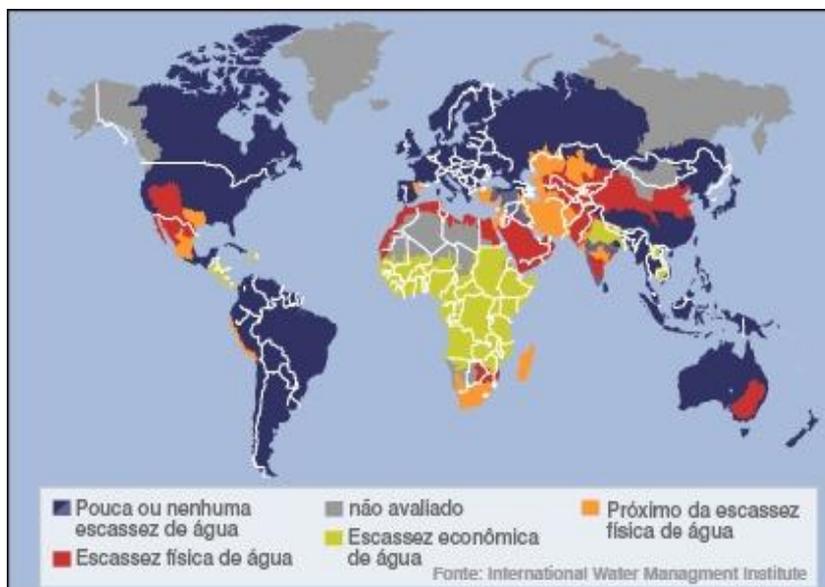


Figura 1 – Mapa mundial de diversos tipos de escassez de água
(Fonte: www.portugaliza.net/numero05/bol05n05.htm)

A água não pode ser considerada um produto comercial como outro qualquer, mas deve ser apreciada como um património que deve ser protegido, defendido e tratado como tal. Além da quantidade, é importantíssimo conservar a qualidade da água existente. Para tal, é imprescindível a implementação de acções preventivas e conscientes, tanto no presente como no futuro ^[3].

1.2.2. ACÇÃO COMUNITÁRIA NO DOMÍNIO DA POLÍTICA DA ÁGUA

A nível europeu têm sido realizados cada vez mais esforços no sentido de uma gestão integrada e sustentável da água. A mais recente e exigente acção comunitária realizada no domínio da política da água é a DQA, que foi transposta para a ordem jurídica nacional através da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água) e do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, em que define que todos os Estados-Membros têm o dever de proteger, melhorar e recuperar todas as massas de água de superfície (por exemplo - v. g., - rios, lagos, albufeiras e ribeiros) tendo em vista o objectivo ambiental de alcançar o Bom Estado das águas de superfície, em 2015 (ver anexo A1) ^[4].

Para que a implementação da Directiva possa ser realizada de forma sistematizada, foram definidos critérios que têm um papel determinante na classificação das massas de água, como também na implementação de programas de monitorização de extrema exigência, quer em termos de amostragem, quer na determinação laboratorial ^[4].

Os rios e as albufeiras fazem parte das massas de água atrás mencionadas e os seus estados ecológicos serão avaliados segundo ^[4]:

- Elementos de qualidade biológica;
- Elementos de qualidade químicos;
- Elementos de qualidade hidromorfológica.

De cada um destes grupos, o elemento com pior classificação ecológica e química, segundo os critérios definidos pela DQA é que definirá o Estado da massa de água (processo *one out – all out*) (ver anexo A2). Sendo assim, pode-se concluir que a DQA requer que as massas de água de superfície atinjam pelo menos o Bom Estado Ecológico e o Bom Estado Químico. É importante referir também, que em Portugal, o alcance do Bom Estado Ecológico criará mais dificuldades do que o alcance do Bom Estado Químico, pois para o primeiro constata-se uma escassez de dados de elementos biológicos normalizados e sistematizados. Embora o alcance do Bom Estado Químico se afigure como uma tarefa mais facilitada, devido à existência de programas de monitorização de elementos químicos desde o início dos anos oitenta, os dados até ao momento obtidos revelam ainda certos problemas ao nível da sua consistência e qualidade, o que tornará o alcance do Bom Estado Químico não tão fácil como era esperado, contudo menos complexo do que o alcance do Bom Estado Ecológico. ^[4].

A DQA refere ainda no seu conteúdo, que dentro das massas de água de superfície atrás referidas, encontram-se as Massas de Água Fortemente Modificadas, que são massas de água que, em resultado de várias alterações físicas derivadas da actividade humana, adquiriram um carácter substancialmente diferente. Os troços a jusante dos aproveitamentos hidroeléctricos dos rios portugueses são considerados de Massas de Água Fortemente Modificadas. Assim, segundo a DQA, os objectivos ambientais para estes troços poderão ser menos exigentes, tendo-se como objectivo alcançar o Bom Potencial Ecológico, em vez do Bom Estado Ecológico (ver anexo A3). O Potencial Ecológico representa o desvio que a qualidade do ecossistema aquático da massa de água demonstra relativamente ao máximo que pode atingir, designado por Potencial Ecológico Máximo (PEM). O Bom Potencial Ecológico a atingir corresponde a uma qualidade ecológica em que ocorrem ligeiras modificações dos valores dos elementos de qualidade biológica pertinentes em relação aos valores próprios do PEM ^[4].

Segundo a DQA, os Caudais Ecológicos inserem-se no grupo dos elementos de qualidade hidromorfológica, no que respeita às características do regime hidrológico que é alvo de avaliação, isto é, os Caudais Ecológicos são medidas para atingir o Bom Estado Ecológico/Bom Potencial Ecológico dos cursos de água estudados. Sendo assim, pode-se afirmar que a importância do estudo de Caudais Ecológicos é reconhecida pela Directiva Europeia (DQA), que terá certamente um impacte significativo, na avaliação do Estado Ecológico das Massas de Água Superficiais e do Potencial Ecológico das Massas de Água Fortemente Modificadas de Portugal, que naturalmente como Estado-Membro, fará todos os esforços para atingir atempadamente os objectivos ambientais propostos pela DQA ^[4].

Sendo assim, é relevante um conhecimento profundo das metodologias existentes para definição de caudais ecológicos, para que se possa sistematizar qual a mais adequada à aplicação nos estudos de definição de RCE's.

1.2.3. NOÇÃO DE CAUDAL ECOLÓGICO

O caudal ecológico, pode ser definido como o caudal que permite manter a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a criação das espécies com valor desportivo

e/ou comercial, bem como, a conservação e manutenção dos ecossistemas ripícolas, a estética da paisagem, e outros aspectos de carácter científico ou natural ^[5, 6].

Certos peritos na área, referem-se ao caudal ecológico num sentido mais limitado, considerando unicamente os recursos piscícolas, assumindo-se, no entanto, que tal caudal permitirá a manutenção e conservação dos ecossistemas ^[7, 8].

Para outros, o caudal ecológico é definido como um regime de valores de caudais mensais, que encaram as necessidades das espécies ao longo dos seus ciclos de vida, flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam em cada ano ^[6, 9, 10].

A principal dificuldade na definição de valores para o caudal ecológico subsiste na decisão dos níveis de alteração do regime hidrológico natural que se consideram aceitáveis, face aos impactes nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos que essa alteração induzirá, particularmente se se atender ao nível de incerteza que ainda existe no domínio dos mesmos ecossistemas, em especial no que respeita a aspectos quantitativos. Pode-se afirmar que o processo que envolve uma coerente definição de caudais ecológicos exige tempo, trabalho de campo árduo, consenso entre as diferentes partes interessadas no processo e está sempre relacionado com aspectos e decisões económicas. ^[9, 10]



Figura 2 – Secção a jusante de uma barragem portuguesa (Venda Nova) com o ecossistema natural modificado com necessidade de descarga de caudal ecológico (Fonte: Relatório final (versão provisória) da AQUALOGUS)

1.3. ESTADO DA ARTE

1.3.1. HISTORIAL A NÍVEL GLOBAL

Ao longo dos anos foram-se verificando, a nível global, de forma cada vez mais acentuada, as continuadas alterações hidrológicas dos rios e, conseqüentemente, a degradação ambiental dos ecossistemas próximos dos cursos de água. Tal facto, conduziu à necessidade de desenvolvimento da ciência de avaliação dos caudais ecológicos, ou por outras palavras, à determinação da quantidade e qualidade de água necessária para a conservação dos ecossistemas naturais característicos das zonas ribeirinhas, o que por sua vez, levou ao

aparecimento de metodologias específicas e apropriadas para desenvolvimento desta ciência ^[11].

Os Estados Unidos da América têm estado historicamente sempre na linha da frente em relação a esta temática, pois foi neste país, no final dos anos 40, que começaram a surgir os primeiros métodos de definição de RCE's, embora ainda pouco fundamentados. No entanto, por volta dos finais dos anos 70 e inícios dos anos 80, começaram a existir as primeiras publicações de documentos em relação a esta temática ^[11]. Nesta época, ocorreu o aparecimento de vários métodos, especialmente os baseados em registos hidrológicos (v. g., Método de Tennant, Método do Northern Great Plains Resource Program, Método de Hope, Método do Caudal Básico, etc.). Embora em menor número, e sensivelmente na mesma altura, começaram também a advir métodos baseados em características hidráulicas, com especial ênfase para o Método do Perímetro Molhado, que foram considerados uma evolução dos métodos hidrológicos. Um pouco mais tarde, começaram a ganhar visibilidade métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal, também conhecidos como métodos de simulação de habitat. Estes métodos, ao longo dos anos, têm vindo a substituir os métodos hidráulicos, uma vez que são considerados mais completos e abrangentes, pois além de parâmetros hidráulicos, consideram também aspectos biológicos ^[11].

Mais tarde (anos 90), deu-se a emergência de uma nova tipologia de métodos, denominados holísticos, que se afirmaram (principalmente na Austrália e África do Sul), como uma ferramenta útil no que respeita ao auxílio da aplicação dos métodos de simulação de habitat ^[11].

Vários estudos sobre a definição de caudais ecológicos foram desenvolvidos ao longo dos anos, sendo que aquele que se considera como mais abrangente é a investigação relativamente recente realizada por *R. E. Tharme*, na África do Sul, em 2003. Esse estudo consistiu numa revisão a nível global de metodologias para a definição de caudais ecológicos, tendo sido abordadas as várias tipologias dos métodos actualmente existentes, bem como distinguidas as metodologias usualmente mais aplicadas por diversos países. Além do atrás descrito, nesse estudo foi elaborada uma revisão global sobre o número de grandes barragens de diversas regiões do mundo. Neste trabalho, também se encontra referenciada a definição e a evolução histórica da avaliação ambiental dos caudais de rios ^[12]. No entanto, é importante realçar que *S. J. de Kozłowski*, na Carolina do Sul, em 1988, já tinha efectuado uma síntese de metodologias para definição de caudais ecológicos existentes até aquela época (1988), como também descrito a aplicação de algumas metodologias a um caso de estudo ^[13].

Na investigação de *R. E. Tharme* atrás mencionada verifica-se, no que respeita a grandes barragens, que a China e o restante continente asiático são as regiões do planeta que apresentam maior número deste tipo de infra-estruturas e, conseqüentemente, mais alterações hidráulicas ao nível dos seus rios. Por outro lado, a região da Australásia, é a que apresenta menor número de aproveitamentos hidroeléctricos de grandes dimensões, mas conclui-se que tal facto não implica que a Austrália seja um país onde esta temática não seja valorizada, antes pelo contrário, é um dos países que demonstra maior interesse no que respeita à evolução ambiental de caudais em rios, apostando especialmente em métodos holísticos. A região europeia encontra-se em lugar intermédio, embora se destaque que a Europa Ocidental apresenta naturalmente maior número de construções de barragens do que a região oriental europeia ^[12].

R. E. Tharme demonstra, que o estudo da avaliação ambiental de caudais de rios e conseqüente aplicação de RCE's teve início no final dos anos 40, no oeste dos Estados Unidos

da América, mas o grande progresso relativamente a esta matéria deu-se em 1970, no mesmo país, devido à criação de nova legislação ambiental e “deveres” por parte da *Water Planning Community*. Mais tarde, nos anos 80, outros países começaram a preocupar-se com esta temática: inicialmente a Austrália, Inglaterra, Nova Zelândia e África do Sul e posteriormente, o Brasil, Portugal, Japão e República Checa ^[12].

Na investigação referida, ainda são evidenciados os vários tipos de metodologias para estabelecimento de RCE, entre eles, encontram-se ^[12]:

- Métodos Hidrológicos;
- Métodos Hidráulicos;
- Métodos de Simulação do Habitat;
- Métodos Holísticos;
- Métodos Combinados;
- Outros métodos.

Por fim, há que realçar que nessa investigação, é revelada a percentagem de aplicação das diversas categorias de metodologias em várias regiões do mundo ^[12].

No que respeita à avaliação específica das características de metodologias para definição de caudais ecológicos, considera-se ainda importante destacar que *Cristopher J. Gippel* e *Michael J. Stewardson*, na Austrália, em 1998, realizaram uma investigação que, resumidamente, estuda ao pormenor a relação entre o perímetro molhado e o caudal descarregado, relacionando a escolha do ponto de inflexão das curvas do perímetro molhado em função do caudal, com a primeira derivada das equações das mesmas curvas ^[14].

1.3.2. HISTORIAL EM PORTUGAL

Em Portugal, a temática dos caudais ecológicos tem sido desenvolvida ao longo dos anos, mas pode-se afirmar que essa evolução tem ocorrido mais num contexto teórico do que prático. Várias metodologias desenvolvidas internacionalmente têm sido estudadas e algumas delas foram transpostas para o plano nacional, com algumas adaptações (v. g., Método de Tennant e Método do Caudal Básico modificado).

Alguns autores têm vindo a desenvolver testes, na tentativa de sistematizar de forma clara, para a avaliação de caudais ecológicos, o que não é tarefa fácil, visto que a definição de caudais ecológicos abrange diversos componentes de diversas áreas científicas. Como exemplos desses estudos podem-se referenciar, entre outros, a investigação de *Henriques* em 1994 ^[15], sobre os regimes de caudais ambientais dos principais rios internacionais, o estudo experimental para definição de caudais ecológicos no Rio Lima efectuado por *Cortes et al.*, em 2000 ^[16], e o trabalho de *Portela*, em 2004, sobre caudais ecológicos em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos ^[17].

Contudo, considera-se que a obra mais incisiva sobre a temática tratada neste trabalho foi elaborada por Maria Helena Alves, João Manuel Bernardo, Paulo Matias e João Pedro Martins, do INAG, em 2002, em Lisboa, Portugal ^[18]. Nesta obra, aponta-se claramente o objectivo de avaliação dos caudais ecológicos, sendo destacado, que estes têm como finalidade satisfazer as necessidades dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos e que

constituem regimes de caudais mínimos a manter no curso de água, que permitam garantir a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção de espécies com interesse desportivo ou comercial, bem como a conservação dos ecossistemas ripícolas, de aspectos paisagísticos ou outros de interesse científico ou cultural ^[18].

Na mesma obra, faz-se referência aos cursos de água alterados em Portugal, destacando-se o caudal ecológico como solução, apresentando-se o enquadramento legislativo do caudal ecológico, como também se efectua uma síntese da situação dos caudais ecológicos em Portugal Continental. É ainda descrita a estrutura base de desenvolvimento de um método hidrológico para definição de RCE's, o denominado Método do INAG ^[18].

Por fim, e não menos importante, é de realçar que neste último manual são desenvolvidas equações de regressão múltipla, tendo em vista a estimativa de parâmetros para a definição de regimes de escoamento, em locais sem representatividade de dados de séries de caudais, o que possibilita o aumento da área de aplicação de metodologias para definição de RCE's ^[18].

Em suma, essa obra apresenta o estado da temática dos Caudais Ecológicos em Portugal até ao ano 2002, referindo a importância da definição de RCE's, realçando algumas limitações existentes à aplicação de metodologias, apresentando um novo método de cálculo de RCE's (Método do INAG) e estabelecendo comparações ao nível da legislação nacional com a de outros países da Europa e da América do Norte ^[18].

No entanto, é relevante esclarecer que após a elaboração dessa publicação, o desenvolvimento da temática dos Caudais Ecológicos sofreu alguma evolução, o que leva a afirmar que esta obra não se pode considerar totalmente actualizada. Aquando da entrada em vigor da DQA, em 2000, o principal objectivo a atingir por Portugal centrou-se nas exigências do artigo 13º da mesma directiva, que apresenta como um dos vários requisitos a elaboração de um plano de gestão de bacia hidrográfica, para cada região hidrográfica inteiramente situada no território nacional. De realçar que esses planos deveriam ser publicadas até ao final do ano 2009 e que tal exigência não foi consumada. Além disso, após a entrada em vigor da DQA, em 2000, e em paralelo com a exigência europeia atrás descrita, também se realizaram esforços para cumprir os prazos respeitantes à elaboração de uma análise económica do uso da água (artigo 5º). Entretanto, começou a ser focada a problemática do "Estado das Águas" a nível nacional, que é realçada pela DQA (Artigos. 1º, 2º, 3º e 4º) e que exige a obtenção do Bom Estado das massas de água até ao ano 2015 (prazo mais extenso do que as anteriores exigências). Tal facto, fez surgir a temática dos caudais ecológicos, considerado como um dos parâmetros de avaliação do Bom Estado Ecológico das massas de água, pela DQA. As exigências ecológicas estabelecidas por esta directiva fez com que se despertasse um interesse nacional no que respeita à aplicação de metodologias mais abrangentes, em termos biológicos, do que as até agora usadas, baseadas em registos históricos (metodologias hidrológicas).

Sendo assim, pode-se afirmar que o trabalho publicado pelo INAG (2002) foi realizado no período inicial da implementação da DQA, em que o principal foco de estudo incidia sobre os Planos de Gestão de Bacias Hidrográficas, o que faz com que o Método do INAG na actualidade, sendo um método hidrológico, não se apresente totalmente actualizado e adaptado aos exigentes objectivos de carácter biológico requeridos pela DQA aos Estados-Membros, no que respeita ao alcance do Bom Estado Ecológico das massas de água.

1.4. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

A EDP Produção, enquanto concessionária de aproveitamentos hidroeléctricos existentes, terá a obrigação de lançar caudais ecológicos para jusante dos mesmos aproveitamentos hidroeléctricos, como medida para atingir o Bom Potencial Ecológico. Por este motivo, a EDP Produção iniciou estudos para determinação dos RCE's a jusante de várias barragens existentes no território nacional. Com base nos estudos a decorrer e levados a cabo pela EDP Produção, o presente trabalho pretende comparar as diferentes metodologias utilizadas para a determinação de RCE's, avaliar os pontos fortes e fracos, determinar incertezas destes e, se possível, concluir sobre o método mais adequado aos objectivos propostos. Para tal, os casos de estudo serão os troços a jusante dos aproveitamentos hidroeléctricos de Paradela, Caniçada e Fronhas, considerados *massas de água fortemente modificadas*.

Para dar resposta a todos os objectivos atrás referidos, estruturou-se esta publicação em seis capítulos.

No capítulo 1 (Introdução) efectua-se uma introdução global ao tema deste estudo.

No capítulo 2 (Metodologias para Definição de Caudais Ecológicos) apresentam-se as metodologias de definição de caudais ecológicos existentes a nível global e a frequência das respectivas aplicações nas diversas regiões do mundo. Especifica-se também quais as metodologias que têm histórico de aplicação em Portugal, bem como se dão a conhecer exemplos de métodos com pouca ou nenhuma aplicação em Portugal. Nesta parte do trabalho efectua-se também uma selecção de metodologias que se consideram mais apropriadas para definição de RCE's, tendo em vista os objectivos ambientais impostos pela DQA a alcançar por Portugal até ao ano 2015. Além disso, ainda se demonstra a importância dos planos de monitorização no que respeita ao controlo da eficácia de implementação de um dado RCE.

No capítulo 3 (Estudos para a Definição de Regimes de Caudais Ecológicos em Troços a Jusante de Barragens) descrevem-se os objectivos e exigências dos estudos a realizar pela EDP Produção no que respeita à definição de RCE's nos troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos. Além disso apresentam-se características das *massas de água fortemente modificadas* (troços) a estudar, os caudais médios mensais afluentes em regime natural às secções das barragens, bem como se apresentam as metodologias aplicadas pela EDP Produção, em alguns desses estudos.

No capítulo 4 (Limitações e Incertezas na Aplicação dos Métodos Seleccionados) efectua-se uma investigação aos pontos fracos das metodologias seleccionadas, especificando-se as limitações existentes de cada método e, face às mesmas, desenvolve-se e aplicam-se duas possíveis abordagens à interpretação de dados resultantes da aplicação dos respectivos métodos, definindo-se RCE's para cada metodologia e abordagem.

No capítulo 5 (Discussão Global e Comparação das Diferentes Abordagens e Metodologias Aplicadas) realiza-se uma discussão global e comparação dos RCE's obtidos para cada método e abordagem, como também se discute a forma como estas metodologias são aplicadas, tendo em vista o alcance dos actuais objectivos ambientais deste domínio, requeridos pela DQA.

No capítulo 6 (Conclusões e Recomendações para Futuros Trabalhos), o último dos capítulos deste trabalho, descrevem-se de uma forma sucinta, as principais conclusões inferidas ao longo desta dissertação e propõem-se algumas sugestões que se julgam poder ser relevantes para a elaboração de futuros trabalhos sobre a temática dos caudais ecológicos. No entanto,

com base na informação recolhidas, ainda não foi possível concluir, de forma vinculativa, sobre qual a metodologia que actualmente se encontra mais adequada à definição de RCE's nos cursos de água portugueses, tendo em vista os objectivos ambientais requeridos pela DQA.



Figura 3 – Vista aérea do troço imediatamente a jusante do aproveitamento hidroeléctrico – Barragem de Salomonde (Fonte: Relatório final (versão provisória) da AQUALOGUS)

2

METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE CAUDAIS ECOLÓGICOS

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se as metodologias de definição de caudais ecológicos existentes a nível global e a frequência das respectivas aplicações nas diversas regiões do mundo. Especificam-se também as metodologias que têm histórico de aplicação em Portugal, e referenciam-se exemplos de métodos com pouca ou nenhuma aplicação em Portugal. De seguida, seleccionam-se as metodologias que se consideram mais apropriadas para definição de RCE's, tendo em vista os objectivos ambientais impostos pela DQA a alcançar por Portugal até ao ano 2015. Além disso, explica-se a relevância dos planos de monitorização no que respeita ao controlo da eficácia de implementação de um dado RCE.

2.2. CENÁRIO GLOBAL ACTUAL

2.2.1. PERSPECTIVAS GLOBAIS

Neste momento, está estimado que 60% dos rios do planeta estão fragmentados pelas alterações hidrológicas e que 46% das bacias hidrográficas, onde se inserem os 106 principais rios mundiais, encontram-se modificadas devido à presença de pelo menos um grande aproveitamento hidroeléctrico ^[19].

Calcula-se que 77% do escoamento total de 139 sistemas de grandes rios na América do Norte, Europa e países constituintes da antiga União Soviética se apresenta forte ou moderadamente afectado pela fragmentação dos canais dos rios ^[20]. Nos Estados-Membros da União Europeia, o caudal dos rios dos respectivos territórios encontra-se regulado em 60 a 65%, enquanto na Ásia menos de 50% dos rios demonstram ter caudais regulados, constatando-se tal facto somente para rios que apresentam mais do que uma grande barragem instalada ^[20]. Nos Estados Unidos da América, mais de 85% dos caudais dos rios que abrangem o respectivo território nacional são controlados pelo Homem, o que demonstra o interesse desta potência mundial perante a temática dos caudais ecológicos ^[21]. Os 5 países que possuem maior número de grandes barragens construídas (Fig. 4) possuem cerca de 80% das mesmas existentes a nível mundial, sendo a China detentora de quase 50% das grandes barragens mundiais existentes no planeta. É curioso destacar que, dois terços dos grandes aproveitamentos hidroeléctricos existentes em todo mundo encontram-se instalados nos países em desenvolvimento ^[12].

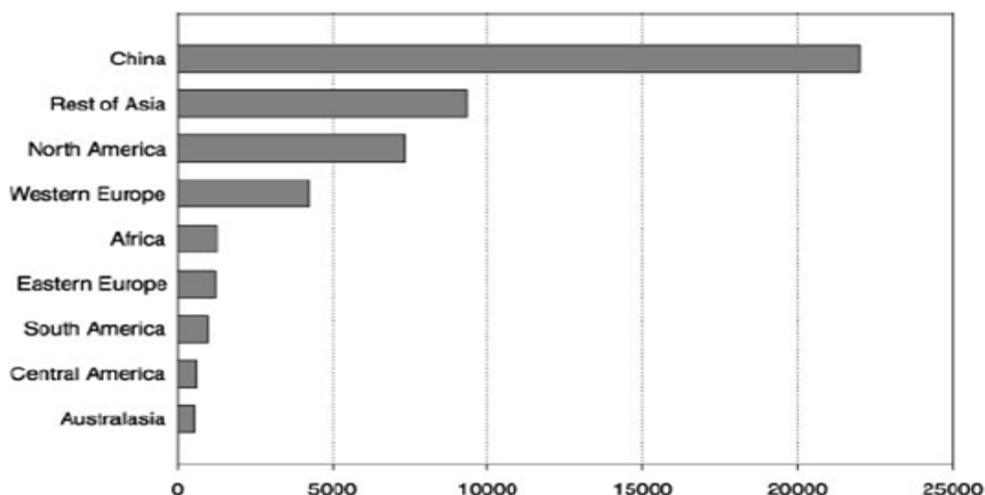


Figura 4 - Distribuição de grandes aproveitamentos hidroeléctricos nas diversas regiões mundiais ^[12]

	Country	ICOLD World Register of Dams 1998	Other sources	Percent of total dams
1	*China	1855	22 000	46.2
2	*United States	6375	6575	13.8
3	*India	4011	4291	9.0
4	*Japan	1077	2675	5.6
5	*Spain	1187	1196	2.5
6	Canada	793	793	1.7
7	South Korea	765	765	1.6
8	Turkey	625	625	1.3
9	Brazil	594	594	1.2
10	France	569	569	1.2
11	South Africa	539	539	1.1
12	Mexico	537	537	1.1
13	Italy	524	524	1.1
14	United Kingdom	517	517	1.1
15	Australia	486	486	1.0
16	Norway	335	335	0.7
17	Germany	311	311	0.7
18	Albania	306	306	0.6
19	Romania	246	246	0.5
20	Zimbabwe	213	213	0.4
	Others	3558	3558	7.0
	Total	25 423	47 655	100.0

*Estimates for the numbers of dams in these countries (particularly China) as well as for the Russian Federation, differ according to available data sources.
ICOLD, International Commission on Large Dams.

Quadro 1 – Top 20 dos países com mais aproveitamentos hidroeléctricos instalados ^[12]

Através de uma revisão global sobre as metodologias actualmente empregues para a definição de caudais ecológicos verifica-se existirem 207 que são utilizadas por 44 países, pertencentes a 6 regiões mundiais ^[12].

Historicamente, os Estados Unidos da América têm estado sempre na linha da frente, no que toca ao desenvolvimento e aplicação de métodos para estabelecimento de caudais ecológicos, correspondendo a este país 37% das aplicações globais de metodologias desta temática.

Contudo, diversos estudos surgiram também em outras partes do mundo, o que levou a um desenvolvimento significativo deste campo noutros países ^[12].

R. E. Tharme afirma que a aplicação de metodologias para definição de RCE's é realizada frequentemente com base em pelo menos dois níveis, que são ^[12]:

1. O primeiro nível baseia-se num reconhecimento geral das zonas em estudo, através do uso de metodologias hidrológicas (correspondem a 30% dos tipos de metodologias usadas a nível global);
2. O segundo nível surge quando se efectua uma avaliação mais específica. Neste nível pode-se referir que existem dois caminhos possíveis por onde conduzir o estudo: pelas metodologias de simulação de habitat (v. g., IFIM), muito usados no hemisfério norte do globo; ou por metodologias holísticas (v. g., Expert Panel Assessment Method e Building Block Methodology), que se apresentam cada vez mais como uma nova alternativa às primeiras.

2.2.2. TIPOS DE METODOLOGIAS

2.2.2.1. Métodos Hidrológicos

Como o nome indica, os métodos hidrológicos compreendem-se como o tipo de metodologia que se baseia nos registos históricos de caudais dos rios ^[22]. Os métodos hidrológicos constituem a maior proporção, de todos os tipos de metodologias existentes (cerca de 30 % do total de aplicações a nível mundial), aplicada em todo mundo para definição de RCE's. Alguns destes métodos ainda são aplicados na sua forma original, mas outros sofreram ao longo do tempo algumas modificações, tendo em vista a sua adaptação para diferentes regiões hidrológicas e tipos de ecossistemas de todo o planeta ^[12]. Estas metodologias são normalmente referenciadas como metodologias de percentagens fixadas, em que uma proporção de caudal serve frequentemente de base para determinação do caudal mínimo, formando-se este como o caudal ecológico recomendado para manter os ecossistemas nos seus respectivos estados naturais de funcionamento ^[23].

As metodologias baseadas em registos hidrológicos são normalmente, de baixo custo ao nível da sua implementação, de rápida aplicação, requerendo apenas registos históricos de caudais. Tal facto faz com que estes métodos sejam extremamente apropriados para o estudo do reconhecimento hidrológico dos cursos de água e para ajustar o planeamento da quantidade de água necessária para a manutenção ambiental dos ecossistemas ^[23].

No entanto, numa perspectiva ecológica, este tipo de métodos são extremamente simplistas, não abrangendo, de forma necessária e adequada, as dinâmicas e variáveis naturais dos regimes hidrológicos. Sendo assim, pode-se afirmar que as metodologias deste tipo são limitadas, na maioria das aplicações, devido à pouca flexibilidade e abrangência no que respeita a variáveis biológicas. A aplicação dos métodos hidrológicos deve ser sempre acompanhada de uma avaliação por peritos, e devido às suas limitações, tais métodos devem ser somente aplicados ao nível do planeamento geral e em casos que não envolvam possíveis conflitos, isto é, situações onde existam muitas decisões económicas importantes e difíceis a tomar. No entanto, é garantido que as metodologias hidrológicas continuarão a ser utilizadas no futuro como métodos de avaliação rápida, como também a serem vistas internacionalmente como fontes de possível progresso das suas aplicações em situações específicas das diversas regiões do planeta ^[23].

Por fim, considera-se importante referir, que o método mais conhecido e usado, desta tipologia, é o Método de Tennant ou Montana, sendo a segunda metodologia mais trabalhada na América do Norte, onde é aplicada actualmente e frequentemente em 16 estados. Actualmente, 25 países aplicam oficialmente o Método de Tennant pelo menos na forma original criada pelo autor em 1976^[12].

2.2.2.2. Métodos Hidráulicos

Os métodos hidráulicos representam cerca de 11% do total das metodologias usadas em todo o planeta. Estes foram desenvolvidos para a definição de caudais ecológicos, tendo em vista a importância económica da pesca de salmonídeos nos Estados Unidos da América nos anos 60 e 70, e ao longo dos anos têm sido substituídos pelos mais sofisticados métodos de simulação de habitat^[12].

Os métodos hidráulicos podem ser considerados um avanço ou um puro desenvolvimento das metodologias hidrológicas, na medida em que os métodos hidráulicos incorporam um suporte biológico no que respeita ao estudo dos ecossistemas. Estes métodos estão aptos a rápidas e coerentes, embora simples, avaliações de caudais ecológicos para manutenção das áreas de habitat de fauna piscícola, macro invertebrados e vários tipos de flora. São suficientemente flexíveis para serem aplicados a várias espécies aquáticas, bem como, uma ferramenta apropriada para moderar a pressão que é exercida pelo Homem a certas espécies integrantes dos ecossistemas de rios. Além disso, podem ser usados como métodos de reconhecimento hidráulico e ecológico, a nível regional ou até a nível superior, de todos os tamanhos e tipos de cursos de água^[23].

No entanto, os métodos hidráulicos remetem toda a sua essência às características hidráulicas, que são somente uma das diversas variáveis que definem as necessidades em termos de caudais, das espécies-alvo de um estudo particular. A escolha e localização da secção de amostragem em estudo e a qualidade das relações entre os parâmetros hidráulicos e de descarga são extremamente influentes nos resultados obtidos. Além disso, este tipo de metodologias tem como alvo, espécies que habitam nos canais dos rios, não sendo totalmente apropriadas para serem aplicadas a componentes exteriores ao canal do curso de água, que também fazem parte dos ecossistemas ribeirinhos, como por exemplo a vegetação ribeirinha ou marginal^[23].

A metodologia mais usada nas diversas regiões do mundo, dentro dos métodos hidráulicos, é a do Perímetro Molhado. Este método usa simplesmente a relação derivada das mudanças do perímetro molhado numa secção singular, normalmente num “rápido” (as zonas rápidas têm tendência a ser as mais produtivas em termos bentónicos), com as alterações no escoamento, para definir um RCE^[23].

2.2.2.3. Métodos de Simulação de Habitat

As metodologias de simulação de habitat têm como objectivo definir RCE's com base em respostas bióticas, ao tentarem determinar o caudal que otimiza as condições de habitat das espécies em estudo. Pode-se afirmar que com este tipo de métodos os conceitos de habitat e preferência de habitat ficam assegurados e bem estabilizados, pois com estas metodologias, as mudanças físicas nos microhabitats são modeladas através de dados de uma ou mais variáveis hidráulicas, normalmente a profundidade, a velocidade, a composição do substrato e mais recentemente o stress bentónico. Estes dados são recolhidos em várias secções que abrangem a

área de estudo. Depois as condições simuladas de habitat disponível são geradas com base nas condições apropriadas e inapropriadas para as espécies-alvo e estádios de vida, através por exemplo, da elaboração de *Curvas de Preferência de Habitat*. Finalmente, elaboram-se as *Curvas de Disponibilidade de Habitat* e de seguida calcula-se a *Superfície Ponderada Útil (SPU)* para as espécies-alvo e através destas determina-se qual o RCE óptimo a descarregar, tendo em vista a manutenção dos ecossistemas em estudo ^[23].

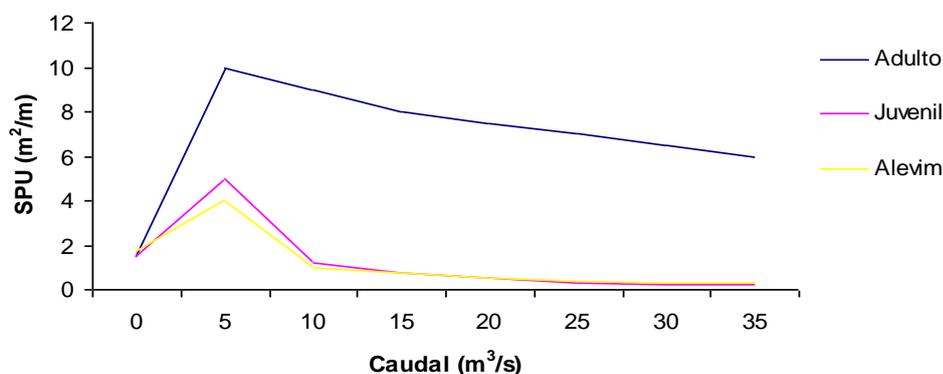


Figura 5 - Exemplo das curvas de SPU em função do caudal para vários estádios do ciclo de vida de uma espécie

Como os métodos de simulação de habitat estão aptos para avaliar os impactos no habitat físico devido às alterações incrementais no caudal e usualmente englobam séries temporais de componentes hidrológicos e de habitat, então podem ser usados para examinar vários cenários alternativos de caudais ecológicos para várias espécies e estádios de vida. Além disso, estes métodos estão aptos para, de forma eficaz, processar uma grande quantidade de registos hidrológicos, hidráulicos e biológicos de forma standardizada, interactiva e flexível. Os resultados têm sido, ao longo do tempo, obtidos com um grau cada vez mais elevado de resolução espacial e temporal, devido particularmente, aos avanços que têm ocorrido no campo da modelação hidráulica multidimensional (v. g., RIVER 2D). Assim, este tipo de modelação com grande grau de precisão é muito útil, pois pode possibilitar a comparação de condições hidráulicas requeridas pela biota em diferentes tipos de rios ^[24].

O foco das metodologias de simulação de habitat é maioritariamente nas espécies-alvo e nos seus respectivos problemas. Como existem diversos e complexos grupos de espécies, este tipo de métodos é criticado por certos autores, porque estes consideram que nenhum único RCE recomendado pode ser usado para otimizar a disponibilidade de habitat das espécies de uma comunidade em estudo. Além disso, muitos consideram extremamente difícil julgar quais as espécies do ecossistema com maior importância que deverão ser alvo de análise. Também, embora estas metodologias sejam suficientemente flexíveis para serem aplicadas a diversas espécies e estádios de vida, não podem ser aplicadas ainda para certos componentes dos ecossistemas ribeirinhos, como por exemplo para a vegetação riparia ou marginal, bem como não atendem às modificações geomorfológicas a longo prazo dos rios. Há que realçar também, que estes métodos são de aplicação onerosa e requerem um considerável número de peritos de diversas áreas, o que leva muitos especialistas nesta área a afirmar que em alguns casos, este tipo de metodologias é somente mais uma ferramenta como outras já existentes para determinar a definição de RCE's ^[23].

O método mais usado deste tipo é a Metodologia IFIM, que é considerada por muitos ecologistas, a mais sofisticada e científica e legalmente defensível metodologia deste género, para realizar estudos para definição de RCE's para rios. É das mais usadas no mundo, particularmente nos Estados Unidos da América, onde foi desenvolvida ^[23].

2.2.2.4. Métodos Holísticos

Os métodos holísticos são vistos por muitos peritos em caudais ecológicos como uma das maiores evoluções científicas neste campo e são actualmente reconhecidos internacionalmente ^[17]. No entanto, estes métodos representam somente 7,7 % das metodologias globalmente utilizadas, com cerca de 16 metodologias referenciadas, usadas com maior frequência em países como a Austrália, África do Sul e Reino Unido ^[12].

As metodologias holísticas apresentam diversas vantagens em comparação com os outros tipos de métodos, pois estas podem ser potencialmente usadas de forma a abranger todos os componentes dos ecossistemas ribeirinhos e têm fortes ligações com o regime hidrológico natural. As componentes dos ecossistemas que são normalmente consideradas numa avaliação holística são a geomorfologia, o habitat hidráulico, a qualidade da água, a vegetação aquática e riparia, os macroinvertebrados, os peixes e outros vertebrados com qualquer dependência do regime de caudais do rio e da vegetação ribeirinha ^[11]. Como atrás descrito, estes métodos incorporam variáveis biológicas, geomorfológicas, hidrológicas e também consideram todas as características do regime de caudal, tais como a ocorrência de cheias. Os resultados obtidos podem ser apresentados de diversas formas (v. g., caudais ecológicos mensais, anuais, etc.). São muito pragmáticos, robustos, flexíveis e transparentes e foram originalmente criados para auxiliar as avaliações ambientais de regimes de caudais, concretamente no que respeita ao tempo, custos e alguns tipos de constrangimentos possíveis de existir. Os métodos holísticos remetem para uma extensa e complicada avaliação pericial, por isso deve-se ter atenção ao rigor da sua aplicação, tendo em vista a obtenção de resultados coerentes. Podem ser aplicados a situações em que existem poucos ou muitos registos, mas obviamente obtém-se uma avaliação mais coerente dos cursos de água de um certo estudo quando existem mais registos de informação ^[23].

Estas metodologias encontram-se firmemente baseadas em situações de clima e hidrologia variável, geomorfologia heterogénea e numa informação disponível, mas limitada, sobre as dependências entre a biota e os regimes de caudais, em países com a Austrália e a África do Sul ^[23].

As três metodologias mais aplicadas deste tipo e que têm tido um desenvolvimento em paralelo desde 1991, são ^[23]:

- The Building Block Methodology, na África do Sul;
- Australian Holistic Approach, na Austrália.
- Expert Panel Assessment Method

Pode-se afirmar que a aplicação deste tipo de metodologias tem cada vez mais atraído outros países (v. g., Reino Unido), para além dos atrás mencionados utilizadores ^[23].

Por fim, e como crítica a estes métodos, pode-se afirmar que são métodos caros, pois exigem o envolvimento de muitos peritos de diversas áreas e também, embora tenham procedimentos de

aplicação sistematizados, nunca se conseguirá excluir completamente a subjectividade de algumas decisões ^[23].

2.2.2.5. Metodologias Combinadas e Outras Abordagens

Uma percentagem elevada de metodologias, 16,9 % das utilizadas a nível global, representa algumas combinações entre abordagens hidrológicas, hidráulicas, de simulação de habitat e holísticas. Este tipo de métodos têm sido desenvolvidos e a sua aplicação têm vindo aumentar por todo o mundo. No entanto, somente metade destes métodos se encontra associada a um procedimento estabelecido e sistematizado ^[12].

Estas metodologias são normalmente específicas e variam de país para país, mas todas passam normalmente por uma combinação das características dos métodos hidráulicos com aspectos biológicos, como por exemplo o Método Basco ^[12].

As regiões do mundo onde se utilizam com mais frequência este género de métodos são em África, nas zonas imediatamente abaixo do Deserto Sahara, na Ásia e nos Estados Unidos da América ^[12].

São métodos ainda pouco sistematizados a nível global, pelo que não são englobados em nenhum tipo de metodologias existentes, sendo aplicados em casos específicos ^[12].

2.2.2.6. Comparação a Nível Global

Depois de apresentadas as várias tipologias de métodos actualmente existentes é interessante verificar em termos quantitativos as suas aplicações nas diversas regiões mundiais.

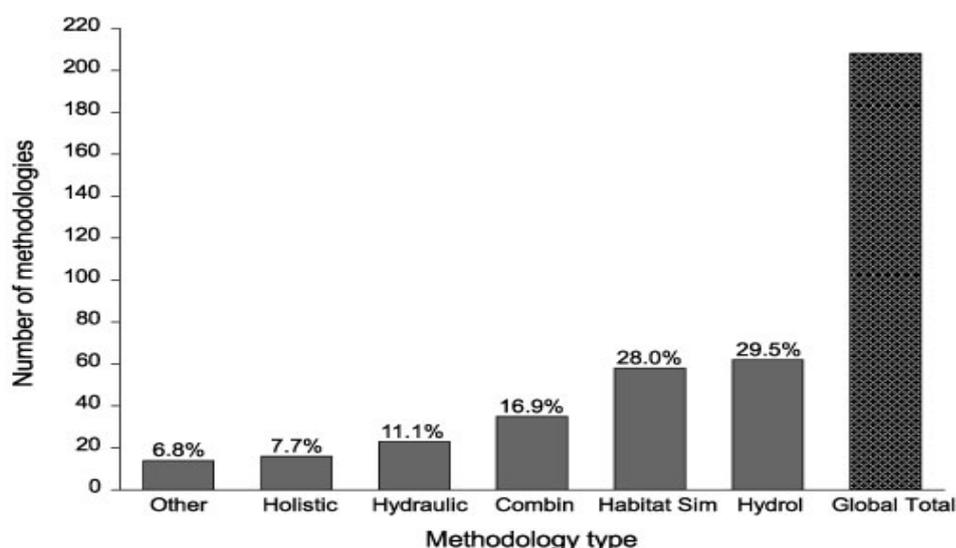


Figura 6 – Número de metodologias dos vários tipos existentes a nível global ^[12]

Como se pode constatar na figura 6, das 220 metodologias existentes, a maior parte são do tipo hidrológico (29,5 %) e de simulação de habitat (28 %). Por outro lado, o tipo de métodos para definição de caudais ecológicos com menor representação é o holístico (7,7 %).

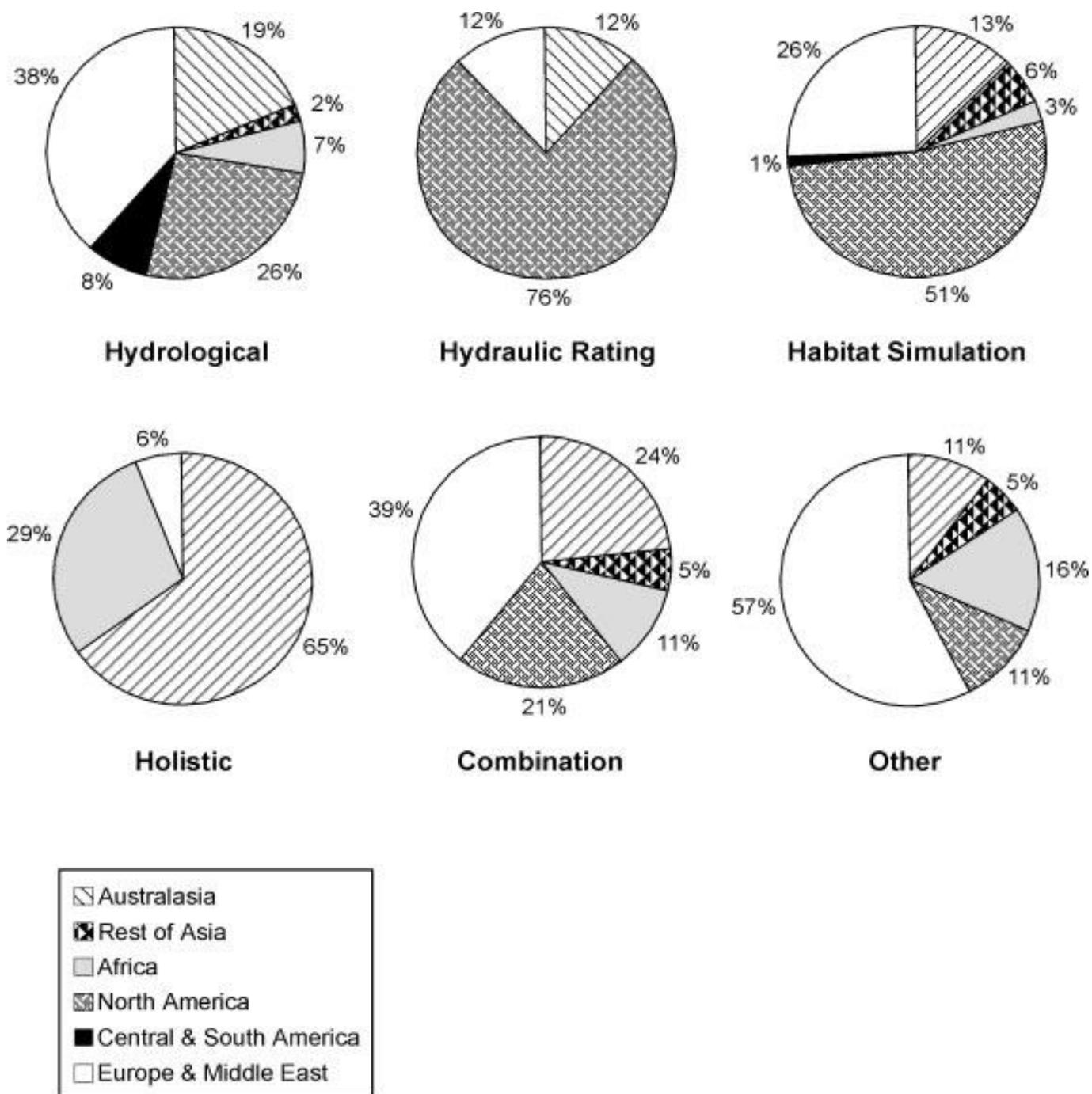


Figura 7 – Percentagem relativa da aplicação de cada um dos 6 tipos de métodos de definição de caudais ecológicos para as diversas regiões do mundo ^[12]

Como se pode verificar na figura 7, os métodos hidrológicos têm maior aplicação na Europa. Por outro lado, os métodos hidráulicos são extremamente usados na América do Norte, correspondendo a mais de metade das aplicações de metodologias para definição de caudais ecológicos (76 %). É também na América do Norte, onde a aplicação das metodologias de simulação de habitat são mais frequentes (51%). No entanto, os métodos holísticos têm ênfase na Australásia, que detém mais de metade das aplicações deste tipo de metodologia (65%), embora se verifique que em África este tipo de métodos tenha razoável aplicação (26%). Por fim, tanto as metodologias combinadas, como também, as outras metodologias para definição de caudais ecológicos, apresentam maior percentagem de aplicação no continente europeu. Como se pode observar no quadro 2, os Estados Unidos da América é o país que possui maior percentagem de aplicação das metodologias para definição de caudais ecológicos existentes. Como segundo maior utilizador dos métodos existentes, encontra-se a Austrália, que frequentemente aplica cerca de 37 das 207 metodologias para definição de caudais ecológicos existentes. Portugal encontra-se no fundo da Quadro dos 10 países com maior aplicação de metodologias para definição de caudais ecológicos, em igualdade com países mais desenvolvidos, como a França e a Itália. Na figura 8, pode-se constatar o anteriormente descrito mas em termos de percentagem relativa.

Country	No. EFMs (% of GT 207)	Total no. types (max 6)	No. Hydro (% of GT 61)	No. Hydraulic (% of GT 23)	No. Habitat Sim (% of GT 58)	No. Holistic (% of GT 16)	No. Combin (% of GT 35)	No. Other (% of GT 14)
USA	77 (37%)	5	20 (33%)	19 (83%)	29 (50%)	—	8 (23%)	1 (7%)
Australia	37 (18%)	6	11 (18%)	1 (4%)	6 (10%)	11 (69%)	6 (17%)	2 (14%)
UK	23 (11%)	6	10 (16%)	1 (4%)	1 (2%)	1 (6%)	3 (9%)	7 (50%)
Canada	22 (11%)	4	9 (15%)	1 (4%)	10 (17%)	—	—	2 (14%)
South Africa	20 (10%)	5	6 (10%)	—	2 (3%)	5 (31%)	4 (11%)	3 (21%)
New Zealand	20 (10%)	5	8 (13%)	2 (9%)	6 (10%)	—	3 (9%)	1 (7%)
Spain	14 (7%)	4	8 (13%)	—	4 (7%)	—	1 (3%)	1 (7%)
Italy	11 (5%)	5	4 (7%)	1 (4%)	1 (2%)	—	4 (11%)	1 (7%)
France	10 (5%)	3	3 (5%)	—	6 (10%)	—	1 (3%)	—
Portugal	10 (5%)	4	7 (11%)	1 (4%)	1 (2%)	—	1 (3%)	—

Abbreviations: GT, global total; Hydro, hydrological; Hydraulic, hydraulic rating; Habitat Sim, habitat simulation; Combin, combination. A dash indicates no recorded application of the specific methodology type.

Quadro 2 – Número de metodologias usadas para definição de caudais ecológicos dos diferentes tipos e respectivas proporções em relação ao total global para 10 países onde maior aplicação de métodos foi registada ^[12]

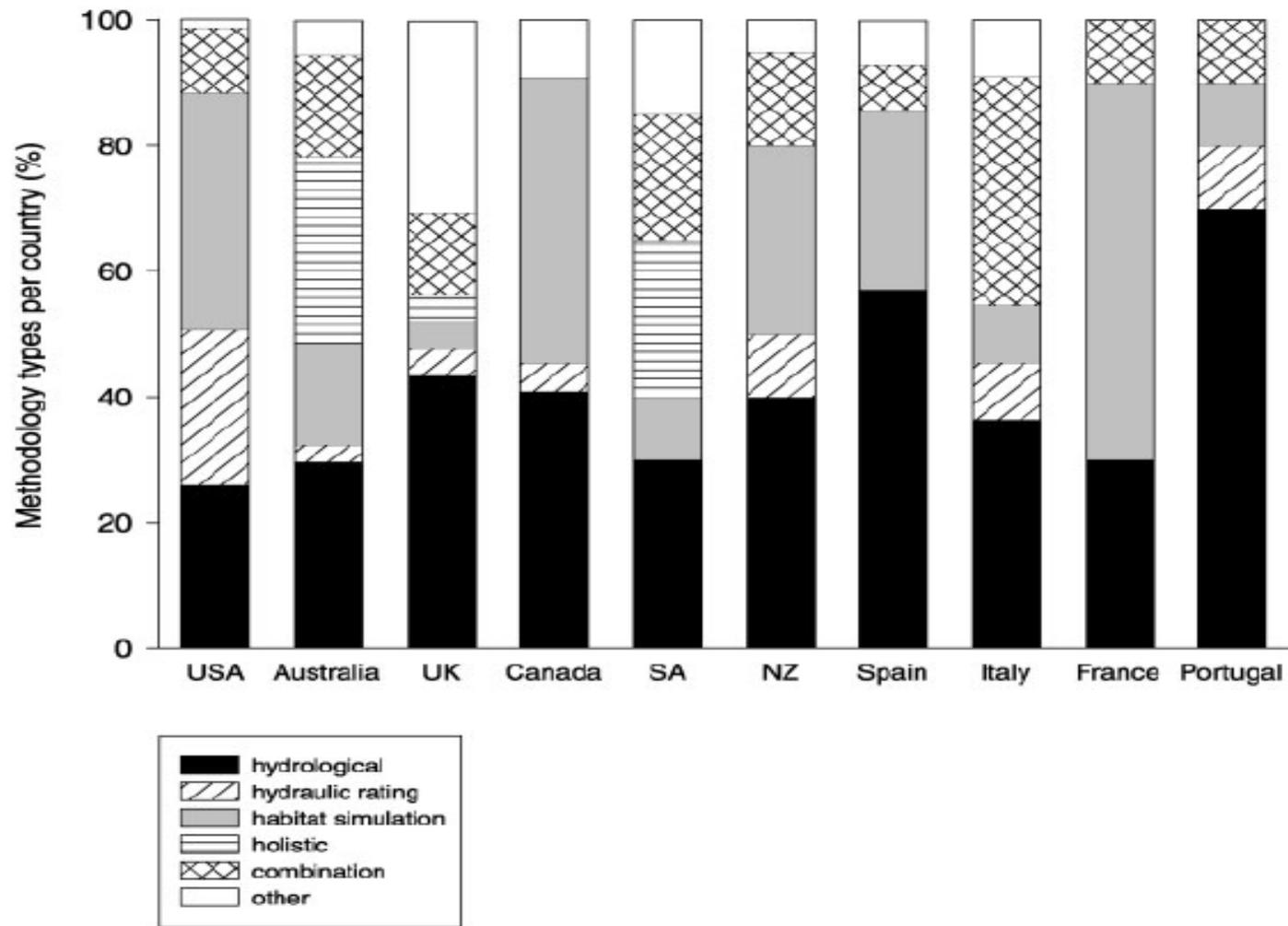


Figura 8 – Percentagem relativa do número de metodologias para definição de caudais ecológicos dos diferentes tipos e respectivas proporções em relação ao total global para 10 países onde maior aplicação de métodos foi registada^[12]

2.3. PRINCIPAIS METODOLOGIAS APLICADAS EM PORTUGAL

2.3.1. MÉTODO DO INAG

Em 2002, *Alves e Bernardo* ^[18], apresentaram um método hidrológico, denominado por Método do INAG, DSP, 2002 adaptável a Portugal Continental para definir o RCE a manter a jusante de aproveitamentos hidráulicos e que admitem conduzir a um regime modificado que, na sua variabilidade intra-anual, mimetiza o regime natural ^[18].

Este método, encara a divisão de Portugal continental em três regiões que os autores reconhecem como hidrologicamente homogéneas, cada uma com um regime de caudal associado, definido à escala mensal, com base nos quantis obtidos a partir das curvas de duração médias anuais referentes aos sucessivos meses ^[18, 25].

Região ou sub-região			
Mês	Norte do Rio Tejo, excluindo a sub-região Terra Quente	Sul do Rio Tejo	Terra Quente
Outubro	q75	qmed	q50
Novembro	q75	q25	q50
Dezembro	q75	(q50 +q25) /2	q75
Janeiro	q75	q50	q75
Fevereiro	q90	q50	q75
Março	q90	q50	q75
Abril	q90	q50	q90
Mai	q90	q50	q90
Junho	q90	q50	q75
Julho	q75	qmed	q50
Agosto	q75	qmed	qmed
Setembro	q75	qmed	qmed

Quadro 3 – Definição dos caudais de manutenção ecológica de acordo com o Método do INAG, DSP, 2002 ^[25]

No quadro anterior, q_{med} representa o caudal médio no mês em estudo (caudal médio mensal) e o caudal q_{α} é tal que, na média dos anos, em α % do número de dias desse mês ocorrem caudais superiores ao mesmo. Sendo assim o índice α representa a estimativa amostral da probabilidade de excedência associada a q_{α} determinada com base nos registos hidrométricos. Devido a tal facto, *Alves e Bernardo*, referem que para este método apenas se consideram as estações hidrométricas com mais de dez anos de observações ^[18, 25].

2.3.2. MÉTODO DE TENNANT OU MONTANA

O Método de Tennant ou Montana foi desenvolvido nos Estados Unidos da América por Tennant no início da década de 70 ^[26].

Nesta metodologia hidrológica, a recomendação de um caudal mínimo é baseada num conjunto de percentagens do caudal médio anual, calculado para o local do aproveitamento hidráulico, avocando a diferentes percentagens para o semestre húmido (Outubro – Março) e para o semestre seco (Abril – Setembro).

Este método é especificamente apropriado para estudos ao nível do planeamento regional, constituindo o segundo método mais aplicado nos Estados Unidos da América ^[26].

Segundo o autor, Tennant, a utilização desta metodologia abrange as seguintes etapas ^[26]:

- Determinação do caudal médio anual no local do aproveitamento hidráulico;
- Visualização do curso de água em estudo, durante os períodos em que o caudal no curso de água é aproximadamente 10%, 30% e 60% do caudal médio anual, documentando-o com recurso a fotografias dos vários tipos de habitat particulares e a medições em secções transversais características da largura do leito e da profundidade e velocidade de escoamento. Poderão ser, igualmente analisados outros caudais, mas estes três permitem englobar a gama de caudais que, de um modo geral, será aconselhado tendo em vista a protecção dos ecossistemas aquáticos e ripícolas da maioria dos cursos de água;
- Por fim, utilizar a informação adquirida para elaborar recomendações de caudais a manter no curso de água, com base no conteúdo do quadro seguinte (Quadro 4) ^[26];

Caudal	Regime de caudais recomendados (% do caudal médio anual)	
	Semestre seco	Semestre húmido
De descarga ou máximo	200	
Gama de variação óptima	60 - 100	
Excelente	40	60
Muito bom	30	50
Bom	20	40
Fraco ou degradante	10	30
Pobre ou mínimo	10	
Degradação elevada	0 - 10	

Quadro 4 – Regime de caudais recomendados, segundo o Método de Tennant ^[27]

Em Portugal a aplicação do Método de Tennant foi sugerida com algumas alterações por *Alves* em 1993 ^[27] e pela European Commission em 1996, para que os caudais ecológicos recomendados não fossem superiores aos valores do caudal médio mensal. Sendo assim foi sugerido, para aproveitamentos mini-hídricos, que para os meses em que o caudal médio mensal é inferior ao caudal recomendado, o caudal médio mensal fosse então considerado o valor do caudal ecológico para esse mês ^[27].

A European Commission (1996), para as bacias hidrográficas internacionais sugere uma redistribuição das percentagens inicialmente definidas por Tennant, no sentido de reflectir as condições hidrológicas nacionais ^[27]. Sendo assim, para Portugal, o período de caudais ecológicos máximos foi definido como sendo de Dezembro a Março e o período de caudais ecológicos mínimos de Junho a Setembro, sendo Abril, Maio, Outubro e Novembro, meses de transição para os quais são estabelecidos valores de caudais intermédios, considerando que o valor recomendado em cada mês não deve ser superior ao caudal médio mensal (Quadro 5) ^[27].

Caudal	Regime de caudais recomendados (% do caudal médio anual)		
	Junho-Setembro	Abril, Maio, Outubro, Novembro	Dezembro-Março
Excelente	40	50	60
Muito bom	30	40	50
Bom	20	30	40
Fraco ou degradante	10	20	30
Pobre ou mínimo	10	10	10
Degradação elevada	0 - 10		

Quadro 5 – Regime de caudais recomendados, para as bacias hidrográficas dos rios internacionais portugueses Douro, Tejo e Guadiana, com base no Método de Tennant ^[27]

2.3.3. MÉTODO DO CAUDAL BÁSICO OU DA NOVA INGLATERRA

O Método do Caudal Básico ou da Nova Inglaterra foi desenvolvido pelo United States Fish and Wildlife Service (U.S.F.W.S) em 1981, para a região da Nova Inglaterra nos E.U.A ^[18, 27].

Nesta metodologia, o possível caudal mínimo é recomendado com base num registo histórico de caudais, a partir do qual é calculada a mediana do caudal no mês de Agosto, mês onde a mediana é mais baixa. Sendo assim, este constitui o caudal básico (caudal mínimo), a manter durante o ano com excepção para os períodos de reprodução e incubação das espécies piscícolas. Como neste período a mediana é mais baixa, o caudal mínimo corresponderá à mediana do caudal durante o mesmo período, se for superior ao caudal básico. Mas, o cálculo da mediana é vigoroso para cursos de água naturais, para sítios onde exista um registo de caudais com uma dimensão mínima de 25 anos. Em outras situações, como por exemplo em cursos de água naturais em que se verifiquem derivações importantes e em que o tamanho do registo de caudais é inferior a 25 anos, o caudal mínimo é dado por uma percentagem de um caudal definido em função da área de bacia hidrográfica. Nos casos, em que o caudal do curso de água é menor do que o definido por este critério, então o caudal mínimo é o caudal instantâneo que ocorre nesse período ^[18].

Estação do Ano	Período de registos históricos	
	< 25 anos ($m^3 s^{-1}/km^2$)	≥ 25 anos ^(a)
Abril - 1ª quinzena de Junho ^(b)	0,29	100 % mediana de Agosto ^(c)
2ª quinzena de Junho - Setembro	0,04	100 % mediana de Agosto ^(c)
Outubro - Março	0,07	100 % mediana de Agosto ^(c)

^(a) rio natural, bacia hidrográfica superior a 130 km², precisão superior ou igual a 10%
^(b) períodos de postura e incubação
^(c) se o caudal no curso de água a montante da albufeira for inferior à mediana do mês de Agosto, então caudal a manter é o caudal que se verifica nesse local do curso de água

Quadro 6 – Caudais mínimos recomendados segundo o Método do Caudal Básico ^[27]

Análises comparativas com outros métodos reflectem que, de uma forma geral, os resultados obtidos com esta metodologia são mais conservativos, isto é, os caudais recomendados são superiores aos obtidos com os outros métodos ^[27].

Alguns problemas têm sido levantados, no que respeita à aplicação deste método a cursos de água temperadas quentes, especificamente pelo facto de o caudal mais baixo não ocorrer sempre em Agosto e atingir usualmente valores próximos ou iguais a zero ^[27].

Sendo assim, este método tem sido ajustado a outras regiões dos Estados Unidos da América, com por exemplo aos Estados da Virgínia e Carolina do Norte, em que, em vez do mês de Agosto, é considerado o mês de Setembro ^[27].

Em Portugal, tal problemática também foi considerada e Alves e Bernardo, em 2002 decidiram, para os Rios Luso-Espanhóis, considerar a mediana do período de estiagem (Julho a Setembro) em vez da mediana no mês de menor escoamento, passando esta abordagem por denominar-se Método do Caudal Básico modificado ^[27].

Além disso e a fim de introduzir variabilidade intra-anual, calcularam o volume anual de escoamento mediante o processo atrás referido, mas redistribuindo-o tendo em conta a divisão do escoamento médio mensal pelo escoamento médio anual (escoamento médio mensal/escoamento médio anual). A partir daqui, o método mereceu a designação de Método do Caudal Básico (com redistribuição) ^[27].

2.3.4. MÉTODO DO CAUDAL BASE

O Método do Caudal Base foi desenvolvido para os cursos de água da Catalunha (Norte de Espanha), tendo como base um conjunto de cursos de água representativos dos vários tipos de regime hidrológico que caracterizam a região, especificamente regime permanente ou temporário, com ou sem características mediterrâneas ^[18].

Pode-se considerar esta metodologia, uma ferramenta que possibilita a interpretação da informação contida nas séries de caudais referentes a um dado curso de água, com o objectivo de definir um caudal mínimo para o mesmo. Além disso, integra na sua estrutura base um conjunto de conceitos limnológicos que cobrem diferentes e importantes aspectos de gestão ecológica de rios e que, no global, estruturam um RCE, pretendendo assim, criar propostas de gestão racional para a conservação de rios regularizados ^[18, 27].

Este método inclui vários tipos de caudal que são ou não calculados com as necessidades de cada curso de água regularizado. Das suas componentes possíveis, destacam-se ^[18, 27]:

- O caudal mínimo absoluto a manter no curso de água;
- O caudal de manutenção ou valor mínimo a manter no sistema fluvial ao longo do tempo, normalmente com uma base mensal;
- O caudal de acondicionamento para a conservação de valores específicos (v. g., paisagísticos);
- O caudal gerador baseado na média dos caudais de cheia das séries históricas e que tem por função controlar a vegetação e limpar o leito do rio;
- O caudal máximo admissível para situações de descargas periódicas de aproveitamentos de grande capacidade de regularização;

- A taxa máxima admissível de alteração do caudal por unidade de tempo para mitigação de variações demasiado bruscas do caudal.

O Método do Caudal Base apresenta um elevado grau de sensibilidade ao tipo de rio e ao respectivo regime hidrológico e parte do princípio de que as comunidades biológicas que aí vivem, e cujos ciclos de vida são relativamente curtos, evoluíram no tempo em concordância com as características hidrológicas historicamente presentes nos sistema fluvial [18, 27].

Ao contrário da maior parte dos métodos hidrológicos, esta metodologia dirige-se aos valores médios diários do caudal em regime natural, em detrimento dos valores médios mensais [18, 27].

Das componentes atrás apresentadas, destacam-se as duas primeiras: o caudal mínimo absoluto (caudal base) e o caudal de manutenção [18, 27].

O primeiro é considerado o elemento chave da proposta de RCE's, pois uma grande parte dos restantes parâmetros depende deste. O caudal base deduz-se do estudo das descontinuidades na tendência de variação dos caudais mínimos observados em séries históricas de caudais médios diários, adquiridos a partir da aplicação de um procedimento baseado em médias móveis. A expressão matemática que explicita o método é [27]:

$$\mu_{j,p,s} = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^{k=s} q_{p+k-1}^j \quad (1)$$

μ – caudal base;

S – incremento de tempo para cálculo da média móvel (1 a 100);

p – número de ordem da média móvel dentro do intervalo escolhido (varia de 1 a 365 – s);

j – ano considerado;

q – caudal médio diário no dia $p+k-1$ do ano j .

Segundo *Alves*, o valor do caudal base deverá ficar compreendido entre os caudais médios diários a que correspondem durações médias anuais de 217 e 361 dias.

O caudal de manutenção é o caudal mínimo que deve circular no rio ao longo do tempo e decorre da aplicação de um factor de variabilidade temporal ao caudal base. Este caudal calcula-se a partir da relação atenuada entre o caudal médio de cada mês e o menor caudal mensal médio. A sua definição usa uma base mensal, mas pode ser estabelecido para qualquer outra escala temporal, até ao dia. O cálculo do caudal de manutenção efectua-se de acordo com a seguinte equação que, em termos práticos, concretiza uma “rotação” mensal do caudal base [27]:

$$Q_{mi} = Q_b \sqrt{\frac{Q_{mes\ i}}{Q_{mes\ min}}} \quad (2)$$

Q_{mi} – caudal de manutenção médio para o mês i ;

$Q_{mes\ i}$ - caudal médio mensal para o mês i ;

Q_b – caudal base;

$Q_{mês\ min}$ – menor das médias dos caudais mensais médios.

Devido ao elevado grau de sensibilidade do caudal base em relação ao regime hidrológico, aumentando com o aumento do escoamento anual médio e da área da bacia hidrográfica, pode-se concluir que o Método do Caudal Base poderá não se adequar a todos os tipos de regime hidrológico, além disso, foi desenvolvido de forma relativamente específica para a zona da Catalunha, no norte de Espanha ^[18, 27].

2.3.5. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO

O Método do Perímetro Molhado, que também é conhecido por Método dos Transeptos, começou a ter uma utilização acentuada a partir do trabalho de *White* em 1976, que desenvolveu um regimento baseado numa análise comparativa entre os caudais que se escoam num curso de água e os correspondentes perímetros molhados, na possibilidade de existência de uma relação crescente entre tais perímetros e a capacidade biogénica do rio ^[28].

Este método refere que, para uma dada secção de um troço de água caracterizada pelo respectivo perfil transversal, seja obtida a curva que relaciona os caudais, Q , que aí se escoam com os perímetros molhados, P , que lhes correspondem – curva (P, Q) . O caudal ecológico recomendado pelo método corresponde ao caudal, de entre os mais baixos caudais escoados, para o qual a anterior curva reflecte uma inflexão e que a partir desta o crescimento do perímetro molhado com o acréscimo de caudal não seja muito acentuado ^[28].

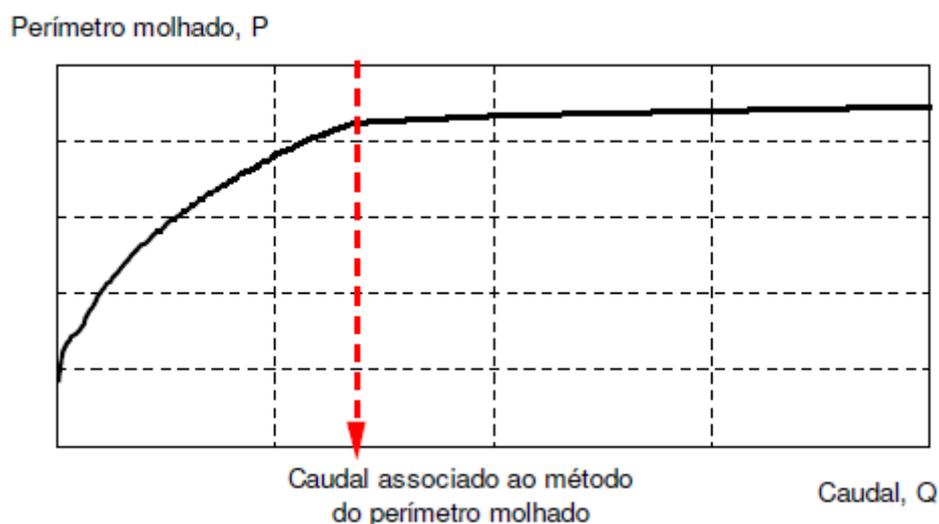


Figura 9 – Caudal ecológico a adoptar na aplicação do Método do Perímetro Molhado ^[28]

No entanto, é relevante realçar que para a obtenção de curvas do tipo da anteriormente apresentada, é necessário para uma dada secção, determinar as respectivas curvas de vazão e respectivos perímetros molhados ^[28].

De referir ainda que o formato das curvas (P, Q) obtidas por esta metodologia depende fortemente das características da secção escolhida para o estudo ^[13].

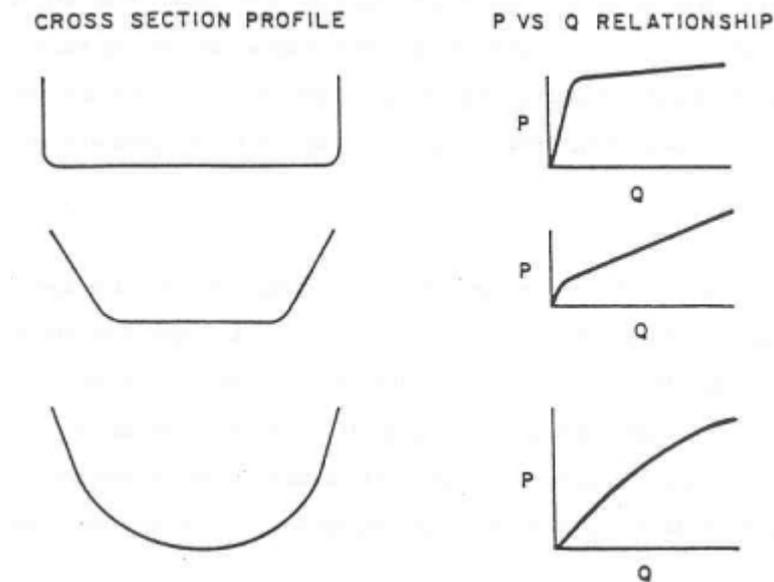


Figura 10 – Curvas (P, Q) para secções de diferentes perfis obtidas pelo Método do Perímetro Molhado ^[13]

Embora este método apenas permita inferir um único caudal para a secção onde foi aplicado, existe uma técnica adicional que, na média dos meses, garante aquele caudal mas que, a partir do mesmo, permite estabelecer um regime hidrológico mensal que se admite mimetizar o regime natural. Assim sendo, a redistribuição mensal do caudal ecológico obtido pelo Método do Perímetro Molhado é possível através da seguinte fórmula ^[28]:

$$Q_i = Q_{eco} \times (Q_{mesi} \div Q_{mod}) \quad (3)$$

Q_i – caudal de manutenção ecológica num dado mês i ;

Q_{eco} – caudal que decorre do perímetro molhado ou caudal ecológico na média dos meses;

Q_{mesi} – média, no período considerado, dos caudais médios diários nos mês i , ou caudal mensal médio no mês i ;

Q_{mod} – caudal médio diário anual ou módulo.

Deve-se denotar que a relação Q_{mesi} / Q_{mod} é um factor que reduz a variabilidade intra-anual do escoamento ^[28].

Por fim, realça-se que este método não é aplicável a cursos de montanha, em que predominam as cascatas, ou a cursos de pequeno declive, em que a zonas de rápidos são pouco significativas. A sua aplicação deve privilegiar cursos de água com secções largas e pouco profundas, relativamente rectangulares, dado que a forma da secção do leito que é seleccionada pode influenciar os resultados. Além disso, a escolha dos pontos de inflexão, ainda não se encontra totalmente sistematizada, o que pode levar a análises subjectivas que consequentemente influenciam os resultados ^[26].

2.3.6. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METODOLOGY” (IFIM)

A Instream Flow Incremental Methodology – IFIM – é uma técnica desenvolvida pelo Cooperative Instream Flow Service Group do United States Fish and Wildlife Service, constituindo uma das metodologias mais utilizadas nos países desenvolvidos para a determinação de caudais ecológicos. Este método pertence ao grupo dos métodos de simulação de habitat ^[24].

A IFIM é um conjunto de processos analíticos e de modelos computacionais elaborados para prever mudanças nos habitats dulciaquícolas devido a alterações do caudal do curso de água. O carácter incremental desta metodologia prende-se com o modo como cada problema é encarado, permitindo que a solução seja encontrada a partir de variações incrementais do caudal, a partir de uma solução inicial, considerando várias alternativas, o que se torna adequado à resolução de problemas que envolvam utilizações conflituais, com várias soluções ^[29].

Esta metodologia é baseada no princípio de que a distribuição dos elementos biológicos de um determinado sistema fluvial – geralmente os peixes – é calculada, entre outros factores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos de água. Cada organismo tem tendência a seleccionar no curso de água as condições que lhe são mais adequadas, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie ^[28].

O Método da IFIM engloba critérios de preferência de habitat (relação entre o habitat utilizado e o habitat disponível) de uma espécie ou mais espécies, numa determinada fase do seu ciclo de vida (v. g., juvenil e adulto) e para uma actividade em particular (v. g., alimentação), de forma a simular a variação de *habitat disponível* em função de vários regimes de caudal ^[28].

Todo o processo de análise de dados, inerente a esta metodologia, é realizado actualmente por modelos computacionais bidimensionais, como por exemplo o Modelo River2D, um dos mais completos e utilizados programas de modelação bidimensional ^[28].

De modo prático e sucinto, a determinação do caudal ecológico pela IFIM envolve as seguintes etapas ^[29]:

1. Selecção das variáveis ambientais;
2. Escolha das espécies piscícolas;
3. Definição dos locais de amostragem;
4. Descrição das características do habitat;
5. Determinação da área total de habitat disponível;

6. Determinação do caudal ecológico;
7. Proposta de definição do RCE;

No que respeita ao item 7. atrás mencionado, *Jalon* em 2003, propôs o estabelecimento dos critérios de uso/preferência de habitat para o período biologicamente mais crítico (período de menores caudais), sendo esse valor posteriormente transposto para as restantes épocas do ano (meses) ^[28].

Na aplicação da Metodologia IFIM, os inconvenientes mais evidentes são os custos inerentes a um trabalho de campo muito intenso, a perda de precisão na modelação hidráulica para caudais baixos, o facto deste método se destinar apenas a espécies estritamente aquáticas e a reduzida possibilidade de extrapolação para condições ambientais distintas ^[30].

2.3.7. MÉTODO DE AVALIAÇÃO POR PAINEL DE ESPECIALISTAS (EXPERT PANEL ASSESSMENT METHOD)

O Método de Avaliação por Painel de Especialistas foi desenvolvido pelo New South Wales Fisheries (Austrália) com o objectivo de ser aplicado a cursos de água regularizados ^[23, 28].

È um método holístico, que muito recentemente começou a ter ênfase em Portugal, que tem como fundamento de que a sobrevivência e abundância das espécies em avaliação (v. g., ictiofauna), constituem um indicador coerente do estado do ecossistema aquático, sendo esses fundamentos avaliados com base na opinião de peritos de cada um desses elementos ^[23, 28].

O estado do ecossistema é avaliado por especialistas em elementos biológicos e por especialistas em geomorfologia fluvial e na sua intervenção os peritos analisam os aspectos relativos a cada um dos elementos considerados, como por exemplo, mata riparia, macroinvertebrados bentónicos, associações piscícolas e geomorfologia ^[23, 28].

É um método que se pode considerar uma ferramenta de auxílio de outros métodos, uma vez que analisa a adequabilidade dos RCE's estabelecidos na aplicação de outras metodologias, contrastando os diferentes RCE's obtidos com as exigências ambientais fixadas à priori ^[23, 28].

Pode-se afirmar que é um método dispendioso, uma vez que requer a contribuição de peritos de diversas áreas ^[23, 28].

Em suma, o Método de Avaliação por Painel de Especialistas é bastante útil para enquadrar, os resultados obtidos por outras metodologias, com os objectivos ambientais a alcançar num determinado estudo ^[23, 28].

2.4. METODOLOGIAS ACTUALMENTE NÃO APLICADAS EM PORTUGAL

2.4.1. TIPOLOGIA E ORIGEM DAS METODOLOGIAS

Nomeiam-se de seguida, de forma simplista, algumas das inúmeras metodologias existentes para definição de RCE's, que não têm tido grande ou mesmo nenhuma aplicação em Portugal, mas que são utilizadas frequentemente em outros países: ^[18, 31]

Metodologia	Tipo	País de Origem
Método de Hope	Hidrológico	Estados Unidos da América
Método 7Q10	Hidrológico	Estados Unidos da América
Método do Colorado	Hidráulico	Estados Unidos da América
Método de Idaho	Hidráulico	Estados Unidos da América
Método de Washington	Simulação de Habitat	Estados Unidos da América
Método da Califórnia	Simulação de Habitat	Estados Unidos da América
Método Basco	Combinado	Espanha
Building Block Methodology	Holístico	África do Sul

Quadro 7 – Alguns Métodos com pouca ou nenhuma aplicação em Portugal

De seguida descreve-se a Building Block Methodology (BBM), que se considera uma metodologia que devido às suas características pode constituir uma abordagem interessante no futuro, no que respeita ao estudo de definição de RCE's em Portugal.

2.4.2. MÉTODO DE CONSTRUÇÃO DE BLOCOS – BUILDING BLOCK METHODOLOGY (BBM)

A BBM foi desenvolvida para os cursos de água da África do Sul, pelo Department of Water Affairs and Forestry, com o intuito de identificar um conjunto de caudais que permitissem a conservação global dos ecossistemas fluviais. De 1991 a 1998 foi aplicada em 14 projectos [18].

O início do desenvolvimento deste método foi realizado em paralelo com técnicos australianos, pelo que tem semelhanças com a abordagem holística, desenvolvida para os cursos de água da Austrália [18].

Esta metodologia baseia-se nos seguintes parâmetros [18, 23]:

- A biota de um curso de água está adaptada às características do seu regime hidrológico. A manutenção de caudais não característicos desse curso tornar-se-á uma perturbação do ecossistema que poderá alterar o seu carácter;
- A identificação das principais características do regime hidrológico natural e a sua inclusão no regime hidrológico modificado contribuirá para a manutenção do ecossistema;

- A verificação dos caudais que influenciam a geomorfologia do leito e a sua integração no regime de caudais modificados contribuirá para a manutenção da estrutura do canal e da diversidade dos biótopos físicos.

A definição do regime hidrológico modificado realiza-se durante um *workshop*, envolvendo três fases:

1. A preparação do *workshop* (congresso);
2. A realização do *workshop* e inclusão das conclusões na fase de planeamento;
3. Construção do projecto.

A fase de preparação do *workshop* tem uma duração média de 6 meses e engloba uma série de actividades definidas para recolher e preparar toda a informação importante relativa ao curso de água, que será disponibilizada aos participantes no *workshop*. Os tópicos abordados nesta fase são os seguintes ^[18, 23]:

- Identificação da área de estudo;
- Caracterização do estado actual do rio;
- Determinação da importância económica, social e ecológica da área de estudo a nível local, regional, nacional e internacional;
- Relação das populações locais com o rio;
- Caracterização geomorfológica do curso de água;
- Caracterização da qualidade da água;
- Caracterização da fauna e da vegetação rípica;
- Selecção dos troços do curso de água e dos locais para os quais se procederá à identificação dos caudais a incluir no regime hidrológico modificado;
- Caracterização do regime hidrológico natural;
- No caso de cursos de água efémeros ou de leito arenoso deve proceder-se à caracterização das águas subterrâneas;
- Definição do estado do rio que se considera desejável no futuro.

Um *workshop* tem uma duração média de dois a quatro dias, envolve em média cerca de 20 pessoas e inclui especialistas de diversas áreas: gestão de recursos hídricos, hidrologia, modelação, ecologia, etc. O *workshop* é constituído por quatro sessões principais: visita a cada local seleccionado, troca de informação, identificação e caracterização dos caudais para cada local escolhido e síntese final ^[18].

Após uma discussão global sobre o tipo de regime hidrológico que permitirá a manutenção do ecossistema num estado considerado indicado, os caudais necessários são identificados mês a mês, começando pelos caudais mais baixos – 1º bloco, onde cada especialista propõe o caudal baixo que considera necessário para que sejam mantidas determinadas condições de habitat e/ou outras condições ^[18].

Em seguida procede-se à identificação e caracterização dos caudais mais elevados. Os caudais para a manutenção das características do habitat e geomorfológicas do canal, bem como os

caudais de limpeza constituem o 2º bloco, enquanto que os caudais associados à migração e reprodução de espécies piscícolas constituem o 3º bloco ^[18].

A terceira fase tem lugar depois da realização do *workshop* e é onde se procede à elaboração de cenários, em que são considerados dois ou mais estados futuros desejáveis para o curso de água e onde podem fazer alterações aos regimes propostos inicialmente ^[18].

Este método permite uma rápida avaliação ao regime de caudal ecológico adequado para um determinado curso de água, regularizado ou não, possível de englobar desde o início no planeamento e concepção de um determinado projecto. O tempo de aplicação é de cerca de quatro a seis meses, apresentando-se como um método transparente e de fácil compreensão pelo público em geral. No entanto apresenta algumas limitações, nomeadamente a descrição do estado futuro considerado desejável, é predominantemente qualitativa e não quantitativa, considerando que o ecossistema fluvial manterá no futuro do projecto as características que apresenta actualmente, além disso, os resultados obtidos estão fortemente relacionados com a informação disponível e os aspectos da qualidade da água não são coerentemente examinados ^[18, 23].

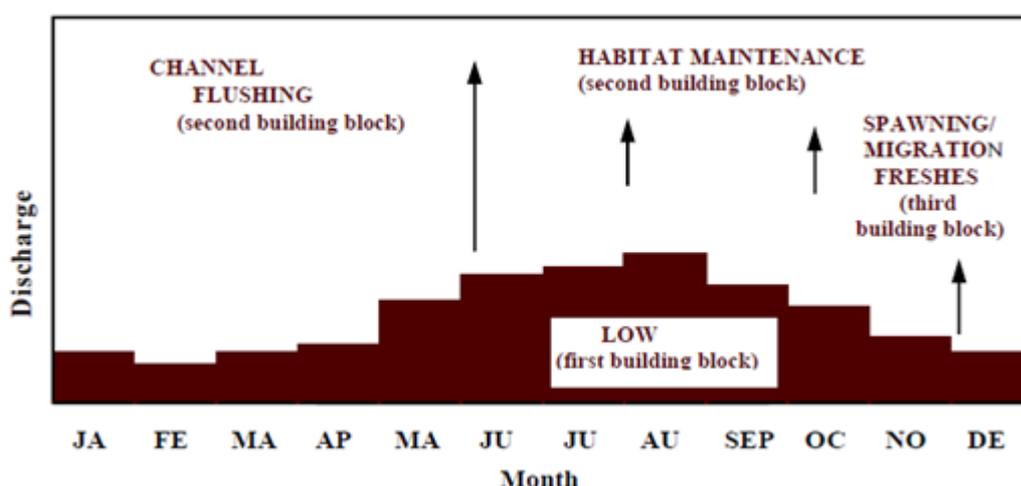


Figura 11 - Exemplo de RCE instaurado após a aplicação do Método de Construção de Blocos ^[23]

2.5. SELECÇÃO DE METODOLOGIAS PARA INVESTIGAÇÃO

Após apresentação das principais metodologias dos vários tipos existentes, que são utilizadas em Portugal, efectua-se uma selecção dos métodos que se consideram mais apropriados para o auxílio do cumprimento das exigências ambientais requeridas pela DQA.

Tendo em conta as características das metodologias de definição de caudais ecológicos apresentadas no capítulo anterior e a obrigação do cumprimento dos objectivos ambientais requeridos pela DQA até 2015, pensa-se que as metodologias hidráulicas e de simulação de habitat, nomeadamente os métodos do Perímetro Molhado e da IFIM, são as mais indicadas para se testar, isto é, considera-se adequado realizar um estudo sobre a forma como estes dois métodos são aplicados na actualidade em Portugal.

A escolha destes dois métodos, não tem como objectivo desvalorizar a aplicação de outras metodologias em Portugal (anteriormente descritas), mas sim promover o desenvolvimento destas duas metodologias em Portugal. Além disso, devido ao carácter ecológico das exigências ambientais requeridas pela DQA aos Estados-Membros até 2015, as metodologias do Perímetro Molhado e IFIM apresentam-se à priori como as principais ferramentas de auxílio dos estudos a desenvolver, uma vez que a primeira engloba características hidráulicas e a segunda características hidráulicas e biológicas, ao contrário da maioria das restantes metodologias aplicadas em Portugal que se baseiam em registos históricos, o que as torna limitadas para as obrigações ambientais actualmente requeridas.

Independentemente do método utilizado e dos valores de RCE's determinados, para verificar se os RCE's cumprem o seu objectivo, isto é, o Bom Potencial Ecológico é necessário monitorizar os mesmos (RCE's). De seguida, realiza-se uma abordagem à importância que os Planos de Monitorização têm no domínio dos RCE's definidos.

2.6. PLANOS DE MONITORIZAÇÃO – IMPORTÂNCIA PARA O ALCANCE DOS OBJECTIVOS AMBIENTAIS PROPOSTOS PELA DQA

Segundo o artigo 8º da DQA, os Estados-Membros deverão garantir a elaboração de planos de monitorização do estado das águas, de modo a permitir uma análise coerente do estado das águas em cada região hidrográfica ^[3].

No que respeita às águas de superfície, estes programas deverão incluir ^[3]:

- O volume e o débito, desde que tal seja importante para o Estado Ecológico e Químico e para o Potencial Ecológico;
- O Estado Ecológico e Químico e o Potencial Ecológico.

O objectivo destes planos de monitorização passa por o fornecimento de informação que permita ^[3]:

- Complementar e validar o processo de avaliação do impacto, descrito no anexo II da DQA;
- Estruturar de forma eficaz e eficiente os futuros programas de monitorização;
- Avaliar as condições a longo prazo nas condições naturais, bem como avaliar as alterações a longo prazo resultantes do aumento da actividade antropogénica.

Estes planos envolvem a monitorização de elementos de qualidade biológica, hidromorfológica e físico-química, logo encontram-se relacionados com a definição de RCE's (indicadores de qualidade hidromorfológica). Somente com a implementação de planos de monitorização é que se pode verificar a validade e coerência, ao longo do tempo, de qualquer RCE estabelecido para qualquer troço a jusante de um aproveitamento hidroeléctrico. No campo dos caudais ecológicos, pode-se realçar que os planos de monitorização são muito relevantes, uma vez que se apresentam como uma avaliação, ao longo do tempo, dos RCE's estabelecidos nos troços a jusante dos aproveitamentos hidroeléctricos e constatarem a evolução temporal dos mesmos RCE's, o que permite tirar conclusões acerca de medidas a implementar tendo em vista o alcance do Bom Potencial Ecológico nos troços em questão ^[3].

É ainda importante destacar que os vários elementos de qualidade (biológica, hidromorfológica e físico-química) para as diversas tipologias de massas de água superficiais

(v. g., rios, lagos, etc.) têm necessidades diferentes no que respeita à frequência de monitorização^[3].

Em suma, na definição de RCE's, os planos de monitorização são de indispensável aplicação tendo em vista o alcance dos objectivos ambientais a cumprir até 2015, isto é, são imprescindíveis no que respeita ao alcance do Bom Potencial Ecológico dos troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos (massas de água fortemente modificadas) até à data atrás referida^[3].

3

ESTUDOS PARA A DEFINIÇÃO DE REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS EM TROÇOS A JUSANTE DE BARRAGENS

3.1. INTRODUÇÃO

O capítulo 3 inicia-se com a descrição dos objectivos e exigências ambientais dos estudos realizados pela EDP Produção. Neste capítulo também são apresentadas as características próprias das barragens do lote A e B, alvos dos estudos de definição de RCE's por parte da EDP Produção. Além disso apresentam-se as metodologias aplicadas, bem como se demonstram os caudais médios mensais em regime natural de cada uma das barragens dos dois lotes. A informação descrita neste capítulo é indispensável ao estudo realizado no capítulo 4.

3.2. OBJECTIVOS E EXIGÊNCIAS DOS ESTUDOS

A EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., contratou empresas especialistas na área do ambiente com o objectivo que estas contribuam para o Bom Potencial Ecológico dos troços a jusante das barragens.

Neste estudo a EDP Produção inclui 14 barragens das quais detém a concessão e dividiu-as em 3 lotes, consoante a sua localização geográfica (Lotes A, B e C). O lote A é constituído por barragens do Cávado, O lote B do Douro (Rio Távora) e do Mondego (Rio Alva e Ribeira do Caldeirão) e o lote C por aproveitamentos hidroeléctricos do Zêzere e do Ocreza.

Embora inicialmente estivesse perspectivado que esta investigação fosse abranger os 3 lotes, devido à política da empresa (EDP Produção), este trabalho incidiu apenas sobre os lotes A e B, nomeadamente sobre as barragens de Paradela, Caniçada (Lote A) e Fronhas (Lote B). São de seguida apresentadas as características próprias das barragens do lote A e B, alvo deste estudo.

3.3. BARRAGENS E TROÇOS DO LOTE A

3.3.1. LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS

Os aproveitamentos hidroeléctricos de Paradela e Caniçada pertencentes a este lote possuem naturalmente características próprias, mas ambos se inserem, em termos de localização geográfica, na Bacia Hidrográfica do Rio Cávado.

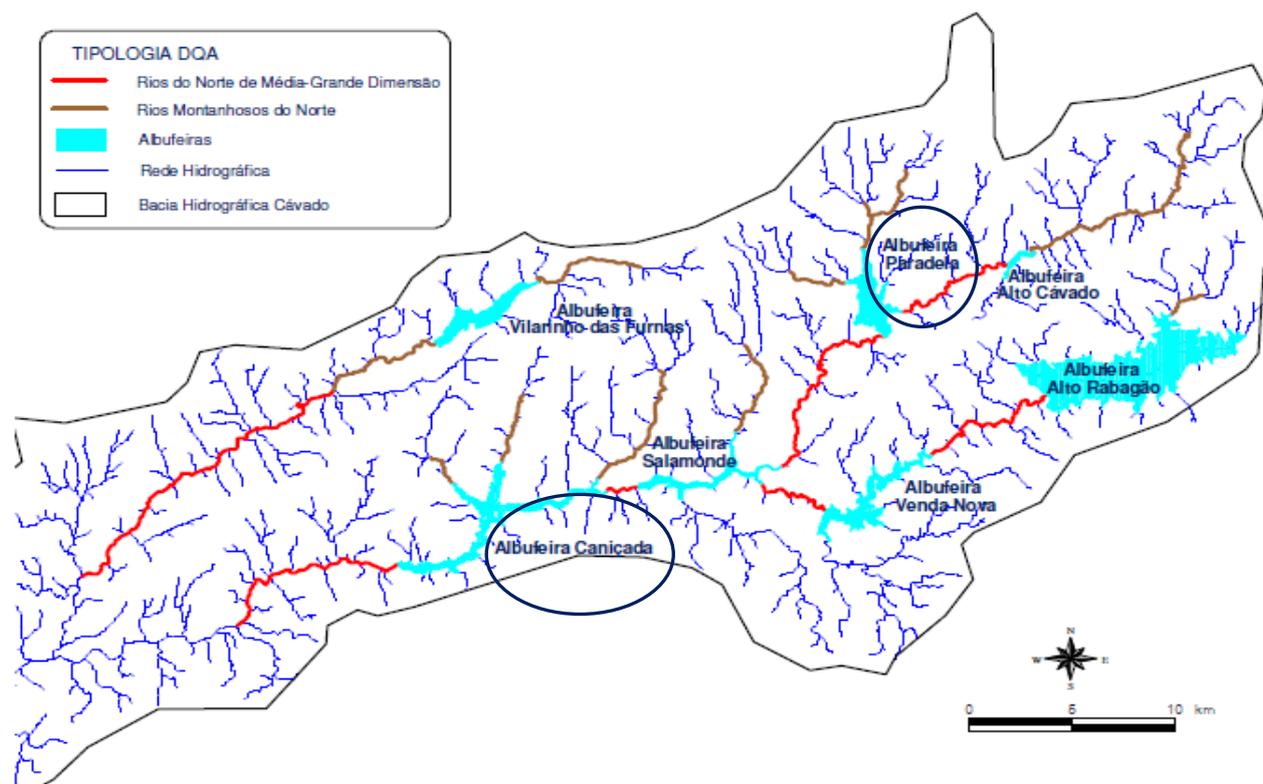


Figura 12 - Localização das barragens do Lote A na bacia hidrográfica do Rio Cávado

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DOS TROÇOS A JUSANTE DA BARRAGENS

Os troços a jusante das duas barragens do lote A (Anexo B1), onde constam a de Paradela e Caniçada diferem naturalmente em termos de características próprias, logo é importante conhecê-los pormenorizadamente como demonstra o quadro seguinte ^[28]:

Troços	Linha de Água	Bacia Hidrográfica	Área da Bacia Hidrográfica na Secção da Barragem (km ²)	Afluência Média Anual (hm ³)	Comprimento do Troço Fortemente Modificado (m)	Caudal modular anual (m ³ /s)
Paradela	Rio Cávado	Cávado	217	234	12981	7,40
Caniçada	Rio Cávado	Cávado	774	1051	23417	33,33

Quadro 8 - Características dos troços a jusante das barragens de Paradela e Caniçada

Como já foi referido neste trabalho, estes dois troços são classificados, segundo a DQA, como *massas de água fortemente modificadas*, logo o que será exigido nos planos de monitorização a estabelecer após os estudos, será a avaliação do Potencial Ecológico e não do Estado Ecológico.

3.3.3. METODOLOGIAS APLICADAS

Para definição de RCE's no que respeita aos troços a jusante das barragens do lote A, foram aplicadas as seguintes metodologias:

- Método do INAG;
- Método do Perímetro Molhado;
- Metodologia IFIM;
- Método de Avaliação por Painel de Especialistas;

Há ainda que referir que, a aplicação das metodologias do Perímetro Molhado e da IFIM para definição de RCE's nas barragens do lote A, implicou que fossem modelados trechos dos diversos troços em estudo e seleccionadas estações de amostragem (Anexo B2 e B3).

3.3.4. CAUDAIS MÉDIOS MENSAIS EM REGIME NATURAL

De seguida apresentam-se os caudais médios mensais em regime natural, para as barragens de Paradela e Caniçada, bem como se apresentam as percentagens correspondentes às afluências naturais mensais, ambos constituem dados fulcrais para o cálculo e definição de RCE'S nos troços a jusante dos diversos aproveitamentos hidroeléctricos ^[28].

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Afluência média anual (hm ³)
Paradela (m³/s)	4,05	6,67	13,47	16,58	14,91	11,49	8,37	6,92	3,57	1,51	0,72	0,94	234
Paradela (%)	4,6	7,4	15,4	19	15,4	13,2	9,3	7,9	4	1,7	0,8	1	100 %
Caniçada (m³/s)	18,21	30,01	60,61	74,57	67,09	51,67	37,65	31,14	16,07	6,80	3,25	4,24	1051
Caniçada (%)	4,6	7,4	15,4	19	15,4	13,2	9,3	7,9	4	1,7	0,8	1	100 %

Quadro 9 - Caudais médios mensais afluentes às secções das barragens de Paradela e Caniçada e percentagens das mesmas afluências mensais em regime natural em função da afluência média anual

3.4. BARRAGENS E TROÇOS DO LOTE B

3.4.1. LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS

Os troços do Lote B são classificados como *massas de água fortemente modificadas* e encontram-se a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos. Estas barragens estejam inseridos no mesmo lote, possuem naturalmente características próprias (ver Anexo C1).

Apresenta-se de seguida um enquadramento geral, em termos de localização e dependências, dos aproveitamentos hidroeléctricos do lote B, com ênfase para a barragem de Fronhas, que se apresenta com alvo de estudo neste trabalho:

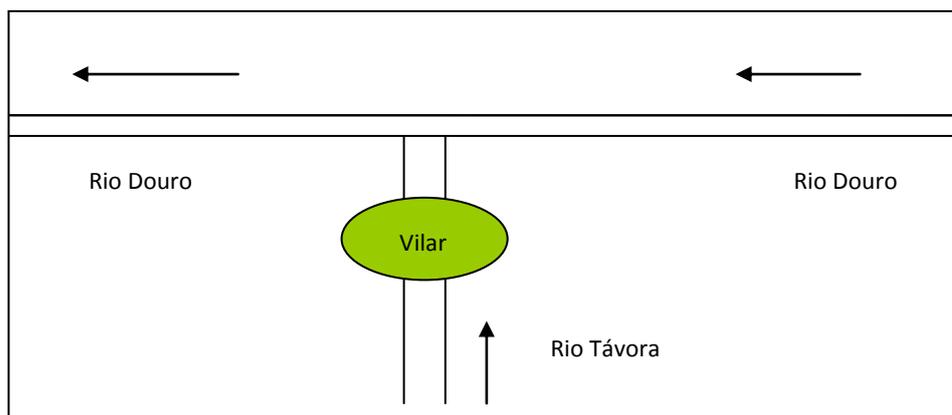


Figura 13 - Enquadramento geral da Barragem do Vilar

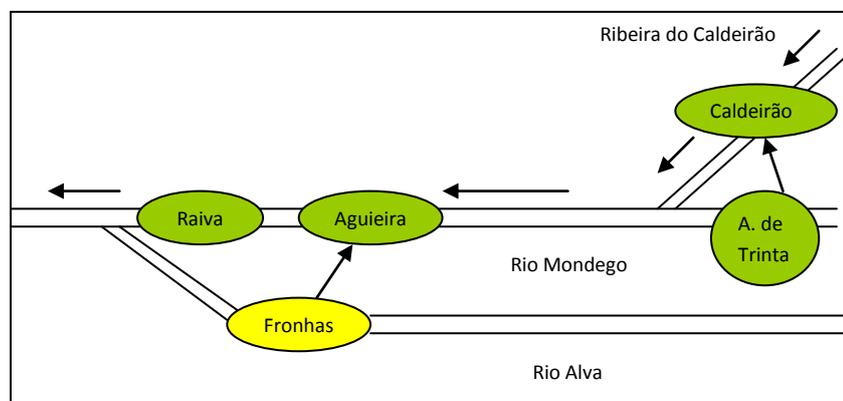


Figura 14 - Enquadramento geral das Barragens do Caldeirão, Açude de Trinta, Fronhas e Raiva

3.4.2. CARACTERÍSTICAS DOS TROÇOS A JUSANTE DA BARRAGENS

Para a realização dos estudos para definição de RCE's, é estritamente necessário um conhecimento profundo sobre várias características dos troços em questão (por parte da EDP Produção). Apresenta-se de seguida as características próprias do troço a jusante da barragem de Fronhas ^[27]:

Troços	Linha de Água	Bacia Hidrográfica	Área da Bacia Hidrográfica na Secção da Barragem (km ²)	Afluência Média Anual (hm ³)	Comprimento do Troço Fortemente Modificado (m)	Caudal modular anual (m ³ /s)
Fronhas	Rio Alva	Mondego	642	402	22890	12,70

Quadro 10 - Características do troço a jusante da barragem de Fronhas

3.4.3. METODOLOGIAS APLICADAS

Tendo em vista a definição de RCE's, a EDP Produção aplicou para os troços a jusante das barragens do lote B as seguintes metodologias:

- Método de Tennant;
- Método do Caudal Básico;
- Método do Caudal Base;
- Método do INAG;
- Método do Perímetro Molhado;
- Metodologia IFIM;
- Método Holístico;
- Método de Avaliação por Painel de Especialistas.

É relevante referir que, a aplicação das metodologias do Perímetro Molhado e da IFIM para definição de RCE's nas barragens do lote B, implicou que fossem modelados trechos dos diversos troços em estudo, onde se encontra inserido o de Fronhas (Anexo C2) e também foram seleccionadas estações de amostragem (Anexo C3).

3.4.4. CAUDAIS MÉDIOS MENSAIS EM REGIME NATURAL

A seguir apresentam-se os caudais médios mensais em regime natural, para a barragem de Fronhas, bem como as percentagens correspondentes às afluências naturais mensais, ambos constituem informação relevante para o cálculo e definição de RCE'S nos troços a jusante dos diversos aproveitamentos hidroeléctricos ^[27]:

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Afluência média anual (hm ³)
Fronhas (m³/s)	8,5	13,6	21,5	23,5	33,4	19,1	14,4	10,7	5,5	2,5	0,9	0,9	402
Fronhas (%)	5,7	8,8	13,9	15,2	21,6	12,4	9,3	6,9	3,6	1,6	0,6	0,6	100 %

Quadro 11 - Caudais médios mensais afluentes à secção a jusante da barragem de Fronhas e percentagens das mesmas afluências mensais em regime natural em função da afluência média anual

4

LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SELECIONADOS

4.1. INTRODUÇÃO

No capítulo 4, efectua-se um estudo dos pontos fracos das metodologias seleccionadas no capítulo 2, especificando-se as limitações existentes de cada método e face às mesmas, desenvolve-se e aplica-se duas possíveis abordagens à interpretação de dados resultantes da aplicação dos respectivos métodos, definindo-se RCE's para cada metodologia e abordagem.

4.2. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO

4.2.1. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO: "CURVAS (P, Q)"

O Método do Perímetro Molhado é um dos dois métodos para definição de RCE's seleccionados para investigação neste trabalho. Como anteriormente referido é um método hidráulico que relaciona o perímetro molhado de um curso de água com a capacidade biogénica do mesmo ^[28]. Tais características permitem *a priori* afirmar que esta metodologia é uma das mais apropriadas aos trabalhos a desenvolver pela EDP Produção no que respeita à obrigação de definir RCE's alternativos para os troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos portugueses.

No entanto esta metodologia apresenta, em toda a sua teoria, algumas características que se podem traduzir em limitações e levantar incertezas em relação à sua aplicação em certos cursos de água, onde se podem englobar as *massas de água fortemente modificadas* de Portugal em questão. Sendo assim, considera-se relevante conhecer essas características teóricas, para se perceber como as mesmas podem vir a influenciar os resultados obtidos pela aplicação do Método do Perímetro Molhado. As principais indicações teóricas do método, na sua aplicação, são:

- Alguns autores mencionam que a modelação hidráulica inerente a este método é somente válida quando realizada nas zonas de rápidos dos cursos de água em estudo, uma vez que, é o principal habitat de invertebrados bentónicos, que constituem a fonte de alimento de diversas espécies piscícolas. Segundo estes autores, qualquer alteração nas populações bentónicas destas zonas (rápidos) afectará directamente a superfície molhada do leito do curso de água e conseqüentemente as populações piscícolas do mesmo curso de água ^[32];

- Outros autores afirmam que existem secções transversais representativas dos vários tipos de habitat presentes nos cursos de água e não apenas as zonas de rápidos, pelo que a modelação hidráulica nessas zonas será tão eficiente como nas zonas de rápidos [33];
- Há quem defenda que esta metodologia é mais adequada para cursos de água salmonícolas do que para massas de água não salmonícolas [32];
- O Método do Perímetro Molhado não é aplicável a curso de montanha, em que predominam as cascatas, ou a cursos de pequeno declive, em que as zonas de rápidos são pouco significativas [32];
- A sua aplicação deve privilegiar cursos de água com secções largas e pouco profundas, relativamente rectangulares, dado que a secção do leito que é escolhida pode influenciar as formas das curvas (P, Q) e conseqüentemente os resultados [34];
- Na prática, as curvas que relacionam o perímetro molhado com o caudal (curvas P, Q) nem sempre apresentam apenas um ponto de inflexão distinto, além de poderem apresentar diferentes formas (ver subcapítulo 2.2.5), o que pode levar a análises subjectivas no que respeita à escolha do ponto de inflexão da curva [26];

Neste trabalho considera-se particularmente relevante a última característica do Método do Perímetro Molhado, procedendo-se a uma investigação que tem como objectivo verificar a influência da escolha de diferentes e possíveis pontos de inflexão na obtenção de valores de caudais ecológicos para definição de regimes (RCE's). Embora não se investigue pormenorizadamente as restantes características do Método do Perímetro Molhado, estas não são excluídas ao longo do trabalho.

Assim sendo, demonstram-se de seguida diferentes formas de curvas (P, Q) obtidas em estudos provisórios, onde se evidenciam as possíveis hipóteses no que respeita à selecção do ponto de inflexão das mesmas curvas.

4.2.1.1. Curva (P, Q) – tipo 1

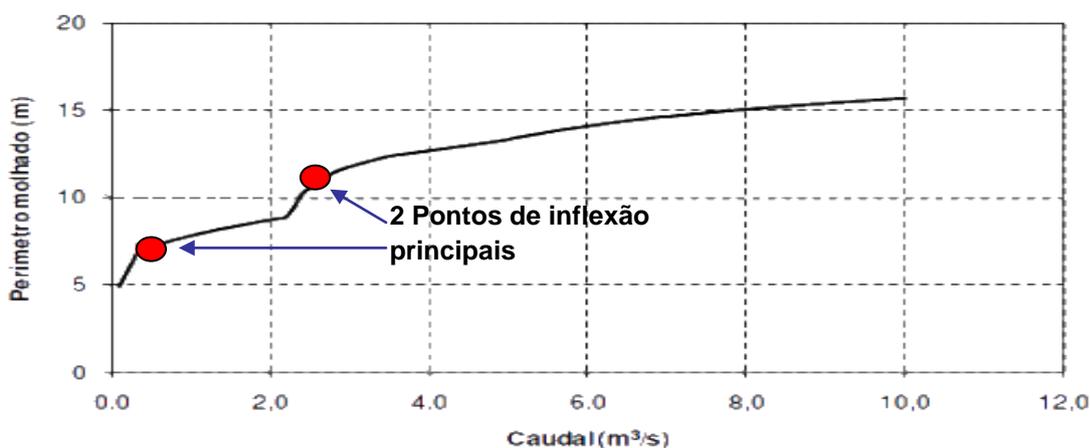


Figura 15 - Curva (P, Q) - tipo 1

O primeiro caso apresentado (figura 15) corresponde a um tipo de curva (P, Q), obviamente obtida através da aplicação do Método do Perímetro Molhado, que apresenta dois pontos de inflexão nitidamente diferenciados, a partir dos quais se nota uma estabilização do crescimento do perímetro molhado com o aumento de caudal. Então, pode-se afirmar que existem duas hipóteses no que respeita à selecção do principal ponto de inflexão da curva e consequentemente existe uma incerteza respeitante à escolha do caudal, o que pode influenciar significativamente os valores dos caudais ecológicos a obter, pela aplicação deste método.

4.2.1.2. Curva (P, Q) – tipo 2

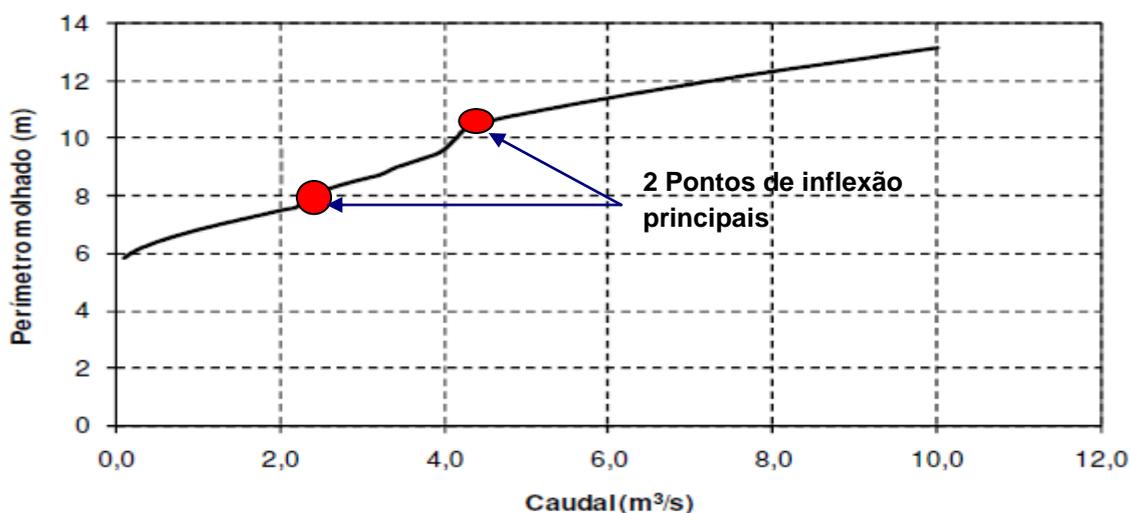


Figura 16 - Curva (P, Q) - Limitação tipo 2

Neste caso observam-se, tal como no primeiro caso, dois pontos de inflexão diferenciados. Mas esta curva (P, Q) não apresenta nenhuma estabilização do crescimento do perímetro molhado a partir de qualquer um dos dois pontos de inflexão (ao contrário do que é previsto na teoria), o que ainda complica mais a escolha do ponto de inflexão principal. Assim, pode-se afirmar que existem duas hipóteses no que respeita à selecção do principal ponto de inflexão da curva, criando uma incerteza de escolha, que por sua vez pode influenciar de forma bastante significativa os valores de caudais ecológicos a determinar por aplicação do Método do Perímetro Molhado.

4.2.1.3. Curva (P, Q) – tipo 3

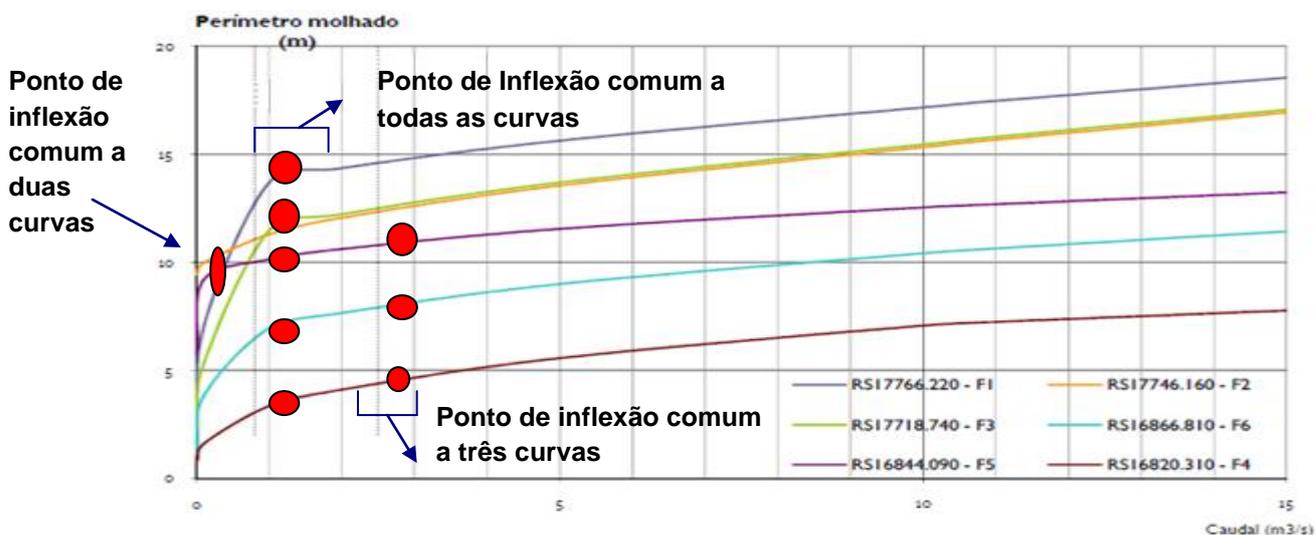


Figura 17 - Curva (P, Q) - Limitação tipo 3

Neste último caso, avaliam-se em simultâneo várias curvas (P, Q) correspondentes a diferentes secções de um troço em estudo. Ao observar-se a figura 17, constata-se a existência de um primeiro ponto de inflexão, comum às curvas F2 e F5. A seguir, verifica-se a existência de um ponto de inflexão nitidamente diferenciado, comum a todas as curvas. Por fim observa-se um terceiro ponto de inflexão comum às curvas F4, F5 e F6. Considera-se que o primeiro ponto de inflexão poderá ser desprezado, uma vez que só reflecte a inflexão de duas curvas (P, Q). No entanto, o segundo ponto de inflexão é comum a todas as curvas (P, Q) logo, não se pode desprezar, isto é, há que considerá-lo como hipótese. O terceiro ponto de inflexão é comum a três curvas (mais do que o primeiro), apresentando-se assim como a segunda hipótese a considerar. Sendo assim, considera-se a existência de duas hipóteses no que respeita à escolha do ponto de inflexão principal, o que faz com que novamente se gere uma incerteza quanto à opção a tomar, podendo esta influenciar os valores de caudais ecológicos (RCE) a propor, pela aplicação desta metodologia.

4.2.2. POSSÍVEIS ABORDAGENS ÀS “CURVAS (P, Q)” FACE ÀS LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Após a investigação destes três tipos de limitações de curvas (P, Q), avaliam-se de seguida possíveis abordagens no que respeita à escolha do ponto de inflexão principal das diversas curvas. Devido às hipóteses existentes de escolha de pontos de inflexão das curvas, descrevem-se de seguida dois tipos de abordagens possíveis à problemática em questão.

4.2.2.1. Abordagem Menos Conservativa – Envolvente Inferior

A *abordagem menos conservativa (envolvente inferior)* é um tipo de abordagem que privilegia a escolha da primeira inflexão acentuada de uma curva ou várias curvas (P, Q), ou seja, tem como base a escolha do primeiro ponto de inflexão nítido observado na curva ou curvas (P, Q) em estudo.

Tal como o próprio nome indica, esta abordagem, embora naturalmente ecológica, promove a selecção do ponto de inflexão, de entre todos os existentes, correspondente ao caudal mais baixo (caudal base) e consequentemente impulsiona a obtenção de RCE's com valores de caudais ecológicos mais reduzidos.

4.2.2.2. Abordagem Mais Conservativa – Envolvente Superior

A *abordagem mais conservativa (envolvente superior)*, ao contrário da abordagem anteriormente mencionada, é um tipo de abordagem que privilegia a escolha do ponto de inflexão, de entre todos os existentes, correspondente ao caudal mais alto.

Segundo esta abordagem, apenas esse caudal (caudal base) será o suficiente para manter a capacidade biogénica máxima do curso de água e consequentemente o bom estado ecológico das massas de água em estudo.

Naturalmente, este tipo de abordagem promove a obtenção de RCE's com valores de caudais ecológicos mais elevados do que os obtidos na *abordagem menos conservativa*.

4.2.3. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 1

Após a descrição de dois tipos de abordagens à escolha do principal ponto de inflexão de uma ou várias curvas (P, Q), efectua-se a aplicação das mesmas à curva (P, Q) obtida na aplicação do Método do Perímetro Molhado em estudos provisórios realizados por parte da EDP Produção, ao troço a jusante do aproveitamento hidroeléctrico de Paradela (lote A).

A curva (P, Q) respeitante à *massa de água fortemente modificada* a jusante da barragem de Paradela exprime a “Limitação – tipo 1” descrita no subcapítulo 4.1.1.1), pelo que se aplicam de seguida as duas abordagens, anteriormente mencionadas, com o intuito de verificar as diferenças entre os RCE's mensais obtidos por cada uma.

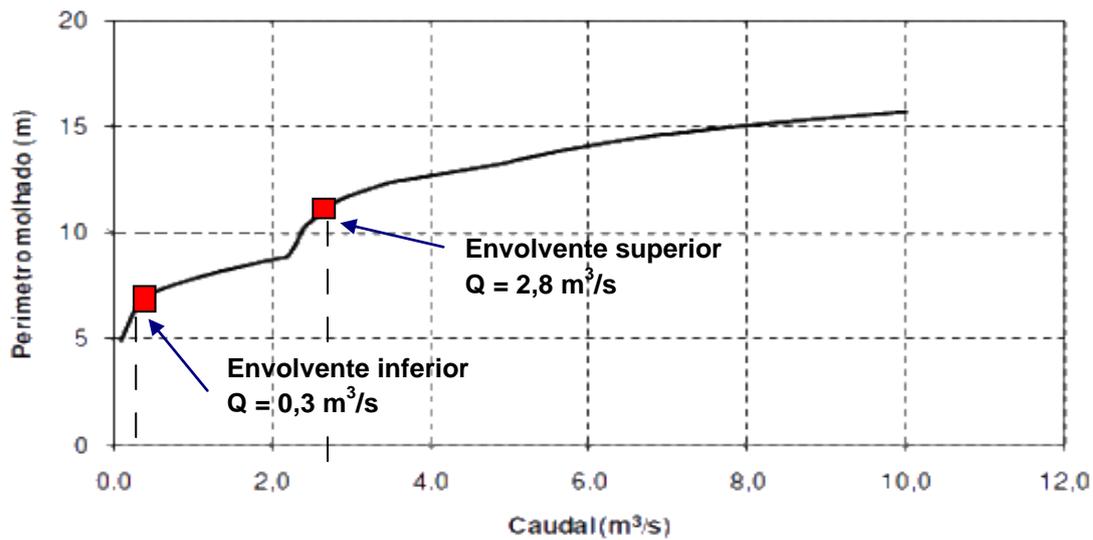


Figura 18 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 1 (Paradela)

Como se pode verificar na anterior figura, existem dois pontos de inflexão acentuados a partir dos quais se nota uma ligeira estabilização do crescimento do perímetro molhado em função do caudal. A *abordagem menos conservativa* selecciona o primeiro ponto de inflexão da curva (P, Q), que corresponde aproximadamente a um caudal base de 0,3 m³/s e ao aplicar-se a *abordagem mais conservativa* a escolha do ponto de inflexão principal recai sobre a inflexão correspondente aproximadamente a um caudal de 2,8 m³/s.

Os valores encontrados representam o valor médio do qual se aplicará a redistribuição mensal. A redistribuição mensal dos valores de caudais (caudais base) correspondentes aos pontos de inflexão escolhidos pelas diferentes abordagens realiza-se através da aplicação da equação (3), tendo em conta as afluências à barragem consideradas no capítulo 3.

Sendo assim, os dois RCE's obtidos a partir das diferentes abordagens são os seguintes:

Paradela	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)
Média	0,30	2,80
Out	0,16	1,53
Nov	0,27	2,52
Dez	0,55	5,09
Jan	0,67	6,27
Fev	0,60	5,63
Mar	0,47	4,34
Abr	0,34	3,16
Mai	0,28	2,61
Jun	0,14	1,35
Jul	0,06	0,57
Ago	0,03	0,27
Set	0,04	0,36

Quadro 12 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1

Como se pode constatar no quadro 12, a média dos valores de caudal ecológico da envolvente superior é aproximadamente 9 vezes superior à da envolvente inferior.

4.2.4 APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 2

O exemplo 2 baseia-se na curva (P, Q) resultante da aplicação do Método do Perímetro Molhado, em estudos provisórios realizados por parte da EDP Produção, ao troço a jusante do aproveitamento hidroeléctrico de Caniçada (lote A).

A curva (P, Q) encontrada para a *massa de água fortemente modificada* a jusante da barragem de Caniçada demonstra a “Limitação – tipo 2” descrita no subcapítulo 4.1.1.2), pelo que se aplicam seguidamente as duas abordagens, anteriormente descritas, com o objectivo de constatar as diferenças entre os RCE's mensais obtidos por cada uma.

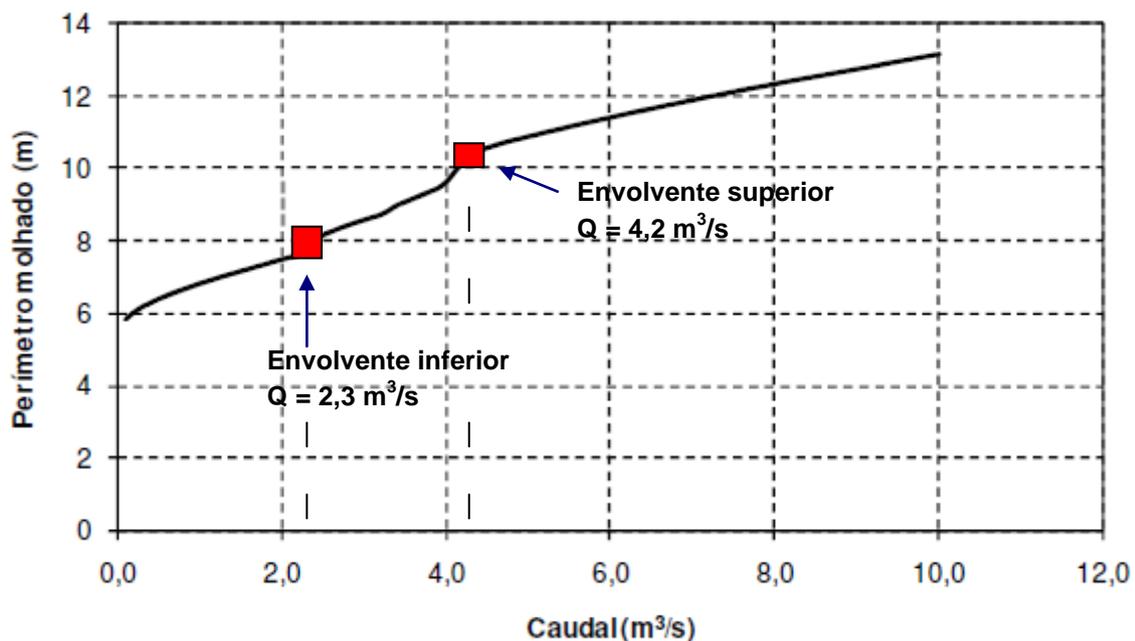


Figura 19 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 2 (Caniçada)

Neste caso, pode constatar-se a existência de dois pontos de inflexão acentuados mas, contrariamente ao primeiro caso, a partir destes pontos não se verifica uma estabilização nítida do crescimento do perímetro molhado em função do aumento do caudal, o que pode suscitar dúvidas no que respeita à aplicabilidade do método neste caso. Mas continuando a aplicação, a visualização da figura 19 induz a escolha dos caudais correspondentes a estes dois pontos de inflexão como representante dos caudais bases ($Q = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$). Obviamente, o primeiro ponto de inflexão é o seleccionado por aplicação da *abordagem menos conservativa* e o segundo pela aplicação da *abordagem mais conservativa*.

A redistribuição mensal dos valores de caudais (caudais base) correspondentes aos pontos de inflexão escolhidos pelas diferentes abordagens realiza-se através da aplicação da equação (3), tendo em conta as afluências à barragem consideradas no capítulo 3.

Após a escolha dos pontos de inflexão, os RCE's obtidos por cada uma das abordagens aplicadas são:

Caniçada	Q envolvente inferior (m³/s)	Q envolvente superior (m³/s)
Média	2,30	4,20
Out	1,26	2,29
Nov	2,07	3,78
Dez	4,18	7,64
Jan	5,15	9,40
Fev	4,63	8,45
Mar	3,57	6,51
Abr	2,60	4,74
Mai	2,15	3,92
Jun	1,11	2,03
Jul	0,47	0,86
Ago	0,22	0,41
Set	0,29	0,53

Quadro 13 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2

No quadro 13, verifica-se que a média dos valores de caudal ecológico da envolvente superior é de quase o dobro da média da envolvente inferior.

4.2.5 APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 3

Este caso fundamenta-se em curvas (P, Q) respeitantes a várias secções do troço a jusante do aproveitamento hidroelétrico de Fronhas (lote B), resultantes da aplicação do Método do Perímetro Molhado, em estudos provisórios realizados pela EDP Produção.

As curvas (P, Q) respeitantes à *massa de água fortemente modificada* a jusante da barragem de Fronhas demonstram a “Limitação – tipo 3” descrita no subcapítulo 4.1.1.3), pelo que se aplica a seguir as duas abordagens, anteriormente descritas, com o objectivo de se observar as diferenças entre os RCE's mensais obtidos por cada uma.

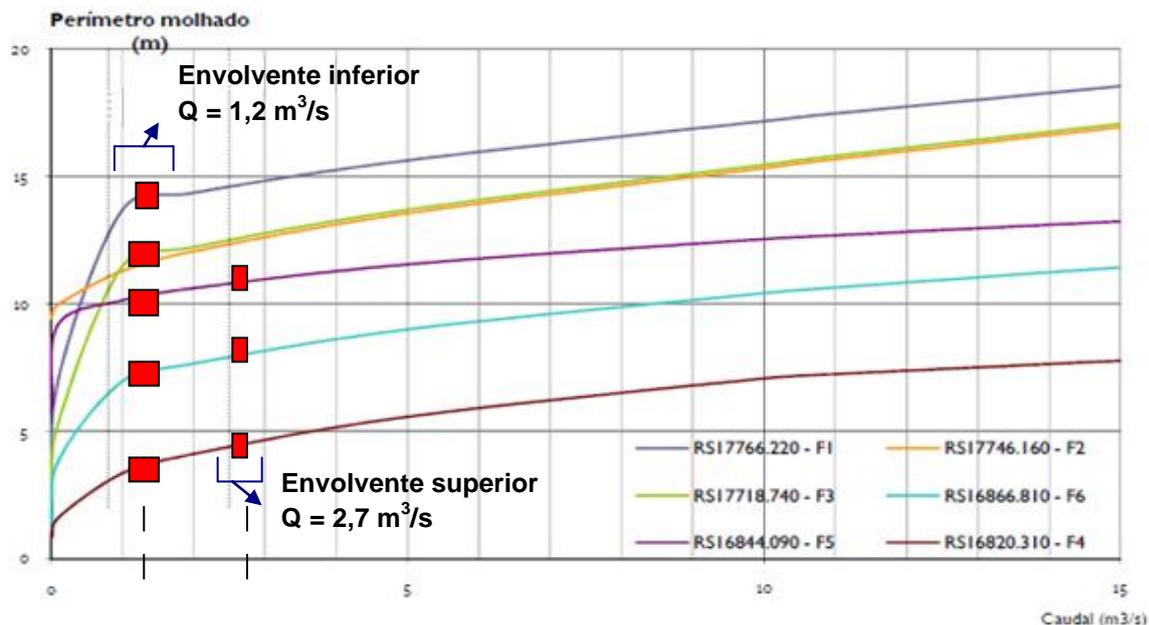


Figura 20 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas (P, Q) – Limitação 3 (Fronhas)

Neste último caso, observa-se nitidamente um ponto de inflexão comum a todas as curvas para caudais da ordem 1,2 m³/s. No entanto, ao se verificar o prolongamento das curvas F4, F5 e F6 constata-se também a existência de um ponto de inflexão, a partir do qual há uma maior estabilização do crescimento do perímetro molhado em função do aumento de caudal. Assim sendo, com a aplicação da *abordagem menos conservativa* selecciona-se o valor de 1,2 m³/s como caudal base e com o uso da *abordagem mais conservativa* escolhe-se um caudal base de 2,7 m³/s.

A redistribuição mensal dos valores de caudais (caudais base) correspondentes aos pontos de inflexão escolhidos pelas diferentes abordagens realiza-se através da aplicação da equação (3), tendo em conta as aflúncias à barragem consideradas no capítulo 3.

Então, das duas hipóteses testadas, resultaram os RCE's a seguir apresentados:

Fronhas	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)
Média	1,20	2,70
Out	0,80	1,81
Nov	1,29	2,89
Dez	2,03	4,57
Jan	2,22	5,00
Fev	3,16	7,10
Mar	1,80	4,06
Abr	1,36	3,06
Mai	1,01	2,27
Jun	0,52	1,17
Jul	0,24	0,53
Ago	0,09	0,19
Set	0,09	0,19

Quadro 14 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 3

Neste caso, observa-se que a médias dos valores de caudal ecológico respeitante à envolvente superior chega a ser mais do dobro da correspondente à envolvente inferior.

Em suma pode-se afirmar que para cada um dos 3 casos abordados (Paradela, Caniçada e Fronhas), as diferentes abordagens apresentam valores bastante diferentes, podendo a envolvente superior ser 9 vezes mais elevada do que a inferior (Limitação 1 - caso de Paradela).

4.3. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METHODOLOGY” (IFIM)

4.3.1. LIMITAÇÕES E INCERTEZAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO: “CURVAS SPU”

A Metodologia IFIM é uma das duas metodologias para definição de RCE's seleccionadas para investigação neste estudo. Como é mencionado no subcapítulo 2.2.6), a IFIM é uma metodologia de simulação de habitat que engloba características hidráulicas e biológicas quando aplicada a um determinado curso de água ^[27, 28]. Estas características permitem *a priori* afirmar que este método é um dos mais adequados aos estudos a desenvolver pela EDP

Produção no que respeita à obrigação de definir RCE's para os troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos de Portugal.

No entanto esta metodologia apresenta, em termos teóricos, alguns aspectos que podem representar limitações e consequentemente levantar incertezas em relação à sua aplicação em certos cursos de água, onde se podem englobar as *massas de água fortemente modificadas* de Portugal, em estudo. Sendo assim, considera-se importante o conhecimento desses aspectos inerentes à teoria da metodologia, para se perceber como os mesmos podem possivelmente vir a influenciar os resultados obtidos pela aplicação da Metodologia IFIM. Os principais aspectos teóricos da metodologia, que podem ter influência nos resultados obtidos, na sua aplicação, são os seguintes:

- A Metodologia IFIM, embora seja constituída por uma componente biológica, não toma em consideração as relações intra e inter-específicas (nomeadamente a predação e competição), as variações nas taxas de produção, as variações sazonais e diárias na distribuição e abundância das espécies ou as variações que não são directamente influenciadas pelo caudal (v. g., a disponibilidade de alimento) ^[35];
- Alguns autores consideram existir falta de evidência no que respeita a uma relação directa entre as espécies piscícolas e as alterações na Superfície Ponderada Utilizável (SPU) ^[35];
- A maior parte das aplicações desta metodologia não consideram a temperatura e a qualidade da água, pois restringem-se unicamente à profundidade, velocidade e substrato característicos do curso de água em estudo ^[36];
- Segundo alguns autores a transferência das curvas de aptidão de um curso de água para o outro não é aconselhável, devido à complexidade das comunidades biológicas, sendo preferível a elaboração de curvas de aptidão específicas para o curso de água em estudo ^[37]. Outros investigadores mencionam que este tipo de transferência é mais delicada para cursos de água não salmonícolas do que para cursos de água salmonícolas ^[38];
- Deve-se também realçar o facto de que para algumas curvas de preferência de habitat as espécies utilizadas contrariam-se no que respeita às condições de habitat preferido ^[14];
- Outra limitação refere-se ao facto das curvas SPU nem sempre apresentarem apenas um único ponto de inflexão distinto, em que a partir do qual se verifique uma estabilização do crescimento da SPU em função do aumento de caudal. Este facto faz com que a tarefa de escolha do principal ponto de inflexão da curva SPU seja mais complicada ^[14];

Este estudo foca-se no último aspecto da Metodologia IFIM atrás mencionado, realizando-se uma investigação que tem como fim observar a influência da escolha de diferentes e possíveis pontos de inflexão das curvas SPU na obtenção de valores de caudais ecológicos para definição de regimes (RCE's). Embora não se investigue aprofundadamente os restantes aspectos da Metodologia IFIM, estes não são excluídos ao longo do estudo.

Sendo assim, demonstram-se de seguida diferentes formas de curvas SPU obtidas em estudos provisórios onde a Metodologia IFIM foi aplicada, onde se evidencia as possíveis opções existentes no que respeita à escolha do ponto de inflexão principal das mesmas curvas.

4.3.1.1. Curva SPU – tipo 1

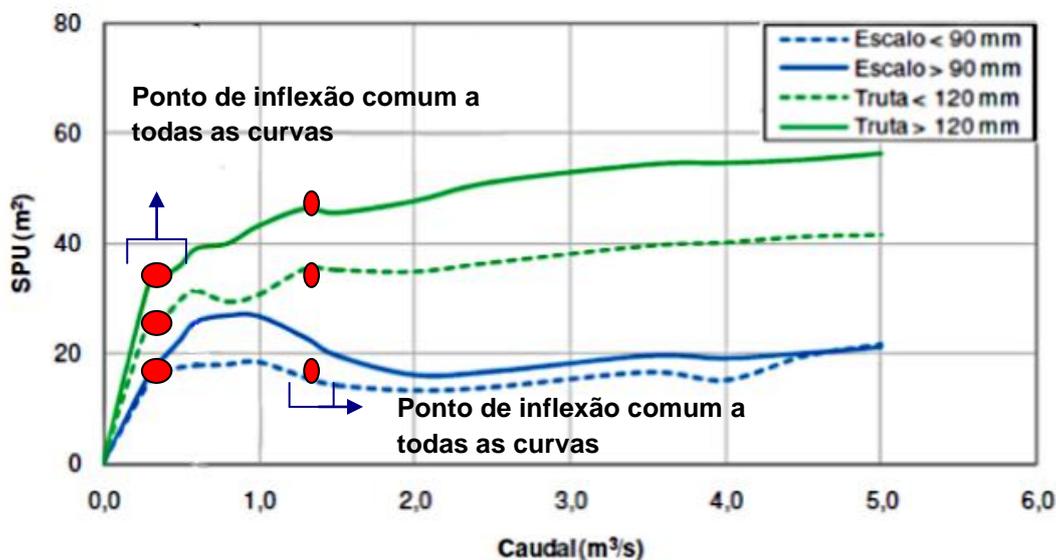


Figura 21 - Curvas SPU - Limitação tipo 1

Este primeiro caso apresentado, na figura 21, corresponde a diversas curvas SPU de diferentes espécies e estádios de vida e demonstra a existência de dois pontos de inflexão mais acentuados. A seguir ao primeiro ponto de inflexão, não se verifica uma estabilização acentuada do crescimento da SPU em função do caudal, na maioria das curvas (excepto na curva do Escalo <90 mm). A partir do segundo ponto de inflexão, verifica-se um crescimento reduzido da SPU com o aumento de caudal, para as curvas respeitantes a uma das espécies, ou seja uma estabilização do crescimento de SPU para esta espécie. No entanto, a partir do segundo ponto de inflexão, as SPU respeitantes aos dois ciclos de vida do Escalo sofrem uma ligeira redução.

Como ao realizar estes tipos de estudos se pretende que nenhuma espécie e ciclo de vida seja desprezado e que se tente maximizar a SPU de todas as espécies e estádios de vida analisados, pode-se afirmar que existem duas hipóteses no que respeita à selecção do principal ponto de inflexão da curva e conseqüentemente existe uma incerteza respeitante à escolha deste, o que pode influenciar significativamente os valores dos caudais ecológicos a obter, pela aplicação desta metodologia.

As curvas SPU anteriormente apresentadas podem ser somadas de modo a facilitar a selecção do principal ponto de inflexão correspondente a um certo caudal que garante a SPU desejável para todas as espécies e ciclos de vida analisados. A figura seguinte representa a soma das curvas SPU da figura anterior.

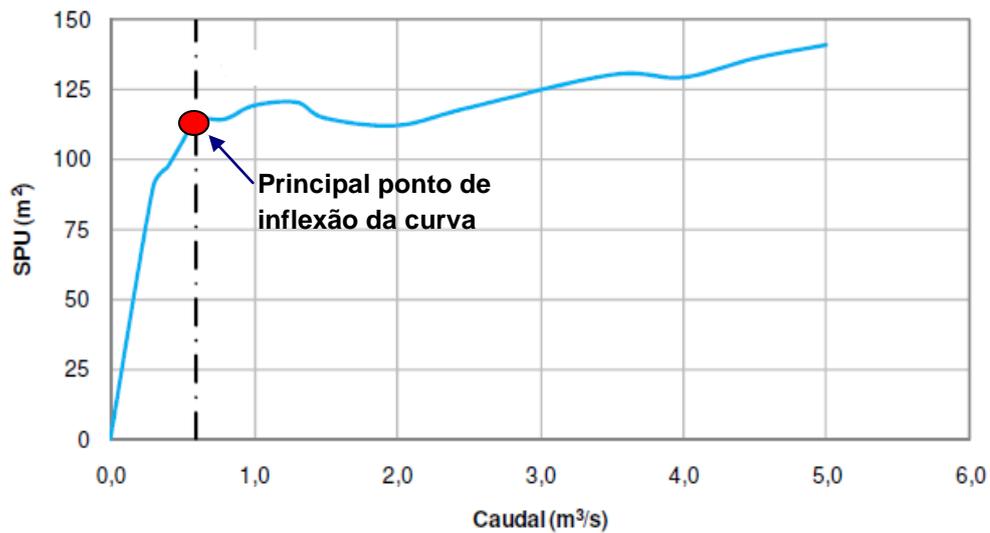


Figura 22 - Soma de Curvas SPU - Limitação tipo 1

Ao constatar o ponto de inflexão da curva resultante da soma das curvas anteriores, verifica-se que este poderá ser considerado também uma hipótese no que respeita à escolha do ponto de inflexão. Ao testar-se esta hipótese, espera-se que os valores de caudais ecológicos propostos correspondam à média entre os valores obtidos pelas duas envolventes

4.3.1.2. Curva SPU – tipo 2

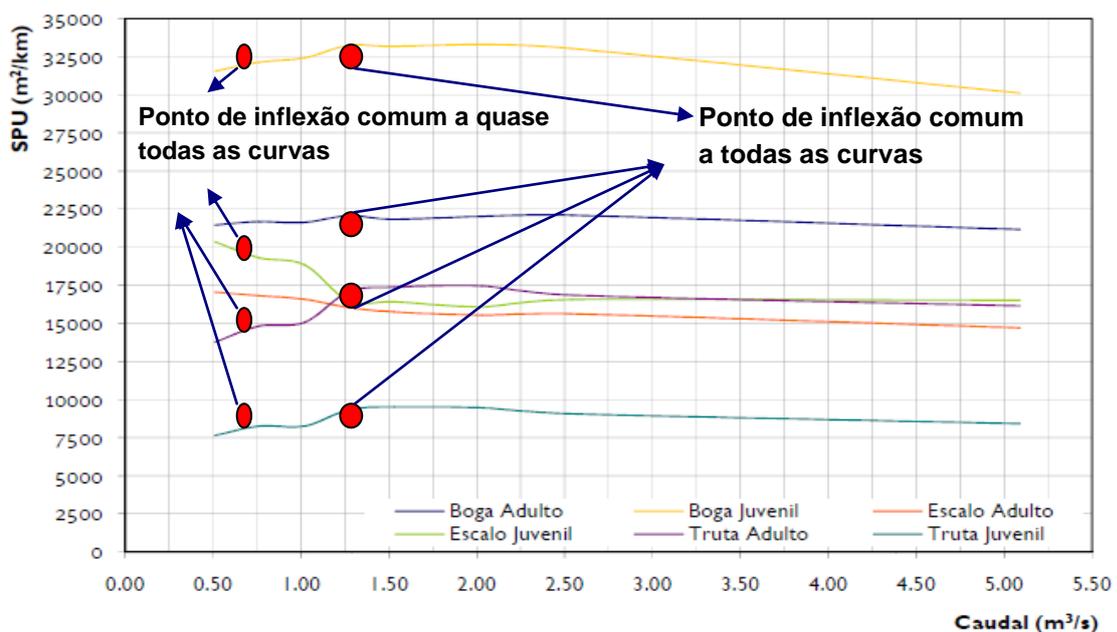


Figura 23 - Curvas SPU - Limitação tipo 2

Na figura 23 observa-se, junto à origem das curvas SPU apresentadas, um ponto de inflexão comum, (excepto para as curvas SPU da Boga e Escalo adultos). Imediatamente a seguir a este ponto de inflexão verifica-se uma estabilização do crescimento da SPU em função do acréscimo de caudal, para as curvas da Truta adulta, Truta juvenil e Boga juvenil. De seguida e embora as curvas SPU apresentadas não demonstrem grandes inflexões, constata-se um segundo ponto de inflexão diferenciado e comum a todas as curvas, a partir do qual o crescimento da SPU da maioria das curvas estabiliza com o aumento de caudal.

Sendo assim, para este cenário existem duas hipóteses no que respeita à selecção do ponto de inflexão principal e tal como no caso anterior (Limitação – tipo 1) gera-se incertezas no que diz respeito à opção a tomar, que pode influenciar de modo significativo os valores de caudais ecológicos resultantes da aplicação desta metodologia.

4.3.2. POSSÍVEIS ABORDAGENS ÀS “CURVAS SPU” FACE ÀS LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Depois de se mencionar anteriormente 2 tipos de limitações de curvas SPU, efectua-se de seguida duas possíveis abordagens no que respeita à escolha do ponto de inflexão principal das diversas curvas, conforme acontece no Método do Perímetro Molhado. Sendo assim as abordagens não são descritas pormenorizadamente como acontece nos subcapítulos 4.2.2.1) e 4.2.2.2), pois baseiam-se nos mesmos fundamentos.

4.3.3. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 1

Após a descrição de dois tipos de abordagens à escolha do principal ponto de inflexão de uma ou várias curvas SPU, efectua-se a aplicação das mesmas às curvas SPU obtidas na aplicação da Metodologia IFIM em estudos provisórios realizados por parte da EDP Produção, ao troço a jusante do aproveitamento hidroeléctrico de Paradela (lote A).

As curvas SPU respeitantes à *massa de água fortemente modificada* a jusante da barragem de Paradela exprime a “Limitação – tipo 1” descrita no subcapítulo 4.2.1.1), pelo que se aplica de seguida as duas abordagens, anteriormente mencionadas, com o intuito de verificar as diferenças entre os RCE’s mensais obtidos por cada uma.

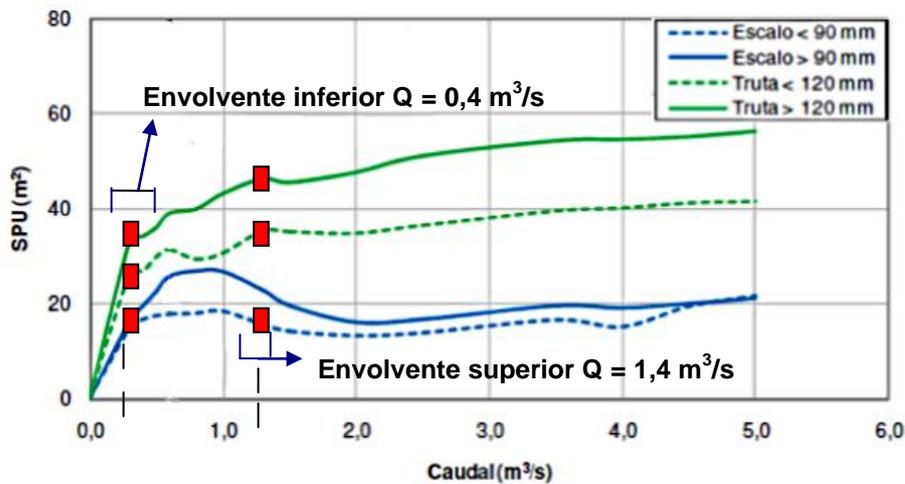


Figura 24 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas SPU – Limitação 1 (Paradela)

Ao observar-se as curvas SPU atrás apresentadas (Figura 24), verifica-se a existência de um primeiro ponto de inflexão comum a todas as curvas, embora na curva do Escalo > 90 mm a inflexão seja muito ligeira. Nota-se que a seguir a este primeiro ponto de inflexão o crescimento da SPU não é tão acentuado, contudo não se verifica uma estabilização nítida do crescimento da mesma (SPU) em função do aumento de caudal. Sendo assim, ao aplicar-se a *abordagem menos conservativa* a escolha recai sobre este primeiro ponto de inflexão correspondente a caudais da ordem dos $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. No entanto, com o prolongamento das curvas SPU constata-se a ocorrência de um segundo ponto de inflexão diferenciado e comum a quase todas as curvas (excepto à curva SPU do Escalo > 90 mm), correspondente a um caudal de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Então, por aplicação da *abordagem mais conservativa*, este segundo ponto de inflexão é o seleccionado como a principal inflexão das curvas SPU apresentadas e conseqüentemente o caudal base adquire o valor de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Pelo atrás descrito, constata-se a existência de duas hipóteses a testar como caudais base ($Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$). No entanto, as curvas SPU atrás apresentadas, podem ser somadas, obtendo-se assim uma única curva SPU representante de todas as espécies e ciclos de vida estudados (Figura 25).

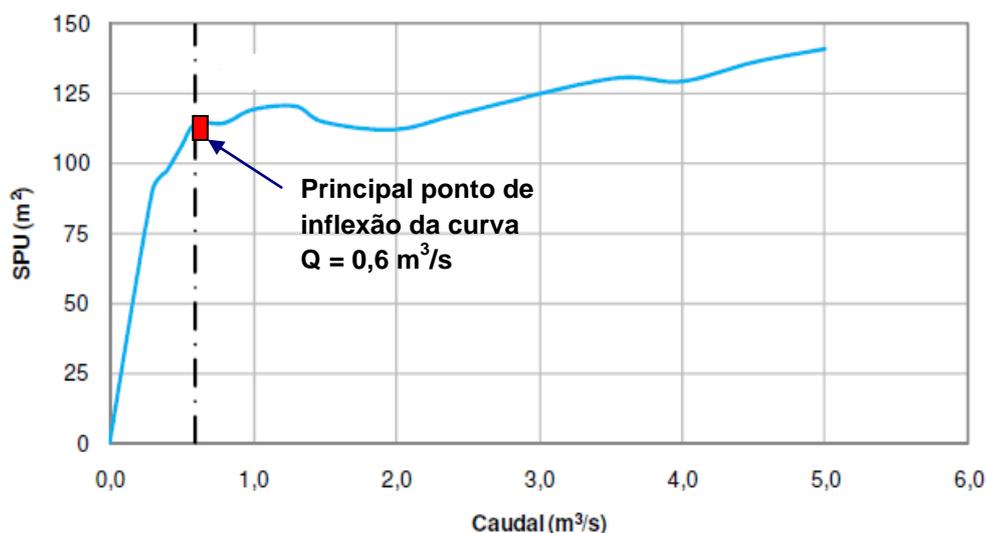


Figura 25 - Soma das curvas SPU: verificação do principal ponto de inflexão – Limitação 1 (Paradela)

Ao visualizar-se a soma das curvas SPU, observa-se que o principal ponto de inflexão da curva ($Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) não corresponde ao valor seleccionado por qualquer uma das abordagens aplicadas, logo em vez de se testarem duas hipóteses no que respeita à definição de RCE's, testam-se três.

A redistribuição mensal dos valores de caudais (caudais base) correspondentes aos pontos de inflexão escolhidos pelas diferentes abordagens, realiza-se através de uma transposição do caudal ecológico (caudal base) do mês de Junho (mês em que foram realizadas as medições), para os restantes meses, de acordo com a relação entre os caudais médios mensais e o caudal médio mensal para o mês de Junho, em regime natural. Esta redistribuição mensal difere das até agora realizadas, uma vez que as curvas SPU respeitantes ao troço a jusante de Paradela, foram elaboradas apenas para o mês de Junho ao contrário dos outros casos, em que, tanto as curvas (P, Q) como as curvas SPU foram construídas para representar todos os meses do ano.

Sendo assim, os RCE's definidos pela aplicação das duas abordagens e pela terceira hipótese (soma das curvas SPU), são os seguintes:

Paradela	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)	Q Somatório das curvas (m ³ /s)
Med	0,83	2,91	1,25
Out	0,45	1,58	0,68
Nov	0,75	2,62	1,12
Dez	1,51	5,28	2,26
Jan	1,86	6,50	2,78
Fev	1,67	5,84	2,50
Mar	1,29	4,51	1,93
Abr	0,94	3,28	1,41
Mai	0,78	2,72	1,16
Jun	0,40	1,40	0,60
Jul	0,17	0,59	0,25
Ago	0,08	0,28	0,12
Set	0,10	0,36	0,16

Quadro 15 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens e 3ª hipótese – Limitação 1

Como se pode constatar no quadro 15, a média dos valores de caudais ecológicos da envolvente superior corresponde a mais do dobro da média da envolvente inferior. Além disso, ao contrário do que se esperava, a média de valores de caudais ecológicos relativa à hipótese da somas das curvas SPU, não apresenta o mesmo valor do que a média entre as duas envolventes.

4.3.4. APLICAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E DEFINIÇÃO DOS RESPECTIVOS REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS – LIMITAÇÃO 2

O segundo exemplo baseia-se nas curvas SPU obtidas pela aplicação da Metodologia IFIM, em estudos provisórios realizados por parte da EDP Produção, ao troço a jusante do aproveitamento hidroeléctrico de Fronhas (lote B).

As curvas SPU respeitantes à *massa de água fortemente modificada* a jusante da barragem de Fronhas demonstra a “Limitação – tipo 2” mencionada no subcapítulo 4.2.1.2), pelo que se aplica de seguida as duas abordagens, anteriormente descritas, com o objectivo de constatar as diferenças entre os RCE’s mensais obtidos por cada uma.

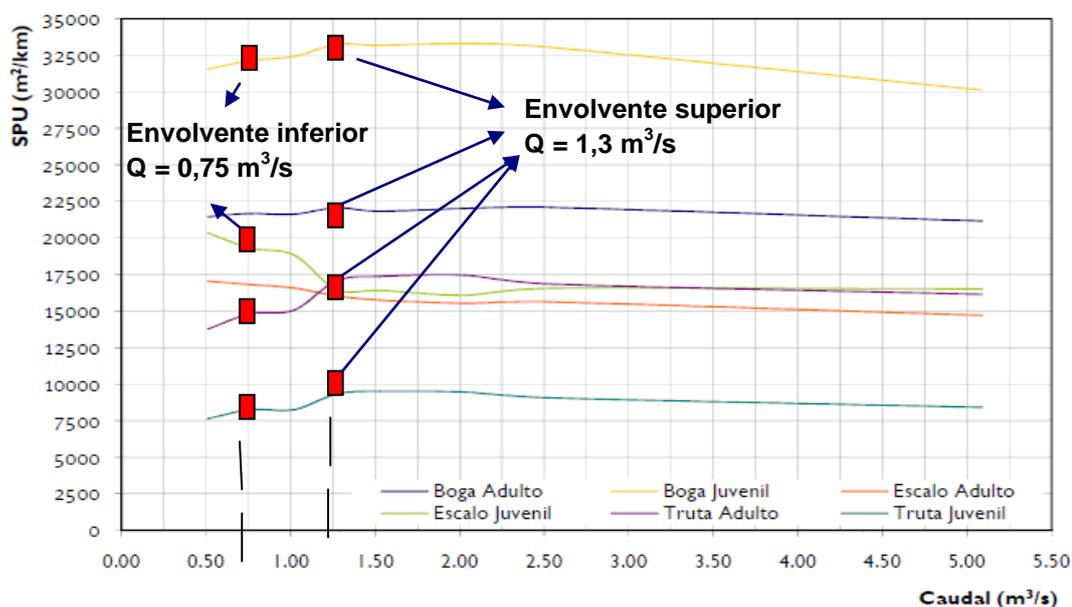


Figura 26 - Aplicação das diferentes abordagens de selecção do principal ponto de inflexão de curvas SPU – Limitação 2 (Fronhas)

Ao realizar-se uma análise à figura 26, verifica-se um primeiro ponto de inflexão diferenciado e comum à maioria das curvas SPU (excepto às curvas SPU da Boga e Escalo adultos), a partir do qual se denota um período de abrandamento do crescimento da SPU com o aumento do caudal. Este ponto de inflexão ($Q = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$) é o seleccionado aquando da aplicação da *abordagem menos conservativa*. No entanto, no prolongamento das curvas SPU constata-se a existência de um segundo ponto de inflexão comum a todas as curvas, correspondente a caudais da ordem dos $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e a partir do qual se observa uma longa estabilização do crescimento da SPU em função do acréscimo de caudal. Então, ao se aplicar a *abordagem mais conservativa*, o caudal base seleccionado adquire o valor de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

A redistribuição mensal dos valores de caudais (caudais base) correspondentes aos pontos de inflexão escolhidos pelas diferentes abordagens realiza-se através da aplicação da equação (3), tendo em conta as afluências à barragem consideradas no capítulo 3.

Sendo assim, os valores de RCE's obtidos após a aplicação das diferentes abordagens, são:

Fronhas	Q envolvente inferior (m³/s)	Q envolvente superior (m³/s)
Med	0,75	1,30
Out	0,50	0,87
Nov	0,80	1,39
Dez	1,27	2,20
Jan	1,39	2,41
Fev	1,97	3,42
Mar	1,13	1,96
Abr	0,85	1,47
Mai	0,63	1,10
Jun	0,32	0,56
Jul	0,15	0,26
Ago	0,05	0,09
Set	0,05	0,09

Quadro 16 - Regimes de caudais ecológicos mensais obtidos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2

Como se pode observar no quadro 16, a média dos valores de caudais ecológicos da envolvente superior é de quase o dobro da média correspondente à envolvente inferior, ou seja existe bastante diferença entre as duas abordagens.

Em suma, pode constatar-se a disparidade de valores de caudais ecológicos propostos pelas duas abordagens, pois o valor médio de caudal ecológico da envolvente superior pode ser mais que o dobro do valor de caudal ecológico médio da envolvente inferior, como acontece no caso de Paradela.

5

DISCUSSÃO GLOBAL E COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES ABORDAGENS E METODOLOGIAS APLICADAS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo realiza-se uma discussão global e comparação dos RCE's obtidos entre os dois métodos e as duas abordagens, verificando-se se a escolha de diferentes pontos de inflexão influencia significativamente os resultados obtidos, ou seja, os RCE's definidos. Por fim, discute-se a forma como estas metodologias devem ser aplicadas, tendo em vista o alcance dos actuais objectivos ambientais requeridos pela DQA.

5.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS DIFERENTES ABORDAGENS

5.2.1. MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO

No capítulo 4, realizou-se a aplicação de dois tipos de abordagens respeitantes à escolha do principal ponto de inflexão das curvas (P, Q), relativas ao Método do Perímetro Molhado. De seguida, verifica-se e discute-se a diferença entre os valores de RCE's estabelecidos pelas diferentes abordagens para as várias limitações investigadas (Limitação 1, 2 e 3) e apresenta-se o intervalo de valores do caudal ecológico médio anual atendendo aos RCE's obtidos, bem como, se calcula a média percentual entres os caudais ecológicos médios anuais das duas abordagens efectuadas. Propõe-se o cálculo da média, com o objectivo de definir uma única hipótese para cada caso de estudo, sendo este procedimento raramente efectuado neste tipo de situações, pelos especialistas.

5.2.1.1. Limitação 1 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens

Para a Limitação 1, relativa à curva (P, Q) obtida pela aplicação do Método do Perímetro Molhado ao troço a jusante da barragem de Paradela (Lote A) em estudos provisórios da EDP Produção, define-se de seguida o intervalo percentual de caudal ecológico médio anual atendendo ao valor médio dos RCE's obtidos pelas diferentes abordagens e à afluência média anual em regime natural.

Paradela	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)	Intervalo (m ³ /s)	Intervalo em relação às aflúências anuais (%)
Médio	0,30	2,80	[0,30 - 2,80]	[4,0 – 37,7]

Quadro 17 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1

Ao observar-se o quadro 17, verifica-se uma diferença percentual muito elevada entre os valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas diferentes abordagens. Como se pode constatar, a envolvente inferior sugere um caudal médio anual que corresponde a 4 % das aflúências anuais naturais ao troço de Paradela, enquanto a envolvente superior propõe um caudal ecológico médio anual correspondente a 37,7 % das aflúências anuais naturais. Então, pode-se concluir que a “Limitação 1” pode induzir à subjectividade da escolha do ponto de inflexão das curvas (P, Q) e conseqüentemente pode originar incertezas no que respeita ao RCE a definir.

Sendo assim, calcula-se de seguida a média percentual dos valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas duas abordagens, visto que actualmente não existe nenhuma outra forma sistematizada de transpor este tipo de situação.

Paradela		
Média Percentual entre as Duas Abordagens (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
4,0	37,7	20,9

Quadro 18 – Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 1

Como se pode verificar no quadro 18, o caudal ecológico médio anual proposto para ser descarregado pela barragem de Paradela, corresponde a um valor de 20,9 % das aflúências médias anuais.

5.2.1.2. Limitação 2 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens

Nesta segunda limitação, relativa à curva (P, Q) obtida pela aplicação do Método do Perímetro Molhado ao troço a jusante da barragem de Caniçada (Lote A) em estudos provisórios da EDP Produção, define-se de seguida o intervalo percentual de caudal ecológico médio anual atendendo ao valor médio dos RCE’s obtidos pelas diferentes abordagens e à aflúência média anual em regime natural.

Caniçada	Q envolvente inferior (m³/s)	Q envolvente superior (m³/s)	Intervalo (m³/s)	Intervalo em relação às afluências naturais (%)
Média	2,30	4,20	[2,30 - 4,20]	[6,9 – 12,6]

Quadro 19 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2

Ao observar-se o quadro anterior, observa-se uma diferença percentual de praticamente o dobro, entre os valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas diferentes abordagens. Como se pode constatar, a envolvente inferior sugere um caudal médio anual que corresponde a 6,9 % das afluências anuais naturais ao troço de Caniçada, e a envolvente superior propõe um caudal ecológico médio anual correspondente a 12,6 % das afluências anuais naturais. Tal facto leva a concluir que a “Limitação 2” pode induzir à subjectividade da escolha do ponto de inflexão das curvas (P, Q) e consequentemente pode originar incertezas no que respeita ao RCE a definir, tal como no caso de Paradela.

Tal como na “Limitação 1” calcula-se de seguida a média percentual dos valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas duas abordagens, visto que actualmente não existe nenhuma outra forma sistematizada de transpor este tipo de situação.

Caniçada		
Média Percentual entre as Duas Abordagens (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
6,9	12,6	9,75

Quadro 20 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 2

Ao visualizar-se o quadro 20, verifica-se que o caudal ecológico médio anual proposto para ser descarregado pela barragem de Caniçada, corresponde a um valor de 9,75 % das afluências médias anuais. Tal facto permite concluir que, embora o valor percentual de caudal ecológico anual a descarregar seja maior no caso de Paradela, em termos de valores absolutos é a barragem de Caniçada, como esperado (localizada a jusante de Paradela), que terá que descarregar maior quantidade de caudal ecológico. No entanto, se para o caso de Paradela (Limitação 1) a escolha recair sobre a *envolvente superior* e para o caso de Caniçada a escolha incidir sobre a *envolvente inferior*, a barragem de Paradela descarregará mais caudal ecológico do que a de Caniçada, o que em termos hidráulicos não seria coerente, visto que a barragem de Caniçada encontra-se a jusante da de Paradela.

5.2.1.3. Limitação 3 – Intervalo de Valores dos Regimes de Caudais Ecológicos Obtidos Através das Diferentes Abordagens

Para este último caso, relativo às curvas (P, Q) obtidas pela aplicação do Método do Perímetro Molhado ao troço a jusante da barragem de Fronhas (Lote B) em estudos provisórios da EDP Produção, apresenta-se também o intervalo percentual de caudal ecológico médio anual atendendo ao valor médio dos RCE’s obtidos pelas diferentes abordagens e à afluência média anual em regime natural.

Fronhas	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)	Intervalo (m ³ /s)	Intervalo em relação às afluências anuais (%)
Média	1,20	2,70	[1,20 - 2,70]	[9,4 – 21,3]

Quadro 21 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 3

No quadro 21 encontra-se explícito que a diferença percentual, entre os valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas diferentes abordagens, é de mais que o dobro. Como se pode constatar, a envolvente inferior sugere um caudal médio anual que corresponde a 9,4 % das afluências anuais naturais ao troço de Fronhas, e a envolvente superior propõe um caudal ecológico médio anual correspondente a 21,3 % das afluências anuais naturais. Sendo assim pode-se concluir que a “Limitação 3” pode induzir à subjectividade da escolha do ponto de inflexão das curvas (P, Q) e consequentemente pode originar incertezas no que respeita ao RCE a definir, tal como nos anteriores casos.

Tal como nas anteriores “Limitações” considera-se apropriado o cálculo da média percentual dos valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas duas abordagens, visto que actualmente não existe nenhuma outra forma sistematizada de transpor este tipo de situação.

Fronhas		
Média Percentual entre as Duas Abordagens (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
9,4	21,3	15,4

Quadro 22 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 3

Constata-se então, que o caudal ecológico médio anual proposto para ser descarregado pela barragem de Fronhas, corresponde a um valor de 15,4 % das afluências médias anuais.

5.2.1.4. Enquadramento dos Valores Obtidos pelas Diferentes Abordagens Aplicadas com as Limitações do Método

Considera-se interessante observar conjuntamente a diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações:

		Diferença Percentual (%)
Paradela	Limitação – tipo 1	33,7
Caniçada	Limitação – tipo 2	5,7
Fronhas	Limitação – tipo 3	11,9

Quadro 23 - Diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações

Como se pode verificar no quadro 23, a maior diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas, corresponde à “Limitação 1”. Pelo contrário, é no caso de Caniçada que se verifica menor discrepância em termos do valor de caudal ecológico médio anual a descarregar. Confirma-se que no geral, a aplicação de diferentes abordagens, nas três “Limitações” estudadas para as curvas (P, Q), originam a definição de valores de caudal ecológico médio anuais significativamente diferentes, ou seja, criam-se incertezas quanto à escolha do RCE a definir. Sendo assim, pode-se concluir que a existência de subjectividade no que respeita ao ponto de inflexão, pode levar a análises menos conservadoras do que outras, o que poderá originar discórdia entre as entidades envolvidas num certo estudo, no que respeita à definição do RCE mais apropriado.

5.2.2. METODOLOGIA “INSTREAM FLOW INCREMENTAL METODOLOGY” (IFIM)

No capítulo 4, realizou-se a aplicação de dois tipos de abordagens respeitantes à escolha do principal ponto de inflexão das curvas SPU, relativas à Metodologia IFIM. De seguida, verifica-se e discute-se a diferença entre os valores de RCE’s estabelecidos pelas diferentes abordagens para as duas limitações estudadas (Limitação 1 e 2) e apresenta-se o intervalo de valores do caudal ecológico médio anual atendendo aos RCE’s obtidos, bem como, se calcula a média percentual entres os caudais ecológicos médios anuais das duas abordagens efectuadas. Propõe-se o cálculo da média, com o objectivo de definir uma única hipótese para cada caso de estudo, sendo este procedimento raramente efectuado neste tipo de situações, pelos especialistas.

5.2.2.1. Limitação 1 – Intervalo de Regime de Caudais Ecológicos Obtido Através das Diferentes Abordagens

Para a Limitação 1, relativas às curvas obtidas pela aplicação da Metodologia IFIM ao troço a jusante da barragem de Paradela (Lote A) em estudos provisórios da EDP Produção, apresenta-se o intervalo percentual de caudal ecológico médio anual atendendo ao valor médio dos RCE’s obtidos pelas diferentes abordagens e à afluência média anual em regime natural.

Paradela	Q envolvente inferior (m ³ /s)	Q envolvente superior (m ³ /s)	Q somatório das curvas (m ³ /s)	Intervalo (m ³ /s)	Intervalo em relação às afluências anuais (%)	Q somatório das curvas em relação às afluências anuais (%)
Média	0,83	2,91	1,25	[0,83 - 2,91]	[11,2 – 39,2]	16,8

Quadro 24 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 1

No quadro 24 verifica-se que a diferença percentual, entre os valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas diferentes abordagens, é de mais que o triplo. Como se pode constatar, a envolvente inferior sugere um caudal médio anual que corresponde a 11,2 % das afluências anuais naturais ao troço de Paradela, e a envolvente superior propõe um caudal ecológico médio anual correspondente a 39,2 % das afluências anuais naturais. Há que realçar também que, como esperado, o valor percentual da hipótese relativa à soma das curvas SPU

encontra-se dentro do intervalo percentual das duas abordagens. Sendo assim pode-se concluir que a “Limitação 1” da Metodologia IFIM, tal como as “Limitações” do Método do Perímetro Molhado pode induzir à subjectividade da escolha do ponto de inflexão das curvas SPU e consequentemente pode originar incertezas no que respeita ao RCE a definir.

Sendo assim, calcula-se de seguida a média percentual dos valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas duas abordagens, visto que actualmente não existe nenhuma outra forma sistematizada de transpor este tipo de situação.

Paradela		
Média Percentual entre as Duas Abordagens (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
11,2	39,2	25,2

Quadro 25 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 1

Constata-se então, que o caudal ecológico médio anual proposto para ser descarregado pela barragem de Paradela, corresponde a um valor de 25,2 % das afluências médias anuais. Conclui-se também que a hipótese relativa à soma das curvas SPU não corresponde à média das abordagens.

5.2.2.2. Limitação 2 – Intervalo de Regime de Caudais Ecológicos Obtido Através das Diferentes Abordagens

No que diz respeito à “Limitação” 2, relativa às curvas SPU obtidas pela aplicação da Metodologia IFIM ao troço a jusante da barragem de Fronhas (Lote B) em estudos provisórios da EDP Produção, define-se igualmente o intervalo percentual de caudal ecológico médio anual atendendo ao valor médio dos RCE’s obtidos pelas diferentes abordagens e à afluência média anual em regime natural.

Fronhas	Q envolvente inferior (m³/s)	Q envolvente superior (m³/s)	Intervalo (m³/s)	Intervalo em relação às afluências anuais (%)
Média	0,75	1,30	[0,75 - 1,30]	[5,9 – 10,2]

Quadro 26 - Intervalo e diferença percentual dos valores de caudais ecológicos médios anuais propostos pela aplicação das duas abordagens – Limitação 2

No quadro 26 constata-se que a diferença percentual, entre os valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas diferentes abordagens, é de quase o dobro. Pode-se observar que a envolvente inferior sugere um caudal médio anual que corresponde a 5,9 % das afluências anuais naturais ao troço de Fronhas, e a envolvente superior propõe um caudal ecológico médio anual correspondente a 10,2 % das afluências anuais naturais. Sendo assim pode-se concluir que a “Limitação 2” da Metodologia IFIM, tal como as “Limitação 1” pode induzir à subjectividade da escolha do ponto de inflexão das curvas SPU e consequentemente pode originar incertezas no que respeita ao RCE a definir, tal como no caso de Paradela.

Calcula-se, aqui também, a média percentual dos valores de caudal ecológico médio anual propostos pelas duas abordagens, visto que actualmente não existe nenhuma outra forma sistematizada de transpor este tipo de situação.

Fronhas		
Média Percentual entre as Duas Abordagens (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
5,9	10,2	8,1

Quadro 27 - Média percentual de caudal ecológico anual a descarregar entre as duas abordagens – Limitação 2

Neste último caso, observa-se que o caudal ecológico médio anual proposto para ser descarregado pela barragem de Paradela, corresponde a um valor de 8,1 % das afluências médias anuais.

5.2.2.3. Enquadramento dos Valores Obtidos pelas Diferentes Abordagens Aplicadas com as Limitações da Metodologia

Considera-se relevante observar simultaneamente a diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações:

		Diferença Percentual (%)
		Envolvente superior - Envolvente inferior
Paradela	Limitação – tipo 1	28,0
Fronhas	Limitação – tipo 2	4,3

Quadro 28 - Diferença percentual de caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas a cada uma das limitações

No quadro 28, verifica-se maior diferença percentual, no que respeita ao caudal ecológico médio anual entre as duas abordagens efectuadas, para o caso de Paradela do que para o caso de Fronhas. No entanto, em ambos os casos se verifica uma discrepância de resultados obtidos pelas duas abordagens. Esta situação, tal como no Método do Perímetro Molhado, pode promover incertezas quanto à definição do RCE mais apropriado e consequentemente originar discórdia entre as entidades envolvidas num certo estudo, pois para uns a análise a efectuar pode ser a *mais conservativa* em termos ecológicos, mas para outros a *abordagem menos conservativa* poderá ser a suficiente, tendo em vista também aspectos económicos.

5.3. COMPARAÇÃO DE REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

De seguida, realiza-se uma comparação do caudal ecológico médio anual proposto, por cada metodologia seleccionada e respectivas abordagens, para os troços a jusante de aproveitamentos hidroeléctricos comuns à aplicação das duas metodologias (Barragens de Paradela e Fronhas).

5.3.1. PARADELA – INTERVALO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDO ATRAVÉS DAS METODOLOGIAS SELECCIONADAS

Este caso, abordado neste subcapítulo corresponde à comparação dos caudais ecológicos médios definidos na aplicação do Método do Perímetro Molhado (Limitação 1) e da Metodologia IFIM (Limitação 1) ao troço a jusante da barragem de Paradela (lote A).

Comparação das Metodologias seleccionadas					
Método do Perímetro Molhado			Metodologia IFIM		
Caudal ecológico médio anual em função das afluências naturais (%)			Caudal ecológico médio anual em função das afluências naturais (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média	Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
4,0	37,7	20,9	11,2	39,2	25,2

Quadro 29 - Comparação dos caudais ecológicos médios anuais definidos pelas diferentes metodologias através das diferentes abordagens – Paradela

Ao observar o quadro 29, conclui-se que para o caso de Paradela a Metodologia IFIM apresenta-se mais conservadora, em termos ecológicos, do que o Método do Perímetro Molhado. Ambas as envolventes da Metodologia IFIM apresentam valores percentuais de caudal ecológico médio anual mais elevados do as correspondentes ao Método do Perímetro Molhado, o que *a priori* era espectável, visto que a Metodologia IFIM apresenta uma abrangência mais elevada no que respeita a características biológicas.

5.3.2 FRONHAS – INTERVALO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS OBTIDO ATRAVÉS DAS METODOLOGIAS SELECCIONADAS

Este caso corresponde à comparação dos caudais ecológicos médios definidos na aplicação do Método do Perímetro Molhado (Limitação 3) e da Metodologia IFIM (Limitação 2) ao troço a jusante da barragem de Fronhas (lote B).

Comparação das Metodologias seleccionadas					
Método do Perímetro Molhado			Metodologia IFIM		
Caudal ecológico médio anual em função das afluências naturais (%)			Caudal ecológico médio anual em função das afluências naturais (%)		
Envolvente inferior	Envolvente superior	Média	Envolvente inferior	Envolvente superior	Média
9,4	21,3	15,4	5,9	10,2	8,1

Quadro 30 - Comparação dos caudais ecológicos médios anuais definidos pelas diferentes metodologias através das diferentes abordagens – Fronhas

No quadro 30, constata-se um cenário contrário ao caso de Paradela, ou seja, o Método do Perímetro Molhado apresenta-se como o método mais conservador em termos ecológicos. Tal facto, poderá ser explicado devido à realização de transposição de curvas SPU do Rio Lima

para o Rio Alva (onde se insere a barragem de Fronhas), que possivelmente influenciou os RCE's obtidos.

Sendo assim, ao analisar estes dois casos, nada se pode concluir de forma vinculativa sobre qual das duas metodologias se apresenta como a mais conservadora em termos ecológicos. Cada caso de estudo é específico, pelo que ainda não é possível vincular *a priori* qual a metodologia ideal a ser aplicada a um certo caso de estudo.

5.4. DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS SELECIONADAS

Após a investigação de possíveis limitações, no que respeita às escolhas dos principais pontos de inflexão das curvas inerentes dos métodos do Perímetro Molhado e da IFIM, é relevante apontar de que modo, alguns aspectos teóricos (limitações) relativos a estas duas metodologias (ver subcapítulos 4.1.1 e 4.2.1), possam ter tido influência na forma das curvas estudadas e consequentemente nos RCE's obtidos.

No que respeita à aplicação do Método do Perímetro Molhado aos troços a jusante das barragens de Paradela e Caniçada (lote A), como também de Fronhas (lote B), pode-se afirmar que foi efectuada segundo as normas teóricas aconselhadas, pois:

- A modelação hidráulica, para todos os casos, foi realizada em secções transversais representativas dos vários tipos de habitat existentes nos respectivos cursos de água, tendo sido seleccionadas por peritos da área;
- Estes três cursos de água estudados, não possuem fenómenos como cascatas e além disso apresentam secções largas e pouco profundas;
- São os três, cursos de água salmonícolas, ou seja, bastante aptos à aplicação do Método do Perímetro Molhado.

No que diz respeito à aplicação da Metodologia IFIM aos troços a jusante das barragens de Paradela (lote A) e Fronhas (lote B), há que efectuar uma distinção em relação à aplicação do Método do Perímetro Molhado.

Além das limitações incontornáveis do método (explicitadas no subcapítulo 4.2.1), constata-se alguns aspectos que podem ter influenciado a elaboração das curvas SPU relativas às duas barragens e consequentes RCE's estabelecidos:

- Na aplicação desta metodologia, para os 2 casos, não se consideraram a temperatura e a qualidade da água, pois a aplicação restringiu-se unicamente à profundidade, velocidade e substrato;
- No caso de Fronhas, houve transferência de curvas de aptidão pertencentes ao rio Lima, para o curso de água em questão, o que não é de todo aconselhável (segundo certos autores), devido à complexidade biológica própria dos cursos de água como referido no subcapítulo 4.2.1).

Ao constatarem-se os resultados obtidos no subcapítulo 5.2), aquando da comparação das duas metodologias estudadas, conclui-se que cada caso é específico e que não se pode afirmar qual é o método mais conservador em termos ecológicos, pois para o caso de Paradela, a Metodologia

IFIM, na maioria das suas abordagens, apresentou valores de caudais ecológicos mais elevados mas, para o caso de Fronhas, o cenário inverteu-se e o Método do Perímetro Molhado apresentou-se como o método ecologicamente mais conservador, possivelmente devido à realização da transferência de curvas SPU do Rio Lima para o Rio Alva.

Realizou-se o cálculo da média dos caudais ecológicos médios anuais definidos pelas abordagens para cada caso, com intuito de ultrapassar as situações encontradas, uma vez que na actualidade ainda não se conseguiu encontrar solução para situações em que existem dois ou mais RCE's que podem ser definidos. Coloca-se aqui então, a necessidade futura de investigar uma possível explicação ou relação matemática que permita se possível, de forma sistemática, a escolha do ponto de inflexão principal das curvas (P, Q) e SPU elaboradas através da aplicação do Método do Perímetro Molhado e da IFIM, respectivamente.

Há que realçar também que, as barragens estudadas do lote A (Paradela e Caniçada) e lote B (Fronhas) pertencem a diferentes Bacias Hidrográficas e a distintas zonas do país. No entanto, segundo a classificação do INAG, os rios onde estes aproveitamentos hidroeléctricos estão inseridos (Rio Cávado e Rio Alva respectivamente) pertencem à mesma tipologia, ou seja, são considerados do tipo N1 – *Rios do Norte Média / Grande Dimensão*, pelo que não se pode indicar, neste estudo, qualquer relação de aptidão entre qualquer uma das metodologias e o tipo de rio onde são aplicadas.

Sendo assim, atendendo às características próprias de cada metodologia investigada, pode-se afirmar que teoricamente (devido à abrangência de características biológicas) a Metodologia IFIM apresenta-se como o método mais interessante, no que respeita às exigências da DQA e consequentes objectivos ambientais a cumprir por Portugal até 2015. No entanto, a sua implementação actual em Portugal ainda apresenta alguns problemas, uma vez que o conhecimento biológico das populações piscícolas, nomeadamente nos rios do Sul de Portugal, ainda não é suficientemente grande, ao contrário do que acontece em relação aos rios salmonícolas do Centro e Norte do país. Além disso, é necessária a elaboração de critérios de aptidão de habitat para as diversas espécies existentes nos cursos de água portugueses.

Considera-se que actualmente a Metodologia IFIM pode ser aplicada aos rios do Norte de Portugal, embora existam algumas limitações a superar, para que esta seja efectuada de forma totalmente coerente, enquanto para os cursos de água não salmonícolas do Sul, pensa-se que deverá ser aplicado, o Método do Perímetro Molhado, até que o estado do conhecimento científico permita uma coerente aplicação da Metodologia IFIM, embora segundo alguns autores, este método não seja totalmente adequado para cursos de água não salmonícolas.

Por fim, é importante realçar que, embora este trabalho de investigação tenha incidido mais especificamente sobre duas metodologias e valorize (embora sejam apontadas por completo limitações de ambas) a aplicação das mesmas, tal facto não implica que se deva descartar, nos tempos actuais, a aplicação de outras metodologias, tais como as metodologias hidrológicas (v. g., Método do INAG e Método de Tennant) e os métodos holísticos (v. g., Método de Avaliação por Painel de Especialistas). As primeiras mais indicadas para estudos com limitações de tempo, ou seja, de exigência imediata de resultados e os segundos como ferramentas de auxílio das metodologias do Perímetro Molhado e IFIM, no que respeita à conjugação de RCE's obtidos por estes dois métodos.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Através da elaboração deste estudo foi possível concluir que, devido às características próprias dos métodos do Perímetro Molhado e da IFIM, estes apresentam-se, em termos teoricamente como os métodos mais apropriados e “completos” no que respeita à aplicação de metodologias para definição de caudais ecológicos tendo em vista os objectivos ecológicos propostos pela DQA aos Estados-Membros, até 2015.

A principal conclusão desta investigação é a confirmação da existência de limitações nas curvas (P, Q) e SPU inerentes aos métodos do Perímetro Molhado e IFIM respectivamente, que permitem a realização de diferentes abordagens a estes tipos de curvas, o que faz com exista a possibilidade de definição de mais de que um RCE para cada caso de estudo através da mesma metodologia e que conseqüentemente existam incertezas no que respeita à selecção do RCE mais apropriado à implementação, para cumprimento das exigências ambientais da DQA.

No desenvolvimento deste estudo, não foi possível concluir qualquer relação das metodologias aplicadas com as tipologias de rios existentes, uma vez que os casos estudados são relativos a barragens que estão inseridas em rios considerados do mesmo tipo. Ao mesmo tempo, não se conclui, de forma sistematizada e vinculativa, qual a metodologia para definição de caudais ecológicos mais apropriada para estudos de RCE's em Portugal.

No entanto, a realização deste trabalho permitiu a formulação de recomendações possivelmente relevantes para o futuro, no que respeita a esta temática:

- Ao longo do tempo, conclui-se que a aplicação dos métodos hidrológicos (v. g., Método de Tennant, Método do Caudal Base e Método do INAG) tem tendência a ser substituída pelas aplicações de métodos hidráulicos, de simulação de habitat e holísticos, uma vez que as exigências ambientais europeias actuais apresentam um carácter ecológico, o que faz com que os métodos hidrológicos, devido às suas características, sejam limitados. Assim sendo, apoia-se esta tendência e recomenda-se, devido às exigências ambientais actuais, uma maior aplicação de metodologias hidráulicas, de simulação de habitat em detrimento da aplicação de métodos hidrológicos;
- É importante referir que a aplicação de métodos hidrológicos poderá continuar a ser útil, nomeadamente no que respeita a aplicações em estudos com limitações de tempo, isto é, de exigência imediata de resultados;

- A Metodologia IFIM, sendo uma metodologia de simulação de habitat afigura-se como a metodologia mais indicada para futuros estudos da ciência da definição de caudais ecológicos em Portugal, visto que abrange características hidráulicas e biológicas e que as exigências ambientais europeias apresentam actualmente uma elevada gama de parâmetros ecológicos;
- Ainda no que respeita à Metodologia IFIM, considera-se necessário organizar certos conhecimentos no que respeita às espécies piscícolas e ecossistemas dos cursos de água portugueses, principalmente dos inseridos nas regiões do Sul de Portugal (cursos de água não salmonícolas). O aprofundamento e uma sistematização dos conhecimentos das espécies piscícolas e ecossistemas existentes nos cursos de água portugueses, permitirá a elaboração de curvas de preferência de habitat das diversas espécies piscícolas existentes, que são fundamentais no que respeita a uma perfeita aplicação da Metodologia IFIM. Tal facto leva a que se refira a importância e que se recomende a realização mais frequente de estudos, por parte de peritos da área da biologia, que possam aumentar o conhecimento no que respeita às espécies piscícolas e ecossistemas dos cursos de água portugueses (nomeadamente no Sul de Portugal), pois só assim é que se poderão elaborar as importantíssimas curvas de preferência de habitat das espécies piscícolas de cada curso de água, indispensáveis à correcta aplicação da Metodologia IFIM. De forma sucinta e prática, sugere-se a elaboração de uma base de dados com elementos que permitam a elaboração de curvas de preferência de habitat respeitantes aos principais rios portugueses;
- Ao mesmo tempo do anteriormente proposto, sugere-se a realização de futuras investigações com o intuito de descobrir explicações ou relações matemáticas, que permitam sistematizar a escolha do ponto de inflexão principal das curvas (P, Q) e SPU, em casos de incerteza;
- O Método do Perímetro Molhado, embora sendo um método exclusivamente hidráulico, apresenta-se actualmente como o método mais apropriado para estudos a curto prazo nos cursos de água da região Sul de Portugal e em certos casos de massas de água do Norte e Centro do país, cujas curvas de preferência de habitat ainda não tenham sido elaboradas;
- A adequabilidade da aplicação da Metodologia IFIM e/ou do Método do Perímetro Molhado nos cursos de água portugueses, depende das características gerais (*v. g.*, características geomorfológicas) e principalmente da informação biológica disponível relativas aos mesmos cursos de água. Sendo assim recomenda-se uma avaliação prévia dos locais em estudo, com o objectivo de definir, a partir das limitações existentes, qual a metodologia mais apropriada para o caso em questão;
- Há que realçar também que, os métodos holísticos (*v. g.*, Método de Avaliação por Painel de Especialistas) poderão ter um papel importante em estudos desta temática, nomeadamente no que respeita à conjugação e avaliação dos RCE's obtidos pelos métodos do Perímetro Molhado e da IFIM, uma vez que estes dois métodos apresentam algumas limitações (como atrás descrito);
- A metodologia Building Block Methodology (BBM), que se enquadra nos métodos holísticos e se baseia principalmente em workshops onde se discute a temática dos caudais ecológicos, poderá vir a constituir uma nova e diferente abordagem à ciência da definição dos caudais ecológicos mas para tal é necessário que os conhecimentos da

área da ecologia, no que diz respeito às espécies piscícolas e ecossistemas existentes nas proximidades dos cursos de água portugueses, sejam cada vez mais aprofundados, tal como sucedido em outros países como a África do Sul;

- É relevante mencionar que a definição de RCE's nas *massas de água fortemente modificadas* de Portugal não tem sentido sem a implementação de Planos de Monitorização que permitam fornecer informações, ao longo do tempo, sobre o Potencial Ecológico e desenvolvimento e eficácia dos RCE's implementados. Considera-se extremamente relevante a elaboração e implementação de Planos de Monitorização coerentes e eficazes, que respeitem as frequências de monitorização exigidas pela DQA, até porque, devido às incertezas (constatadas ao longo do trabalho) existentes na definição de RCE's, é necessário uma monitorização regular que permita analisar se o RCE estabelecido para um dado curso de água está a corresponder às exigências requeridas pela DQA até 2015, isto é, é importante verificar se os RCE's definidos estão a proporcionar uma evolução dos elementos de qualidade biológica, hidromorfológica e físico-química no sentido do alcance do Bom Potencial Ecológico, que se apresenta como a meta a alcançar por Portugal até 2015;
- Após este estudo considera-se interessante e recomenda-se a realização de investigações, relacionadas com a ciência de definição de caudais ecológicos, que tenham como âmbito observar a evolução da elaboração de curvas de preferência de habitat das espécies relativas aos cursos de água portugueses, bem como constatar a influência da utilização destas curvas específicas, em detrimento de curvas de preferência de habitat transpostas, nos resultados obtidos (RCE's) pela aplicação da Metodologia IFIM
- Por fim recomenda-se um acompanhamento contínuo do desenvolvimento dos Planos de Monitorização que serão instaurados de acordo com as exigências da DQA, pois certamente serão uma útil fonte de informação no que respeita a aspectos a serem melhorados, em futuros estudos da temática da definição de caudais ecológicos, uma vez que em Portugal a ciência de definição de caudais ecológicos ainda se encontra, em relação a certos países (v. g., E.U.A, Austrália, etc.), pouco desenvolvida e sistematizada;

BIBLIOGRAFIA

1. EDP – Produção e Gestão de Energia S.A, 2009. *Estudos Ambientais para a Determinação de Regimes de Caudais Ecológicos (Processo de Consulta Lote A)*.;
2. EDP – Produção e Gestão de Energia S.A, 2009. *Estudos Ambientais para a Determinação de Regimes de Caudais Ecológicos (Processo de Consulta Lote B)*.;
3. *Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*, 23 de Outubro de 2000.;
4. INAG, I. P., 2009. *Critérios para a Classificação do Estado das Massas de Água Superficiais – Rios e Albufeiras*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água. I. P., Lisboa, Portugal.;
5. Wesche, T. A. and Rechard, P. A., 1980. *A summary of instream flow methods for fisheries and related research needs. Eisenhower Consortium Bulletin*, **9**: 1-121. Eisenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research. University of Wyoming, Laramie, USA.
6. Gordon, N. D.; McMahon, T. A. and Finlayson, B. L., 1992. *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. John Wiley & Sons (Publish.), Chichester, England.
7. Annear, T. C. and Conder, A. A., 1984. Relative bias of several fisheries instream flow methods. *North American Journal of Fisheries Management*, **4**: 451-539.
8. Belaud, A.; Chaverroche, P.; Lim, P. & Sabaton, C., 1989. Probability-of-use curves applied to brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in rivers of southern France. *Regulated Rivers: Research & Management*, **3**: 321-336.
9. Gore, J. A., 1989. Case Histories of Instream Flow Analysis for Permitting and Environmental Impact Assessments in the United States. *South African Journal of Aquatic Sciences*, **16**: 194-208.
10. Stalnaker, C. B., 1990. Minimum flow is a myth. In: Bain, M. B. (Editor). *Ecology and Assessment of Warmwater Streams: Workshop Synopsis*, Biological Report **90** (5): 31-33. U. S. Fish Wildlife Service, Washington, DC.

11. Arthington, A. H.; Tharme, R. E.; Brizga, S. O.; Pusey, B. J. and Kennard, M. J., 2003. Environmental Flow Assessment with Emphasis on Holistic Methodologies. In: International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia, 2003;
12. Tharme, R. E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, **19** (5-6): 397-441.
13. Kozlowski, S. J. de, 1988. ; *Determination of minimum flow standards to protect instream uses in priority stream segments*. South Carolina Water Resources Commission. Report nº 163. South Carolina, USA.
14. Gippel, C. J. and Stewardson, M. J., 1998. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management*, **14**: 53-67
15. Henriques, A. G., 1994. *Proposta de Regime de Caudais Ambientais dos Principais Rios Internacionais*. Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa, Portugal.
16. Cortes, R. M. V., Ferreira, M. T., Santos, J. M. S., Godinho, F. N., Diogo, R., Albuquerque, A., Fernandes, F. S., Ribeiro, P. T., Oliveira, S., Lopes, L. F., Oliveira, D., Tavares, I. T. e Saraiva, Z., 2000. *Estudo Experimental para a Definição do Caudal Ecológico do Rio Lima*. Instituto de Conservação da Natureza. 172 pp.
17. Portela, M. M., 2004. *Caudais ecológicos em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos: comparação de métodos de definição com base em dois casos de estudo*. In: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (ed.). *7º Congresso da Água*, LNEC, Lisboa, Portugal.
18. Alves, M. H., Bernardo, J. M., 2002. *Caudais Ecológicos em Portugal*. INAG, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, Portugal.
19. Revenga, C., Brunner J., Henninger N., Kassem, K. and Payne, R., 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Ecosystems*. World Resources Institute and Worldwatch Institute, Washington DC, USA.
20. Dynesius, M. and Nilsson, C., 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, **266**: 753-762.

21. Abramowitz, J. N., 1995. *Freshwater failures: the crises on five continents*. *World Watch*, **8**: 26-28.
22. Jowett, I. G., 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management*, **13**: 115-127.
23. King, J. M., Tharme, R. E. and de Villiers, M. S. (Editors), 2008.; *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Freshwater Research Unit. University of Cape Town, South Africa.
24. Ghanem, A., Steffler, P., Hicks, F. and Katapodic, C., 1996. *Two –dimensional hydraulic simulation of physical habitat conditions in flowing streams*. *Regulated Rivers - Research and Management*: **12**, 185-200.
25. Alves, M. H., Bernardo, J. M., 1998. Novas perspectivas para a determinação do caudal ecológico em regiões semi –áridas. In: *Seminário sobre Barragens e Ambiente*. Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, Porto, Portugal.
26. *Anexo 9 – Conservação da Natureza – Parte 2: Caudais Ecológicos*, PBH do Rio Sado, 26 de Fevereiro, 2009;
27. Nemus, Gestão e Requalificação Ambiental, Lda., 2009. *Estudos Ambientais para a Determinação do Regime de Caudais Ecológicos – Barragens de Vilar, Caldeirão, Açude de Trinta, Fronhas e Raiva (Lote B)*. Relatório Final Preliminar.
28. Aqualogus, Eng.^a e Ambiente, Lda., 2009. *Estudos Ambientais para a Determinação do Regime de Caudais Ecológicos – Barragens de Alto Rabagão, Venda Nova, Alto Cávado, Paradela, Salamonde, Caniçada e Vilarinho das Furnas (Lote A)*. Relatório Final (versão provisória.).
29. Alves, M. H., Henriques, A. G., 1994. O caudal ecológico como medida de minimização – métodos para a sua determinação. In: *Actas do 6º SILUBSB/1º SILUBSBA: 177-190. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Lisboa, Portugal.
30. de Paulo, R. G. F., 2007. Ferramentas para a Determinação de Vazões Ecológicas em Trechos de Vazão Reduzida: Destaque para a Aplicação do Método do Perímetro Molhado no Caso de Capim Branco I. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

31. Benetti, A. D., Eduardo Lanna, A. e Colbachini, M. S., 2003.; Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **8** (2): 149-160.

32. Leathe, S. and Nelson, F. A., 1986. *A Literature Evaluation of Montana's Wetted Perimeter Inflection Point Method for Deriving Instream Flow Recommendations*. Helena Montana Department of Fish, Wildlife and Parks, USA.

33. Reed, S. E. and Mead, J. S., 1990. *Use of multiple methods for instream flow recommendations: a state agency approach*. In: Bain, M. B. (ed.). *Ecology and Assessment of Warmwater Streams: Workshop Synopsis, Biological Report 90 (5)*. U. S. Fish Wildlife Service, Washington DC, USA.

34. Stalnaker, C., Lamber, B. L., Henriksen, J., Bovee, K. D. and Barthlow J., 1995. *The Instream Flow Incremental Methodology: A Primer for IFIM*. Biological Report 29. National Biological Service. Washington DC, USA.

35. Marthur, D., Bason, W. H., Purdy Jr., E. J. and Silver, C. A., 1985. *A critique of the instream flow incremental flow methodology*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**: 825-831.

36. Orth, D. J., 1987.; Ecological considerations in the development and application of instream flow habitat models. *Regulated Rivers: Research and Management*, **1**: 171-181.

37. Moyle, P. B. and Baltz, D. M., 1985. *Microhabitat use by an assemblage of a California stream fishes: developing criteria for instream flow determination*. *Transactions of the American Fisheries Society*, **114**: 695-704.

38. Nestler, J. M., Milhous, R. T. and Layzer, J. B., 1989. *Instream habitat modeling Techniques*. In: Gore, J. A.; Petts, G. E (eds.). *Alternatives in Regulated River Management*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

ANEXOS

ANEXO A – EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS DA DQA

ANEXO A1 – BOM ESTADO ECOLÓGICO

Elemento	Estado Ecológico Bom
Geral	Os valores de qualidade biológica do tipo de massa de águas de superfície apresentam baixos níveis de distorção resultantes de actividades humanas, mas só se desviam ligeiramente dos normalmente associados a esse tipo de massa de águas de superfície em condições não perturbadas

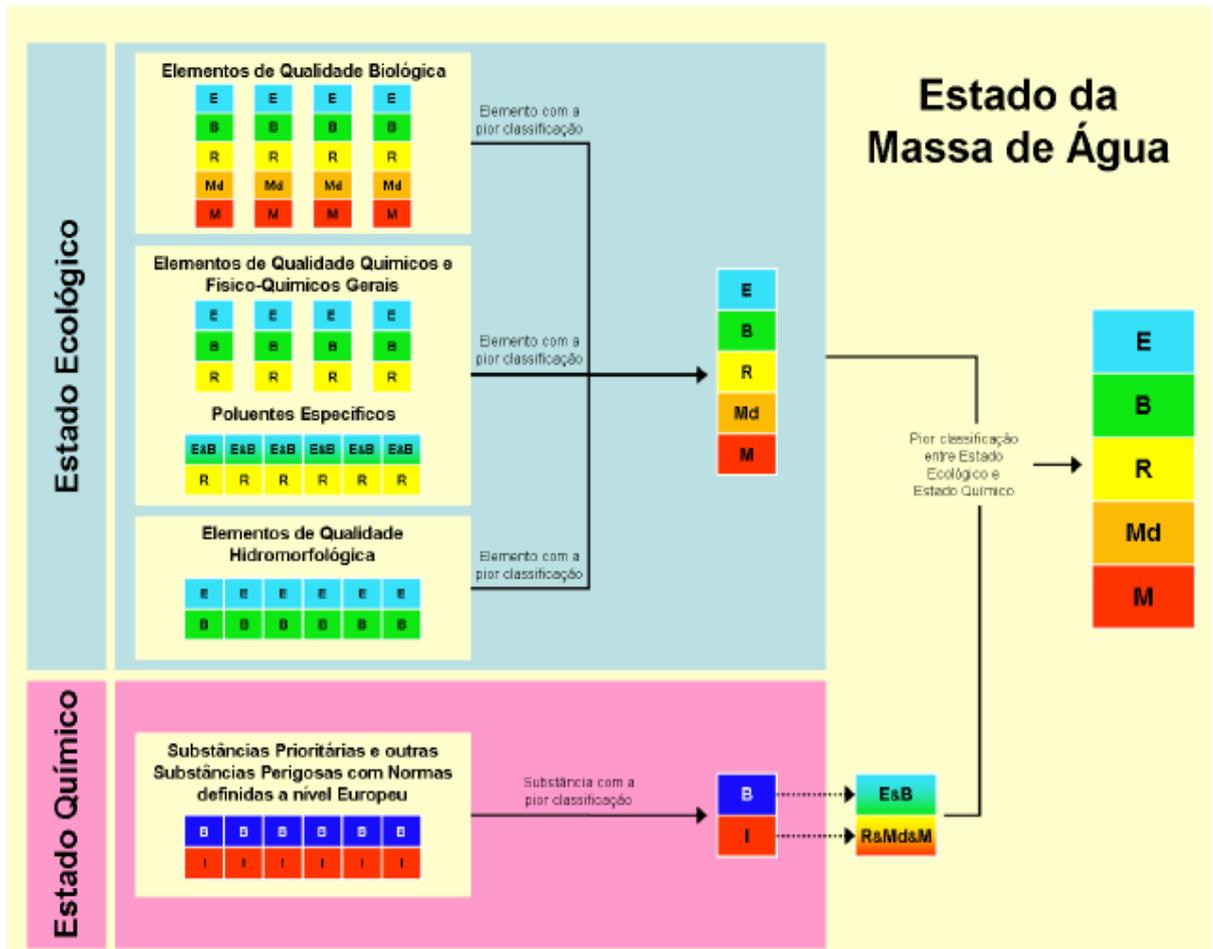
Elemento	Estado Ecológico Bom
Fitoplâncton	<p>Ligeiras modificações da composição e abundância dos taxa fitoplanctónicos em comparação com as comunidades específicas do tipo. Essas modificações não indicam um crescimento acelerado de algas que dê origem a perturbações indesejáveis do equilíbrio dos organismos presentes na massa de água ou da qualidade físico-química da água ou do sedimento.</p> <p>Pode-se verificar um ligeiro aumento da frequência e intensidade dos <i>blooms</i> fitoplanctónicos específicos do tipo.</p>
Macrófitos e fitobentos	<p>Ligeiras modificações da composição e abundância dos taxa macrofíticos e fitobentónicos em comparação com as comunidades específicas do tipo. Essas modificações não indicam um crescimento acelerado de fitobentos ou de plantas superiores que dê origem a perturbações indesejáveis do equilíbrio dos organismos presentes na massa de água ou da qualidade físico-química da água ou do sedimento.</p> <p>A comunidade fitobentónica não é negativamente afectada por flocos/mantas bacterianos devidos a actividades antropogénicas.</p>
Invertebrados bentónicos	<p>Ligeiras modificações da composição e abundância dos taxa invertebrados em comparação com as comunidades específicas do tipo.</p> <p>O rácio entre os taxa sensíveis e os taxa insensíveis às perturbações apresenta uma ligeira modificação em relação aos níveis</p>

	<p>específicos do tipo.</p> <p>O nível de diversidade de <i>taxa</i> invertebrada dá ligeiros sinais de modificação em relação aos níveis específicos do tipo.</p>
Fauna piscícola	<p>Ligeiras modificações da composição e abundância das espécies em comparação com as comunidades específicas do tipo, atribuíveis a impactos antropogénicos sobre os elementos de qualidade físico-química e hidromorfológica.</p> <p>A estrutura etária das comunidades piscícolas dá sinais de perturbação atribuíveis a impactos antropogénicos sobre os elementos de qualidade físico-química e hidromorfológica e, nalguns casos, indica falhas na reprodução ou desenvolvimento de certas espécies, ao ponto de faltarem algumas classes etárias.</p>

Elemento	Estado Ecológico Bom
Regime hidrológico	Condições compatíveis com os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.
Continuidade do rio	Condições compatíveis com os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.
Condições morfológicas	Condições compatíveis com os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.

Elemento	Estado Ecológico Bom
Condições gerais	<p>A temperatura, o balanço de oxigénio, o pH, a capacidade de neutralização dos ácidos e a salinidade permanecem dentro dos níveis estabelecidos, de forma a garantir o funcionamento do ecossistema específico do tipo e os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.</p> <p>As concentrações de nutrientes não excedem os níveis estabelecidos, de forma a garantir o funcionamento do ecossistema e os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.</p>
Poluentes sintéticos específicos	Concentrações não superiores às normas estabelecidas nos termos do ponto 1.2.6, sem prejuízo das Directivas 91/414/CEE e 98/8/CE (<eqs).
Poluentes não sintéticos específicos	Concentrações não superiores às normas estabelecidas nos termos do ponto 1.2.6, sem prejuízo das Directivas 91/414/CEE e 98/8/CE (<eqs).

ANEXO A2 – SISTEMA CONCEPTUAL DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS MASSAS DE ÁGUA



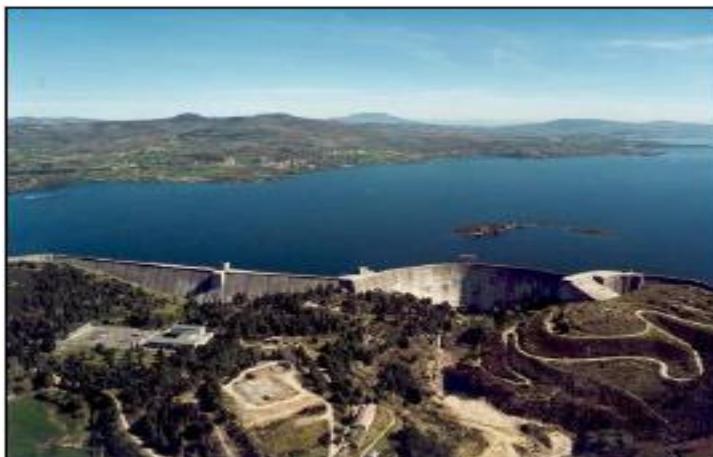
ANEXO A3 – BOM POTENCIAL ECOLÓGICO

Elemento	Potencial Ecológico Bom
Elementos de qualidade biológica	Ligeiras modificações dos valores dos elementos de qualidade biológica pertinentes em relação aos valores próprios do potencial ecológico máximo.
Elementos hidromorfológicos	Condições compatíveis com os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.
Elementos físico-químicos	
Condições gerais	<p>Os elementos físico-químicos encontram-se dentro dos valores estabelecidos, de forma a garantir o funcionamento do ecossistema e os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.</p> <p>A temperatura e o pH permanecem dentro dos níveis estabelecidos, de forma a garantir o funcionamento do ecossistema e os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.</p> <p>As concentrações de nutrientes não excedem os níveis estabelecidos, de forma a garantir o funcionamento do ecossistema e os valores acima especificados para os elementos de qualidade biológica.</p>
Poluentes sintéticos específicos	Concentrações não superiores às normas estabelecidas nos termos do ponto 1.2.6, sem prejuízo das Directivas 91/414/CEE e 98/8/CE (<eqs).
Poluentes não sintéticos específicos	Concentrações não superiores às normas estabelecidas nos termos do ponto 1.2.6, sem prejuízo das Directivas 91/414/CEE e 98/8/CE (<eqs).

ANEXO B – BARRAGENS DO LOTE A

ANEXO B1 – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS

- BARRAGEM DE ALTO RABAGÃO

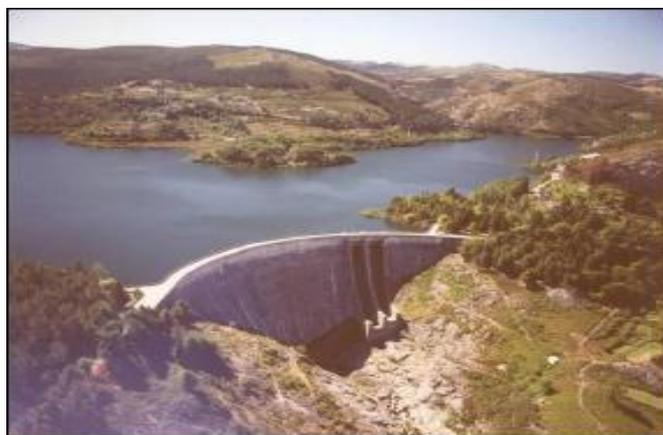


A barragem de Alto Rabagão, construída em 1964, situa-se no concelho de Montalegre, distrito de Vilar Real, no rio Rabagão.

É uma barragem de betão de construção mista, de abóbada e gravidade, com 94 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 1970 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 2212 ha à cota do NPA (nível de pleno armazenamento, cota 880 m) e uma capacidade útil de 550 hm³.

Na central hidroeléctrica de pé de barragem estão instalados dois grupos turbina-bomba Francis, com uma potência total instalada de 68 MW com uma produtibilidade média anual de 97 GWh.

- BARRAGEM DE VENDA NOVA



A barragem de Venda Nova, construída em 1951, situa-se no concelho de Montalegre, distrito de Vila Real, no rio Rabagão.

É uma barragem de arco gravidade, com 97 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 230 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 400 ha à cota do NPA (cota 700 m) e uma capacidade útil de 92 hm³.

A água da albufeira é derivada para a central de Vila Nova, situada junto da albufeira de Salamonde. Na central encontram-se 3 turbinas Pelton com uma potência total instalada de 90 MW e uma produtividade média anual de 389 GWh.

- BARRAGEM DE ALTO CÁVADO

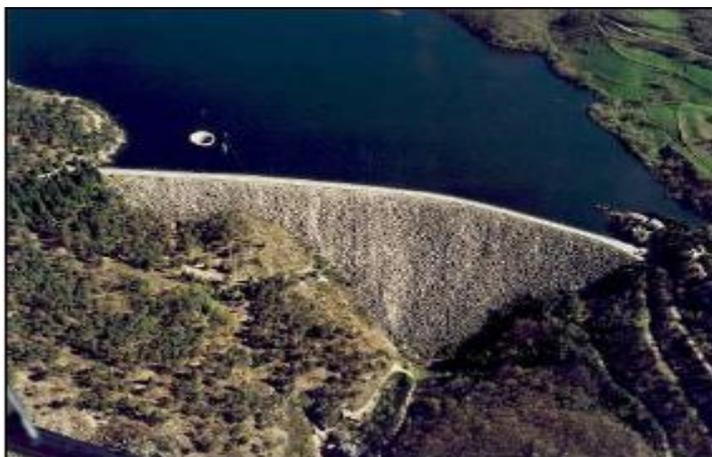


A barragem de Alto Cávado, construída em 1964, situa-se no concelho de Montalegre, distrito de Vila Real, no rio Cávado.

É uma barragem em betão de gravidade, com 29 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 220 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 50 ha à cota do NPA (cota 901,5 m) e uma capacidade útil de 2 hm³.

A barragem de Alto Cávado, não tem associada uma central hidroelétrica, derivando as suas aflúncias para a albufeira de Alto Rabagão por uma conduta subterrânea com cerca de 5 km de extensão.

- BARRAGEM DE PARADELA

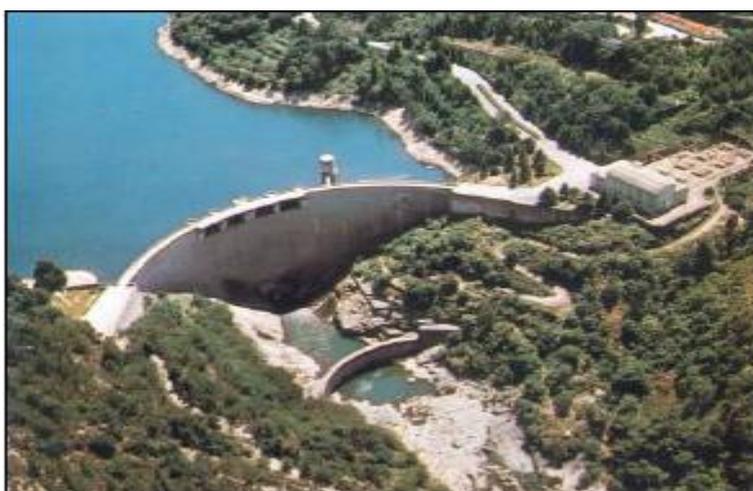


A barragem de Paradelas, construída em 1956, situa-se no concelho de Montalegre, distrito de Vila Real, no rio Cávado.

É uma barragem de enrocamento, com 110 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 540 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 380 há à cota do NPA (cota 740 m) e uma capacidade útil de 159 hm³.

A água da albufeira é derivada para a central de Vila Nova, situada junto da albufeira de Salamonde. Na central encontram-se uma turbina Francis com uma potência instalada de 54 MW e uma produtividade média anual de 253 GWh.

- BARRAGEM DE SALAMONDE

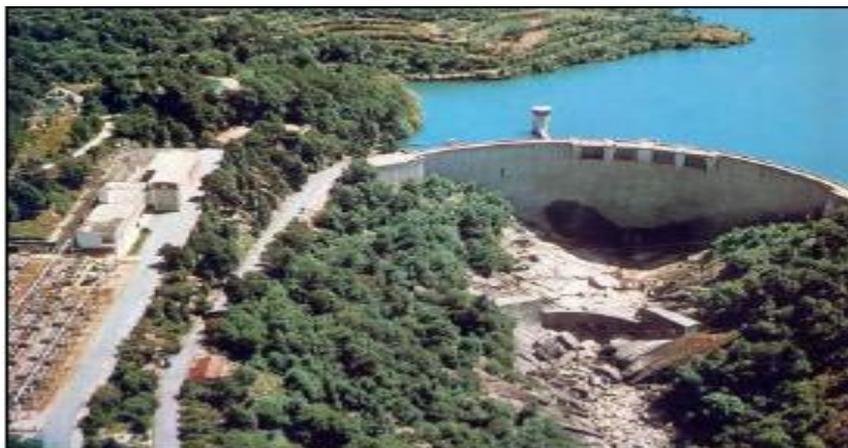


A barragem de Salamonde, construída em 1953, situa-se no concelho de Vieira de Minho, distrito de Braga, no rio Cávado.

É uma barragem de betão, de abóbada delgada, com 75 m de altura e um desenvolvimento de coroamento de 284 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 242 ha à cota do NPA (cota 280 m) e uma capacidade útil de 55 hm³.

Junto à barragem encontra-se a central hidroelétrica subterrânea, equipada com duas turbinas Francis, com uma potência total instalada de 42 MW e uma produtibilidade média anual de 232 GWh.

- BARRAGEM DE CANIÇADA



A barragem de Caniçada, construída em 1955, situa-se no concelho de Terras de Bouro, distrito de Braga, no rio Cávado.

É uma barragem de betão, de abóbada delgada, com 76 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 246 m. A sua albufeira tem uma área de cerca de 689 ha à cota do NPA (cota 162 m) e uma capacidade útil de 144 hm³.

Próximo da barragem encontra-se a central hidroelétrica subterrânea, equipada com duas turbinas Francis, com uma potência total instalada de 60 MW e uma produtibilidade média anual de 346 GWh.

- BARRAGEM DE VILARINHO DAS FURNAS

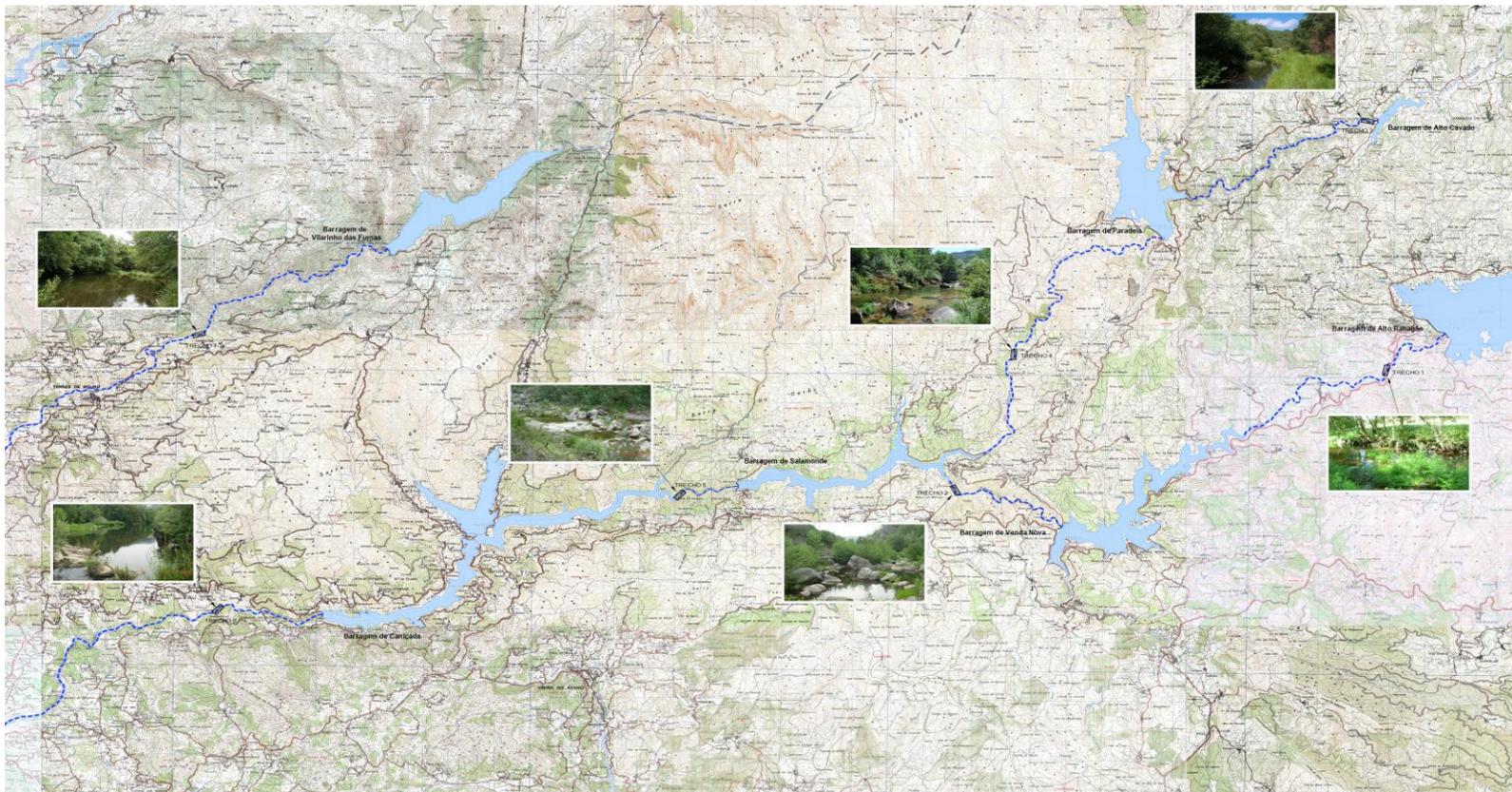


A barragem de Vilarinho das Furnas, construída em 1972, situa-se no concelho de Terras de Bouro, distrito de Braga, no rio Homem.

É uma barragem de betão, de abóbada assimétrica de dupla curvatura, com 94 m de altura e um desenvolvimento do coroamento de 398 m. A sua albufeira tem uma área de aproximadamente 344 ha à cota do NPA (569,5 m) e uma capacidade útil de 116 hm³.

A água da albufeira é derivada, por um túnel com 7 km de comprimento, para a central que se localiza junto da albufeira de Caniçada. Esta central encontra-se equipada com duas turbinas Francis, tem uma potência instalada de 125 MW e uma produtividade média anual de 225 GWh.

ANEXO B2 – LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS MODELADOS



SIMBOLOGIA:

— LIMITE DO PAIS

- - - - - TRECHO EM ESTUDO

▬ TRECHO MODELADO

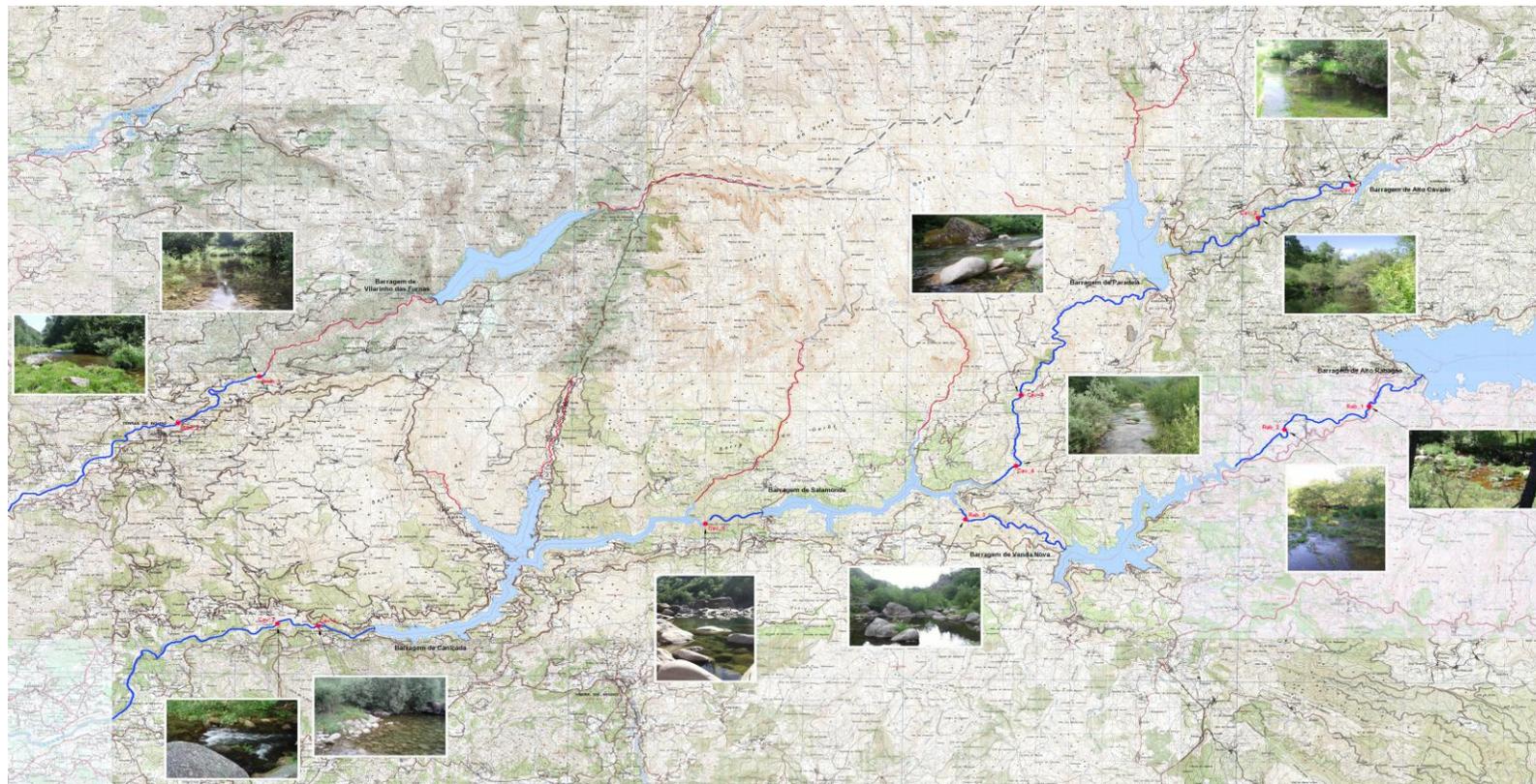
18 | 19 ESQUEMA DE LIGAÇÃO ENTRE CARTAS

29 | 30

ESTE DESENHO NÃO PODE SERVIR DE BASE À EXECUÇÃO DA OBRA SEM O VISTO DO DONO DA OBRA OU SEU REPRESENTANTE COMO "BOM PARA EXECUÇÃO"

Índice	Designação das alterações	Data	Projeto	Desenho	Matr.
edp - Gestão da Produção de Energia, SA					
Projeto: António Pinheiro / Teresa Almeida Cliente: João Miguel Castro Obj.: Barragem de Costa					
ESTUDOS AMBIENTAIS PARA A DETERMINAÇÃO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS DAS BARRAGENS DE ALTO RABACÃO, VENDA NOVA, ALTO CAVADO, PARADELA, SALAMONDE, CANIÇADA E VILARINHO DAS FURNAS (LOTE A) RELATÓRIO FINAL					
Escala: 1:50000 LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS MODELADOS					
				Folha: 02 Total: 01/01 Nº Projeto: 115.01-002 Data: SETEMBRO 2009	

ANEXO B3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM



- SIMBOLOGIA:**
- LIMITE DO PAIS
 - RIOS DO NORTE DE MÉDIA-GRANDE DIMENSÃO
 - RIOS MONTANHOSOS DO NORTE
 - ★ ESTAÇÕES AMOSTRAGEM

ESTE DESENHO NÃO PODE SERVIR DE BASE À EXECUÇÃO DA OBRA SEM O VISTO DO ZONDO DA OBRA OU SEU REPRESENTANTE COMO "BOM PARA EXECUÇÃO"

Índice	Designação das alterações	Data	Projeto	Desenho	Visto
edp - Gestão da Produção de Energia, SA					
Projeto	ESTUDOS AMBIENTAIS PARA A DETERMINAÇÃO DE REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS DAS BARRAGENS DE ALTO RABAGÃO, VENDA NOVA, ALTO CÁVADO, PARADELA, SALAMONDE, CARIÇADA E MILARINHO DAS FURNAS (LOTE A)	Desenho n.º	01/01		
Desenho	Planimétrico Planimétrico	Desenho n.º	01/01		
Auto	Belagim Costa	RELATÓRIO FINAL			
Conteúdo	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	Edição	115.01-001		
Escala	1:50000	Data	SETEMBRO 2009		

ANEXO C – BARRAGENS DO LOTE B

ANEXO C1 – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS

- BARRAGEM DE VILAR



A barragem de Vilar está localizada na freguesia de Vilar, concelho de Moimenta da Beira, distrito de Viseu.

Esta barragem que cria uma albufeira no rio Távora, afluente da margem esquerda do rio Douro, é do tipo enrocamento a granel, com uma cortina estanque de betão armado, assente numa camada de enrocamento arrumado, que constitui o paramento de montante, com 55 m de altura e 240 m de desenvolvimento de coroamento.

Características	
Aterro	Enrocamento com cortina a montante
Altura acima da fundação	58 m
Fundação	Xisto e Granito
Altura acima do terreno natural	55 m
Cota do coroamento	555 m
Nível de Pleno Armazenamento	552 m
Comprimento do coroamento	240 m
Capacidade total	100 hm ³
Capacidade útil	95 hm ³
Área Inundada ao NPA	67 ha
Descarregador de Cheias	
Localização	Margem Direita
Tipo de Controlo	Controlado
Tipo de Descarregador	Canal de encosta
Caudal de cheia	500 m ³ /s
Período de Retorno	1000 anos
Desenvolvimento da soleira	12.40 m
Comportas	2 comportas segmento

Características	
Descarga de Fundo	
Localização	Talvegue
Tipo	Em túnel escavado na rocha
Secção da conduta	2.14 m ²
Controlo a montante	Não
Válvula de jacto ôco	Jacto oco e fossas de erosão
Central Hidroeléctrica	
Tipo de Central	Subterrânea
N.º de grupos instalados	2
Tipo de grupos	Pelton
Potência total instalada	64 MW
Energia produzida em ano médio	148 GWh

- BARRAGEM DO CALDEIRÃO



A barragem do Caldeirão está localizada na freguesia de Vilar, concelho de Moimenta da Beira, distrito de Viseu.

Esta barragem é do tipo abóbada de dupla curvatura com 39 m de altura acima das fundações e um desenvolvimento de coroamento de 122 m.

Características	
Betão	Arco
Altura acima da fundação	39 m
Fundação	Xisto e Granito
Cota do coroamento	701,1 m
Nível de Pleno Armazenamento	702 m
Comprimento do coroamento	122 m
Capacidade total	5,5 hm ³
Capacidade útil	3,5 hm ³
Área Inundada ao NPA	6,6 ha
Descarregador de Cheias	
Localização	No corpo da barragem
Tipo de Controlo	Sem controlo

Características	
Tipo de Descarregador	Sobre a barragem
Caudal de cheia	350 m ³ /s
Período de Retorno	1000 anos
Desenvolvimento da soleira	83,55 m
Caudal máximo descarregado	242 m ³ /s
Dissipação de energia	Bacia de dissipação
Descarga de Fundo	
Localização	Talvegue
Tipo	Através da barragem
Secção da conduta	1,0 x 1,5 m
Controlo a montante	Comporta vagão
Controlo a jusante	Comporta sector
Central Hidroeléctrica	
Tipo de Central	Albufeira – Céu aberto
N.º de grupos instalados	1
Tipo de grupos	Francis
Potência total instalada	32 MW
Energia produzida em ano médio	45 GWh

- AÇUDE DE TRINTA



O Açude de Trinta (ou do Mondego), que deriva água para albufeira de Caldeirão, está localizado no rio Mondego, na freguesia de Trinta, concelho da Guarda.

O Açude de Trinta é de betão de 11 m de altura e 62 m de desenvolvimento de coroamento.

Características	
Cota de crista	(719,00)
Altura entre a fundação e a soleira descarregadora	10 m
Desenvolvimento total do coroamento	62 m
Desenvolvimento total da zona galgável	30 m
Caudal máximo descarregado	680 m ³ /s
Vazão da descarga de fundo (para a cota 719,00)	7 m ³ /s

- BARRAGEM DE FRONHAS



A barragem de Fronhas, que deriva água para a albufeira da Aguieira, está localizada no rio Alva, cerca de 9 km a montante da confluência com o Mondego, na freguesia de Pombeiro da Beira, concelho de Arganil.

Esta barragem é do tipo abóbada de dupla curvatura, de 62 m de altura acima das fundações e com um desenvolvimento de coroamento de 250 m (à cota 140,00).

Características	
Betão	Arco
Altura acima da fundação	62 m
Fundação	Metagrauvaques
Cota do coroamento	140 m
Nível de Pleno Armazenamento	134,1 m
Comprimento do coroamento	250 m
Capacidade total	62,1 hm ³
Capacidade útil	42,5 hm ³
Área Inundada ao NPA	53,5 ha
Descarregador de Cheias	
Localização	Centro
Tipo de Controlo	Controlado
Tipo de Descarregador	Orifício
Comportas	4 compartas segmento
Caudal máximo descarregado	500 m ³ /s
Dissipação de energia	Trampolim
Central Hidroelétrica	
Tipo de Central	Afastada da barragem

- BARRAGEM DA RAIVA



A barragem da Raiva localiza-se no rio Mondego, a cerca de 25 km a montante de Coimbra, na freguesia de Coiço, concelho de Penacova.

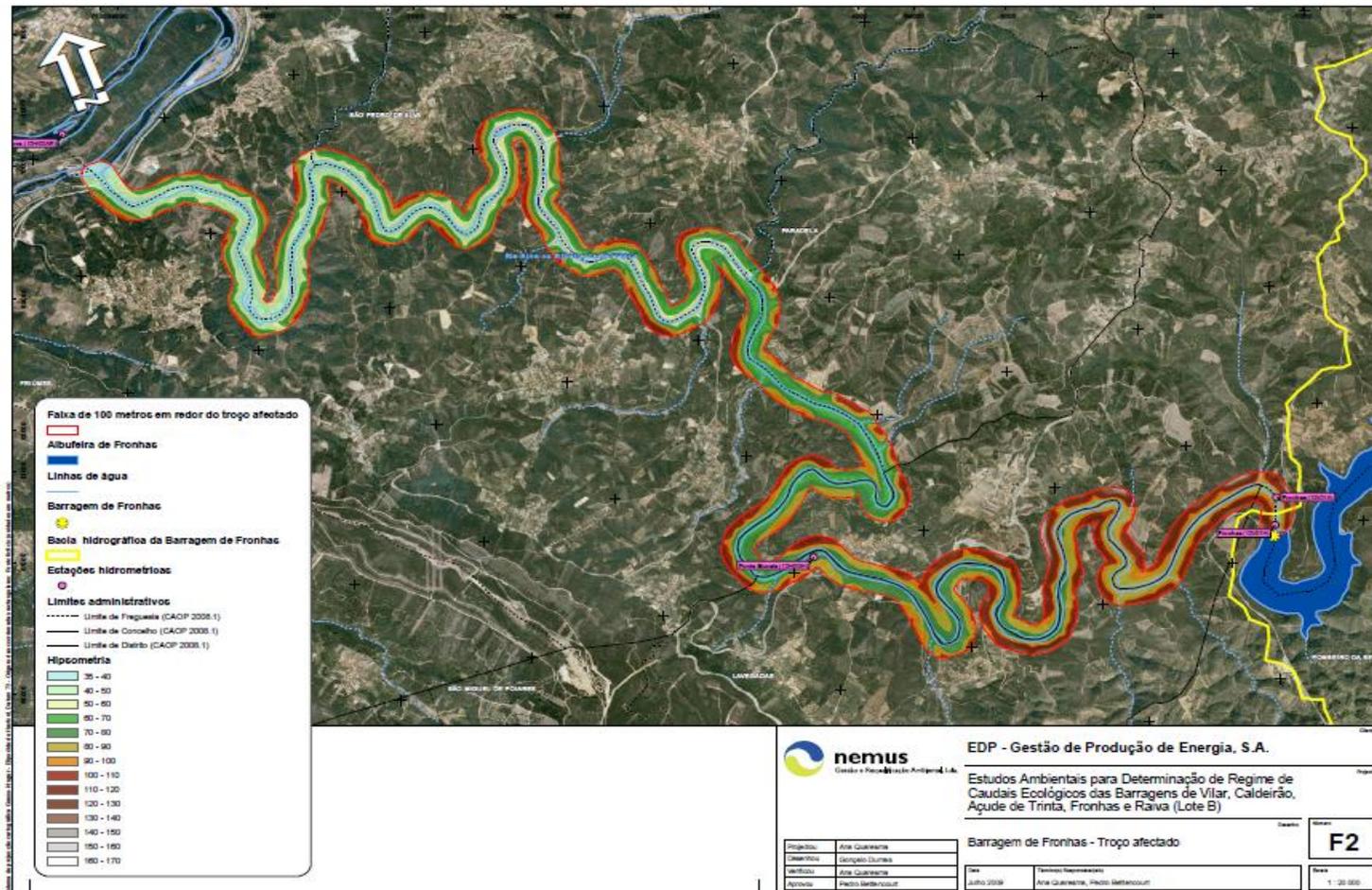
A barragem da Raiva é do tipo gravidade, tem 34 m de altura acima das fundações e um desenvolvimento de coroamento de 200 m (à cota de 64,50).

Características	
Betão	Gravidade
Altura acima da fundação	36 m
Fundação	Xistos e grauvaques
Cota do coroamento	64,5 m
Nível de Pleno Armazenamento	61,5 m
Comprimento do coroamento	200 m
Capacidade total	24,1 hm ³
Capacidade útil	14,7 hm ³
Área Inundada ao NPA	23 ha
Descarregador de Cheias	
Localização	No corpo da barragem
Tipo de Controlo	Controlado
Tipo de Descarregador	Sobre a barragem
Caudal de cheia	3500 m ³ /s
Período de Retorno	1000 anos

Características	
Desenvolvimento da soleira	40 m
Comportas	2 comportas segmento
Caudal máximo descarregado	2000 m ³ /s
Dissipação de energia	Ressalto
Descarga de Fundo	
Tipo	Através da barragem
Secção da conduta	1,5 x 2,0 = 3 m ²
Controlo a jusante	Sim
Central Hidroeléctrica	
Tipo de Central	Contígua à barragem
N.º de grupos instalados	2
Tipo de grupos	Bolbo-Francis
Potência total instalada	20 MW
Energia produzida em ano médio	44,8 GWh

ANEXO C2 – LOCALIZAÇÃO DO TRECHO MODELADO

FRONHAS



ANEXO C3 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM

- FRONHAS

