

DISPOSITIVOS DE DESCARGA DE CAUDAL ECOLÓGICO NOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS PORTUGUESES

JÚLIA DANIELA DOS SANTOS GONÇALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Irene Ramos Chaves Fernandes

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@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 Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

Conhecimento é Poder

Francis Bacon

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho tive a ajuda de várias pessoas às quais seguidamente agradeço.

Agradeço à minha orientadora, Professora Irene Ramos Chaves Fernandes, pela linhas de orientação, conselhos, ajudas prestadas, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Vallejo Paes, pela disponibilidade, simpatia com que nos recebeu na visita efetuada ao Aproveitamento Hidroelétrico Foz Tua.

À minha família, pelo apoio e incentivo que recebi desde sempre, que me permitem continuar até atingir os meus objetivos.

Ao Jorge, que esteve sempre presente e pela motivação.

Aos meus amigos pelo companheirismo, amizade e momentos de descontração.

À minha irmã Joana, e especialmente aos meus Pais sempre disponíveis e sem os quais não seria o que sou hoje e me deram a possibilidade para tirar o curso.

RESUMO

No passado, a gestão dos recursos hídricos era orientada para a satisfação de usos e necessidades humanas, nomeadamente, o abastecimento público, rega e produção de energia. Com a crescente consciencialização ambiental, foi reconhecido, ainda no final do século passado, que as necessidades referidas têm que ser compatibilizadas com as dos ecossistemas fluviais.

Neste contexto, surgiram os caudais ecológicos, cujo propósito é manter regimes de caudais mínimos nos cursos de água em que são implantados os aproveitamentos hidráulicos, de modo a assegurar a manutenção dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos.

Em Portugal, existem atualmente mais de três dezenas de grandes aproveitamentos hidroelétricos em exploração, cuja construção se verificou a partir da década de 40 do século passado, designadamente, nas décadas de 50 a 70. Estes aproveitamentos, embora tenham associados benefícios relevantes, provocam alterações do regime hidrológico dos cursos de água, que importa minimizar.

O objetivo da presente dissertação é a análise da situação atual dos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses relativamente à libertação de caudal ecológico e a proposta das medidas necessárias, face à legislação em vigor.

Assim, na primeira parte do trabalho, efetuou-se a pesquisa e análise da informação relativa à caracterização geral dos referidos aproveitamentos, bem como à legislação e métodos de determinação do caudal ecológico.

Na segunda parte do trabalho, após identificação e sistematização dos tipos de dispositivos de descarga de caudal ecológico atualmente existentes nos aproveitamentos em exploração ou construção, apresentam-se propostas de soluções a implementar nos aproveitamentos em exploração que provocam interrupção da continuidade hidráulica dos cursos de água em que se localizam.

PALAVRAS-CHAVE: dispositivos de caudal ecológico, caudal ecológico, aproveitamentos hidroelétricos, barragens.

ABSTRACT

In the past, management of water resources was oriented to the satisfaction of human uses and needs in particular public supply, irrigation and energy production. With the increasing environmental awareness in the late xx century it was recognized that these needs have to be made compatible with those of riverine ecosystems.

In this context emerged the ecological flows, whose purpose is to maintain systems of minimum flows in watercourses in which hydroelectric plants are deployed in order to ensure the maintenance of aquatic and riparian ecosystems.

In Portugal there are currently more than three dozens of major hydroelectric developments in exploration, whose construction started after 1940, particularly in the 50s and 70s. Although associated with significant benefits, these exploitations cause changes on the hydrological regime of watercourses, which should be minimized.

The purpose of this dissertation is to analyze the current situation of the great Portuguese hydroelectric exploitations regarding the release of ecological flow and propose any required measures under the existing legislation.

Thus, in the first part of the work, was carried out the research and analysis of information regarding the general characterization of these exploitations, as well as the legislation and methods of determining the ecological flow.

In the second part, after identifying and systematizing the types of ecological water flow discharge devices currently existing in exploitations in operation or construction, are presented the proposed solutions to be implemented in the exploitations in operation which are causing interruption of the hydraulic continuity of the watercourses where they are located.

KEYWORDS: ecological flow devices, ecological flow, hydroelectric schemes, dams.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL	5
2.3. TIPOS DE APROVEITAMENTOS	7
2.4. BARRAGEM	10
2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO A IMPORTÂNCIA	11
2.4.2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO A FINALIDADE PRINCIPAL	11
2.4.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO OS MATERIAIS E TIPOS DE ESTRUTURAS	12
2.5. CENTRAL E CIRCUITO HIDRÁULICO	12
2.6. ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO	12
2.7. ÓRGÃOS COMPLEMENTARES	13
2.8. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL	13
3. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DO CAUDAL ECOLÓGICO	17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. LEI DE BASES DO AMBIENTE	17
3.2.1. ESTUDOS DE IMPACTE AMBIENTAL (EIA)	17
3.2.2. INSTITUTO NACIONAL DO AMBIENTE	18
3.3. DECRETO REGULAMENTAR Nº 2/88 DE 20 DE JANEIRO	18

3.4. DECRETO-LEI Nº 45/94 DE 22 DE FEVEREIRO	18
3.4.1. ÓRGÃOS CONSULTIVOS	18
3.4.1.1. Concelho Nacional da Água	18
3.4.1.2. Concelho de Bacia	19
3.5. DECRETO-LEI Nº 46/94 DE 22 DE FEVEREIRO	19
3.5.1. CAPTAÇÃO DE ÁGUAS	19
3.5.2. INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS	19
3.6. DECRETO-LEI Nº 69/2000 DE 3 DE MAIO	20
3.7. DIRETIVA 2000/60/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONCELHO DE 23 DE OUTUBRO DE 2000	20
3.8. DECRETO-LEI Nº 112/2002 DE 17 DE ABRIL	21
3.9. LEI DA ÁGUA	21
3.10. DECRETO-LEI Nº 226-A/2007 DE 31 DE MAIO	21
3.11. RESOLUÇÃO DA ASSEMBLEIA DA REPÚBLICA Nº 66/99	22
3.12. LEGISLAÇÃO ESTRANGEIRA RELATIVA A CAUDAIS ECOLÓGICOS	22
3.12.1. ESPANHA	22
3.12.2. OUTROS PAÍSES	23
3.12.2.1. França	23
3.12.2.2. Reino Unido	23
3.12.2.3. Suíça	23
3.12.2.4. Alemanha e Irlanda	23
3.12.2.5. Canadá	23
3.12.2.6. Estados Unidos da América	24
3.13. ASPETOS MAIS RELEVANTES DA LEGISLAÇÃO	24
4. DETERMINAÇÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO	25
4.1. INTRODUÇÃO	25
4.2. PROBLEMÁTICA DO CAUDAL ECOLÓGICO	25
4.3. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CAUDAL ECOLÓGICO	27
4.3.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS – MÉTODOS BASEADOS EM REGISTOS HISTÓRICOS	28
4.3.1.1. Método de Tennant ou de Montana	28
4.3.1.2. Método do INAG	29
4.3.1.3. Método do Caudal Base	30

4.3.2. MÉTODOS HIDRÁULICOS – MÉTODOS BASEADOS NA RELAÇÃO ENTRE AS CARATERÍSTICAS HIDRÁULICAS E O CAUDAL	30
4.3.2.1. Método do Perímetro Molhado	31
4.3.3. MÉTODOS ECOLÓGICOS – MÉTODOS BASEADOS NA RELAÇÃO ENTRE O HABITAT E O CAUDAL.....	32
4.3.3.1. Metodologia Incremental - IFIM.....	32
4.3.4. OUTROS MÉTODOS.....	32
4.3.5. MÉTODOS COM APLICAÇÃO EM PORTUGAL.....	32

5. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO EXISTENTES OU EM CONSTRUÇÃO

35

5.1. INTRODUÇÃO

35

5.2. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO NOS APROVEITAMENTOS EM EXPLORAÇÃO

35

5.2.1. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO INSERIDOS NA DESCARGA DE FUNDO

36

5.2.2. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO – RECURSO AOS GRUPOS GERADORES E À DESCARGA DE FUNDO

47

5.2.3. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO INSERIDOS NO DESCARREGADOR DE CHEIAS.....

52

5.2.4. DISPOSITIVO ESPECÍFICO DE CAUDAL ECOLÓGICO – CASO DE ALQUEVA - PEDRÓGÃO.....

55

5.3. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO NOS APROVEITAMENTOS EM CONSTRUÇÃO – CASO DE FOZ TUA.....

58

6. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO PROPOSTOS

61

6.1. INTRODUÇÃO

61

6.2. ASPETOS RELEVANTES NA ESCOLHA DE UM DISPOSITIVO DE DESCARGA DE CAUDAL ECOLÓGICO.....

61

6.2.1. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO NUM APROVEITAMENTO EXISTENTE E NUM APROVEITAMENTO A CONSTRUIR

62

6.2.2. REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS

62

6.2.3. CONDICIONANTES DO TIPO DE BARRAGEM E SUAS CARATERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

62

6.2.4. CONDICIONANTES DOS ASPETOS ESTRUTURAIS

63

6.2.5. CONDICIONANTES DOS NÍVEIS DE EXPLORAÇÃO

63

6.2.6. CONDICIONANTES DAS CARATERÍSTICAS DO APROVEITAMENTO

64

6.2.7. CONDICIONANTES DOS DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS

64

6.2.8. CONDICIONANTES DOS FATORES AMBIENTAIS E QUALIDADE DA ÁGUA.....

64

6.3. PROPOSTAS DOS DISPOSITIVOS A INSTALAR NOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS	65
6.3.1. BACIA DO CÁVADO	65
6.3.1.1. Paradela	67
6.3.1.2. Venda Nova	70
6.3.2. BACIA DO DOURO	72
6.3.2.1. Vilar.....	74
6.3.2.2. Varosa	76
6.3.3. BACIA DO TEJO-MONDEGO.....	77
6.3.3.1. Castelo de Bode	79
6.3.3.2. Pracana	80
7. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Central do Biel, antiga central de Vila Real	5
Fig. 2.2 – Esquema de um aproveitamento hidroelétrico.....	7
Fig. 2.3 – Barragem de Fratel	9
Fig. 2.4 – Barragem de Cabril	9
Fig. 2.5 – Localização dos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses	16
Fig. 4.1 – Método do perímetro molhado	31
Fig. 5.1 – Planta de localização dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Lima	36
Fig. 5.2 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Lima.....	37
Fig. 5.3 – Planta geral do aproveitamento do Alto Lindoso	37
Fig. 5.4 – Barragem do Alto Lindoso com dispositivo de caudal ecológico em funcionamento	38
Fig. 5.5 – Barragem do Alto Lindoso. Descargas de fundo	38
Fig. 5.6 – Bacia hidrográfica do rio Cávado e perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Cávado	40
Fig. 5.7 – Barragem do Alto Rabagão.....	40
Fig. 5.8 – Barragem do Alto Rabagão. Planta	41
Fig. 5.9 – Perfil da barragem.....	41
Fig. 5.10 – Barragem de Vilarinho das Furnas	43
Fig. 5.11 – Barragem de Vilarinho das Furnas. Planta e perfil da barragem.....	43
Fig. 5.12 – Barragem de Vilarinho das Furnas. Dispositivo de caudal ambiental	44
Fig. 5.13 – Barragem de Santa Luzia	45
Fig. 5.14 – Barragem de Santa Luzia. Planta	45
Fig. 5.15 – Barragem de Santa Luzia. Vista de montante	46
Fig. 5.16 – Barragem do Touvedo. Planta	47
Fig. 5.17 – Barragem do Touvedo. Vista de montante	48
Fig. 5.18 – Bacia hidrográfica do rio Mondego. Raiva e Agueira.....	49
Fig. 5.19 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Mondego.....	49
Fig. 5.20 – Barragem da Raiva. Planta	50
Fig. 5.21 – Barragem da Raiva. Vista de jusante.....	50
Fig. 5.22 – Barragem de Salamonde. Novo descarregador de cheias	52

Fig. 5.23 – Barragem de Salamonde com obras em curso no novo descarregador	52
Fig. 5.24 – Barragem de Salamonde. Planta geral do aproveitamento	53
Fig. 5.25 – Barragem de Salamonde. Corte longitudinal pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico	54
Fig. 5.26 – Barragem de Salamonde. Planta pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico.....	54
Fig. 5.27 – Bacia hidrográfica do rio Guadiana. Alqueva e Pedrógão	55
Fig. 5.28 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Guadiana. Alqueva.....	55
Fig. 5.29 – Barragem de Pedrógão. Vista da margem direita.....	56
Fig. 5.30 – Barragem de Pedrógão. Planta geral.....	56
Fig. 5.31 – Barragem de Pedrógão. Corte longitudinal pelo eixo da descarga auxiliar.....	57
Fig. 5.32 – Barragem de Pedrógão. Planta pelo eixo da descarga auxiliar e do dispositivo de caudal ecológico	57
Fig. 5.33 – Barragem de Foz Tua, em construção. Vista de jusante.....	58
Fig. 5.34 – Barragem de Foz Tua. Planta geral.....	59
Fig. 5.35 – Barragem de Foz Tua. Corte longitudinal pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico....	60
Fig. 5.36 – Barragem de Foz Tua. Planta do dispositivo de caudal ecológico	60
Fig. 6.1 – Bacia hidrográfica do rio Cávado	66
Fig. 6.2 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Cávado	66
Fig. 6.3 – Barragem de Paradela. Planta.....	67
Fig. 6.4 – Planta geral do circuito hidráulico de Paradela.....	68
Fig. 6.5 – Qualidade da água superficial na bacia hidrográfica do Cávado, para o ano de 2013	69
Fig. 6.6 – Exemplo de um sistema em jangada	69
Fig. 6.7 – Barragem de Venda Nova.....	70
Fig. 6.8 – Circuito hidráulico de Venda Nova.....	71
Fig. 6.9 – Planta e corte da barragem de Venda Nova.....	71
Fig. 6.10 – Bacia hidrográfica do rio Douro.....	72
Fig. 6.11 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Douro	73
Fig. 6.12 – Barragem de Vilar. Planta	74
Fig. 6.13 – Circuito hidráulico de Vilar	75
Fig. 6.14 – Qualidade da água superficial na bacia do rio Douro, para o ano de 2013.....	75
Fig. 6.15 – Barragem de Varosa	76

Fig. 6.16 – Barragem de Varosa. Planta.....	76
Fig. 6.17 – Planta da bacia hidrográfica do rio Tejo. Castelo do Bode, Bouçã, Cabril, Pracana e Belver.	77
Fig. 6.18 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Zêzere. Castelo de Bode, Bouçã e Cabril.....	78
Fig. 6.19 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos dos rios Tejo e Ocreza. Belver, Fratel e Pracana.....	78
Fig. 6.20 – Barragem de Castelo de Bode. Planta.....	79
Fig. 6.21 – Circuito hidráulico de Castelo de Bode.....	79
Fig. 6.22 – Barragem de Pracana. Planta.....	80
Fig. 6.23 – Circuito hidráulico de Pracana.....	80

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação dos aproveitamentos pela potência	8
Quadro 2.2 – Classificação dos aproveitamentos pela queda útil	8
Quadro 2.3 – Classificação dos aproveitamentos pelo caudal	8
Quadro 2.4 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos nas bacias do Lima e do Cávado.....	13
Quadro 2.5 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos na bacia do Douro.....	14
Quadro 2.6 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos nas bacias do Mondego, Tejo e Guadiana	15
Quadro 4.1 – Regime de caudais recomendados, segundo o método de Tennant	29
Quadro 4.2 – Critérios usados na determinação dos regimes de caudais ecológicos	30
Quadro 5.1 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Alto Lindoso dos anos 2011, 2012 e 2013.....	39
Quadro 5.2 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Alto Rabagão dos anos 2011, 2012 e 2013.....	42
Quadro 5.3 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Vilarinho das Furnas dos anos 2011, 2012 e 2013.....	44
Quadro 5.4 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Santa Luzia dos anos 2011, 2012 e 2013.....	46
Quadro 5.5 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Touvedo dos anos 2011, 2012 e 2013.....	48
Quadro 5.6 – Registo de caudais ecológicos na barragem da Raiva dos anos 2011, 2012 e 2013	51
Quadro 6.1 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Paradela dos anos 2011, 2012 e 2013	68
Quadro 6.2 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Vilar dos anos 2011, 2012 e 2013.....	74

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ha – hectare

km – quilómetro

MW – megawatt

AIA – Avaliação de Impacte Ambiental

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CB – Conselho de Bacia

CNA – Conselho Nacional da Água

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DL – Decreto-Lei

EDP – Energias de Portugal

EIA – Estudo de Impacte Ambiental

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ICOLD – Internacional Commission of Large Dams

INAG – Instituto Nacional da Água

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

Nme – Nível mínimo de exploração

PBH – Plano de Bacia Hidrográfica

PNA – Plano Nacional da Água

Fig. – Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A importância da hidroeletricidade, em Portugal, tem sido crescente pela elevada dependência energética. Esta dependência de recursos energéticos importados, cria uma situação que expõe demasiado o país à conjuntura internacional, tendo este que lidar com as consequências das constantes variações dos preços dos combustíveis.

Neste cenário, os recursos energéticos nacionais assumem uma posição atrativa, permitindo reduzir a dependência face aos combustíveis fósseis e à situação internacional.

Assim, a hidroeletricidade tem uma importância relevante no sistema elétrico nacional, com elevados níveis de fiabilidade e disponibilidade, sendo de todas as fontes renováveis a única que permite transferir grandes quantidades de energia, nos períodos em que a oferta excede a procura e nos períodos em que a oferta é deficitária. Os aproveitamentos hidroelétricos apresentam também, entre outras finalidades, as mais valias seguintes:

- a reserva estratégica de água, permitindo garantir o abastecimento para o consumo humano e agrícola;
- a regularização de caudais e controlo de cheias;
- a contribuição para o cumprimento da directiva 2001/77/CE, relativa à promoção da eletricidade produzida a partir de fontes renováveis no mercado da eletricidade;
- a contribuição para a redução de emissões atmosféricas e para o cumprimento das metas da União Europeia.

A eletricidade de origem hídrica tem já uma longa história em Portugal, que ultrapassa 100 anos.

Contudo, associados à construção e exploração de aproveitamentos hidroelétricos, estão impactes ambientais negativos, que originam a modificação do regime hidrológico dos cursos de água, contribuindo para a sua progressiva deterioração. Devido ao agravamento dos riscos de perturbação dos ecossistemas aquáticos que a crescente utilização dos recursos hídricos superficiais provoca, a instalação e manutenção de dispositivos de descarga de caudal ecológico é um problema essencial na gestão dos recursos hídricos.

Atualmente é inviável um processo de licenciamento para a construção de um aproveitamento hidroelétrico sem um estudo de impactes ambientais, o que não acontecia antes da Lei de Bases do Ambiente de 1987. Nos empreendimentos hidroelétricos, há que analisar, caso a caso, quais as medidas mitigadoras a desenvolver de forma a minimizar os seus impactes negativos.

Tanto a determinação de um regime de caudais ecológicos, como a implantação de um dispositivo de libertação de caudal ecológico, levantam questões complexas, abordadas nesta dissertação. Relativamente à concepção dos dispositivos de libertação de caudal ecológico, deverão ser tidas em consideração várias condicionantes, nomeadamente as características específicas de cada aproveitamento, e o facto de se tratar de uma obra a construir ou já construída. No último caso, o dispositivo de caudal ecológico deverá ser adaptado às condições existentes, ou caso este já exista, adequá-lo e complementá-lo, caso necessário, recorrendo aos outros órgãos de exploração.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como principal objetivo a análise da situação atual dos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses relativamente à libertação de caudal ecológico e proposta das intervenções necessárias face à legislação em vigor.

A fim de alcançar o objetivo pretendido, destacam-se os seguintes procedimentos:

- Recolha de informação relativamente aos grandes aproveitamentos hidroelétricos (em construção ou exploração) em Portugal e à sua constituição em geral;
- Pesquisa sobre a legislação relativa à libertação de caudal ecológico nos aproveitamentos hidroelétricos;
- Análise dos métodos existentes para a determinação de caudais ecológicos;
- Identificação e sistematização dos tipos de dispositivos de caudal ecológico existentes nos aproveitamentos em exploração, bem como nos que estão em construção;
- Proposta de soluções, face à legislação em vigor, para a libertação de caudal ecológico nos aproveitamentos em exploração que provocam interrupção da continuidade hidráulica nos cursos de água (troços a seco), em que se encontram implantados.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O texto está organizado em sete capítulos. O primeiro e presente capítulo, destina-se a fazer uma introdução sumária ao conteúdo da dissertação e enumerar os objetivos que se pretendem atingir.

No capítulo 2, *Grandes Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal*, faz-se uma abordagem geral da hidroeletricidade no nosso país. É descrita a constituição geral dos aproveitamentos, bem como os vários tipos de barragens e de órgãos de segurança e exploração. Apresentam-se os grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses e as suas características.

No capítulo 3, *Enquadramento Legislativo do Caudal Ecológico*, apresenta-se a legislação de maior interesse para os ecossistemas fluviais. No final do capítulo aborda-se a legislação estrangeira relativa a caudais ecológicos, com maior enfoque no caso de Espanha.

No capítulo 4, *Determinação do Caudal Ecológico*, aborda-se a problemática dos caudais ecológicos no contexto da gestão dos recursos hídricos, identificando diversas perspetivas. São referidos os diversos métodos utilizados na determinação dos caudais ecológicos e descrevem-se alguns dos mais utilizados, com exposição do panorama atual em Portugal.

No capítulo 5, *Dispositivos de Caudal Ecológico Existentes ou em Construção*, faz-se uma análise dos cursos de água em que os aproveitamentos se encontram inseridos e efetua-se uma descrição geral dos mesmos e respetivos equipamentos de segurança e exploração, seguindo-se uma apresentação dos dispositivos de caudal ecológico adotados em cada situação.

No capítulo 6, *Dispositivos de Caudal Ecológico Propostos*, apresentam-se os fatores que mais influenciam a configuração, localização e funcionamento dos dispositivos de caudal ecológico, seguindo-se a análise dos cursos de água em que os aproveitamentos hidroelétricos se encontram e a apresentação de propostas de dispositivos de caudal ecológico para os casos em que se verifica interrupção da continuidade hidráulica.

No capítulo 7, *Conclusões*, resumem-se as principais conclusões da dissertação.

2

GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, após uma breve abordagem da história da hidroeletricidade em Portugal, é descrita a constituição geral dos aproveitamentos, bem com vários tipos de barragens e de órgãos de segurança e exploração. Por último, apresentam-se os grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses e as suas principais características.

2.2. HIDROELETRICIDADE EM PORTUGAL

A utilização da água como força motriz para produção de energia elétrica, a nível mundial, deu os primeiros passos em meados do século XIX e, em Portugal, na última década desse século (REN S.A. 2002), levando à diminuição da dependência energética nacional em combustíveis fósseis. Os primeiros aproveitamentos eram de pequena potência para satisfazer consumos locais, abastecimento de pequenas instalações de iluminação pública, habitações e pequenas indústrias.

A título de curiosidade, a primeira central hidroelétrica de Portugal surgiu em Vila Real, na década de 1880 a 1890, através do alemão Emílio Biel. Foi instalada no rio Corgo, um afluente do rio Douro, com uma potência estimada em 120 kW, dispondo de um simples açude, sendo substituída pela central de Terragido e, mais tarde, vendida para uma fábrica de curtumes. (Azevedo 1970).



Fig. 2.1 – Central do Biel, antiga central de Vila Real (<http://museudodouro.pt/exposicoes/passado>)

Em 1930, face à conjuntura económica da época, desenvolve-se uma política nacional, com a ideia da necessidade de aproveitar a energia da água dos rios para a produção de eletricidade, tendo como

objetivo a industrialização. Com o desenrolar desta política, na década de 1940, começa a construção de uma rede elétrica nacional, salientando-se a construção dos aproveitamentos da ribeira de Nisa, os do rio Ave e o de Santa Luzia (rio Unhais).

É criado um incentivo à produção de energia hidroelétrica, com o publicação da Lei da Eletricidade (Lei 2002), em 1944, na qual se estabelecem as bases da produção, transporte e distribuição da energia elétrica. (Ferreira *et al.* 2012).

Em 1945, a constituição das empresas HICA - Hidro-Elétrica do Cávado e HEZ - Hidro-Elétrica do Zêzere, com o Decreto de 27 de dezembro de 1945, obtiveram a concessão de exploração, respetivamente, das bacias dos rios Cávado-Rabagão e Zêzere. Estas empresas marcaram o início da construção de grandes aproveitamentos hidroelétricos dotados de albufeiras com significativa capacidade de regularização, sendo um grande incentivo para a hidroeletricidade. Mais tarde, em 1953, associada à concessão do rio Douro e afluentes, constitui-se a empresa HED - Hidro-Elétrica do Douro. (Ferreira *et al.* 2012).

Na década de 50 são muitos os aproveitamentos hidroelétricos construídos - (Ferreira *et al.* 2012):

- Pracana (1951), no rio Ocreza;
- Castelo de Bode (1951), no rio Zêzere;
- Venda Nova (1951), no rio Rabagão;
- Belver (1951), no rio Tejo;
- Salamonde (1953), no rio Cávado;
- Cabril (1954), e Bouçã (1955), no rio Zêzere;
- Caniçada (1955) e Paradela (1956), no rio Cávado;
- Picote (1958), no troço internacional do rio Douro.

Na década de 60 salienta-se a construção dos aproveitamentos - (Ferreira *et al.* 2012):

- Miranda (1960) e Bemposta (1964), no troço internacional do rio Douro;
- Alto Rabagão (1964), no rio Rabagão;
- Vilar-Tabuaço (1965), no rio Távora.

Na segunda metade desta década, a produção hidroelétrica perde interesse devido ao reduzido preço do petróleo, voltando a valorizar-se nos anos 70, com a elevada taxa de crescimento dos consumos e na sequência da subida dos preços do petróleo. É de referir a construção dos seguintes aproveitamentos - (Ferreira, *et al.* 2012):

- Carrapatelo (1971), Régua (1973), Valeira (1976), Pocinho (1983) e Crestuma (1985), no troço nacional do rio Douro;
- Fratel (1974), no rio Tejo;
- Agueira (1981) e Raiva (1982), no rio Mondego;
- Vilarinho das Furnas (1972), no rio Homem;
- Torrão (1988), no rio Tâmega.

Na década de 90 foram construídos os aproveitamentos - (Ferreira *et al.* 2012):

- Alto Lindoso (1992) e Touvedo (1993), no rio Lima;
- Reforço de potência do aproveitamento de Miranda (1995).

A partir desta data, as preocupações de índole ambiental são integradas na legislação nacional, tema abordado com mais detalhe no capítulo 4.

No século XXI, foi concluída a construção do empreendimento hidroelétrico de fins múltiplos de Alqueva, no rio Guadiana, que inclui os escalões de Alqueva (2004) e Pedrógão (2005) e,

posteriormente, os reforços de potência Venda Nova II (2005), Picote II (2011), Bemposta II (2011) e Alqueva II (2011).

Mais recentemente (2014) foram concluídos dois novos aproveitamentos hidroelétricos (Baixo Sabor, no rio Sabor e Ribeiradio/Ermida, no rio Vouga), a Nova Barragem do Alto Ceira (integrada no aproveitamento hidroelétrico de Santa Luzia), no rio Ceira.

Encontram-se ainda em construção o novo aproveitamento de Foz Tua, no rio Tua, e os reforços de potência Venda Nova III e Salamonde II - (Ferreira *et al.* 2012).

2.3. TIPOS DE APROVEITAMENTOS

A energia hidroelétrica, tal como outras produções de energia elétrica, baseia-se no princípio de indução eletromagnética, convertendo a energia potencial da água em energia elétrica.

A água do curso do rio é acumulada através da construção de uma barragem, formando uma albufeira. A jusante desse curso encontra-se uma central hidráulica, que utiliza a energia da queda de nível entre a albufeira e a central, para impulsionar as turbinas dos geradores. Este movimento de rotação comunica-se a um conjunto de ímanes que, por sua vez, ao rodarem, produzem uma mudança de fluxo magnético e geram, assim, uma corrente elétrica.

O seu funcionamento baseia-se no dos antigos moinhos de água. Embora este processo de produção hidroelétrica produza energia limpa, não é isenta de problemas. Enquanto duram os trabalhos de construção de uma barragem, é necessário desviar provisoriamente o curso do rio. Todo este processo modifica o curso do rio, alterando o ecossistema da zona.

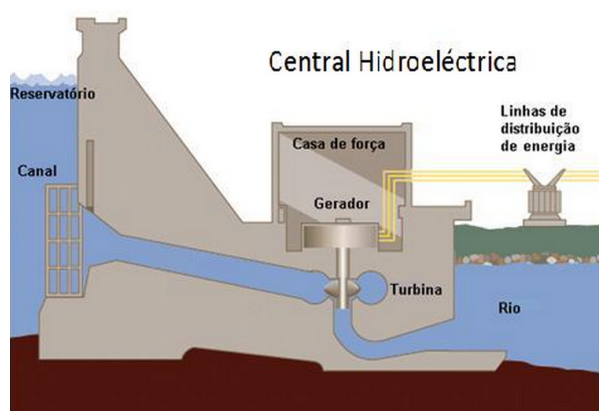


Fig. 2.2 – Esquema de um aproveitamento hidroelétrico (<http://www.portal-energia.com/funcionamento-da-energia-hidrica-barragens-hidroelectricas/>)

Os aproveitamentos diferenciam-se devido a vários fatores que vão influenciar a potência produzida, o serviço de desempenho e a continuidade de energia fornecida.

Assim, apesar de em Portugal os aproveitamentos hidroelétricos se classificarem mais frequentemente pela potência, podem ser classificados de acordo com:

- Potência instalada;
- Queda útil;
- Caudal;
- Tipo de aproveitamento;
- Serviço de desempenho.

Com base na potência instalada, os aproveitamentos são divididos nas seguintes categorias:

Quadro 2.1 – Classificação dos aproveitamentos pela potência (David e Oliveira)

Classificação	Potência instalada
Grande Aproveitamento Hidroelétrico	>10MW
Pequeno Aproveitamento Hidroelétrico	<10MW
Mini Aproveitamento Hidroelétrico	<2MW
Micro Aproveitamento Hidroelétrico	<0.5MW

Relativamente à queda útil, os aproveitamentos são classificados de acordo com o quadro 2.2, considerando a queda útil como a diferença de cotas entre o nível da albufeira e o nível da restituição a jusante da central e subtraída a correspondente perda de carga no circuito hidráulico. A queda útil e a potência instalada do aproveitamento estão diretamente relacionadas.

Quadro 2.2 – Classificação dos aproveitamentos pela queda útil (David e Oliveira)

Classificação	Queda útil (h)
Alta queda	$h > 250$ m
Média queda	$50 \text{ m} \leq h \leq 250$ m
Baixa queda	$h < 50$ m

No que diz respeito ao caudal, os aproveitamentos são divididos nas categorias apresentadas no quadro 2.3. O caudal escoado no circuito hidráulico gerador está diretamente relacionado com a potência instalada do aproveitamento.

Quadro 2.3 – Classificação dos aproveitamentos pelo caudal (David e Oliveira)

Classificação	Caudal Q (m ³ /s)
Grande caudal	$Q > 100$
Médio caudal	$10 \leq Q \leq 100$
Pequeno caudal	$Q < 10$

Para diferentes cursos de água existem diferentes tipos de aproveitamentos, sendo as barragens construídas mediante as suas características. Podem considerar-se 3 tipos de aproveitamentos:

- Aproveitamento a fio-de-água (fig. 2.3). As centrais de fio-de-água não têm grande capacidade de armazenamento de água e localizam-se em cursos de água com um declive pouco acentuado. Definem-se como tendo uma duração de esvaziamento inferior a 100

horas, à potência máxima e sem haver caudais afluentes. Uma vez que possuem pouca capacidade de armazenamento, as águas afluentes são imediatamente turbinadas ou mesmo descarregadas quando em excesso.

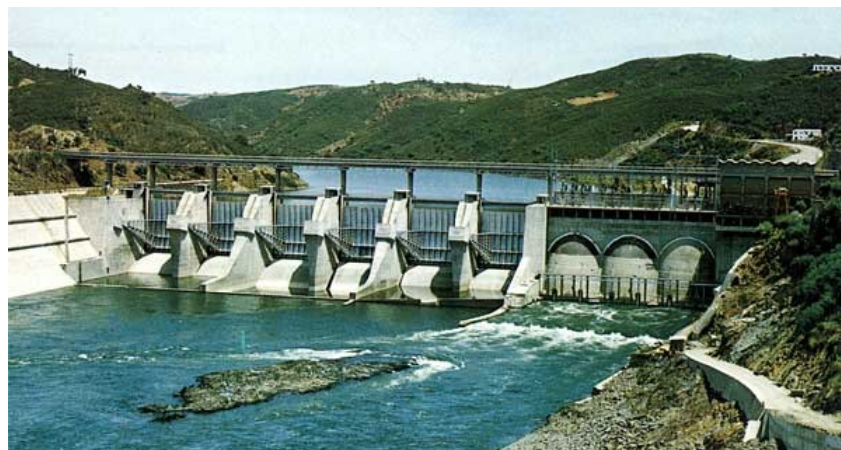


Fig. 2.3 – Barragem de Fratel (cnpq.inag.pt)

- Aproveitamento com albufeira (fig. 2.4). As barragens integradas neste tipo de aproveitamento têm grande capacidade de armazenamento de água, nas suas albufeiras. Podem reter a água de modo a regularizar os fluxos de água, possibilitando a utilização da água na época mais conveniente e obtendo uma produção de energia constante. Definem-se como tendo uma duração de esvaziamento igual ou superior a 100 horas, à potência máxima e sem considerar caudais afluentes.



Fig. 2.4 – Barragem de Cabril (cnpq.inag.pt)

- Aproveitamento com albufeira e bombagem. Este tipo, tal como o anterior, retém a água em albufeira, no entanto, requer dois reservatórios em diferentes cotas e está equipado com turbinas-bombas que permitem o retorno da água para montante. Durante as horas de maior consumo (horas de ponta), a água da albufeira a montante é turbinada para jusante, produzindo energia elétrica. Nas horas de baixo consumo (horas de vazio), normalmente

durante o período noturno, o sistema utiliza energia excedente (por exemplo da produção de energia eólica) para elevar a água da albufeira de jusante para montante.

Quanto ao serviço de desempenho, os aproveitamentos podem classificar-se em:

- Central de base;
- Central de ponta.

Estas duas categorias distinguem-se pelos tempos de serviço. Uma central considera-se de serviço de base quando funciona de modo contínuo e com carga praticamente constante. Estas condições acontecem geralmente nos aproveitamentos a fio-de-água, uma vez que funcionam de modo permanente para não desperdiçar água turbinável. Já as centrais de ponta costumam funcionar apenas em períodos de horas de ponta de consumo com o objetivo de cobrir as necessidades energéticas. Estas condições acontecem geralmente nos aproveitamentos com albufeira.

Por fim, os principais componentes de um aproveitamento hidroelétrico, são:

- Barragem;
- Central e circuito hidráulico;
- Órgãos de segurança e exploração;
- Órgãos complementares.

2.4. BARRAGEM

Nos aproveitamentos hidroelétricos, a barragem é o elemento de retenção de água, algumas das designações mais comuns da terminologia de barragens que as constituem são: paramento, coroamento, encontros e fundação.

Os paramentos são as superfícies de maior área que limitam o corpo da barragem, quer a jusante, quer a montante. O paramento de montante está em contacto com o água e o de jusante não.

O coroamento é a superfície superior do corpo da barragem. Grande parte das barragens têm livre circulação do público no coroamento, podendo servir de via de ligação das duas margens.

Os encontros são os elementos da barragem em contacto com as margens do rio.

A fundação é a parte inferior do corpo da barragem em contacto com o rio.

A classificação de uma barragem obedece a diferentes critérios, que segundo Quintela (1990), variam em termos de importância, finalidade principal, materiais e tipos de estrutura.

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO A IMPORTÂNCIA

Segundo Alves (2001), as barragens podem ser classificadas como pequenas ou grandes barragens. Estas designações estão dependentes de algumas características como a altura, capacidade de albufeira ou caudal de ponta de cheia.

De acordo com a ICOLD (International Commission on Large Dams), organização mundial de barragens, ficaram definidos como requisitos de uma grande barragem - (Alves 2001):

- Altura igual ou superior a 15 metros (medida a partir do ponto mais baixo da fundação);
- Altura entre 10 e 15 metros, desde que satisfaça pelo menos uma das seguintes condições:
 - capacidade da albufeira igual ou superior a 1 hm³;
 - coroamento com desenvolvimento superior a 500 metros;
 - caudal de ponta de cheia de dimensionamento igual ou superior a 2000 m³/s;
 - existência de características pouco habituais a nível da conceção e fundação.

O Regulamento de Segurança de barragens Português estabelece que uma grande barragem cumpre os seguintes requisitos:

- Altura igual ou superior a 15 metros (medida a partir do ponto mais baixo da fundação);
- Altura igual ou superior a 10 metros, cuja albufeira tenha uma capacidade de armazenamento superior a 1 hm³.

2.4.2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO A FINALIDADE PRINCIPAL

Quando a classificação de barragens é determinada segundo a finalidade para a qual é concebida, podem dividir segundo os seguintes grupos - (Quintela 1990):

- Barragens de albufeira;
- Barragens de derivação;
- Barragens de detenção;
- Barragens de fins múltiplos.

As barragens de albufeira têm capacidade de reter grandes volumes de água nos meses húmidos, para utilizar nos meses secos, para rega e abastecimento público. São também aproveitadas para a produção de energia elétrica devido ao desnível criado pela barragem.

As barragens de derivação têm a função de desviar o curso natural do leito do rio para canais artificiais, para ser utilizado em fins tão diversos como a produção de energia elétrica, o consumo público e a rega.

As barragens de detenção têm a função de reter material sólido afluente. Também têm como objetivo regularizar caudais, ou seja, amortecer cheias ao reter temporariamente algum volume.

Finalmente, as barragens de fins múltiplos combinam todas as funções referidas anteriormente.

2.4.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGEM SEGUNDO OS MATERIAIS E TIPOS DE ESTRUTURAS

No que diz respeito aos materiais, as barragens podem dividir-se em dois grupos - (Quintela 1990):

- Barragens de betão e de alvenaria;
- Barragens de aterro.

As barragens de betão e de alvenaria são consideradas no mesmo grupo, uma vez que ambas utilizam ligante hidráulico para a coesão das partículas. Existem ainda casos de barragens formadas por trechos de betão e de aterro. Deste grupo, os principais tipos de barragens de betão são as barragens de gravidade, contrafortes e abóbadas.

As barragens de aterro podem ser barragens de terra ou barragens de enrocamento. Esta construção utiliza apenas materiais no estado natural, sem recorrer à adição de ligantes.

2.5. CENTRAL E CIRCUITO HIDRÁULICO

O circuito hidráulico é essencial num aproveitamento hidroelétrico. Transporta a água retida na albufeira para o órgão produtor de energia elétrica, que a restitui mais tarde à linha de água.

O circuito pode ser classificado como longo ou curto, conforme a extensão total que adquire. Num circuito longo aumenta-se a queda útil, aumentando também a potência instalada e consequentemente a energia produzida.

Nos cursos do Cávado e Lima, encontram-se vários exemplos de circuitos hidráulicos longos, (Alto Lindoso, Paradela e Venda Nova). Por outro lado, no curso do Tejo, existem alguns exemplos de circuitos hidráulicos curtos (Castelo de Bode ou Pracana). Nos capítulos 5 e 6 encontra-se informação mais detalhada sobre estes aproveitamentos hidroelétricos e os correspondentes circuitos hidráulicos.

Relativamente às centrais, existem centrais do tipo subterrâneo ou situado à superfície, localizando-se no pé da barragem ou afastado da mesma.

2.6. ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO

Os órgãos de segurança são indispensáveis numa barragem. O seu papel é fundamental para o funcionamento e controlo de segurança da mesma. Os principais órgãos de segurança e exploração são os descarregadores de cheias e as descargas de fundo.

Os descarregadores de cheias têm como função a descarga de água em excesso da albufeira em período de cheias.

As descargas de fundo são órgãos que fazem a descarga de caudais a níveis baixos da barragem. Têm como função o esvaziamento total ou parcial da albufeira, controlo da subida do nível da água da albufeira durante o primeiro enchimento e o escoamento de sedimentos acumulados na albufeira.

2.7. ÓRGÃOS COMPLEMENTARES

Os órgãos complementares não são essenciais para o funcionamento de uma barragem, não estando, por isso instalados em todas as barragens.

Os principais órgãos complementares são:

- Eclusas de navegação;
- Dispositivos de transposição de peixes;
- Dispositivos de libertação de caudal ecológico.

As eclusas de navegação e os dispositivos de transposição de peixes permitem a ligação dos níveis de água a montante e jusante da barragem, tornando possível a passagem de embarcações e peixes respetivamente.

Os dispositivos de caudal ecológico, são necessários quando a jusante de uma barragem não se consegue garantir a continuidade de escoamento no leito do rio e serão abordados em detalhe nos capítulos seguintes.

2.8. CARATERIZAÇÃO GERAL DOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL

Em Portugal existem atualmente 36 aproveitamentos em exploração (figura 2.5), divididos em três centros produtores, em correspondência com as bacias hidrográficas em que se localizam.

Todos os grandes aproveitamentos são explorados pela EDP, empresa que tem uma política ambiental, comprometendo-se, designadamente, a - (EDP Produção 2013):

- Ter em consideração os aspetos ambientais das suas atividades e gerir os impactes associados, incluindo a perda de biodiversidade;
- Estabelecer e rever objetivos e metas para a melhoria contínua do desempenho ambiental;
- Cumprir os requisitos da legislação ambiental.

No quadro 2.4 apresentam-se as principais características dos grandes aproveitamentos hidroelétricos que se encontram atualmente em exploração, nas bacias do Lima e do Cávado.

Quadro 2.4 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos nas bacias do Lima e do Cávado. (EDP Produção 2013b).

Aproveitamento hidroelétrico	Curso de água	Entrada em serviço	Tipo de aproveitamento	Caudal útil nominal p/ grupo (m ³ /s)	Número de grupos	Potência líquida máxima (MW)	Altura máxima da barragem (m)
Cávado-Lima					21	1328,5	
Alto Lindoso	Lima	1992	Albufeira	125,0	2	630,0	110
Touvedo	Lima	1993	Albufeira	100,0	1	22,0	42,5
Alto Rabagão	Rabagão	1964	Albufeira	26,4	2	68,0	94
Paradela	Cávado	1956	Albufeira	16,4	1	54,0	112
Venda Nova	Rabagão	1951	Albufeira	8,0	3,0	90,0	97
Salamonde	Cávado	1953	Albufeira	21,0	2	42,0	75
V. Furnas	Homem	1972	Albufeira	18,7	1	62,5	94
Caniçada	Cávado	1954	Albufeira	34,0	2	62,0	76

No quadro 2.5 apresentam-se as principais características dos grandes aproveitamentos hidroelétricos que se encontram atualmente em exploração ou em construção na bacia do Douro.

Quadro 2.5 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos na bacia do Douro (EDP Produção 2013b).

Aproveitamento Hidroelétrico	Curso de água	Entrada em serviço	Tipo de aproveitamento	Caudal útil nominal p/grupo (m ³ /s)	Número de grupos	Potência líquida máxima (MW)	Altura máxima da barragem (m)
Douro					34	2388,0	
Miranda	Douro	1960	Fio-de-água	117,0	3	180,0	80
Picote	Douro	1958	Fio-de-água	103,5	3	195,0	100
Bemposta	Douro	1964	Fio-de-água	152,0	3	240,0	87
Pocinho	Douro	1983	Fio-de-água	153,0	3	186,0	49
Valeira	Douro	1976	Fio-de-água	334,0	3	240,0	48
Vilar	Távora	1965	Albufeira	8,8	2	58,0	58
Régua	Douro	1973	Fio-de-água	252,0	3	180,0	41
Varosa	Varosa	1934	Albufeira	6,6/5,5/3,7	3	25,0	76
Carrapatelo	Douro	1971	Fio-de-água	250,0	3	201,0	57
Torrão	Tâmega	1988	Albufeira	161,0	2	140,0	69
Crestuma-Lever	Douro	1985	Fio-de-água	378,8	3	117,0	65
Baixo Sabor	Sabor	2014	Albufeira	-	-	172	-
Foz Tua	Tua	2016	Albufeira	-	-	-	108

No quadro 2.6 apresentam-se as principais características dos grandes aproveitamentos hidroelétricos que se encontram atualmente em exploração nas bacias do Tejo, Mondego e Guadiana.

Quadro 2.6 – Grandes aproveitamentos hidroelétricos nas bacias do Mondego, Tejo e Guadiana (EDP Produção 2013b).

Aproveitamento Hidroelétrico	Curso de água	Entrada em serviço	Tipo de aproveitamento	Caudal útil nominal p/ grupo (m ³ /s)	Número de grupos	Potência líquida máxima (MW)	Altura máxima da barragem (m)
Tejo-Mondego					42	1554,4	
Caldeirão	Caldeirão	1994	Albufeira	26,0	1	40,0	39
Aguieira	Mondego	1981	Albufeira	176,0	3	336,0	89
Raiva	Mondego	1982	Albufeira	75,0	2	24,0	76
Santa Luzia	Ribeira de Unhais	1943	Albufeira	2,5	4	24,4	76
Sabugueiro	Ribeira da Lagoa	1947	Albufeira	0,66/0,66/1,32	3	12,8	-
Desterro	Alva	1959	Fio-de-água	5,23/3,5	2	13,2	9,5
Ponte de Jugais	Alva	1923	Fio-de-água	4,0/6,05	2	20,3	10
Vila Cova	Alva	2001	Fio-de-água	5,4	2	23,4	9
Cabril	Zêzere	1954	Albufeira	53,4	2	108,0	132
Bouçã	Zêzere	1955	Albufeira	51,2	2	44,0	63
Castelo de Bode	Zêzere	1951	Albufeira	66,0	3	159,0	115
Pracana	Ocreza	1951	Albufeira	15,4	2	16,0	60
Fratel	Tejo	1974	Fio-de-água	225,4	3	132,0	48
Belver	Tejo	1951	Fio-de-água	4*87/135/300	6	80,7	30
Alqueva	Guadiana	2003	Albufeira	200,0	2	240,0	96

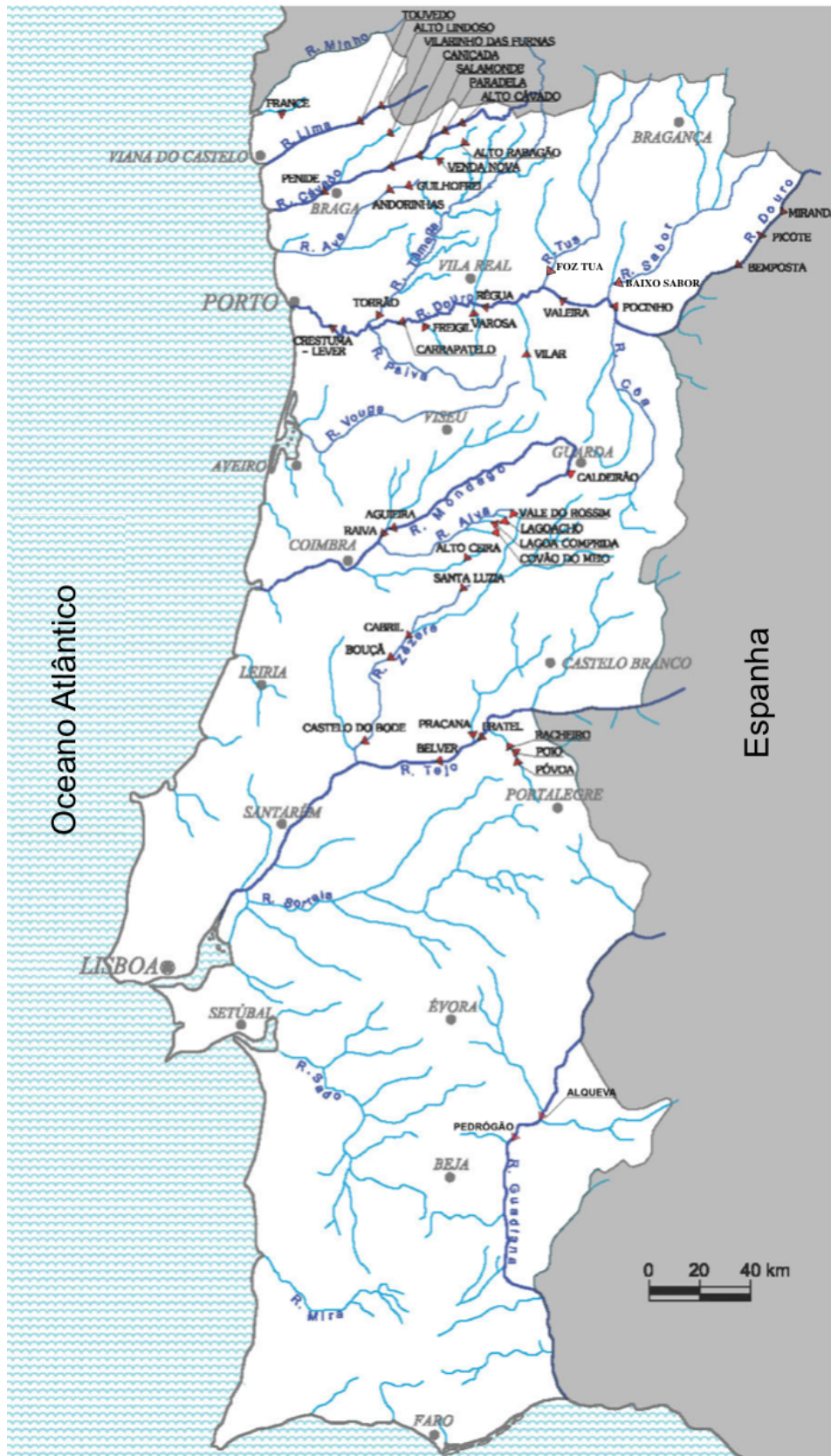


Fig. 2.5 – Localização dos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses. Adaptado de (Fernandes *et al.* 2013)

3

ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DO CAUDAL ECOLÓGICO

3.1. INTRODUÇÃO

A adequada gestão dos recursos hídricos requer a resolução de conflitos entre a satisfação das necessidades humanas (nomeadamente abastecimento público, rega e produção de energia) e a conservação e proteção dos ecossistemas fluviais. Neste contexto, tem vindo a ser publicada legislação no nosso país desde 1987, apresentando-se seguidamente a evolução da legislação. Inclui-se também referência à legislação que tem sido publicada no estrangeiro.

3.2. LEI DE BASES DO AMBIENTE

A legislação portuguesa neste âmbito, começa a surgir apenas em 1987 com a Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87 de 7 de Abril). No artigo 2º refere como princípio geral “*A política de ambiente tem por fim otimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto básico de um desenvolvimento auto-sustentado*”.

Com esta lei surgem como objetivos e medidas : “*A promoção de acções de investigação quanto aos factores naturais e ao estudo do impacte das acções humanas sobre o ambiente...*”

3.2.1. ESTUDOS DE IMPACTE AMBIENTAL (EIA)

Os estudos de impacte ambiental são referidos no Artigo 30º da Lei nº 11/87 como é seguidamente apresentado.

”1 - Os planos, projectos, trabalhos e acções que possam afectar o ambiente, o território e a qualidade de vida dos cidadãos, quer sejam da responsabilidade e iniciativa de um organismo da administração central, regional ou local, quer de instituições públicas ou privadas, devem respeitar as preocupações e normas desta lei e terão de ser acompanhados de um estudo de impacte ambiental.”

“2 - Serão regulamentadas por lei as condições em que será efectuado o estudo de impacte ambiental, o seu conteúdo, bem como as entidades responsáveis pela análise das suas conclusões e pela autorização e licenciamento de obra ou trabalhos previstos.”

“3 - A aprovação do estudo de impacte ambiental é condição essencial para o licenciamento final das obras e trabalhos pelos serviços competentes, nos termos de lei.”

O estudo de impacte ambiental será formado, pelo menos por: uma análise do estado do local e do ambiente; o estudo das modificações que o projeto provocará; as medidas previstas para suprimir e reduzir as normas aprovadas e, se possível, compensar as eventuais incidências sobre a qualidade do ambiente.

3.2.2. INSTITUTO NACIONAL DO AMBIENTE

A Lei de Bases de Ambiente também criou o Instituto Nacional do Ambiente, um organismo dotado de personalidade jurídica e autonomia administrativa e financeira, destinado à promoção de ações no campo da qualidade do ambiente, mais tarde substituído pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). A APA é instituída pelo Decreto-Lei 7/2012 e na Portaria nº108/2013 são determinadas as suas atribuições.

Assim, no nº 3 do Artigo 39º figuram as atribuições do Instituto Nacional do Ambiente, destacando-se a primeira como sendo a de maior interesse para este estudo: *“a) Estudar e propor ao governo a definição de políticas e a execução de ações de defesa do ambiente e do património natural e construído”*.

3.3. DECRETO REGULAMENTAR Nº 2/88 DE 20 DE JANEIRO

Este Decreto Regulamentar concilia os principais propósitos das albufeiras, com o exercício das atividades secundárias (atividades recreativas e a construção, nos terrenos circundantes, de casas de veraneio, parques de campismo e estabelecimentos hoteleiros e similares), tendo em vista a proteção das margens, o interesse da piscicultura, a navegação e a defesa contra a poluição das águas.

Segundo Alves (2002), à data do DR nº 2/88 de 20 de Janeiro, para a generalidade dos 91 aproveitamentos licenciados, não existia a obrigação de manter o caudal ecológico, verificando-se apenas, para alguns deles, a obrigação de manter o caudal reservado (caudal independente do ecológico, destinado à manutenção de usos já existentes, como a rega ou o abastecimento público).

3.4. DECRETO-LEI Nº 45/94 DE 22 DE FEVEREIRO

O Decreto-Lei nº 45/94 institui o processo de planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos, estabelece implicitamente no nº 3, alínea b) do artigo 6º como um dos objetivos do Plano Nacional da Água as ações de proteção e valorização da rede hidrográfica.

3.4.1. ÓRGÃOS CONSULTIVOS

3.4.1.1. Conselho Nacional da Água

Neste decreto é criado o Conselho Nacional da Água (CNA), uma órgão consultivo de planeamento nacional. No artigo 10º são atribuídas as suas competências, realçando-se: *“e) Propor linhas de estudo e investigação para o desenvolvimento de inovações técnicas no que se refere à disponibilização, utilização, conservação, recuperação, tratamento integral e economia da água.”*

3.4.1.2. Conselho de Bacia

Neste Decreto é criado o Conselho de Bacia (CB), um órgão consultivo de planeamento regional, existindo um conselho de bacia por cada Plano de Bacia Hidrográfica (PBH).

3.5. DECRETO-LEI Nº 46/94 DE 22 DE FEVEREIRO

O Decreto-Lei nº 46/94 institui o processo das utilizações do domínio hídrico, quer público, quer privado, sujeitas a licenciamento sob jurisdição do Instituto da Água, contando para tal com as regras definidas ao nível do Plano Nacional da Água e dos planos de bacia hidrográfica. Neste decreto-lei, refere-se a necessidade de estabelecer caudais ecológicos e reservados, e ainda é estabelecida a obrigatoriedade de instalação dos dispositivos de descarga de caudal ecológico e reservado.

No Artigo 3º podem-se distinguir 13 utilizações do domínio hídrico que necessitam de ser tituladas por licença ou contrato de concessão, entre as quais se encontram as infra-estruturas hidráulicas.

No Artigo 4º, figuram os requisitos gerais do título de utilização, destacando-se: “a) O respeito pelo disposto no Plano Nacional da Água e pelos planos de bacia hidrográfica”; e ainda, “f) Nos casos previstos na lei, a apresentação de um estudo de impacte ambiental”. No nº 2 do artigo supra mencionado salienta-se que, “O título de utilização deve prever que o utilizador se abstenha da prática de actos ou actividades que causem a exaustão ou degradação dos recursos hídricos e outros impactes negativos sobre o meio hídrico da prática de actos ou actividades que inviabilizem usos alternativos considerados prioritários.”

3.5.1. CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

Na Secção II do diploma é desenvolvida a utilização de captação de águas. É considerado captação de águas a utilização de volumes de água, superficiais ou subterrâneas, retirados por qualquer forma ao meio hídrico, independentemente da finalidade a que se destina.

No Artigo 33º ainda do Decreto-Lei 46/94 figura o conteúdo dos títulos de captação da água para produção de energia hidroelétrica.

“Da licença ou do contrato de concessão devem constar, para além dos elementos referidos nos artigos 7º e 10º:

- a) *As características principais do aproveitamento;*
- b) *O estabelecimento dos caudais ecológico e reservado, julgados necessários para salvaguardar o interesse público ou legítimos interesses de terceiros;*
- c) *As medidas de protecção aos ecossistemas e à piscicultura;*
- d) *As restrições excepcionais ao regime de utilização da água, por período a definir em situação de emergência, designadamente secas, cheias e acidentes ecológicos.”*

3.5.2. INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

Na Secção IV do Decreto-Lei 46/94 apresentam-se as infra-estruturas hidráulicas, obras que, com carácter fixo nos leitos e margens, permitam a utilização do meio hídrico.

No Artigo 44º figura o conteúdo da licença.

“Da licença devem constar, para além dos referidos no n.º 1 do artigo 7.º, os seguintes elementos:

- a) *As características principais do aproveitamento;*
- b) *As condicionantes de natureza ambiental;*
- c) *A obrigatoriedade de instalação dos dispositivos necessários para deixar passar os caudais ecológicos e reservado para salvaguarda do interesse público e legítimos interesses de terceiros;*
- d) *As restrições excepcionais ao regime de utilização da água, por período a definir, em situações de emergência, designadamente secas, cheias e acidentes ecológicos.”*

3.6. DECRETO-LEI Nº 69/2000 DE 3 DE MAIO

O Decreto-Lei nº 69/2000 apresenta a Avaliação de Impacte Ambiental (AIA). É um instrumento preventivo fundamental da política do ambiente e do ordenamento do território. O Artigo 1º, determina: *“o presente diploma estabelece o regime jurídico da avaliação do impacte ambiental dos projectos públicos e privados susceptíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente”*.

Um dos propósitos deste diploma seria promover, através da Avaliação de Impacte Ambiental, o desenvolvimento sustentável, pela gestão equilibrada dos recursos naturais, certificando a proteção da qualidade do ambiente e, assim, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida do Homem.

Assim, no Artigo 4º, estipula-se como objetivo da AIA:

“São objectivos fundamentais da AIA:

- a) *Obter uma informação integrada dos possíveis efeitos directos e indirectos sobre o ambiente natural e social dos projectos que lhe são submetidos;*
- b) *Prever a execução de medidas destinadas a evitar, minimizar e compensar tais impactes, de modo a auxiliar a adopção de decisões ambientalmente sustentáveis;*
- c) *Garantir a participação pública e a consulta dos interessados na formação de decisões que lhes digam respeito, privilegiando o diálogo e o consenso no desempenho da função administrativa;*
- d) *Avaliar os possíveis impactes ambientais significativos decorrentes da execução dos projectos que lhe são submetidos, através da instituição de uma avaliação, a posteriori, desonestos desses projectos no ambiente, com vista a garantir a eficácia das medidas destinadas a evitar, minimizar ou compensar os impactes previstos.”*

Finalmente, no Anexo I e II são referidos os projetos que estão sujeitos a avaliação do impacte ambiental, destacando-se no Anexo II, ponto 3, alínea h) Instalações para produção de energia hidroelétrica, em que se aplica:

- No caso geral, as hidroelétricas com produção maior ou igual a 20 MW;
- Em áreas sensíveis, a todas as hidroelétricas.

E, ainda no Anexo II, ponto 10, alínea g) barragens e outras instalações destinadas a reter a água ou armazená-la de forma permanente, aplica-se:

- No caso geral, barragens com alturas maiores ou iguais a 15 metros ou volume maior ou igual a 0,5 ha ou coroamento maior ou igual a 500 metros. Barragens de terra com 1 hm³;
- Em áreas sensíveis, a todas as barragens.

3.7. DIRETIVA 2000/60/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO DE 23 DE OUTUBRO DE 2000

Em 1995, dá-se início pelo Parlamento Europeu e a Comissão Europeia, ao processo de desenvolvimento de uma política comum em matéria de água, para ser aprovada, em 2000, a Diretiva-

Quadro de Água - (Gómez-Limón *et al.* 2002) em (Rijo *et al.* 2002). A Diretiva foi instituída para garantir a mais correta sustentabilidade na gestão da água, com o objetivo de proteger da deterioração o futuro do estado da água e de assegurar uma boa qualidade. Estes objetivos serão atingidos mediante a aplicação dos princípios económicos do poluidor-pagador e do utilizador-pagador, entre outros - (Rijo *et al.* 2002).

3.8. DECRETO-LEI Nº 112/2002 DE 17 DE ABRIL

O Decreto-Lei nº 112/2002 apresenta o presente Plano Nacional da Água (PNA), “*documento que define orientações de âmbito nacional para a gestão integrada dos recursos hídricos fundamentadas em diagnóstico atualizado da situação e na definição de objetivos a alcançar através de medidas e ações, elaborado de acordo com o Decreto-Lei nº 45/94, de 22 de Fevereiro*”.

A elaboração do PNA foi baseada nas seguintes linhas de orientação:

- *“Aumento da produtividade da água e promoção do seu uso racional, com o máximo respeito pela integridade territorial das bacias hidrográficas;*
- *Proteção, conservação e requalificação dos meios hídricos e dos ecossistemas associados;*
- *Satisfação das necessidades das populações e do desenvolvimento económico e social do País;*
- *Respeito pela legislação nacional e comunitária relevante e satisfação dos compromissos internacionais assumidos pelo Estado Português;*
- *Acesso à informação e participação dos cidadãos na gestão dos recursos hídricos.”*

3.9. LEI DA ÁGUA

A Lei da Água (Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro) transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva nº 2000/60/CE, estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Assim, no artigo 1º ponto 1, estipula-se como objetivos:

- a) *“Evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água;*
- b) *Promover uma utilização sustentável de água, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;*
- ...
- f) *Assegurar o fornecimento em quantidade suficiente de água de origem superficial e subterrânea de boa qualidade, conforme necessário para uma utilização sustentável, equilibrada e equitativa da água;”*

3.10. DECRETO-LEI Nº 226-A/2007 DE 31 DE MAIO

O decreto-lei pretende acabar com uma filosofia de desincentivo às atividades económicas ligadas à água, estabelecendo um novo quadro de relacionamento entre o estado e os utilizadores de recursos hídricos, com base no cumprimento da lei e reconhecimento de direito aos utilizadores.

3.11. RESOLUÇÃO DA ASSEMBLEIA DA REPÚBLICA Nº 66/99

Desta resolução, pretende-se a partilha dos recursos hídricos das bacias dos rios internacionais Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana. De salientar a existência da “*Convenção para a Proteção e o Aproveitamento Sustentável das águas das bacias Luso-Espanholas*”, que determina, com base nos artigos 10º, 13º e 16º “*a manutenção de um regime de caudais necessário para garantir o bom estado das águas, os usos atuais e previsíveis e o respeito do regime vigente dos Convénios de 1964 e 1968*” - (Alves e Bernardo 2002).

3.12. LEGISLAÇÃO ESTRANGEIRA RELATIVA A CAUDAIS ECOLÓGICOS

Até à década de 1980-90, não existia em Portugal legislação relativa à avaliação dos impactes ambientais dos aproveitamentos hidroelétricos. Esta apenas começou a surgir, de forma estruturada, a partir da década de 1970-80 nos Estados Unidos da América, e mais tarde na década de 1980-90 na Europa.

Atualmente, no que diz respeito à legislação dos recursos hídricos, conservação e proteção do ambiente, alguns países, tal como Portugal, apenas fazem menção à necessidade da existência de caudal ecológico, tais como: Reino Unido, Espanha e Canadá.

Por outro lado, alguns países ou regiões administrativas criaram legislação específica, estabelecendo o valor de caudal ecológico que é necessário preservar, tendo em conta as características dos cursos de água, ou os métodos necessários a utilizar para a sua determinação. Deste grupo fazem parte a França, Suíça, Principado das Astúrias em Espanha e Estados Unidos da América.

Uma vez que perto de 46% das águas superficiais do território Peninsular são drenadas para Portugal vindas de Espanha, como são os casos dos rios Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana, importa referir a legislação espanhola por ser suscetível de produzir efeitos em Portugal.

3.12.1. ESPANHA

A Espanha não possui uma legislação específica de caudal ecológico ou método necessário para a sua determinação. Existem, antes, muitas disposições legislativas autónomas para o cálculo dos caudais de manutenção. Por esta via, o que pode parecer incoerente, indicia o carácter individual de cada curso, obrigando ao estudo individualizado para a aplicação de uma metodologia mais adequada.

A Lei das Águas Espanhola, nº 29/1985, no art. 40º refere apenas a necessidade de manter um caudal mínimo de modo a garantir a preservação do meio natural, com base nos Planos Hidrológicos. Nela, carecem definições precisas, tanto qualitativas como quantitativas.

Posteriormente, foram publicados dois documentos importantes: em Dezembro de 1989, o Libro Blanco del Agua, e em Setembro de 2000 o Plan Hidrológico Nacional.

De acordo com o Plano Hidrológico Nacional, quando um curso de água ou as margens são afetados por ações que modificam o regime preexistente de caudais, são estabelecidos caudais ambientais com o intuito de garantir um nível de funcionalidade biológica que assegure a continuidade de processos e as comunidades naturais existentes.

Como já foi referido, alguns organismos ou regiões administrativas têm os seus próprios critérios. Não obstante a existência de diversas propostas de determinação do caudal ecológico, estas não têm sido levadas à prática sistemática e metódica, com correspondente validação empírica em condições

ambientais diferentes, pelo que não há garantia que os resultados obtidos satisfaçam os objetivos de conservação previamente definidos.

3.12.2. OUTROS PAÍSES

3.12.2.1. França

No caso de França, a Lei da Pesca e Gestão dos Recursos Piscícolas de 1984, no artigo 140º, estabelece que para aproveitamentos hidráulicos existentes antes de 1984, o caudal ecológico a manter será 2,5% do caudal modular do curso de água, calculado a partir de um registo de caudais de pelo menos cinco anos.

Nos restantes casos, o caudal mínimo a manter não deverá ser inferior a 10% do caudal modular. No entanto, para os cursos de água com caudal modular superior a 80 m³/s, o Conselho de Estado pode, por decreto, definir um limite inferior para o caudal ecológico superior a 20% do caudal modular.

3.12.2.2. Reino Unido

No Reino Unido, são consideradas as necessidades das populações piscícolas e a conservação dos ecossistemas, analisando caso a caso a definição de caudal ecológico. Generalizando, o caudal mínimo é recomendado com base em dois valores: o caudal que é igualado ou excedido em 95% do tempo, ou o caudal 7Q10 (caudal médio mínimo observado durante um intervalo de tempo de 7 dias, com um período de retorno de 10 anos).

3.12.2.3. Suíça

Para a Suíça, o valor do caudal ecológico a manter em cursos de água, é calculado segundo a fórmula de Matthey, definida na Lei de Proteção das Águas Suíça, de Maio de 1992, no artigo 31º e artigo 32º.

Esta fórmula baseia-se no caudal do curso de água que, em média, é atingido ou excedido durante 347 dias por ano (Q_{347}). A determinação deste valor é considerada decisiva para a biologia do curso de água.

3.12.2.4. Alemanha e Irlanda

Para a Alemanha e a Irlanda o caudal ecológico é definido por percentagens do caudal médio anual, em função da região, época do ano e tipologia do rio. Estes valores, para a Alemanha, variam entre 30 a 50% e para a Irlanda 1 a 10%.

3.12.2.5. Canadá

No Canadá não existe legislação específica sobre caudal ecológico. Contudo, a Canada Fisheries Act, estabelece que o Ministério das Pescas e Oceanos pode definir caudais mínimos para proteção dos recursos piscícolas.

3.12.2.6. Estados Unidos da América

À data de 1986, 33% dos E.U.A. possuía legislação relativa à manutenção de caudais mínimos nos cursos de água: Arkansas, Washington, Oregon, Idaho, Montana, Utah, Wyoming, Colorado, Nebraska, Kansas, Minnesota, Texas, Arizona, Indiana, Pensilvânia e Hawai.

Em cada Estado, são as entidades federais e estatais que definem, de um modo geral, os métodos a utilizar sendo que os mais usados são: Metodologia Incremental, Método do Perímetro Molhado e o Método de Tennant.

3.13. ASPETOS MAIS RELEVANTES DA LEGISLAÇÃO

No que diz respeito à legislação portuguesa, é possível concluir que surge uma consciencialização do impacto das ações humanas sobre o ambiente com a Lei de Bases do Ambiente de 1987, mas sem referência a caudais ecológicos. Apenas em 1994, com o Decreto-Lei 46/94 de 22 de Fevereiro, é referida explicitamente a obrigatoriedade de instalação de dispositivos de passagem de caudal ecológico e reservado. Mais tarde, em 2005, a Lei da Água mantém a preocupação pela gestão sustentável das águas, ainda que a referência de caudal ecológico seja agora implícita.

Existe ainda outro ponto a referir em relação à legislação portuguesa que é comum a alguma legislação estrangeira. Esta consiste na inexistência de um método ou valor que permita determinar um regime de caudais ecológicos a libertar.

Por fim, seria do benefício da Comunidade Europeia que esta determinasse normas em comum devido ao facto de existirem rios internacionais em que as decisões de um país podem ter impactos nos vizinhos.

4

DETERMINAÇÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO

4.1. INTRODUÇÃO

Com os aproveitamentos hidráulicos, observam-se modificações no regime hidrólogo dos cursos de água a jusante, devido ao efeito de regularização de caudais, captação e derivação de água e às perdas por evaporação.

Segundo Alves (2001), a modificação do regime hidrólogo é uma das mais relevantes alterações no ambiente, com consequências importantes ao nível dos ecossistemas aquáticos, dado que o caudal constitui um fator determinante na sua estrutura e diversidade.

É neste contexto, que começaram a surgir, ainda no século passado, preocupações relativas ao impacto da construção de aproveitamentos hidráulicos nos ecossistemas dulciaquícolas a jusante, refletindo-se em esforços no sentido de quantificar os caudais ecológicos - (Alves 2001).

Neste capítulo, após referência a aspetos relevantes no âmbito da problemática dos caudais ecológicos, apresentam-se os diferentes métodos utilizados na determinação dos caudais ecológicos descrevendo-se alguns dos mais utilizados, com exposição do panorama atual em Portugal.

4.2. PROBLEMÁTICA DO CAUDAL ECOLÓGICO

Os regimes de caudais de manutenção ecológica são implementados a jusante de barragens com o objetivo de mitigar os impactes que estas infraestruturas impõem nos cursos de água onde são construídas - (Godinho *et al.* 2014).

Os impactes mais frequentemente associados a aproveitamentos hidráulicos, principalmente os que são destinados a regularizar as aflúncias em regime natural ou a amortecer as cheias naturais, e que conduzem à necessidade de prever regimes de caudais ecológicos são - (Alves e Bernardo 1998):

- a diminuição da variação sazonal do caudal;
- a eventual alteração do regime de ocorrência dos caudais extremos, reduzindo a magnitude das cheias e/ou impondo descargas não naturais;
- o prolongamento do período de estiagem;
- eventual agravamento da qualidade da água, por diminuição da capacidade natural de diluição e de evaporação.

A satisfação do objetivo referido no primeiro parágrafo, quando analisado em pormenor, compreende um conjunto de propósitos mais específicos, mencionados no Plano Nacional da Água - (Alves e Bernardo 2002):

- incentivar a conservação da natureza e a biodiversidade bem como salvaguardar a qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos e terrestres associados, habitats e espécies dependentes dos meios hídricos;
- estimular a conservação e recuperação de troços de especial interesse ambiental, os que se inserem em áreas protegidas e sítios da Rede Natura e os que contenham espécies e habitats protegidos pela legislação nacional e comunitária;
- evitar excessiva artificialização do regime hidrológico e garantir o regime de caudais ambientais necessários à manutenção dos sistemas aquáticos fluviais estuarinos, costeiros e zonas húmidas.

Estes propósitos implicam uma gestão hídrica dos aproveitamentos, o controlo da água, em qualidade e quantidade, que vai evitar ou reduzir a degradação e os desastres associados à escassez do recurso. O aumento da sustentabilidade da água deve passar por uma análise caso a caso, estabelecendo “linhas-guias de uso adequado” adaptadas a cada um - (Marmelo 2007).

Assim, considera-se que devem ser adotadas distintas regras de definição de regimes de caudais ecológicos, para as seguintes situações - (Alves e Bernardo 2002):

- nos cursos de água em geral, para os quais se apresenta o método que foi desenvolvido no âmbito do Plano Nacional da Água, o qual tem em conta a inexistência de registos de caudais para muitos cursos;
- nos grandes aproveitamentos hidráulicos, para os quais se considera justificável uma abordagem mais exigente, em termos de estudos a realizar, do que a situação anterior;
- nos rios internacionais, cujos regimes provisórios integram os respetivos Planos de Bacia Hidrográfica, estando abrangidos pela “Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das águas das bacias Luso-Espanholas”.

Para a aplicação de caudais ecológicos nos aproveitamentos hidráulicos, mais especificamente os hidroelétricos, é importante não esquecer os objetivos da sua implementação: a produção de energia elétrica. Acontece que, quanto mais elevados forem os caudais ecológicos, menor será a produção de energia.

Relativamente aos grandes aproveitamentos, os caudais ecológicos estabelecidos em concessão podem representar uma perda na turbinagem considerável. O que por vezes leva a adotar valores inferiores monitorizados, onde com o acompanhamento da evolução do rio se pode concluir se estes valores de caudais ecológicos são adequados.

Assim sendo, para implantação de caudais ecológicos, há que ter em conta que os aspetos económicos assumem um papel fundamental. A solução pode passar pela aplicação de subsídios e de taxas de incentivo de modo a compensar a perda da produção, para garantir um consenso entre as partes interessadas na gestão do rio. Através deste processo, seria possível otimizar o caudal ecológico a adotar em cada aproveitamento.

No entanto, o “procedimento ótimo” está longe de ser aplicado. Existem, antes, grupos de métodos que se servem de várias áreas técnico-científicas que podem dar contributos nesse âmbito. Dessas áreas destacam-se as seguintes - (Marmelo 2007):

- a hidrologia;
- a hidráulica;

- a biologia marinha;
- a botânica;
- a zoologia;
- a ecologia;
- a agronomia;
- a hidrogeologia;
- o planeamento e a gestão de recursos hídricos;
- o controlo e operação de barragens;
- a qualidade da água;
- a economia.

Esta variedade de áreas revela a complexidade do cálculo de caudais ecológicos, sendo normal que os resultados obtidos através do conhecimento de uma área sejam diferentes dos sugeridos por outra área. Revela ainda o elevado grau de dificuldade, ou mesmo impossibilidade, que será a reunião de uma única metodologia com critérios que cumpram todas as áreas.

De acordo com Marmelo (2007), a ocorrência de erros na determinação do caudal ecológico mais apropriado a um dado curso de água causa, no mínimo, uma das seguintes consequências:

- se o erro for por defeito, o ecossistema não receberá a quantidade de água necessária à sua sobrevivência, degradando-se ou mesmo extinguindo-se;
- se o erro for por excesso, os outros usos de água sofrerão limitações ou tornar-se-ão inviáveis, com consequente rotura social e económica.

A problemática dos caudais ecológicos só será definitivamente conseguida se houver uma monitorização que permita adotar uma estratégia de ajustamento progressivo. Ou seja, que sejam introduzidas alterações ao regime de caudais previamente estabelecido, à medida que seja conhecida, através dos resultados do programa de monitorização a resposta dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos ao novo regime hidrológico, dada a complexidade do funcionamento dos ecossistemas aquáticos e a incerteza quanto à resposta às medidas corretivas ensaiadas - (Alves e Bernardo 2002).

4.3. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CAUDAL ECOLÓGICO

Inicialmente, a maioria dos métodos de determinação de caudais ecológicos foi desenvolvida para rios salmonícolas nas décadas de 60 e 70. Estes métodos mais antigos tinham pouco em conta a especificidade ecológica das populações piscícolas a que se destinavam. Pelo contrário, os métodos mais recentes têm uma base ecológica estrutural, especificamente a metodologia incremental e o método do caudal base - (Gordon *et al.* 1992); (Palau e Alcazar 1996) em (Bochechas *et al.* 1998).

Atualmente, existe um número considerável de métodos disponíveis para definir o regime de caudais ecológicos num trecho fluvial, na sua maioria desenvolvidos nos E.U.A.. Como já foi referido anteriormente, os métodos baseiam-se no conhecimento de áreas científico-técnicas com maior relevância para cada caso. De notar que, cada caso é único. Apresenta especificidades particulares e os métodos não devem ser aplicados isoladamente.

Jowett (1997) em Alves e Bernardo (2002), considera que os métodos para a determinação dos caudais ecológicos se podem dividir em três grandes grupos, mais um quarto grupo com métodos recentemente desenvolvidos que não se integram de forma precisa em nenhum dos grupos anteriores, tendo carácter mais abrangente:

- hidrológicos, quando os métodos são baseados em registos históricos de caudais;
- hidráulicos, quando os métodos são baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal;
- ecológicos ou ambientais, quando os métodos são baseados na relação entre o habitat e o caudal;
- outros métodos.

4.3.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS - MÉTODOS BASEADOS EM REGISTOS HISTÓRICOS

De acordo com o referido em Alves e Bernardo (2002), os métodos baseados em registos históricos de caudais, tal como o nome sugere, baseiam-se, de um modo geral, unicamente em registos de caudais ecológicos a manter nos cursos de água. Estes métodos também se podem designar por métodos hidrológicos.

Estes métodos podem, inclusivamente, dispensar o reconhecimento local dos trechos, sendo do ponto de vista da aplicação prática a sua principal vantagem. Por outro lado, as suas maiores limitações são as dificuldades em antever os impactos nos ecossistemas resultantes da aplicação do regime de caudais ecológicos estabelecido, o baixo nível de exatidão, a aplicabilidade restrita e também a necessidade de existência de registos de caudais para um período significativo em que não tenham ocorrido alterações importantes nas características do escoamento.

Dos métodos hidrológicos é possível citar alguns - (Ferreira 2010):

- Método de Tennant ou Montana;
- Método do INAG;
- Método do Caudal Base;
- Método do Caudal Básico ou da Nova Inglaterra;
- Método do Northern Great Plains Resource Program;
- Método de Hoppe;
- Método 7Q10;
- Método de Arkansas;
- Método do Texas.

Nesta dissertação, são abordados os métodos de Tennant ou Montana, INAG e Caudal Base.

4.3.1.1. Método de Tennant ou de Montana

Este método foi desenvolvido por Tennant na década de 70 nos E.U.A., sendo o segundo método mais usado nos Estados Unidos da América. Baseia-se na atribuição percentual do caudal médio anual com valores distintos para o período de outubro a março e para o período de abril a setembro. As percentagens referidas são expostas no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Regime de caudais recomendados, segundo o método de Tennant. Alves, Bernardo (2002).

Caudal	Regime de caudais recomendado (% do caudal médio recomendado)	
	Outubro - Março (Semestre seco)	Abril - Setembro (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%	

Com este método não se recorre ao reconhecimento de campo, sendo que os caudais recomendados se baseiam unicamente no quadro de Tennant.

A aplicação deste método só deve ser efetuada a cursos de água morfológicamente semelhantes aos rios usados para desenvolver este método, ou seja, rios de grandes dimensões com pequena variação ao longo do ano, o que constitui a sua principal desvantagem. Outro inconveniente consiste no facto deste método se basear apenas no caudal médio anual, sem ter em consideração as variações sazonais ou diárias do caudal ou ainda a morfologia do leito.

Para Portugal a aplicação deste método sofreu algumas alterações por Alves (1993) e Comissão Europeia (1996), com vista a que os caudais resultantes do método não ultrapassassem os valores do caudal médio mensal.

4.3.1.2. Método do INAG

O método do INAG é sugerido por Alves e Bernardo (2002), para a aplicação aos rios de Portugal Continental. Consiste essencialmente na divisão do país em três regiões distintas, hidrologicamente homogéneas, determinando os caudais a partir dos quantis obtidos das curvas de duração médias anuais para cada mês. O quadro 4.2 representa o regime hidrológico intra-anual nas três regiões consideradas pelos autores.

Quadro 4.2 – Critérios usados na determinação dos regimes de caudais ecológicos. Alves, Bernardo (2002).

Mês	Região/Sub-região		
	Norte do Rio Tejo, excluindo a sub-região	Região a Sul do Rio Tejo	Sub-região Terra Quente
Out.	q ₇₅	q _{med}	q ₅₀
Nov.	q ₇₅	q ₂₅	4
Dez.	q ₇₅	(q ₅₀ +q ₂₅)/2	q ₇₅
Jan	q ₇₅	q ₅₀	q ₇₅
Fev.	q ₉₀	q ₅₀	q ₇₅
Mar.	q ₉₀	q ₅₀	q ₇₅
Abr.	q ₉₀	q ₅₀	q ₉₀
Mai.	q ₉₀	q ₅₀	q ₉₀
Jun.	q ₉₀	q ₅₀	q ₇₅
Jul.	q ₇₅	q _{med}	q ₅₀
Ago.	q ₇₅	q _{med}	q _{med}
Set.	q ₇₅	q _{med}	q _{med}

No quadro acima o q_{med} representa o caudal médio mensal e q_{α} é o caudal que, em média, é excedido em $\alpha\%$ do total de dias do mês a que se refere. O índice α indica probabilidade de excedência em percentagem, associada a q_{α} de cada mês, com base nos registos de caudais diários médios do INAG.

4.3.1.3. Método do Caudal Base

De acordo com Palau (1995) referido em Alves e Bernardo (2002), este método foi originalmente desenvolvido para os cursos de água de Catalunha, sendo atualmente bastante utilizado em Espanha. O método do caudal de base permite analisar os dados contidos nas séries históricas, considerando uma série de variáveis, o caudal como a única variável independente, determinando um caudal mínimo. As variáveis mais dependentes do ecossistema são a comunidade piscívora e os macro invertebrados e, como são os mais sensíveis a variações de caudal, são as variáveis mais adequadas para perceber as alterações no sistema.

Uma vez que este método se encontra informatizado, a determinação do caudal ecológico torna-se uma ação rápida que permite uma ampla possibilidade de aplicação a diferentes cursos de água. Por outro lado, este método exige os registos históricos dos caudais médios diários e não relaciona o regime de caudais adotados com a ictiofauna (conjunto das espécies de peixes existentes numa determinada região biogeográfica).

4.3.2. MÉTODOS HIDRÁULICOS - MÉTODOS BASEADOS NA RELAÇÃO ENTRE AS CARATERÍSTICAS HIDRÁULICAS E O CAUDAL

Os métodos baseados na relação entre as características hidráulicas e o caudal, podem também ser designados por métodos baseados em secções transversais. Estes consistem no desenvolvimento de

uma relação entre o caudal e variáveis físicas do curso de água, em particular o perímetro molhado, velocidade e profundidade do escoamento - (Alves e Bernardo 2002).

Inserem-se neste grupo todos os métodos que tomem em consideração as características hidráulicas do meio, estabelecendo relação entre o habitat e o caudal, excluindo as preferências específicas de habitat das espécies ao longo do ciclo da vida - (Alves e Bernardo 2002).

São selecionadas secções transversais em que as variáveis em estudo são especialmente sensíveis a variações de caudal, a partir deste ponto são realizadas experiências de simulação por modelos hidráulicos para, através das curvas de variação da variável em estudo em função do caudal, se poder determinar o caudal ecológico.

Destacam-se, mais uma vez, alguns dos métodos representativos deste grupo - (Ferreira 2010):

- Método do Colorado/Região 2 do USFWS (United States Fish and Wildlife Service);
- Método do Idaho;
- Método da Região 4 do USFW;
- Método do Perímetro Molhado.

No âmbito desta dissertação é apenas abordado o método do Perímetro Molhado.

4.3.2.1. Método do Perímetro Molhado

O método do perímetro molhado foi desenvolvido nos E.U.A. e é o seu terceiro método mais utilizado. Este relaciona diretamente o perímetro molhado com a disponibilidade de habitat para as espécies piscícolas - (Alves e Bernardo 2002).

O método parte de uma dada secção de um curso de água caracterizada pelo respetivo perfil transversal, e obtém uma curva que relaciona os caudais Q , que são escoados na secção com P (os perímetros molhados que lhe estão associados). Do seguimento desta curva é possível identificar então o ponto principal de inflexão da curva desenhada, de entre os caudais mais baixos, a partir do qual o aumento do caudal não implica um aumento significativo em termos de perímetro molhado. O Q_{pm} obtido é o caudal recomendado para a secção em estudo. A figura 4.1 ilustra o processo de seleção de Q_{pm} .

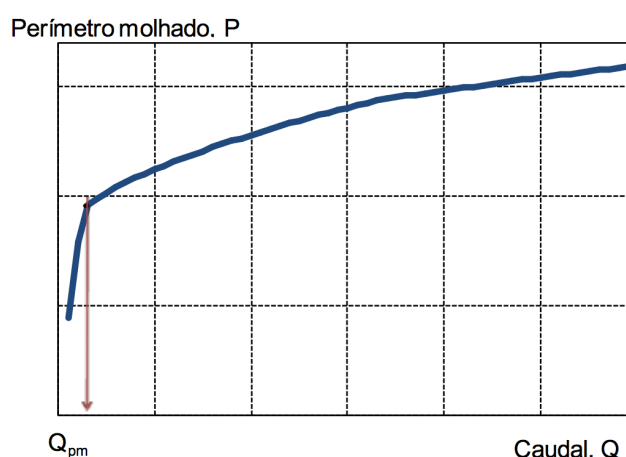


Fig. 4.1 – Método do perímetro molhado. Marmelo, V. L. M., (2007).

4.3.3. MÉTODOS ECOLÓGICOS - MÉTODOS BASEADOS NA RELAÇÃO ENTRE O HABITAT E O CAUDAL

Segundo Alves e Bernardo (2002), este grupo de métodos é admitido como o mais avançado para a determinação do caudal ecológico. Estes métodos recorrem a critérios relacionados com a aptidão do habitat em uma ou mais espécies, tendo em atenção a fase do ciclo de vida (alevim, juvenil, adulto) ou uma época em particular (reprodução, alimentação, repouso). São também os métodos que obrigam a um maior trabalho de campo, requerendo a análise aprofundada do habitat e das suas espécies.

Deste grupo, entre os métodos incluídos nesta classe, enumeram-se os seguintes:

- Método WRI Cover;
- Método de Washington;
- Método da Califórnia;
- Método de Oregon/Largura Utilizável;
- Metodologia Incremental - IFIM (Instream Flow Incremental Methodology).

Destes métodos, apenas é abordado método Incremental - IFIM.

4.3.3.1. Metodologia Incremental - IFIM

A metodologia incremental tem por base vários fatores, desde características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos de água, que determinam a distribuição dos elementos biológicos dos mesmos - Stalnakar, Milhous (1983) em Ferreira (2010).

A IFIM define-se por um conjunto de processos analíticos e modelos de computador que acompanham as modificações nos habitats com a alteração do caudal do curso de água - (Alves e Bernardo 2002). Geram-se uma gama de caudais mínimos que estão associados às áreas de habitat total disponíveis para diferentes espécies piscícolas numa fase do ciclo de vida, sendo o valor mais alto do conjunto o que constituirá o caudal ecológico.

4.3.4. OUTROS MÉTODOS

Este grupo diferencia-se dos anteriores com métodos que partilham uma visão mais abrangente, nomeadamente os métodos holísticos nos quais se destacam os seguintes: - (Ferreira 2010).

- Método Basco ou da Biodiversidade e Sistema R.E.C.E.;
- Método Holístico desenvolvido na Austrália por Arthington *et al.* (1992);
- Metodologia dos Blocos;
- Método de Avaliação por Painel de Especialistas.

Estes métodos distinguem-se pela maneira como abordam o problema, sendo feita uma análise global que inclui a avaliação de todo o ecossistema. Consideram todas as espécies que sejam afetadas pelas variações de caudal e levam em conta os aspetos do regime hidrológico. Contudo, este grupo de métodos torna-se bastante dispendioso devido à recolha de dados relevantes a todas as disciplinas abrangidas pelos mesmos.

4.3.5. MÉTODOS COM APLICAÇÃO EM PORTUGAL

Até à data, existem na legislação portuguesa apenas algumas recomendações sobre o caudal ecológico a adotar num dado trecho de rio.

O método recorrentemente usado em Portugal consiste na análise de registos de caudais, e considerando 2 a 5% do valor do caudal modular do curso de água, a ser mantido em todos os meses do ano - (Henrique e Alves 1995) em (Bochechas *et al.* 1998).

Embora esteja prevista a aplicação de caudal ecológico na legislação, não se encontra expressa uma metodologia recomendada para a sua determinação, nem tão pouco a obrigatoriedade da sua verificação durante a exploração da obra, pelo que as ações de fiscalização são pontuais e, por conseguinte, pouco conclusivas. Assim o incumprimento não é demonstrável, não sendo por isso passível de punição - (Bochechas *et al.* 1998).

Em 2002, Alves e Bernardo desenvolveram um método aplicável aos rios de Portugal Continental relativamente simples e de aplicação expedita. É o método do INAG, já referido nos métodos hidrológicos, e que se baseia em registos de caudais, desempenhando um papel de referência, pelo menos nas fases de início de projeto - (Marmelo 2007).

Nos aproveitamentos hidroelétricos construídos mais recentemente, a aplicação do caudal ecológico não se limitou à observância do cumprimento da legislação. Como exemplos, temos os aproveitamentos de Alto Lindoso e de Touvedo (rio Lima) onde se empregou a metodologia incremental, enquanto que no aproveitamento de Minutos (ribeira de Almansor, bacia hidrográfica do rio Tejo) e no trecho internacional do rio Guadiana se recorreu a uma metodologia para avaliar caudais ecológicos em cursos de água com regime torrencial mediterrâneo. Destaca-se, ainda, para a mini-hídrica do Torga (rio Tuela), a aplicação da metodologia incremental e dos métodos do perímetro molhado e de Tennant. No rio Guadiana, foi também usado o método do perímetro molhado e a metodologia incremental para o estudo integrado de impacte ambiental do empreendimento do Alqueva. Em 2004, no Sul do País é proposto um método hidrológico/hidráulico, que foi aplicado a mais de uma dezena de aproveitamentos hidráulicos que integram o sistema do Alqueva - (Marmelo 2007).

5

DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO EXISTENTES OU EM CONSTRUÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Os aproveitamentos hidroelétricos são responsáveis pela alteração, em maior ou menor grau, do regime hidrológico dos cursos de água a jusante, devido ao efeito de regularização de caudais, captação e derivação de água e às perdas por evaporação. Esta modificação do regime hidrológico manifesta-se a jusante do aproveitamento, verificando-se a redução do caudal médio, a diminuição da variação sazonal do caudal, a alteração da época de ocorrência dos caudais extremos com a redução da magnitude das cheias e/ou a ocorrência de descargas não naturais.

Nas últimas décadas, tem-se verificado uma preocupação crescente relativamente à questão dos caudais ecológicos, distinguindo-se, genericamente, duas situações que decorrem da entrada em vigor da legislação referida anteriormente no capítulo 3:

- Os aproveitamentos licenciados antes da entrada em vigor da Lei de Bases do Ambiente e, portanto, não obrigatoriamente sujeitos a Estudos de Impacte Ambiental, (EIA) e consequentemente sem exigências do caudal ecológico;
- Os aproveitamentos licenciados após a entrada em vigor da referida lei e, por isso, sujeitos a Estudos de Impacte Ambiental, (EIA);

Neste capítulo, aborda-se o desempenho ambiental dos aproveitamentos hidroelétricos em que é efetuada a libertação de caudal ecológico em Portugal, bem como as medidas tomadas para garantir a melhoria contínua desse mesmo desempenho nos anos futuros. Efetua-se inicialmente uma descrição geral da barragem e respetivos órgãos de segurança e exploração, seguindo-se uma caracterização do dispositivo de caudal ecológico adotado em cada situação.

5.2. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO NOS APROVEITAMENTOS EM EXPLORAÇÃO

A Lei de Bases do Ambiente entrou em vigor no ano de 1987. Assim, para os aproveitamentos construídos até ao início da década de 90, não existia uma exigência legal de lançar caudal ecológico, sendo que, em algumas das concessões, existia apenas a obrigação de garantir o caudal reservado indispensável para a manutenção de usos já existentes, como a rega e o abastecimento público, entre outros.

Em relação à generalidade destes aproveitamentos em que existe dispositivo para a descarga do caudal reservado, este foi instalado aquando da construção da barragem, e a solução adotada consiste numa

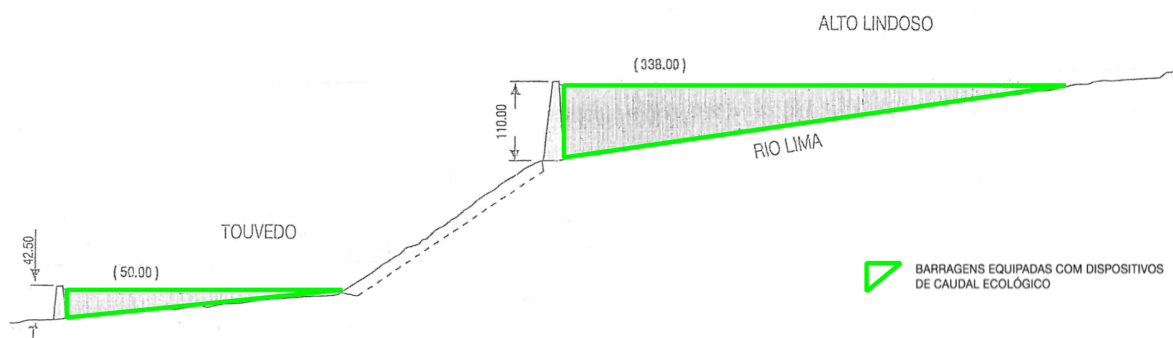


Fig. 5.2 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Lima.

O aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso situa-se no Parque Nacional da Peneda-Gerês, com a barragem no rio Lima, na freguesia do Lindoso, concelho de Ponte da Barca, distrito de Viana do Castelo. É o aproveitamento de maior potência instalada em território nacional, caracterizando-se pela capacidade de rapidamente entrar em serviço (cerca de 90 segundos).

O aproveitamento hidroelétrico é constituído por uma barragem e respetivos órgãos de segurança, uma central subterrânea e um circuito hidráulico.

A barragem, de betão, é do tipo abóbada de dupla curvatura (arcos parabólicos), tem 110 metros de altura e cria uma albufeira com uma capacidade de armazenamento de 379 hm³ ao nível do pleno armazenamento (NPA). A barragem está equipada com dois descarregadores de cheias, na margem direita, em túnel. Cada um deles tem uma capacidade máxima de vazão de 2770 m³/s. A barragem dispõe, ainda, de duas descargas de fundo com uma capacidade máxima de vazão de 2*200 m³/s, inseridas no corpo da barragem.

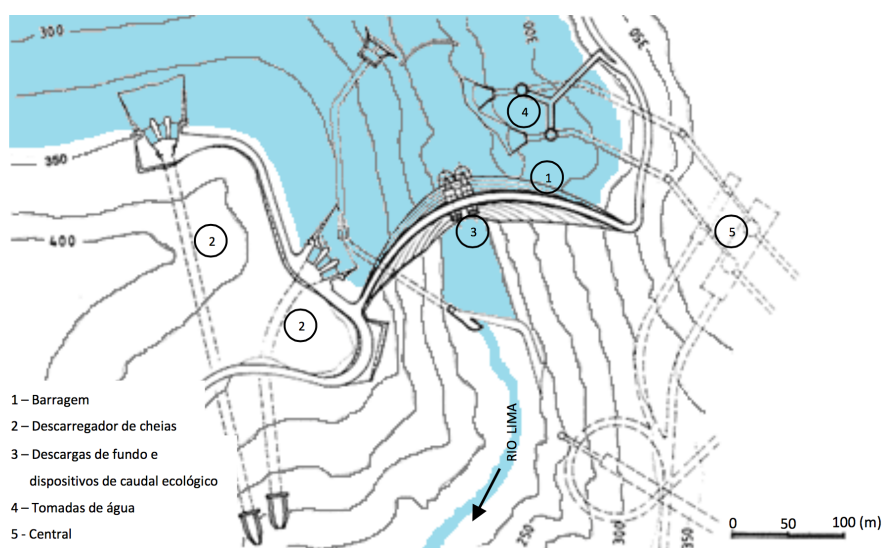


Fig. 5.3 – Planta geral do aproveitamento do Alto Lindoso. (Ferreira, A.C., *et al* 2012).

Do interior do troço final de cada descarga de fundo deriva uma conduta equipada com duas válvulas, uma de isolamento e outra de regulação de caudal. Em conjunto, estas duas derivações garantem o lançamento de um caudal ecológico, definido no âmbito de um estudo ambiental desenvolvido aquando do projeto do aproveitamento, cujo caudal máximo total é de, aproximadamente, $4\text{m}^3/\text{s}$, no troço imediatamente a jusante da barragem. De realçar que os estudos realizados ao longo dos últimos anos indicam que a qualidade da água da albufeira do Alto Lindoso, à cota da descarga de fundo, pode ser considerada aceitável - (Ferreira *et al.* 2012).



Fig. 5.4 – Barragem do Alto Lindoso com dispositivo de caudal ecológico em funcionamento. (<http://visao.sapo.pt/>).

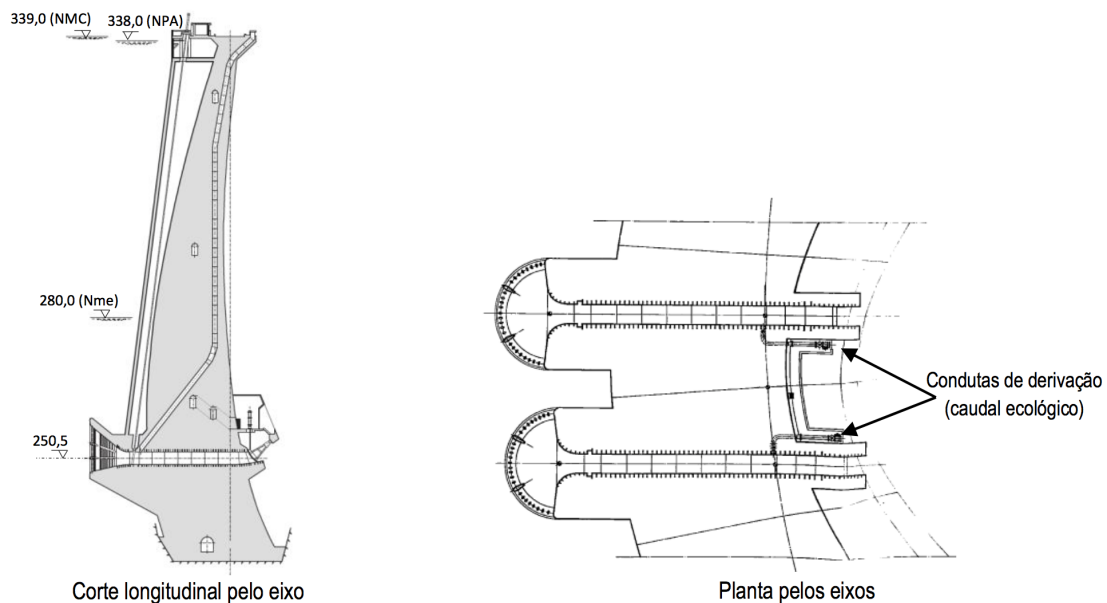


Fig. 5.5 – Barragem do Alto Lindoso. Descargas de fundo. (Ferreira, A.C., *et al* 2012).

Os circuitos hidráulicos dos grupos geradores desenvolvem-se ao longo da margem esquerda, sendo os caudais turbinados restituídos ao rio Lima já na albufeira de Touvedo, através da galeria de restituição, comum aos dois grupos, com 4883 m de extensão e 8,30 m de diâmetro. Os caudais descarregados são restituídos na margem direita do rio cerca de 200 m a jusante da barragem.

O aproveitamento tem uma produtividade média anual de 909,6 GWh.

No quadro 5.1 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.1 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Alto Lindoso dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP 2013).

Caudal Ecológico Alto Lindoso (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	6,80	7,60	6,80	4,10	2,90	1,60	0,80	0,50	0,70	1,50	3,50	5,30
2011	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,52	0,80	0,53	0,70	1,50	2,90	2,90
2012	2,90	2,90	2,90	2,90	2,89	1,60	0,80	0,50	0,70	1,50	2,80	2,70
2013	3,05	3,50	3,50	3,64	2,96	1,60	0,58	0,50	0,70	1,50	3,50	3,04

A EDP, desde junho de 2011, está a lançar o caudal ecológico constante da concessão, até um máximo de 4 m³/s (capacidade máxima do dispositivo de libertação, à cota do NPA da albufeira do Alto Lindoso). O programa de monitorização foi iniciado em 2009 e deverá manter-se até ao presente ano de 2015. Após este período e em função dos resultados obtidos, serão tomadas decisões quanto ao ajustamento do valor do caudal ecológico - EDP (2013).

b) Aproveitamento Hidroelétrico do Alto Rabagão

O aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão é um aproveitamento de albufeira que se localiza no curso superior do rio Rabagão, um afluente da margem esquerda do rio Cávado. Na figura 5.6 é possível observar as barragens pertencentes à bacia hidrográfica do rio Cávado. Na cascata do sistema são facilmente identificáveis todas as barragens em que o caudal ecológico deve ser tomado em consideração.

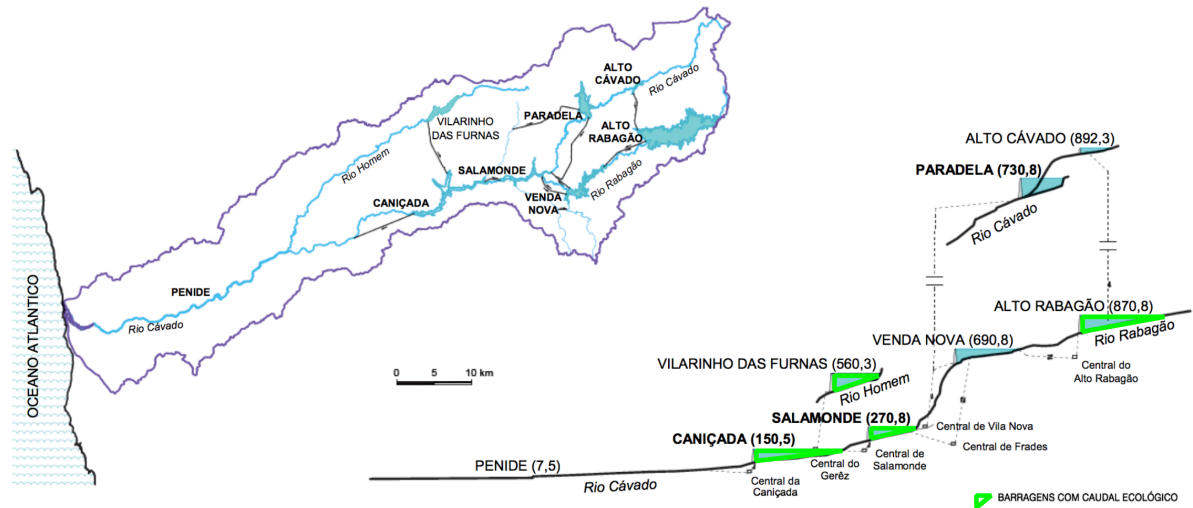


Fig. 5.6 – Bacia hidrográfica do rio Cávado e perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Cávado.

Relativamente ao aproveitamento do Alto Rabagão, a central e a barragem principal da infraestrutura hidráulica pertencem à freguesia de Viade de Baixo, concelho de Montalegre, distrito de Vila Real.

O aproveitamento é constituído por duas barragens (Alto Rabagão e Alto Cávado), um circuito hidráulico, uma central subterrânea, um edifício de comando e uma subestação.

A barragem do Alto Rabagão, de betão, é constituída por uma zona central de tipo abóbada e por duas zonas laterais de tipo gravidade. Tem 94 m de altura, cria uma albufeira com 550 hm³ e está equipada com um descarregador de cheias e duas descargas de fundo.



Fig. 5.7 – Barragem do Alto Rabagão. (cnpqgb.apambiente.pt).

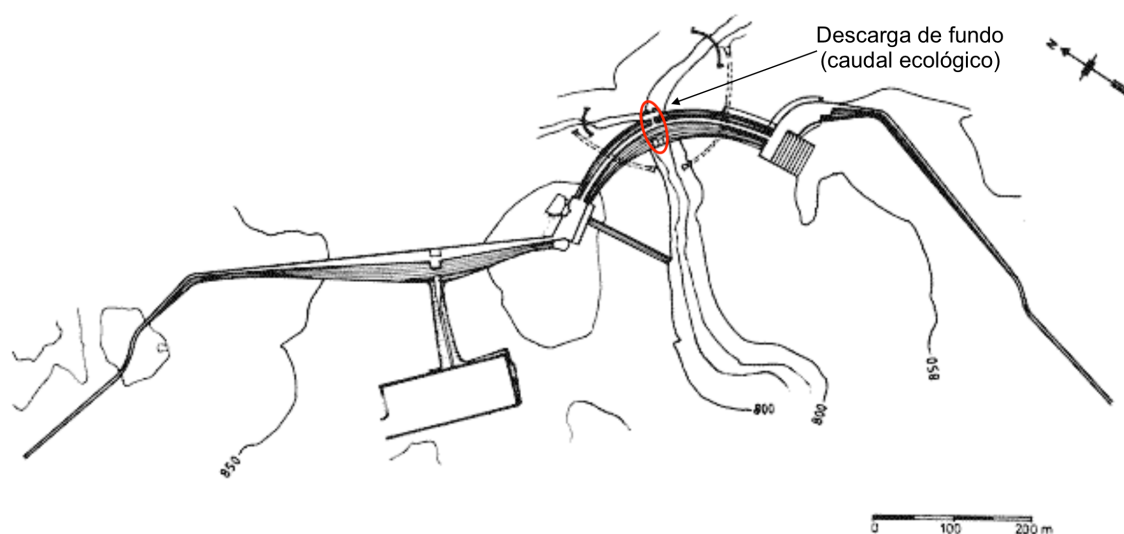


Fig. 5.8 – Barragem do Alto Rabagão. Planta. Adaptado de (cnpgeb.apambiente.pt).

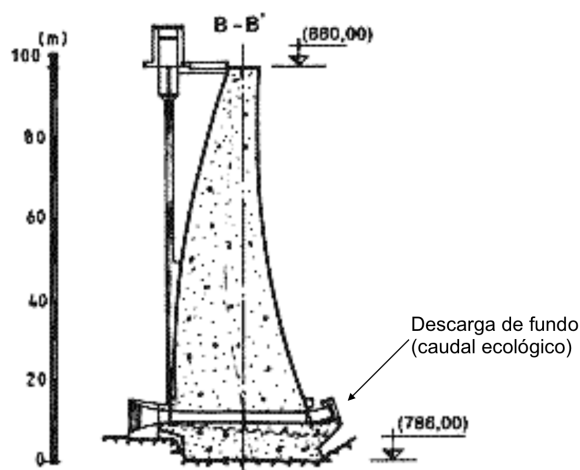


Fig. 5.9 – Perfil da barragem. Adaptado de (cnpgeb.apambiente.pt).

A restituição dos grupos geradores funciona como tomada de água em bombagem, na albufeira de Venda Nova, sendo portanto, os circuitos hidráulicos de turbinamento e bombagem comuns.

Complementa este aproveitamento a barragem do Alto Cávado, localizada no curso superior do rio Cávado, no local de Sezelhe, concelho de Montalegre. É uma barragem do tipo gravidade, com 29 m de altura máxima acima das fundações e cria uma albufeira de derivação, cujas águas são encaminhadas para a albufeira do Alto Rabagão através de um túnel com 4,9 km de extensão. A descarga de superfície desta barragem é por lâmina livre, dispondo ainda de uma descarga de fundo. A barragem está dotada com duas pequenas condutas, junto à válvula de fundo, que permitem o lançamento para jusante de um caudal de 100 l/s.

A produtividade média anual do aproveitamento do Alto Rabagão é de 83 GWh.

Como condicionantes à exploração deste aproveitamento, refere-se a definição de um valor máximo de cota da albufeira, de 1 de outubro até 31 de março, para criar encaixe para cheias.

No aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão, está estabelecido um caudal ecológico máximo no mês de janeiro de 1,14 m³/s e um mínimo em agosto de 0,17 m³/s. Estes caudais estão definidos para cada mês ao longo do ano e têm que ser medidos e registados instantaneamente. Com isto, em 2011, a EDP procedeu ao dimensionamento e instalação de equipamento que permitisse a regulação, a medição e o registo do caudal libertado, e também o envio desta informação para o Centro de Telecomando localizado na Régua - EDP Produção, SA. (2013b).

Como equipamentos para a regulação e medição do caudal, foram instaladas em quatro tubagens existentes junto às descargas de fundo da barragem do Alto Rabagão, quatro válvulas de cunhas manuais, quatro caudalímetros e transmissor de pressão diferencial e também para cada uma das quatro tubagens, quatro válvulas de controlo de caudal de pistão anelar - EDP Produção, SA. (2013b).

O controlo da abertura das quatro válvulas de regularização do caudal ecológico a lançar é efetuado por dois autómato situados junto às descargas de fundo. Estes autómato são também responsáveis por registar o valor do caudal medido por cada um dos transmissores de pressão, enviando-o posteriormente para um autómato na sala de comando da central. Os valores registados são comparados com os definidos para cada mês, por este autómato na central, que ajusta o valor de caudal a lançar, comunicando aos autómato locais, a necessidade para a abertura ou fecho das válvulas de controlo.

O caudal lançado pelo caudalímetro é controlado e monitorizado instantaneamente na sala de comando, o qual permite alterar parâmetros manualmente através de uma consola tátil, caso seja necessário. Existe, também, na sala de comando um registador que permite recolher os valores de caudal ecológico lançado nos meses anteriores. Assim, fica garantido que o valor de caudal ecológico fica convenientemente registado - EDP Produção, SA. (2013b).

No quadro 5.2 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.2 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Alto Rabagão dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Alto Rabagão (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	1,14	0,91	0,69	0,66	0,47	0,30	0,19	0,17	0,27	0,21	0,29	0,75
2011	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2012	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,25	0,26	0,13	0,21
2013	0,24	0,21	0,18	0,15	0,12	0,07	0,07	0,09	0,06	0,09	0,12	0,28

Desde setembro de 2012 que esta barragem dispõe de um dispositivo para libertação de caudal ecológico, o qual permite libertar os caudais ecológicos previstos na Concessão. Os caudais apresentados correspondem aos acordados com a APA. Em 2013 iniciou-se o estudo de monitorização da avaliação da eficácia do regime de caudais ecológicos. Em função dos resultados deste estudo, é possível efetuar ajustes nos caudais libertados - EDP (2013).

c) Aproveitamento Hidroelétrico de Vilarinho das Furnas

O último aproveitamento de grande dimensão construído na bacia do Cávado foi o de Vilarinho das Furnas. Este aproveitamento hidroelétrico é de albufeira, localizado no rio Homem (afluente da margem direita do rio Cávado), cuja exploração se iniciou em 1972 (1º grupo), tendo em 1987 entrado em serviço o 2º grupo, que tem capacidade de bombagem.

O aproveitamento hidroelétrico é constituído por uma barragem de betão, do tipo abóbada assimétrica de dupla curvatura, equipada de um descarregador de cheias situado na margem direita e independente da barragem. Este tem também um circuito hidráulico com cerca de 7,6 km de comprimento constituído por um túnel e por uma conduta forçada a céu aberto, e por a central na margem de um dos braços da albufeira da Caniçada (no rio Cávado, onde é restituída a água turbinada), o edifício de comando e de descarga e, a subestação.

Tem 94 m de altura e está equipada com um dispositivo de libertação de caudal ecológico (Fig. 5.11) com capacidade de vazão de 2,95 m³/s, que constitui uma picagem na descarga de fundo - (Ferreira 2010). Este aproveitamento tem ainda como obras complementares quatro pequenos açudes.



Fig. 5.10 – Barragem de Vilarinho das Furnas. (cnpqg.apambiente.pt).

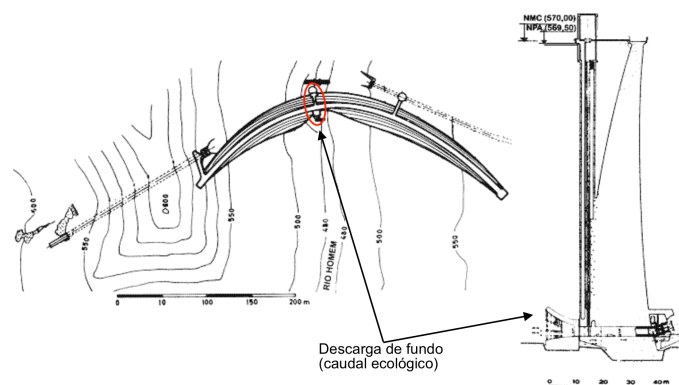


Fig. 5.11 – Barragem de Vilarinho das Furnas. Planta e perfil da barragem. Adaptado de (cnpqg.apambiente.pt).

A albufeira criada pela barragem, parcialmente inserida no Parque Nacional da Peneda-Gerês, tem uma capacidade útil de 97,5 hm³. Inunda uma área de 346 ha ao nível de pleno armazenamento de 569,50, e a sua área de influência abrange os concelhos de Terras de Bouro e de Vieira de Minho.



Fig. 5.12 – Barragem de Vilarinho das Furnas. Dispositivo de caudal ambiental. (Ferreira, A. 2010).

No quadro 5.3 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.3 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Vilarinho das Furnas dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Vilarinho das Furnas(m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	1,68	1,86	1,63	1,53	1,12	0,72	0,41	0,29	0,28	0,62	1,18	1,49
2011	0,30	0,66	0,76	0,68	0,51	0,70	0,40	0,30	0,30	0,54	1,20	1,10
2012	1,07	1,07	1,06	1,04	1,08	0,72	0,41	0,29	0,29	0,62	0,28	0,60
2013	0,75	0,7	0,58	0,58	0,39	0,23	0,11	0,11	0,31	0,28	0,41	0,89

d) Aproveitamento Hidroelétrico de Santa Luzia

O aproveitamento hidroelétrico de Santa Luzia é de albufeira. Iniciou a exploração industrial em 1943, e foi objeto de uma profunda remodelação em 1998. O aproveitamento é constituído pelas barragens de Santa Luzia (na ribeira de Unhais) e do Alto Ceira (barragem de derivação recentemente construída no rio Ceira e que dispõe de dispositivo específico para a libertação de caudal ecológico). O aproveitamento é ainda constituído pela central e pela conduta forçada, com 3449 m de comprimento, que encaminha a água da albufeira para a central, numa cota bastante inferior.

A central de Santa Luzia situa-se na margem direita do rio Zêzere, no lugar de Esteiro, freguesia de Vidual de Cima, concelho de Pampilhosa da Serra, no distrito de Coimbra.

Relativamente à barragem de Santa Luzia, situa-se na ribeira de Unhais, no lugar de Santa Luzia, freguesia de Janeiro de Baixo, concelho de Pampilhosa da Serra, distrito de Coimbra. A barragem tem duas secções, uma em abóbada delgada e outra em gravidade, e é constituída por um descarregador de superfície com dois vãos e uma descarga de fundo. A altura da barragem (secção da abóbada) é de 76 m e o coroamento tem 178 m. A albufeira tem influência no concelho de Pampilhosa da Serra.



Fig. 5.13 – Barragem de Santa Luzia. (cnpqb.apambiente.pt).

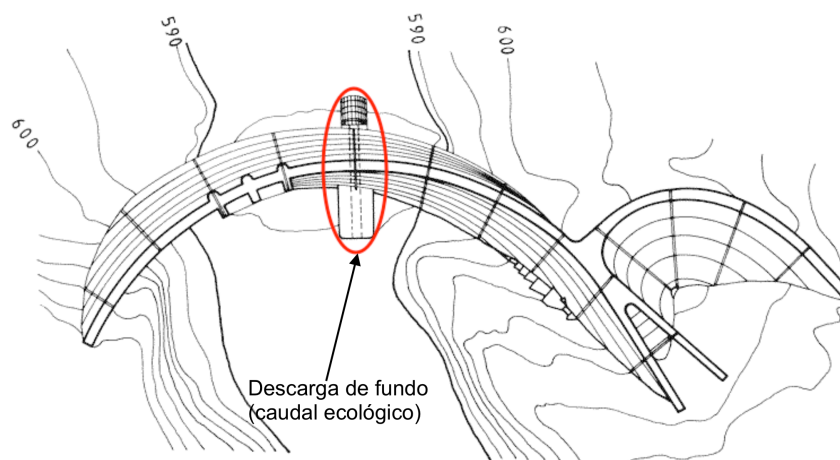


Fig. 5.14 – Barragem de Santa Luzia. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

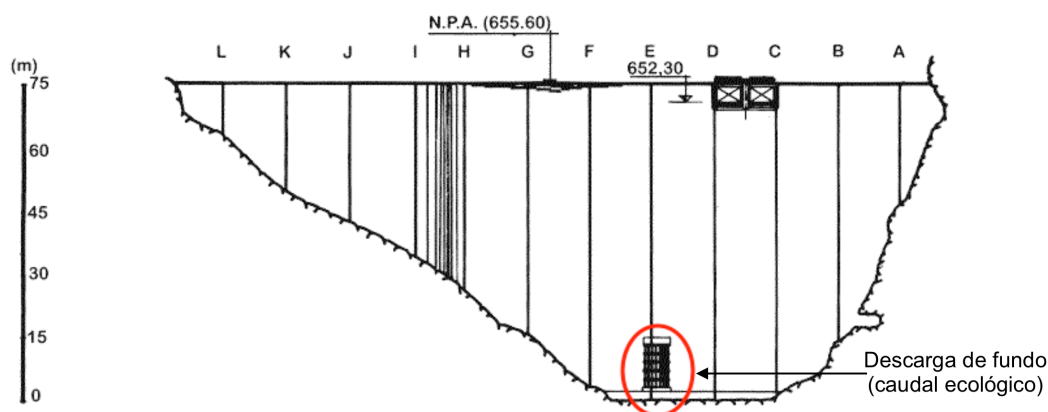


Fig. 5.15 – Barragem de Santa Luzia. Vista de montante. (cnpgb.apambiente.pt).

Os caudais turbinados são libertados a jusante da central implantada junto à margem do rio Zêzere. Com a operação deste aproveitamento, concretiza-se um transvase entre as bacias do rio Mondego e do rio Tejo.

No quadro 5.4 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.4 – Registo de caudais ecológicos na Barragem de Santa Luzia dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Santa Luzia (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
2011	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
2012	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
2013	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

5.2.2. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO - RECURSO AOS GRUPOS GERADORES E À DESCARGA DE FUNDO

Nos casos de Touvedo e Raiva, a libertação de caudal ecológico é assegurada pelo funcionamento dos grupos geradores ou, se necessário, pela descarga de fundo.

a) Aproveitamento Hidroelétrico de Touvedo

O aproveitamento hidroelétrico de Touvedo é um aproveitamento de albufeira que se localiza no rio Lima. A barragem e a central localizam-se na freguesia de Salvador (Touvedo), concelho de Ponte da Barca, distrito de Viana do Castelo. Este aproveitamento destina-se fundamentalmente a regularizar os elevados caudais turbinados pela central do Alto Lindoso, da ordem dos 250 m³/s a plena carga, armazenando-os temporariamente e restituindo-os ao rio Lima com valores até 100 m³/s.

O aproveitamento é constituído por uma barragem, um circuito hidráulico curto, uma central, um dispositivo (elevador) para transposição de peixes, um edifício de comando e posto de transformação, uma subestação e pela albufeira, no rio Lima.

A barragem, de betão, é do tipo gravidade aligeirada, tem 42,5 m de altura máxima e, cria uma albufeira com 4,5 hm³ de capacidade útil. A barragem está equipada com três descarregadores de superfície e uma descarga de fundo destinada ao esvaziamento de albufeira se necessário.

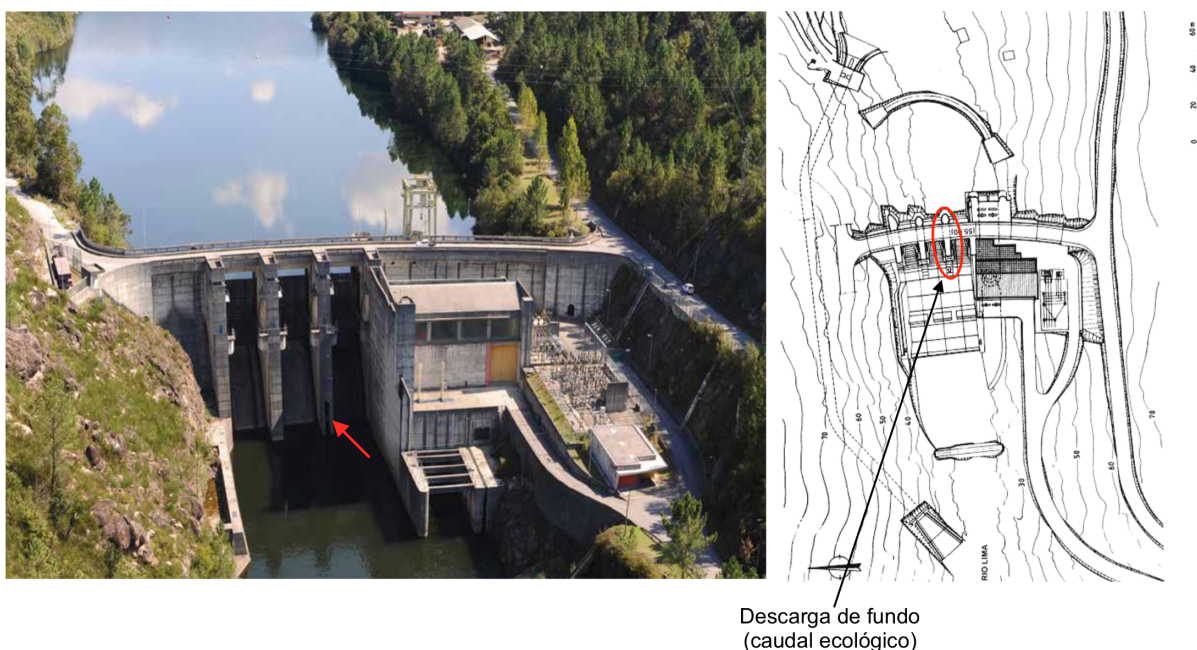


Fig. 5.16 – Barragem do Touvedo. Planta. Adaptado de (EDP, 2013). (cnpqb.apambiente.pt).

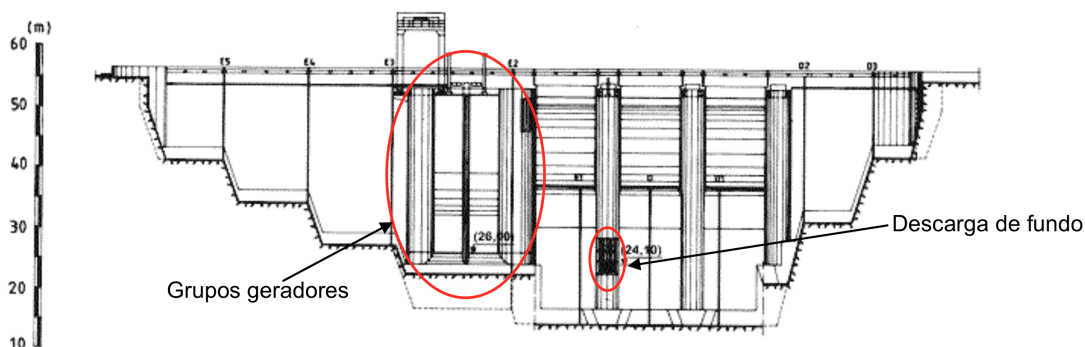


Fig. 5.17 – Barragem do Touvedo. Vista de montante. Adaptado de (cnpqb.apambiente.pt).

O aproveitamento tem uma produtividade média anual de 78 GWh.

O aproveitamento garante o lançamento de caudais ecológicos, e a correspondente exploração tem como condicionantes, caudais reservados, limitação de caudais turbinados em determinadas horas do dia e épocas do ano, bem como prática de libertação de determinados caudais em períodos críticos, como sejam as épocas de marés vivas.

No quadro 5.5 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.5 – Registo de caudais ecológicos na barragem do Touvedo dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Touvedo (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	6,80	7,60	6,80	4,10	2,90	1,60	0,80	0,50	0,70	1,50	3,50	5,30
2011	90,12	55,96	42,95	40,90	28,95	23,26	11,02	13,60	14,73	27,45	36,99	26,52
2012	32,97	16,33	11,22	14,42	32,75	18,44	6,09	4,71	16,52	41,27	49,72	49,07
2013	79,32	77,49	80,72	76,78	34,73	25,62	39,7	12,58	26,9	48,32	81,76	46,16

Foi acordado com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), que se manterá o programa de monitorização para avaliação da eficácia do regime de caudais ecológicos. Iniciado em 2009, e prolongado até 2015, período após o qual, serão tomadas decisões quanto a ajustamentos no caudal libertado, em função dos resultados obtidos - EDP, (2013).

b) Aproveitamento Hidroelétrico de Raiva

O aproveitamento hidroelétrico de Raiva pertence à bacia do Mondego. Nas figuras 5.18 e 5.19, estão representadas as duas barragens do rio Mondego, Aguieira e Raiva. Apenas Raiva está equipada com caudal ecológico, Aguieira, não precisa porque não provoca descontinuidade hidráulica no curso de água.

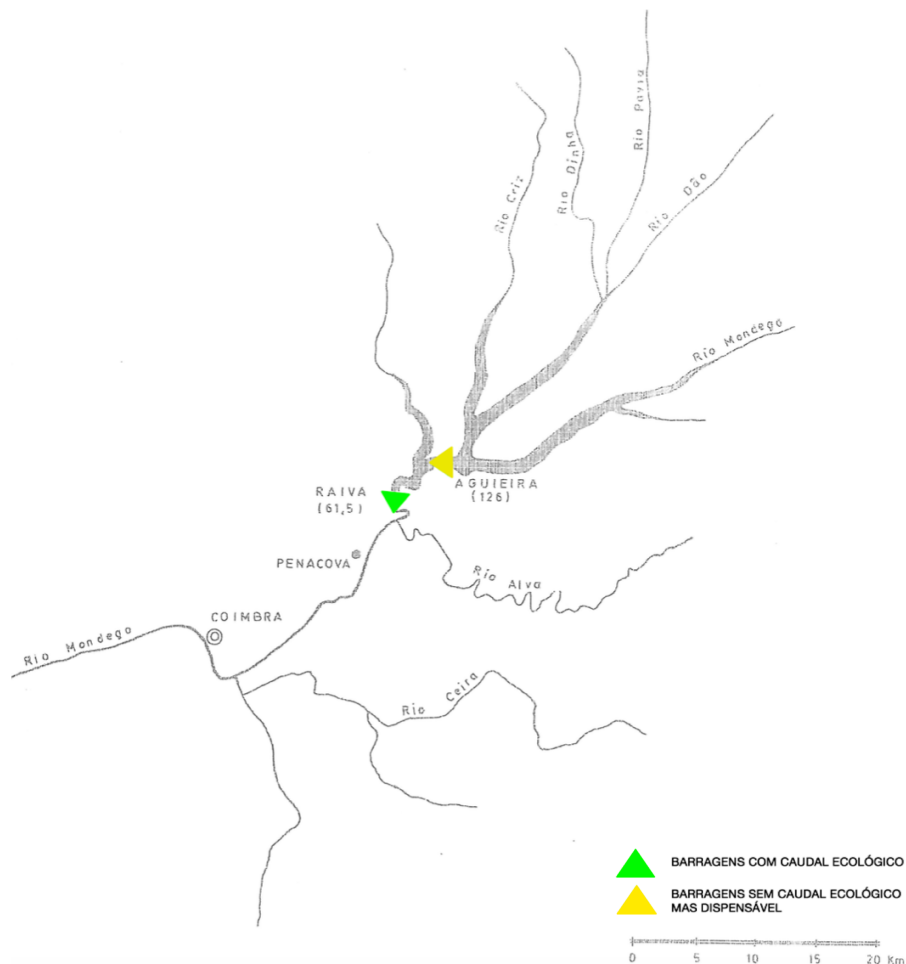


Fig. 5.18 – Bacia hidrográfica do rio Mondego. Raiva e Aguieira.

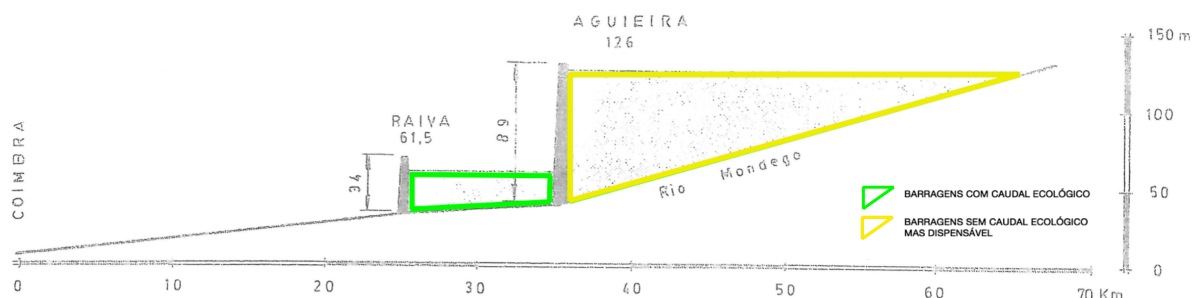


Fig. 5.19 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Mondego.

O aproveitamento hidroelétrico da Raiva é de albufeira, localiza-se no rio Mondego, e está a cerca de 10 km a jusante do aproveitamento da Agueira (constituindo o seu contra embalse).

O aproveitamento entrou em serviço em 1982 e tem uma potência instalada de 24 MW. É constituído por uma central incorporada na barragem, pelo edifício de comando e pela subestação instalada no interior da central.

A barragem é do tipo gravidade, tem 34 m de altura acima das fundações, e cria uma pequena albufeira com 12 hm³ de capacidade útil, com zona de influência nos concelhos de Penacova e Mortágua. A barragem está equipada com dois descarregadores de superfície e uma descarga de fundo.



Fig. 5.20 – Barragem da Raiva. Planta. Adaptado de (cnpqb.apambiente.pt).

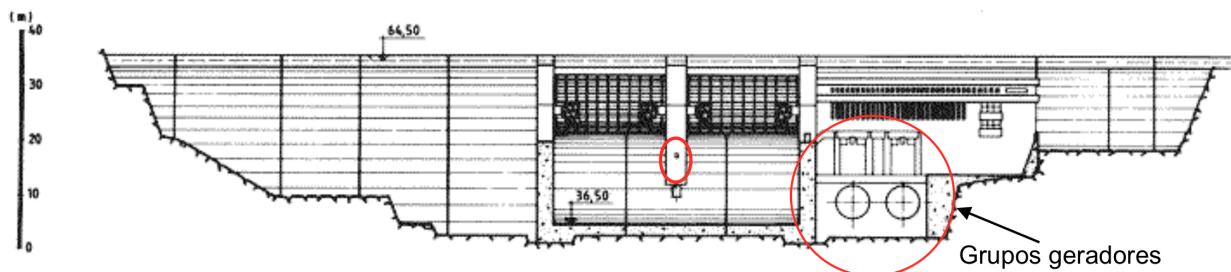


Fig. 5.21 – Barragem da Raiva. Vista de jusante. Adaptado de (cnpqb.apambiente.pt).

A barragem da Raiva está obrigada à libertação de caudal ecológico.

No quadro 5.6 é apresentado o regime de caudais ecológicos adotados para os anos de 2011, 2012 e 2013.

Quadro 5.6 – Registo de caudais ecológicos na Barragem da Raiva dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Raiva (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	14,39	23,29	19,06	11,90	10,17	3,41	0,91	0,24	0,37	0,99	2,82	5,48
2011	111,43	59,12	63,65	15,74	22,80	16,30	16,76	16,37	9,35	6,81	6,34	5,38
2012	4,06	6,45	6,16	5,78	43,90	11,93	15,09	15,91	11,49	8,48	8,36	45,86
2013	91,51	89,08	127,29	91,97	40,35	18,31	18,80	17,15	12,19	17,24	19,72	47,32

5.2.3. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO INSERIDOS NO DESCARREGADOR DE CHEIAS

Em Salamonde e Caniçada, os dispositivos de caudal ecológico, têm a mesma solução, encontrando-se ligados aos descarregadores de cheias complementares. No caso de Salamonde as obras já foram concluídas em 2014, enquanto que no caso de Caniçada ainda se encontram em construção.

a) Aproveitamento Hidroelétrico de Salamonde

O aproveitamento hidroelétrico de Salamonde, inaugurado em 1953, localizado no rio Cávado, 5 km a jusante da confluência com o rio Rabagão, integra para além da barragem e respetivos órgãos de segurança, um circuito hidráulico longo, em túnel, uma central subterrânea e uma subestação, implantados na margem esquerda.

A barragem de Salamonde é do tipo abóbada delgada, em betão, com 75 metros de altura máxima, o coroamento apresenta um desenvolvimento de 203 metros e cria uma albufeira com capacidade total de armazenamento de 65 hm³ ao nível do pleno armazenamento.



Fig. 5.22 – Barragem de Salamonde. Novo descarregador de cheias.



Fig. 5.23 – Barragem de Salamonde com obras em curso no novo descarregador.

A barragem está equipada com um descarregador de cheia inserido na zona central da barragem junto ao coroamento, em lâmina livre, equipado com comportas, que lança o caudal sobre um colchão de água criado por um pequeno açude existente a jusante e a capacidade máxima de vazão do descarregador é de 1700 m³/s. Dispõe também de uma descarga de fundo com uma capacidade máxima de vazão de 140 m³/s.

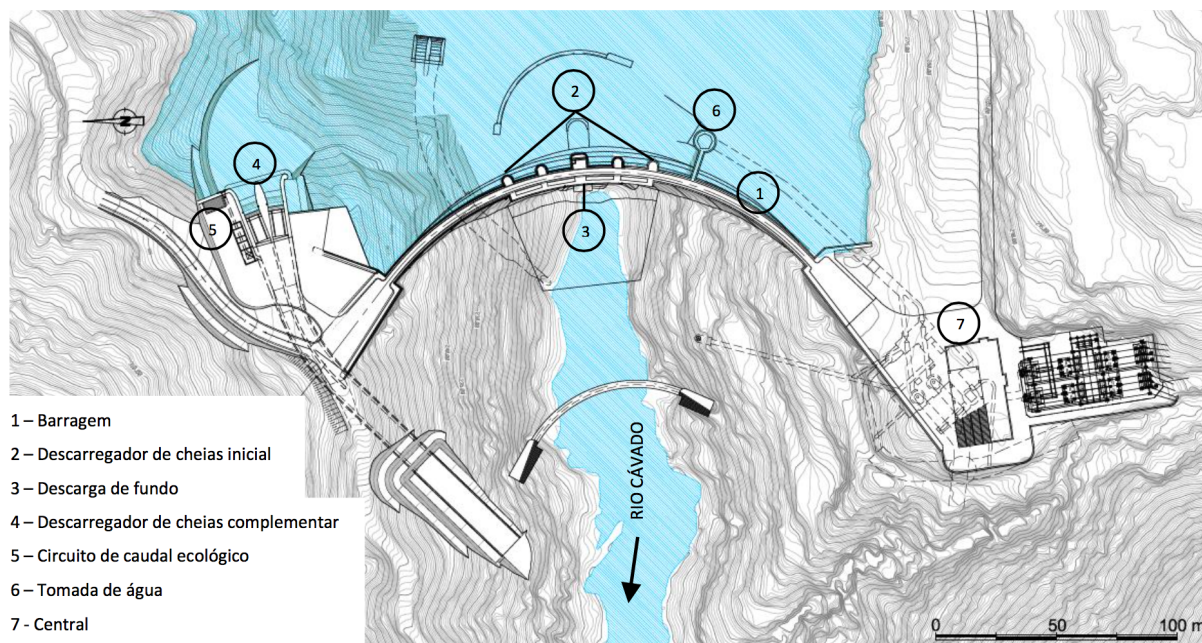


Fig. 5.24 – Barragem de Salamonde. Planta geral do aproveitamento. (Ferreira, A., *et al*, 2012).

Recentemente, o aproveitamento foi sujeito a obras relativas à construção de um descarregador de cheias complementar e também ao correspondente reforço de potência, cujo circuito hidráulico e central estão implantados na margem esquerda. O descarregador de cheias é constituído por uma solução em túnel, escavado na encosta da margem direita, uma estrutura terminal em canal, e a sua capacidade máxima de vazão ronda os 1200 m³/s.

O dispositivo de caudal ecológico, figuras 5.24, 5.25 e 5.26, está inserido no descarregador de cheias complementar, no respetivo muro ala direito, sendo constituído por uma conduta metálica com secção corrente circular com 0,9 metros de diâmetro e eixo à cota (245,45). O circuito é composto por dois troços retos concordados por uma curva circular e encontra-se equipado, de montante para jusante, com grade de proteção, comporta enscadeira, válvula de isolamento e válvula de regulação de caudal. O caudal ecológico é restituído para o interior do túnel do descarregador de cheias.

O dispositivo de caudal ecológico foi dimensionado para descargas de caudais compreendidas entre, aproximadamente, 0,2 e 3 m³/s, para níveis de albufeira situados entre o NPA (nível pleno de exploração) à cota (270,36) e o Nme (nível mínimo de exploração) à cota (260,56) - (Ferreira *et al*. 2012).

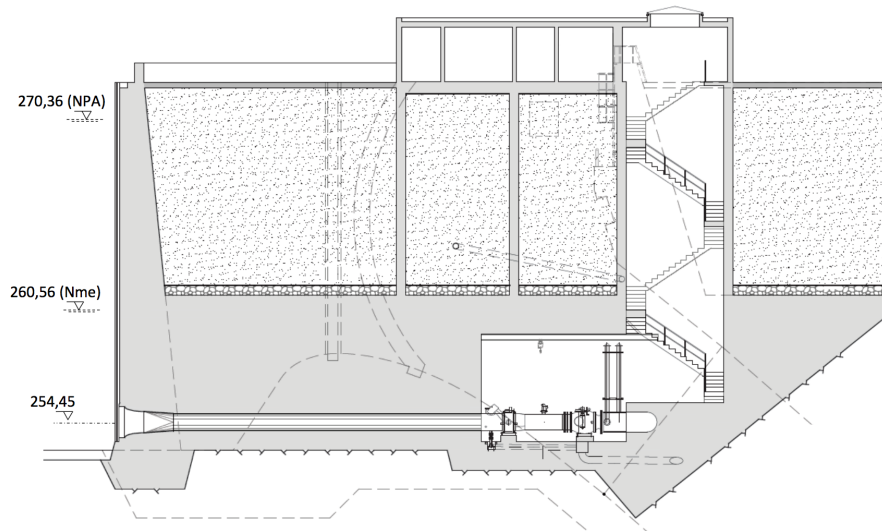


Fig. 5.25 – Barragem de Salamonde. Corte longitudinal pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico. (Ferreira, A., *et al*, 2012).

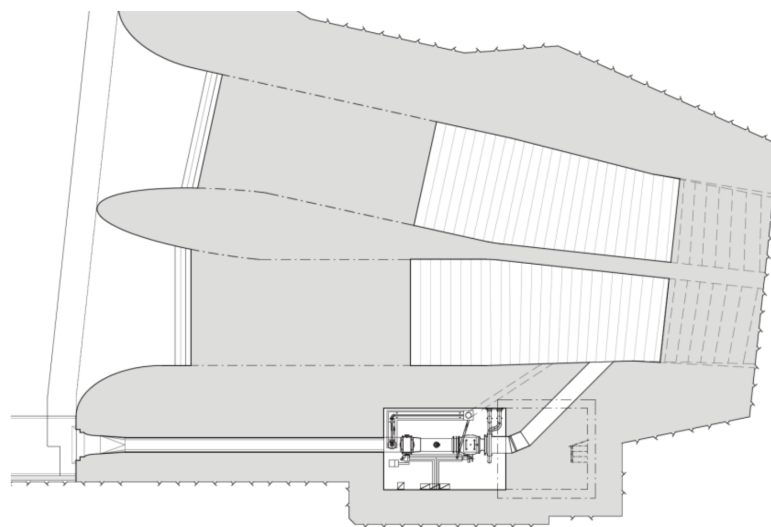


Fig. 5.26 – Barragem de Salamonde. Planta pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico. (Ferreira, A., *et al*, 2012).

5.2.4. DISPOSITIVO ESPECÍFICO DE CAUDAL ECOLÓGICO - CASO DE ALQUEVA-PEDRÓGÃO

A barragem de Pedrógão está implantada no rio Guadiana, 23 km a jusante da barragem de Alqueva, e a jusante da confluência do rio Ardila. Nas figuras 5.27 e 5.28 estão representadas as barragens de Alqueva e Pedrógão em planta e perfil.

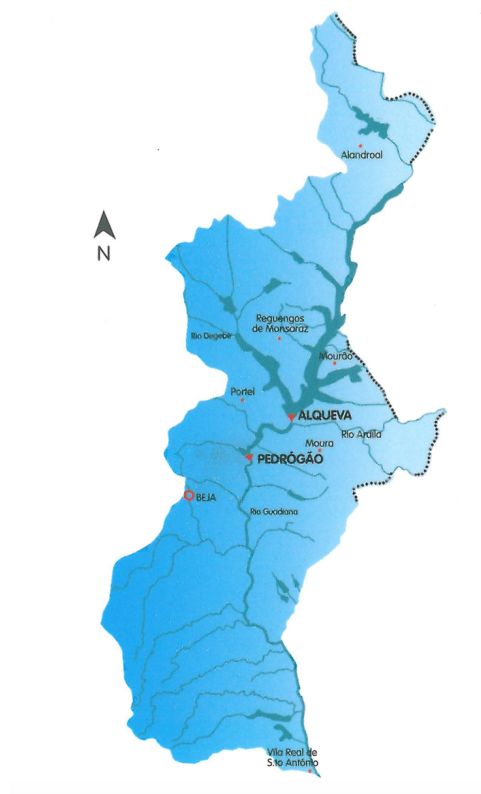


Fig. 5.27 – Bacia hidrográfica do rio Guadiana. Alqueva e Pedrógão.

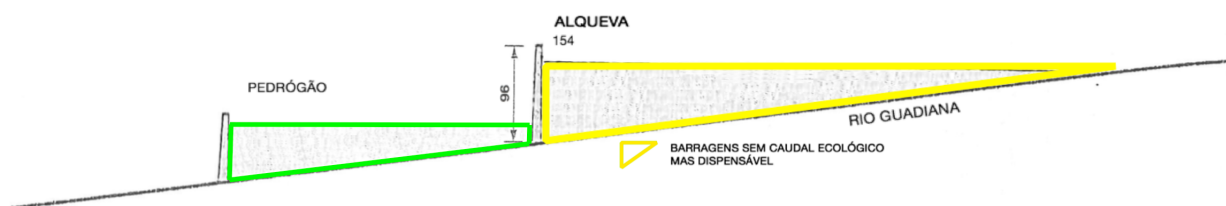


Fig. 5.28 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Guadiana. Alqueva.

O seu principal objetivo é criar uma albufeira de contra embalse para permitir a reutilização dos caudais turbinados em Alqueva. A pequena diferença de cotas entre o Nível de Pleno Armazenamento (84,80) e do Nível mínimo de exploração (79,00), exigiram a adequada conceção dos órgãos hidráulicos de exploração da albufeira, de modo a ser possível cumprir os objetivos da barragem juntamente com a necessidade de lançamento de caudais ecológicos entre 1 m³/s e 25 m³/s.



Fig. 5.29– Barragem de Pedrógão. Vista da margem direita. (cnpqg.apambiente.pt).

Esta barragem entrou em exploração em 2005, criando uma albufeira com capacidade de armazenamento de 106 hm³. A barragem é do tipo gravidade em betão, com uma altura máxima de 43 metros, dispendo de um descarregador de cheias não controlado sobre grande parte da extensão do coroamento, de uma descarga auxiliar e de uma descarga de fundo com capacidades máximas de vazão de, respetivamente, 12000 m³/s, 194 m³/s e 27 m³/s. A barragem está ainda equipada com uma central mini-hídrica com dois grupos geradores com potência individual de 5MW e com um dispositivo para passagens de peixes - (Ferreira *et al.* 2012).

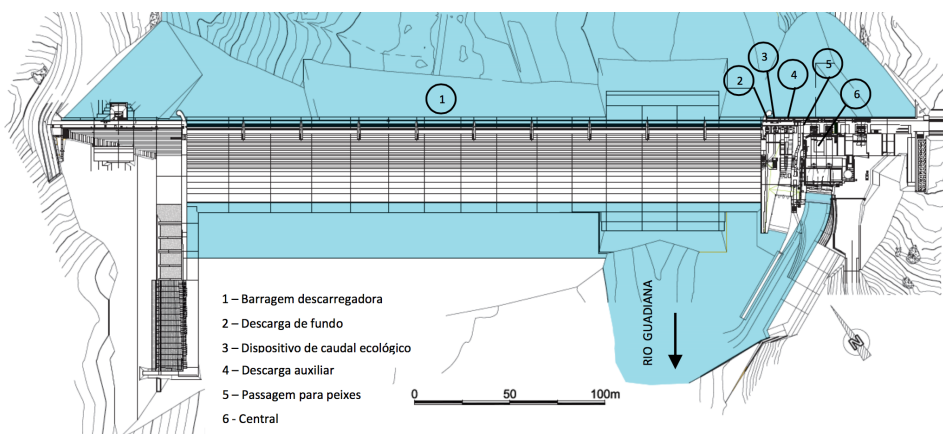


Fig. 5.30 – Barragem de Pedrógão. Planta geral. (Ferreira, A., *et al.* 2012).

Os caudais ecológicos são lançados através da descarga auxiliar ou do dispositivo de caudal ecológico, variando conforme a gama de caudais a descarregar: para caudais de valores até 6 m³/s utiliza-se o dispositivo de caudal ecológico e, para caudais de valores superiores, recorre-se à descarga auxiliar. O dispositivo de caudal ecológico localiza-se no muro ala esquerdo do descarregador de cheias, à cota (70,0), apresenta secção circular de 0,9 metros de diâmetro, e apresenta em planta, dois troços retos,

concordados por uma curva. Está equipada com uma comporta de segurança e uma válvula dispersora, que faz a regulação dos caudais - (Ferreira *et al.* 2012).

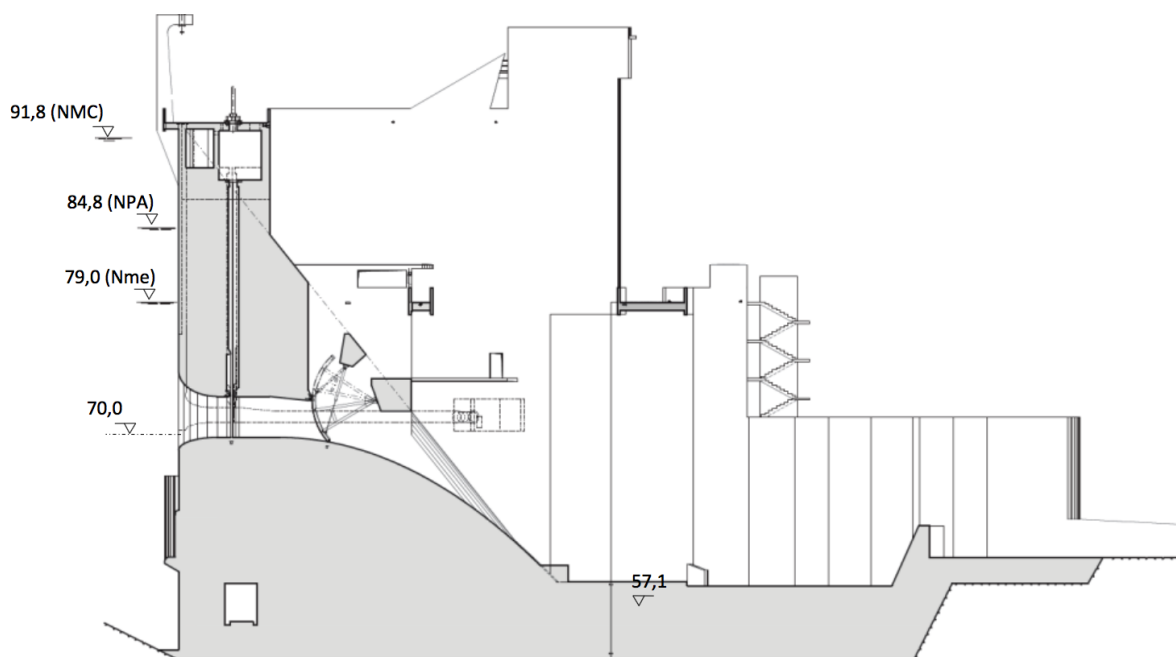


Fig. 5.31 – Barragem de Pedrógão. Corte longitudinal pelo eixo da descarga auxiliar. (Ferreira, A., et al, 2012).

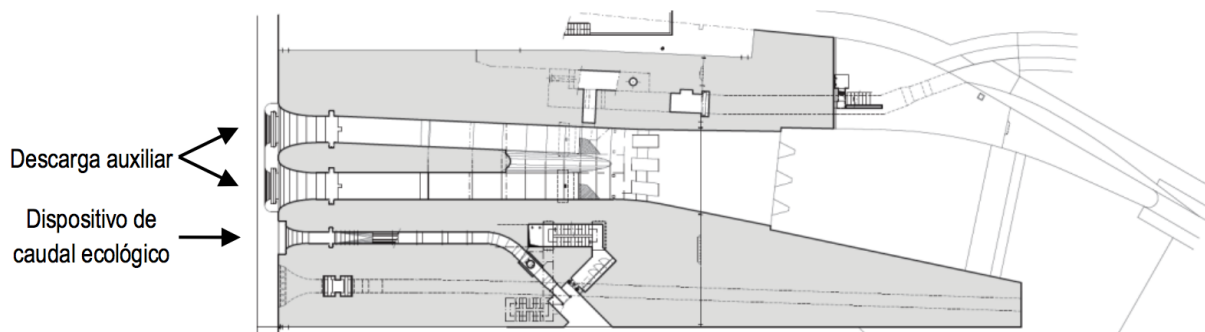


Fig. 5.32 – Barragem de Pedrógão. Planta pelo eixo da descarga auxiliar e do dispositivo de caudal ecológico. (Ferreira, A., et al, 2012).

5.3. DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO NOS APROVEITAMENTOS EM CONSTRUÇÃO - CASO DE FOZ TUA

O Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua situa-se no rio Tua, afluente da margem direita do rio Douro, a cerca de 1,1 quilómetros da confluência destes dois rios.

O aproveitamento de Foz Tua compreende, genericamente, uma barragem de albufeira, um circuito hidráulico subterrâneo, uma central hidroelétrica em poço, um edifício de apoio e uma subestação. Ficará equipado com dois grupos reversíveis independentes que efetuarão a bombagem a partir da albufeira da Régua, potenciando a valia hidroelétrica do Rio Douro.

A barragem, é do tipo abóbada com dupla curvatura, tem uma altura máxima de 108 metros, 275 metros de desenvolvimento de coroamento e cria uma albufeira com cerca de 27 quilómetros de comprimento, e um volume de armazenamento ao Nível de Pleno Armazenamento de 106 hm³. No corpo da barragem ficará inserido um descarregador de cheias em lâmina livre, equipado com comportas e dotado de bacia de dissipação por impacto, e uma descarga de fundo. As capacidades máximas de vazão são de, respetivamente, 5500 m³/s e 200 m³/s.



Fig. 5.33 – Barragem de Foz Tua, em construção. Vista de jusante.

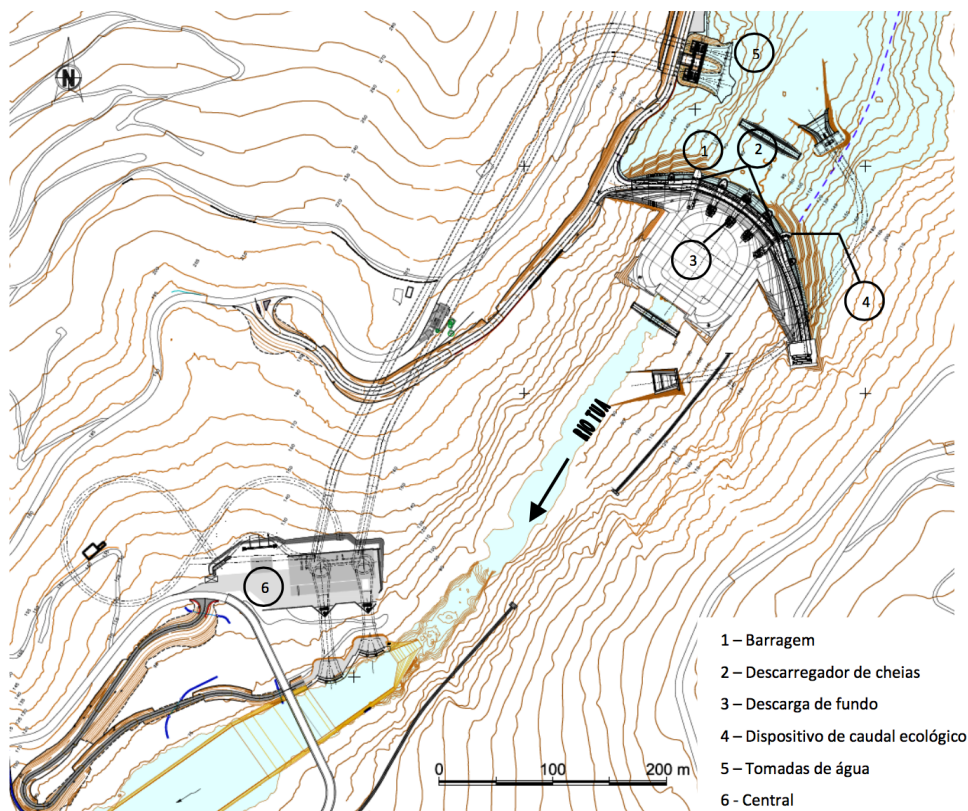


Fig. 5.34 – Barragem de Foz Tua. Planta geral. (Ferreira, A., *et al*, 2012).

O dispositivo de caudal ecológico foi projetado para libertar uma gama de caudais entre $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e $10 \text{ m}^3/\text{s}$, estabelecidos entre o Nível de Pleno Armazenamento (170,0) e o Nível mínimo de exploração (167,0). O circuito hidráulico do dispositivo está incorporado no pilar extremo do descarregador de cheias (margem direita), e tem 1,3 metros de diâmetro. A tomada de água encontra-se à cota (159,5), está equipada com grade metálica e comporta ensecadeira. No troço final do circuito encontram-se instaladas duas válvulas, uma de isolamento e outra dispersora, que faz a regulação dos caudais. O caudal ecológico é restituído na bacia de dissipação no pé da barragem - (Ferreira *et al*. 2012).

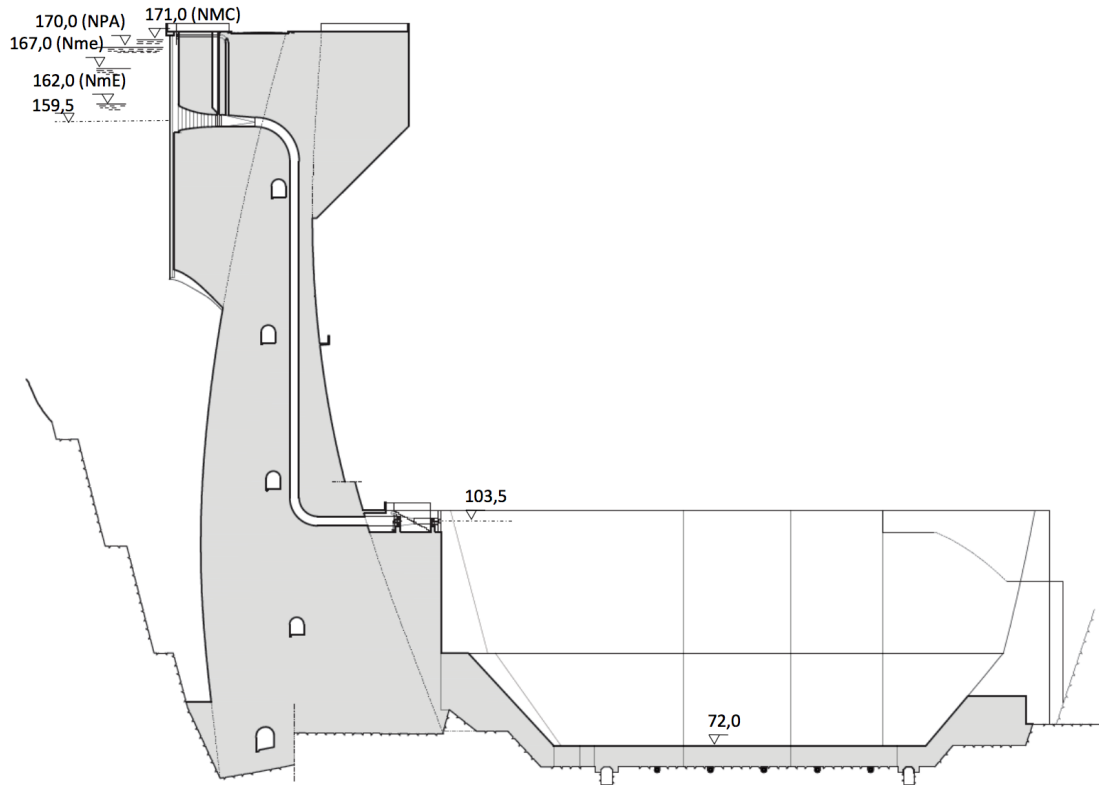


Fig. 5.35 – Barragem de Foz Tua. Corte longitudinal pelo eixo do dispositivo de caudal ecológico. (Ferreira, A., et al, 2012).

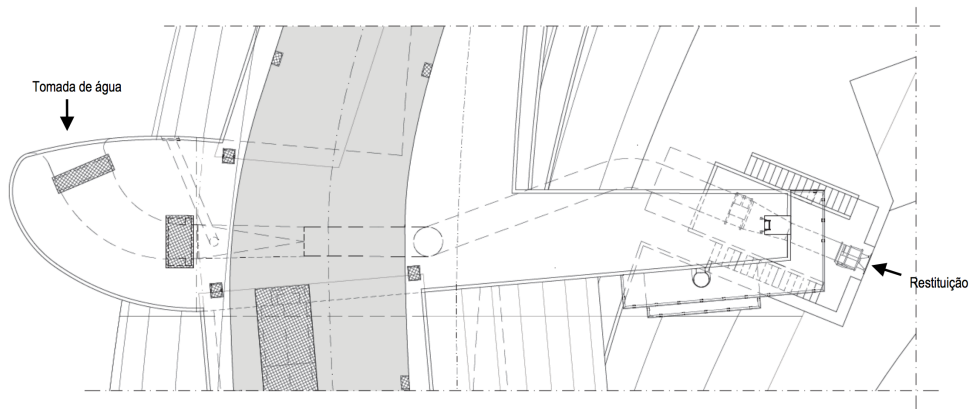


Fig. 5.36 – Barragem de Foz Tua. Planta do dispositivo de caudal ecológico. (Ferreira, A., et al, 2012).

6

DISPOSITIVOS DE CAUDAL ECOLÓGICO PROPOSTOS

6.1. INTRODUÇÃO

No capítulo 2, apresentou-se uma lista dos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses que se encontram, genericamente, em exploração. Dos 36 aproveitamentos listados apenas uma pequena parcela (9) está equipada com dispositivos de descarga de caudal ecológico, tema desenvolvido no capítulo 5.

No presente capítulo apresentam-se propostas de soluções para os dispositivos de descarga de caudal ecológico a instalar nos aproveitamentos hidroelétricos aos quais está associada interrupção da continuidade hidráulica do rio. Previamente analisam-se os fatores que mais influenciam a configuração, localização e funcionamento desses dispositivos. Principalmente, numa segunda fase, pretende-se chegar a propostas de dispositivos de caudal ecológico, para os grandes aproveitamentos hidroelétricos que ainda não os tenham e necessitem porque existe descontinuidade hidráulica.

6.2. ASPETOS RELEVANTES NA ESCOLHA DE UM DISPOSITIVO DE DESCARGA DE CAUDAL ECOLÓGICO

A conceção de um aproveitamento hidroelétrico exige um estudo cuidado e multidisciplinar, de modo que todos os elementos que o compõem se ajustem e complementem, reduzindo os impactes negativos decorrentes da sua construção e também tirando o máximo proveito dos aspetos positivos a que se destina.

Na implantação de um dispositivo de caudal ecológico, deve-se ter consciência das implicações da sua construção, e tal como no aproveitamento, procurar integrar o dispositivo com os restantes componentes para que não interfira no conjunto, mas sem descurar os objetivos a que se destina.

Associados à construção de dispositivos de caudal ecológico, deve ser considerado um conjunto de aspetos que vão determinar a melhor solução. Para cada barragem, há uma multiplicidade de situações decorrentes de inúmeros fatores que lhe são inerentes, tornando-a única com uma difícil padronização de soluções.

É também importante referir que a problemática da conceção de dispositivos de caudal ecológico, assume contornos bastante distintos, no caso de uma nova barragem a construir ou, numa já existente, em fase de exploração.

Os principais aspetos que se julga ser necessário ter em atenção são:

- Regime de caudais ecológicos;
- Tipo de barragem e suas características geométricas;
- Aspectos estruturais;
- Níveis de exploração;
- Características do aproveitamento;
- Dispositivos hidráulicos;
- Fatores ambientais e qualidade da água.

6.2.1. DISPOSITIVO DE CAUDAL ECOLÓGICO NUM APROVEITAMENTO EXISTENTE E NUM APROVEITAMENTO A CONSTRUIR

Num problema de instalação de dispositivo de caudal ecológico, o facto de a barragem já estar construída ou ainda por construir é das primeiras questões que surgem, pois a solução adotada vai estar muito condicionada por este aspeto.

A primeira situação é, na maioria dos casos, mais complexa. A execução de uma grande alteração na estrutura da barragem torna-se inviável, devido a várias limitações, entre elas, características geométricas da barragem e de exploração.

Assim, numa barragem a construir, existe maior flexibilidade para a incorporação do dispositivo de caudal ecológico, com possibilidade de soluções mais adequadas e integradas.

Contudo, os aproveitamentos em análise encontram-se em exploração pelo que existem fortes condicionamentos decorrentes de limitações estruturais procurando-se não afetar os elementos de obra já existentes nem a exploração do aproveitamento.

6.2.2. REGIME DE CAUDAIS ECOLÓGICOS

Relativamente ao regime de caudais ecológicos, existem dois aspetos que importam salientar: o valor do caudal a libertar e a sua qualidade.

Em termos quantitativos, o regime de caudais deve ser determinado por um dos métodos expostos no capítulo 4 (métodos hidrológicos, hidráulicos, ecológicos e outros), o que melhor se adequa ao curso em estudo. O regime de caudais ecológicos está também dependente da qualidade da água, tema que será desenvolvido mais à frente, neste capítulo.

6.2.3. CONDICIONANTES DO TIPO DE BARRAGEM E SUAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

a) Tipo de Barragem

No capítulo 2, foram apresentados os critérios para a classificação de barragens. Sucintamente, a classificação de barragens quanto ao material está dividida em barragens de betão (e menos frequentemente de alvenaria), barragens de terra ou enrocamento.

Quando se considera incorporar o dispositivo de caudal ecológico no corpo da barragem e, principalmente, no caso da barragem já se encontrar em exploração, depara-se com uma situação que vai obrigar a manobras de perfuração do corpo da barragem. O que numa barragem de betão constitui uma tarefa difícil, a mesma tarefa, numa barragem de aterro ou enrocamento, pode não ser viável.

b) Altura

Em barragens de altura elevada, a qualidade da água pode estar comprometida, dependendo da cota de tomada de água, influenciando, em certa medida, a conceção do dispositivo de caudal ecológico. Nestes casos, é necessário estudar quais as implicações que a cota pode ter do ponto de vista ambiental. A altura da barragem poderá ter também implicações no traçado do circuito do dispositivo, e com alturas mais elevadas levar à necessidade de recorrer a uma solução com um circuito mais longo.

c) Espessura

A espessura da barragem pode influenciar o dispositivo de caudal ecológico, afetando o seu circuito. Este fator vai influenciar principalmente novas barragens, em que a instalação seja feita no seu corpo. O traçado do circuito fica limitado ao espaço disponível, podendo originar, para estruturas mais esbeltas, transições bastantes abruptas com curvas expressivas e outras singularidades que afetam o escoamento.

6.2.4. CONDICIONANTES DOS ASPETOS ESTRUTURAIIS

Para além dos aspetos referidos para o corpo da barragem, há ainda a salientar a importância da avaliação da condicionante dos aspetos estruturais.

Esta condicionante merece reflexão se o dispositivo for instalado no corpo da barragem, e nessa situação existem duas características incontornáveis para a tomada da decisão: as tensões a que a barragem se encontra e a localização e densidade de armaduras.

No que se refere às tensões, é importante analisar a sua distribuição no corpo da barragem e evitar as zonas com maiores fragilidades para não serem submetidas a esforços adicionais. Note-se que, ao perfurar uma barragem, a distribuição das tensões na barragem muda.

Relativamente à localização e densidade de armaduras, deve-se ter em conta os pontos específicos de maior fragilidade que exigem a existência de um maior número de armaduras. Como tal, esses pontos específicos devem ser evitados de modo, a não comprometer a segurança estrutural da barragem, ainda que a instalação do dispositivo de caudal ecológico implique o reforço da estrutura nessa zona.

6.2.5. CONDICIONANTES DOS NÍVEIS DE EXPLORAÇÃO DA ALBUFEIRA

a) Nível de Pleno Armazenamento (NPA)

O nível de pleno armazenamento, corresponde à cota máxima de armazenamento normal da água da albufeira. O nível de pleno armazenamento estabelece, como limite máximo, obrigatório a cota de tomada de água do dispositivo de caudal ecológico.

b) Nível Mínimo de Exploração

O nível mínimo de exploração define-se como o valor de cota mínimo admitido para a exploração de um aproveitamento. Abaixo deste existe o nível da descarga de fundo, até onde se pode fazer o esvaziamento da albufeira.

O valor do N_{me} vai ser determinante para a escolha da cota de tomada de água. Numa situação ideal, esta seria imediatamente abaixo deste nível. Assim, ficaria garantida a passagem do caudal ecológico e não ficaria dependente do nível da água na albufeira. No entanto, o NPA e o N_{me} podem encontrar-se muito afastados, podendo esta diferença pôr em causa a qualidade da água para o caso de uma cota de tomada de água do dispositivo abaixo do N_{me} . Esta situação obriga a análise cuidada da água, de modo a perceber se a profundidade pode pôr em causa uma qualidade de água compatível com as necessidades dos ecossistemas a jusante da descarga.

Podem ser adotadas duas soluções diferentes. Numa situação, podem-se adotar duas tomadas de água, de modo a garantir uma passagem de caudal contínua, o que mais uma vez se revela de difícil execução, principalmente em barragens já existentes. Outra solução seria assumir uma percentagem de descarga de caudal ecológico, possibilitando uma cota de tomada de água mais próxima da superfície.

6.2.6. CONDICIONANTES DAS CARACTERÍSTICAS DO APROVEITAMENTO

As características do aproveitamento, se é de albufeira ou a fio-de-água também vão ter influência no dispositivo de caudal ecológico. Existe também a possibilidade de o dispositivo não se encontrar no corpo da barragem. Para essa situação, é importante a análise do aproveitamento em geral. Num cenário em que o circuito hidráulico do aproveitamento seja curto, a instalação do dispositivo numa secção do circuito, próxima do pé da barragem, é tomada em conta.

6.2.7. CONDICIONANTES DOS DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS

Os órgãos de segurança e exploração que equipam uma barragem podem ser aproveitados para inserir um dispositivo de descarga de caudal ecológico.

O descarregador de cheias pois apesar de se situar normalmente a cotas elevadas, onde a qualidade de água é melhor, o controlo da descarga não é suficiente para a gama de caudais ecológicos a descarregar. Contudo, pode ser utilizado para restituição dos caudais ecológicos.

A descarga de fundo pode ser usada para instalar um dispositivo de caudal ecológico. No entanto, a qualidade da água pode estar comprometida. Apesar deste fator, a descarga de fundo é bastante usada em barragens já existentes, através de um sistema de derivação com o diâmetro e os dispositivos de regulação do caudal que melhor se adequam.

Outra solução pode passar por integrar o dispositivo de caudal ecológico nas passagens para peixes. Também neste caso é necessário analisar se as cotas são as mais indicadas, sendo contudo sempre difícil regular os caudais libertados.

6.2.8. CONDICIONANTES DOS FATORES AMBIENTAIS E QUALIDADE DA ÁGUA

a) Qualidade da Água Superficial

A classificação da qualidade da água na albufeira é relevante para a definição da cota de tomada de água do dispositivo de caudal ecológico. Para tal, é feita uma avaliação considerando cinco classes do estado de água.

Analisam-se aspetos como a temperatura da água, o teor de oxigénio dissolvido ou o seu grau de poluição, de modo a garantir a sobrevivência dos ecossistemas a jusante, com a utilização de água com

caraterísticas adequadas. As cinco classes consideradas para a classificação são (<http://snirh.apambiente.pt/>):

- A - Excelente. Águas com qualidade equivalente às naturais, aptas a satisfazer potencialmente as utilizações mais exigentes em termos de qualidade;
- B - Boa. Águas com qualidade ligeiramente inferior à classe A, mas podendo também satisfazer potencialmente todas as utilizações;
- C - Razoável. Águas com qualidade aceitável, suficiente para irrigação, para usos industriais e produção de água potável após tratamento rigoroso. Permite a existência de vida piscícola (espécies menos exigentes) mas com reprodução aleatória; apta para recreio sem contacto direto;
- D - Má. Águas com qualidade mediocre, apenas potencialmente aptas para irrigação, arrefecimento e navegação. A vida piscícola pode subsistir, mas de forma aleatória;
- E - Muito má. Águas extremamente poluídas e inadequadas para a maioria dos usos.

b) Cota de Tomada de Água

Como já foi abordado anteriormente, a cota de tomada de água está dependente da qualidade da água da albufeira.

6.3. PROPOSTAS DE DISPOSITIVOS A INSTALAR NOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS

Com base na análise dos aproveitamentos que constam dos quadros 2.4, 2.5, e 2.6 procedeu-se à identificação dos que não cumprem a legislação, necessitando, portanto, da instalação de dispositivo de caudal ecológico. Tal como anteriormente, dividiram-se em três grupos principais, Cávado-Lima, Douro e Tejo-Mondego, efetuando-se a apresentação por bacias hidrográficas.

6.3.1. BACIA DO CÁVADO

A bacia do rio Cávado tem oito barragens integradas no seu sistema hidroelétrico: Alto Rabagão, Alto Cávado, Paradela, Venda Nova, Salamonde, Caniçada, Vilarinho das Furnas e Penide.

Segundo Vasquez (1990), em Ferreira (2010), a construção das barragens referidas tinha como principal objetivo a produção de energia hidroelétrica, podendo ser considerados alguns objetivos secundários como o controle e laminação de cheias, a regularização do regime do rio, o desenvolvimento turístico e também o abastecimento de água às populações.

As figuras 6.1 e 6.2, permitem verificar que os aproveitamentos de Venda Nova, Paradela e Alto Cávado requerem a instalação de dispositivo de caudal ecológico.

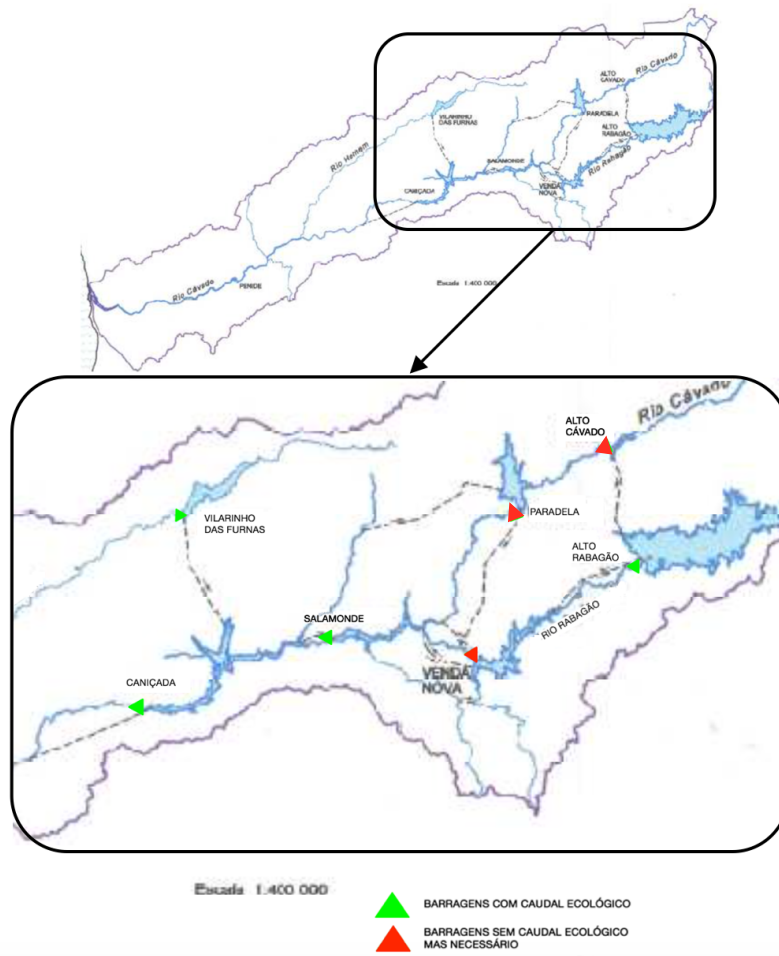


Fig. 6.1 – Bacia hidrográfica do rio Cávado.

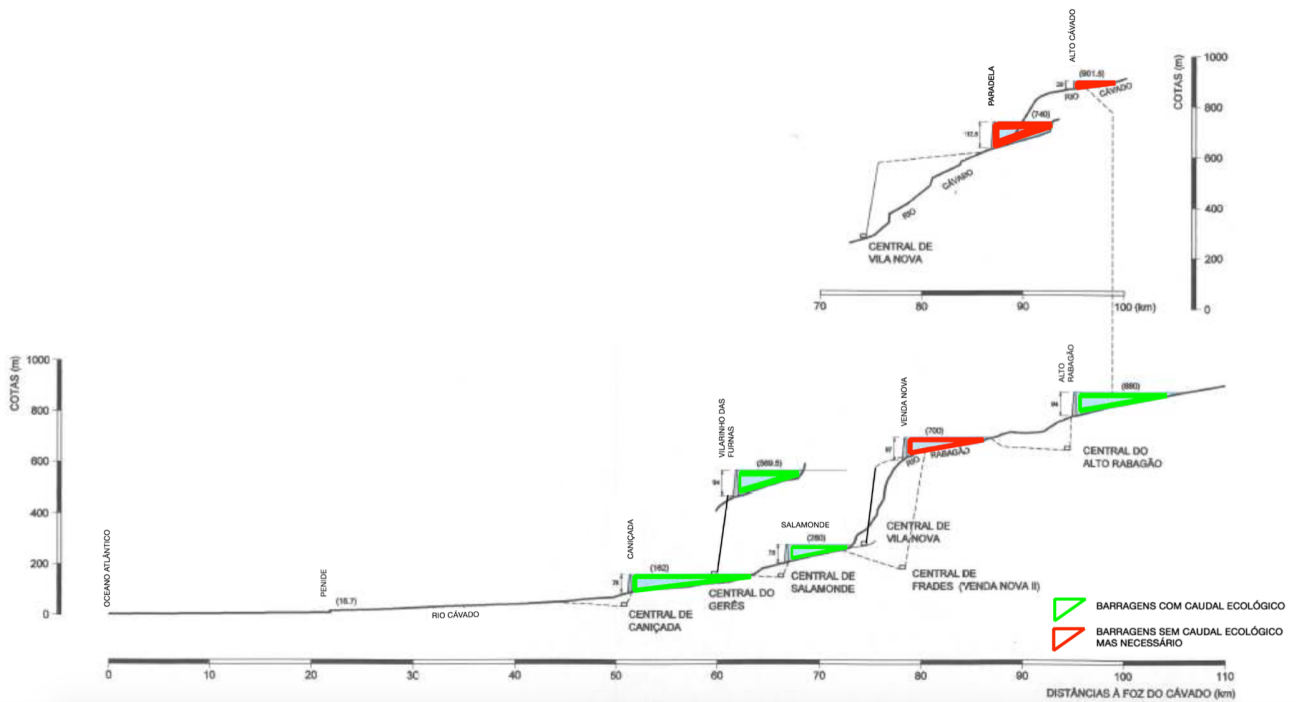


Fig. 6.2 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Cávado.

A barragem do Alto Cávado está integrada no aproveitamento do Alto Rabagão tendo como objetivo a derivação de caudal para a respetiva albufeira. Devido a problemas de eutrofização da albufeira, a qualidade da água não permite o seu lançamento para jusante. Contudo, esta situação não é problemática porque imediatamente a jusante da barragem existe um fluente que torna possível a continuidade hidráulica.

6.3.1.1. Paradela

A barragem de Paradela localiza-se na freguesia de Paradela, concelho de Montalegre, distrito de Vila Real. Esta barragem, com 112 metros de altura, cria uma albufeira com 158,8 hm³ de capacidade útil e a sua zona de influência abrange apenas o concelho de Montalegre.



Fig. 6.3 – Barragem de Paradela. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

O aproveitamento hidroelétrico de Vila Nova/Paradela, com exploração iniciada em 1956, tem como principal infraestrutura hidráulica a barragem de Paradela, situada no rio Cávado, a montante da afluência com o rio Rabagão e a jusante da pequena barragem do Alto Cávado.

O aproveitamento é ainda dotado de obras complementares, constituídas por sete pequenos açudes, que desviam, para a albufeira principal, as águas de alguns ribeiros afluentes da margem direita do Cávado, situados a jusante da barragem.

O circuito hidráulico desenvolve-se ao longo da margem direita do rio Cávado, terminando também na central de Vila Nova.

Trata-se de uma barragem de enrocamento a granel, com cortina de montante de betão recoberta com tela impermeável, sobrejacente a uma camada de enrocamento arrumado, constituindo o paramento montante. Está equipada com um descarregador em poço, um descarregador frontal e uma descarga de fundo.

De acordo com o quadro 6.1 é contabilizado como caudal ecológico o valor correspondente às infiltrações através do corpo da barragem. Contudo, não permite satisfazer o valor estabelecido na concessão, pelo que se propõe seguidamente uma solução, tendo em conta as condicionantes existentes.

Quadro 6.1 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Paradela, nos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Paradela (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	2,50	2,07	1,65	1,47	1,06	0,58	0,31	0,21	0,50	0,40	0,67	1,47
2011	0,82	0,77	0,58	0,74	0,68	0,71	0,70	0,64	0,66	0,62	0,68	0,70
2012	0,66	0,66	0,66	0,66	0,80	0,85	0,87	0,79	0,66	0,63	0,62	0,78
2013	1,05	1,13	1,17	1,08	1,04	0,98	0,95	0,90	0,87	0,93	0,93	0,88

Os caudais descarregados pelo descarregador em poço são restituídos ao rio Cávado a cerca de 120 m a jusante da barragem. Os caudais descarregados pelo descarregador frontal são restituídos a jusante da barragem.

Os caudais turbinados no aproveitamento de Vila Nova/Paradela são restituídos no mesmo local que os turbinados no aproveitamento de Vila Nova/Vendo Nova, ou seja, junto à central de Vila Nova.

Através da figura 6.4, é possível observar que o aproveitamento hidroelétrico a que a barragem de Paradela pertence, apresenta um circuito hidráulico longo, inviabilizando a instalação do dispositivo de descarga de caudal ecológico no troço do circuito.

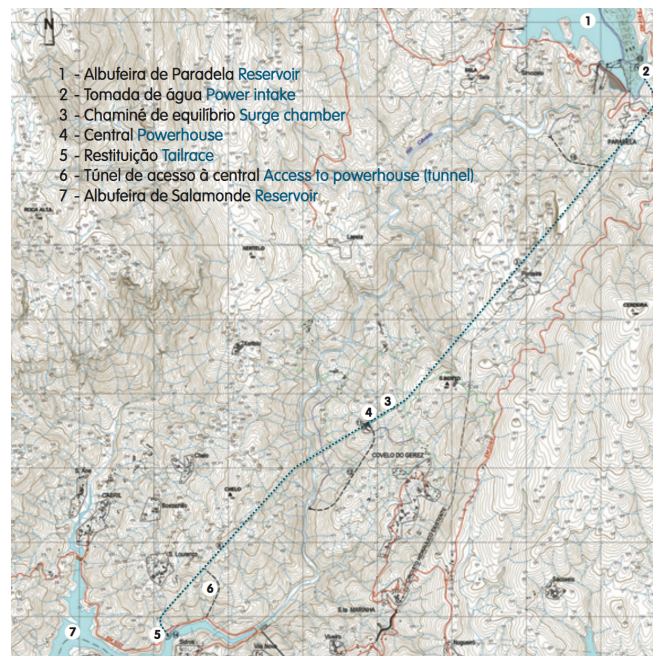


Fig. 6.4 – Planta geral do circuito hidráulico de Paradela. (http://www.a-nossa-energia.edp.pt/arquivo_conteudos/resources/brochures/brochura_novos_projetos.pdf)

Como a utilização da descarga de fundo se encontra dependente da qualidade da água da albufeira, recorreu-se à informação apresentada na figura 6.5.

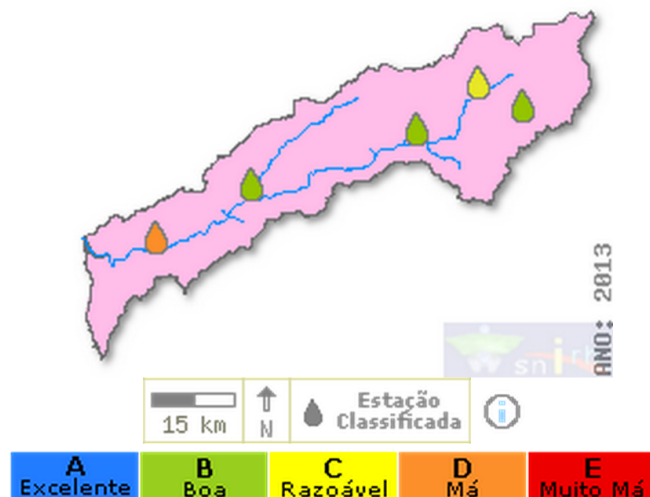


Fig. 6.5 – Qualidade da água superficial na bacia hidrográfica do Cávado, para o ano de 2013. (<http://snirh.apambiente.pt/>).

Uma vez que a água é de razoável qualidade, considera-se adequado propôr a solução de libertação de caudal ecológico através de uma picagem na descarga de fundo, com instalação de conduta e válvulas adequadas, desde que a análise da água da albufeira em profundidade conduza a valores aceitáveis. Caso tal não se verifique poderá recorrer-se a um dispositivo de captação superficial, com recurso a jangada.

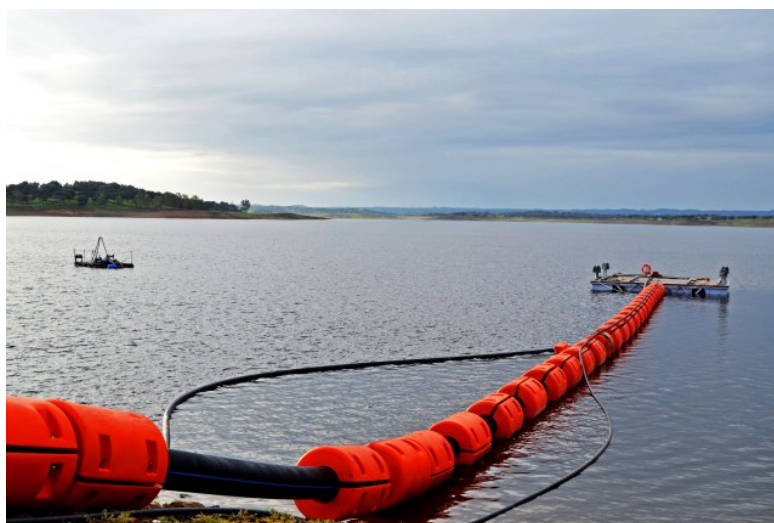


Fig. 6.6 – Exemplo de um sistema em jangada. (www.agda.pt/).

6.3.1.2. Venda Nova

Venda Nova foi o primeiro grande empreendimento construído na bacia hidrográfica do rio Cávado (pertencente ao sistema de aproveitamentos hidroelétricos Cávado - Rabagão - Homem), sendo atualmente constituído por dois aproveitamentos designados por Vila Nova/Venda Nova, cuja a exploração se iniciou em 1951, e Venda Nova II/Frades, que entrou em exploração no ano de 2005.

O aproveitamento tem ainda a obra complementar de Cabreira, dotada de um pequeno açude no rio Cabreira, afluente da margem esquerda do rio Rabagão, que desvia caudal deste rio para um afluente da albufeira de Venda Nova, o rio Borrvalho.

A barragem de Venda Nova (figura 6.7) cria uma albufeira com 92,1 hm³ de capacidade útil com uma zona de influência que abrange os concelhos de Montalegre e de Vieira do Minho.



Fig. 6.7 – Barragem de Venda Nova. (cnpqgb.apambiente.pt).

Relativamente ao aproveitamento de Vila Nova/Venda Nova, é de albufeira. Tem com principal infraestrutura hidráulica a barragem de Venda Nova, situada no rio Rabagão, um afluente da margem esquerda do rio Cávado. As figuras 6.1 e 6.2 ilustram a localização deste aproveitamento, situado a jusante da barragem do Alto Rabagão.

Trata-se de uma barragem do tipo arco gravidade com 97 metros de altura e 230 metros de desenvolvimento do coroamento. Esta barragem está equipada com um descarregador de cheias sob o coroamento, sendo os caudais descarregados restituídos imediatamente a jusante. Também tem uma descarga de fundo, destinado a um eventual esvaziamento da albufeira.

A albufeira de Venda Nova pode variar entre o NPA à cota (700) e o Nme à cota (645).

Tal como em Paradela, o circuito hidráulico do aproveitamento hidroelétrico é longo (figura 6.8), ou seja, não termina no pé da barragem de Venda Nova. Por isso, é descartada a opção de instalar o dispositivo de caudal ecológico nesse circuito.

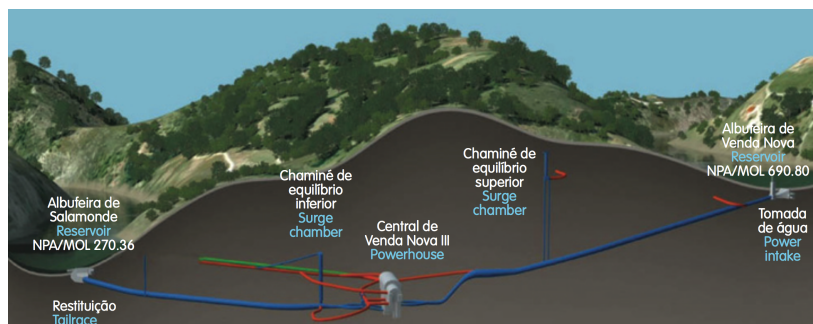


Fig. 6.8 – Circuito hidráulico de Venda Nova. (http://www.a-nossa-energia.edp.pt/arquivo_conteudos/resources/brochures/brochura_novos_projetos.pdf)

Quando se coloca a hipótese da utilização da descarga de fundo, é essencial, mais uma vez, analisar a qualidade da água. De acordo com a figura 6.5, a qualidade da água é boa, pelo que se propõe também como solução para o dispositivo de caudal ecológico uma picagem na descarga de fundo, (figura 6.9). Uma vez que esta não é tão invasiva como outras soluções que implicariam a perfuração do corpo da barragem, nem como a opção de jangada ou sifão que são de carácter provisório.

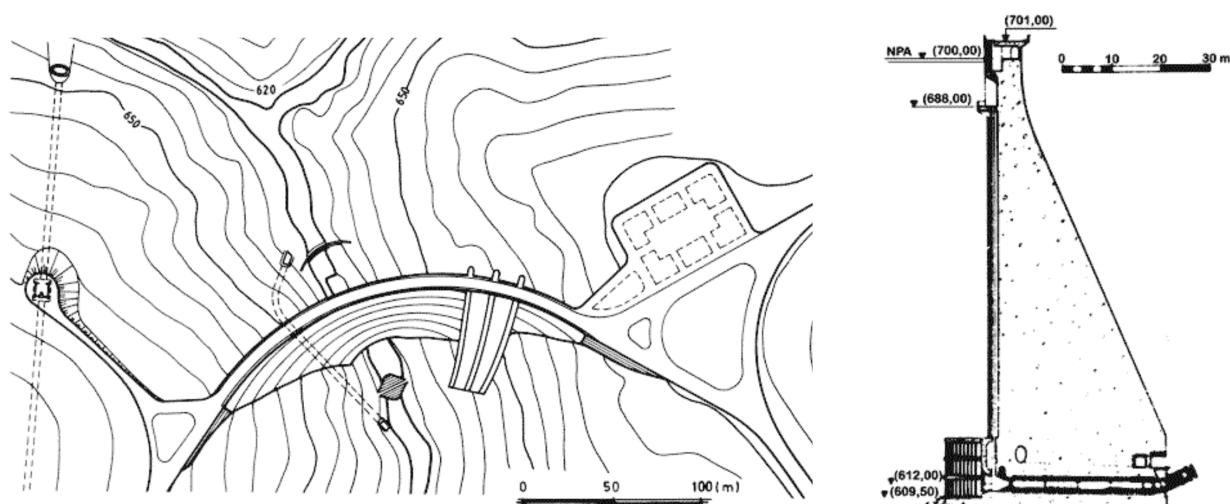


Fig. 6.9 – Planta e corte da barragem de Venda Nova. (cnpqg.apambiente.pt).

6.3.2. BACIA DO DOURO

A bacia nacional do rio Douro tem doze barragens integradas no seu sistema hidroelétrico: Crestuma-Lever, Torrão, Carrapateiro, Varosa, Régua, Vilar-Tabuaço, Foz Tua, Valeira, Pocinho, Bemposta, Picote e Miranda.

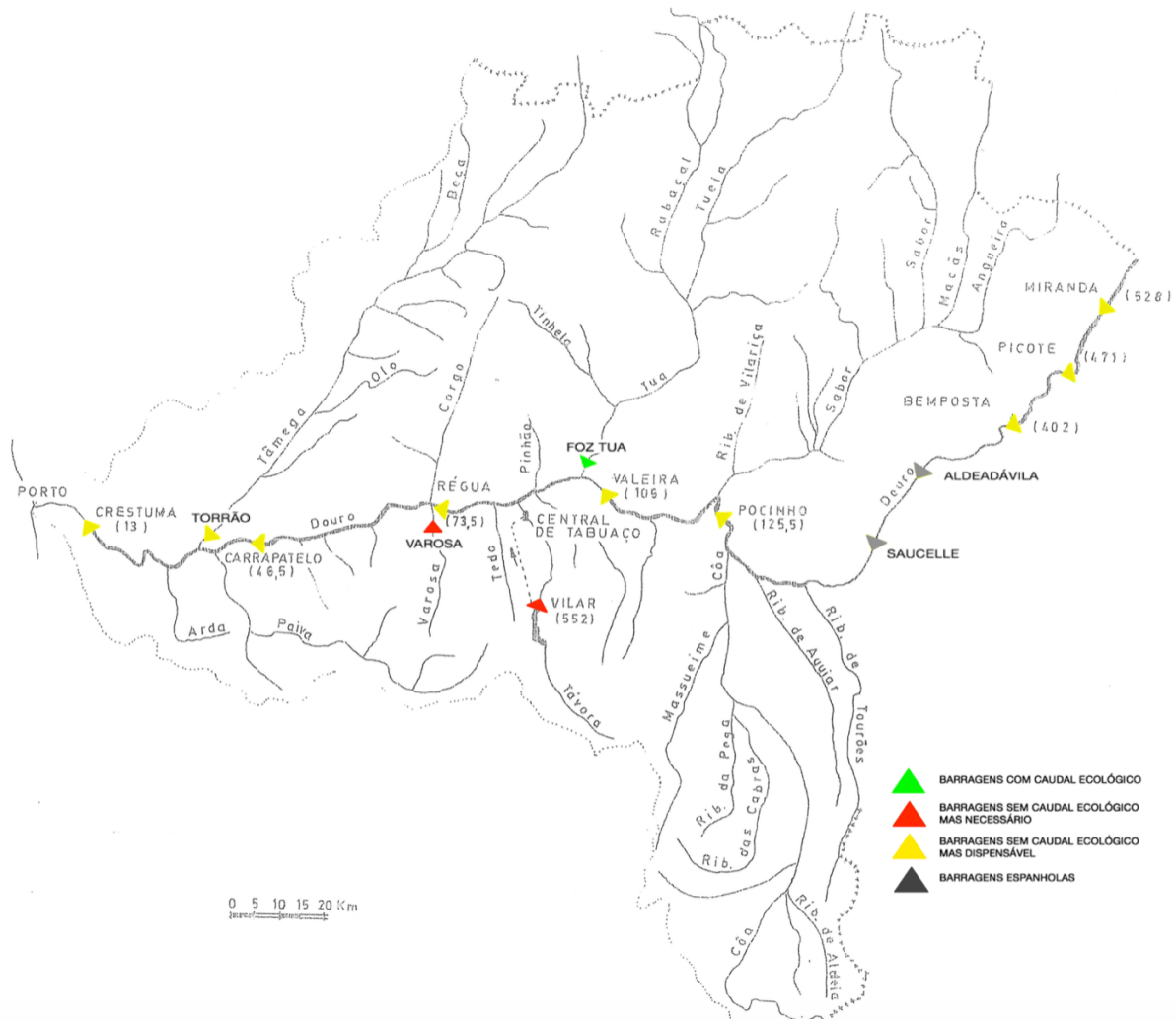


Fig. 6.10 – Bacia hidrográfica do rio Douro.

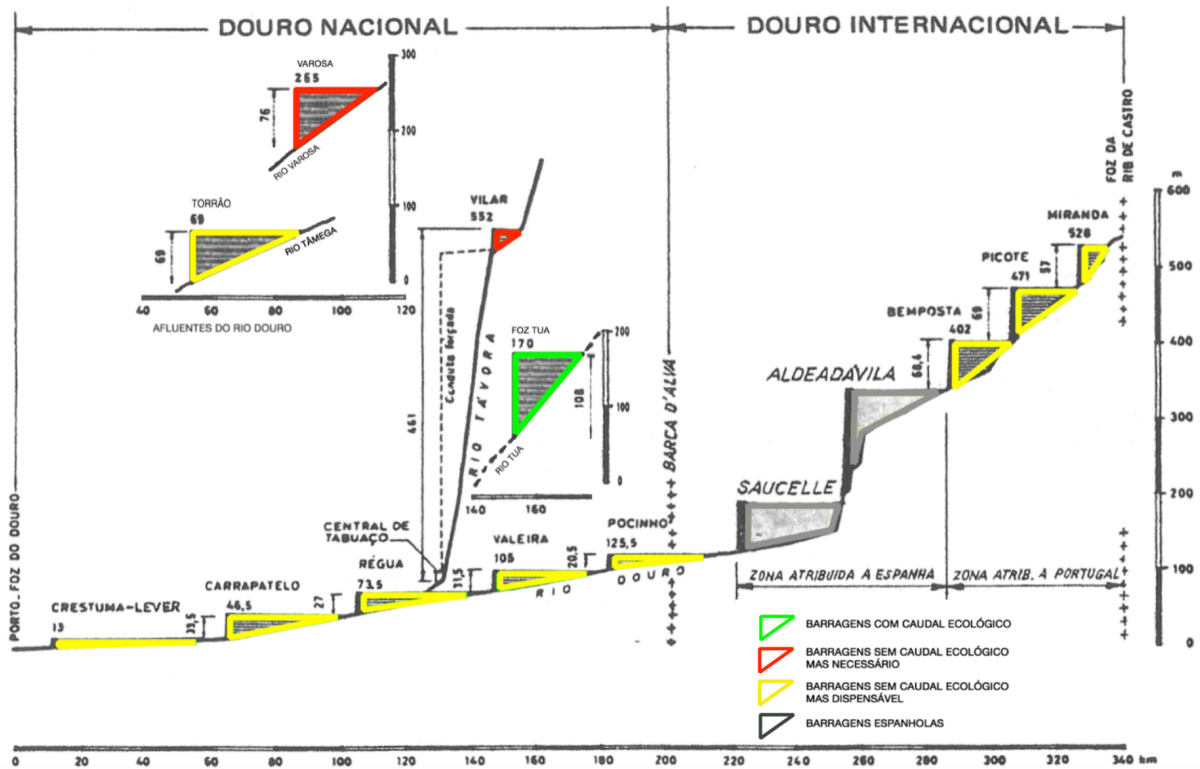


Fig. 6.11 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos pertencentes à bacia do rio Douro.

Relativamente a dispositivos de caudal ecológico, na bacia do rio Douro, de acordo com as figuras 6.10 e 6.11, estes serão apenas necessários no caso das barragens de Varosa e Vilar. Ao longo do curso principal, nunca se verificam troços secos e, no curso do Tua, a barragem de Foz Tua está equipada com dispositivo de caudal ecológico.

6.3.2.1. Vilar

Este aproveitamento hidroelétrico é um aproveitamento de albufeira, que se localiza no rio Távora, um afluente da margem esquerda do rio Douro.

A barragem é do tipo enrocamento a granel, sendo o paramento de montante constituído por uma cortina estanque de betão armado, assente numa camada de enrocamento arrumado. Tem uma altura de 55 m, cria uma albufeira com 95,5 hm³ de capacidade útil e abrange os concelhos de Moimenta da Beira e de Sernancelhe.

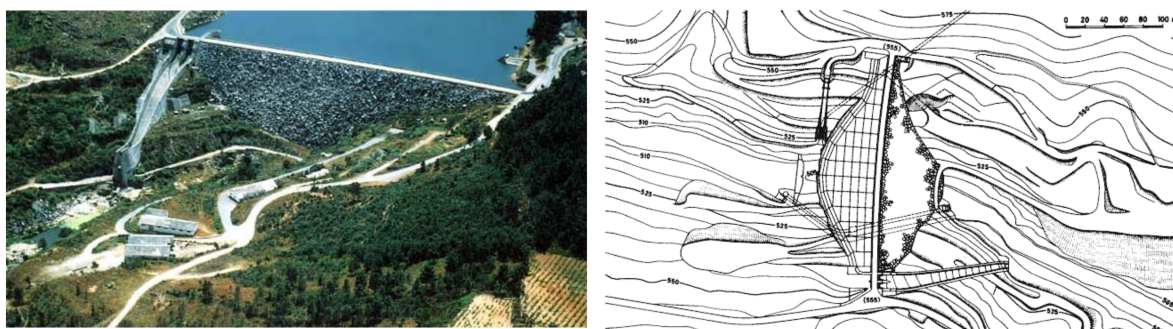


Fig. 6.12 – Barragem de Vilar. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

O aproveitamento é constituído por:

- uma barragem, dotada de um descarregador de superfície e uma descarga de fundo;
- um circuito hidráulico, compreendendo uma galeria em carga e uma conduta forçada com um comprimento total de cerca de 15,6 km;
- uma chaminé de equilíbrio;
- uma central subterrânea com dois grupos geradores;
- um edifício de comando e uma subestação.

Os caudais turbinados pela central são restituídos ao rio Távora, a cerca de 2 km a jusante da central e os caudais descarregados imediatamente a jusante da barragem. Atualmente, o caudal ecológico corresponde apenas às infiltrações através da barragem.

Quadro 6.2 – Registo de caudais ecológicos na barragem de Vilar dos anos 2011, 2012 e 2013. (EDP, 2013).

Caudal Ecológico Vilar (m ³ /s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Valor estabelecido na Concessão	4,13	2,59	1,04	0,92	0,66	0,15	0,06	0,02	0,02	0,57	0,40	1,54
2011	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2012	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
2013	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Uma vez que o circuito hidráulico do aproveitamento é longo, os caudais turbinados são restituídos ao rio Távora, a cerca de 2 km a jusante da central. Portanto, não existe possibilidade de instalar o dispositivo de caudal ecológico no referido circuito.

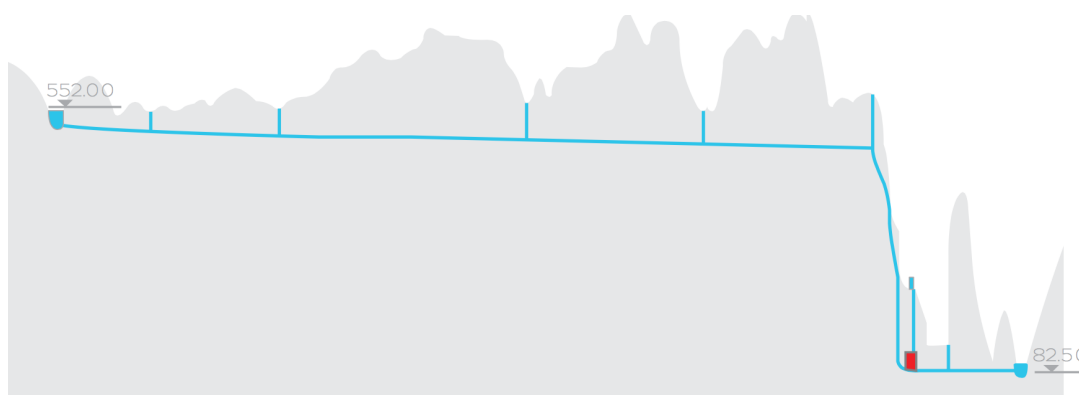


Fig. 6.13 – Circuito hidráulico de Vilar. EDP Produção, SA. (2013a).

Relativamente à qualidade da água, de acordo com a figura 6.14, em Vilar, é razoável, pelo que se propõe também a instalação do dispositivo de caudal ecológico na descarga de fundo. No entanto, deverá previamente ser testada a qualidade da água em profundidade, à cota da descarga de fundo.

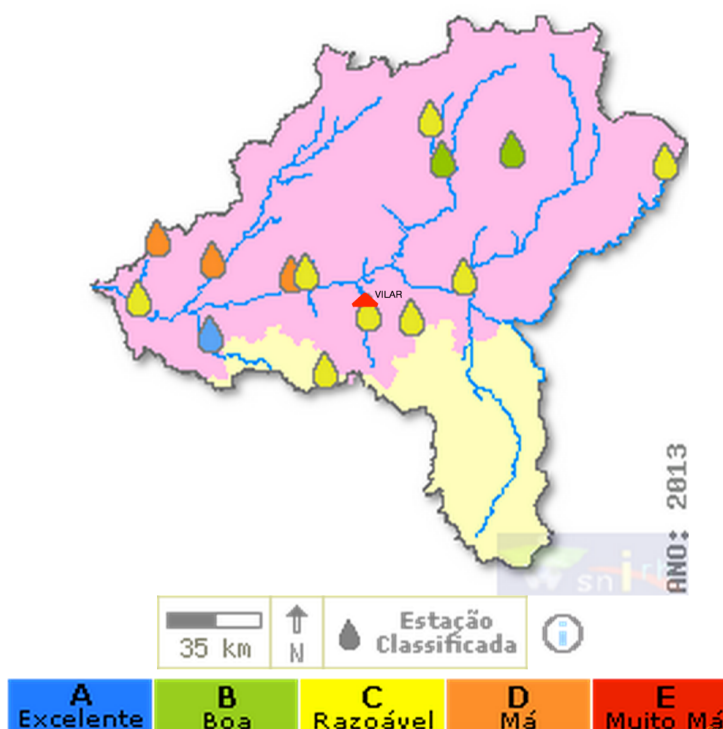


Fig. 6.14 – Qualidade da água superficial na bacia do Douro, para o ano de 2013. (<http://snirh.apambiente.pt/>).

Uma alternativa para o dispositivo de caudal ecológico, caso a qualidade de água em profundidade não seja aceitável, pode passar pela captação superficial, através de jangada.

6.3.2.2. Varosa

Na zona da barragem de Varosa, a qualidade da água tem classificação razoável a má, excluindo-se, portanto, hipótese da picagem na descarga de fundo e com circuito hidráulico longo. Neste caso, de maneira a captar a água o mais à superfície possível, pode-se optar por um sistema em jangada. Poder-se-ia optar por outras soluções com carácter mais definitivo, mas obrigariam à perfuração do corpo da barragem, uma tarefa bastante mais complicada e que implicaria a paragem do turbinamento durante a duração das obras.



Fig. 6.15 – Barragem de Varosa. (cnpqb.apambiente.pt).

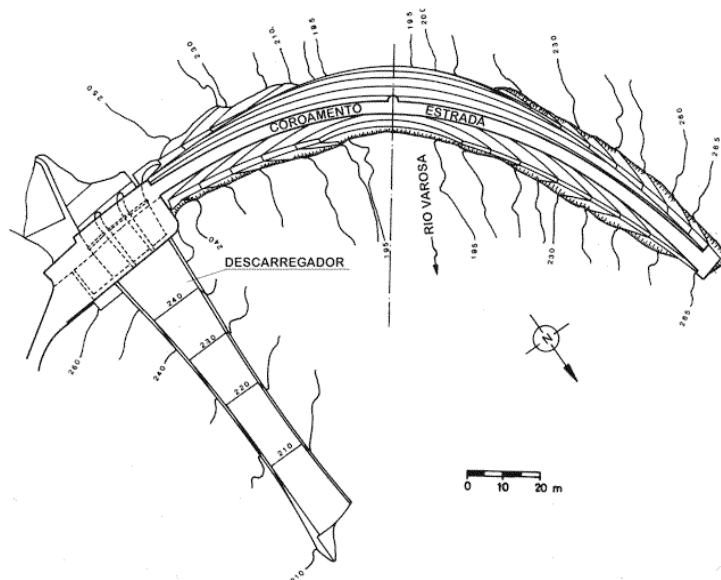


Fig. 6.16 – Barragem de Varosa. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

6.3.3. BACIA DO TEJO-MONDEGO

As bacias do Tejo e Mondego têm, em conjunto, quinze barragens, das quais sete pertencem à bacia do Mondego e as restantes oito à bacia do Tejo. Das sete barragens integradas no sistema hidroelétrico do Mondego apenas foram analisadas as de Aguieira e Raiva uma vez que não se obteve informação adequada relativamente às restantes.

As oito barragens pertencentes à bacia do Tejo são: Cabril, Bouçã, Castelo de Bode, Pracana, Fratel, Belver, Alqueva. Nas figuras, 5.27, 5.28 e 6.17 a 6.19, essas barragens estão todas representadas em planta e em cascata, onde é possível perceber que Castelo de Bode e Pracana deverão ser equipadas com dispositivos de caudal ecológico.

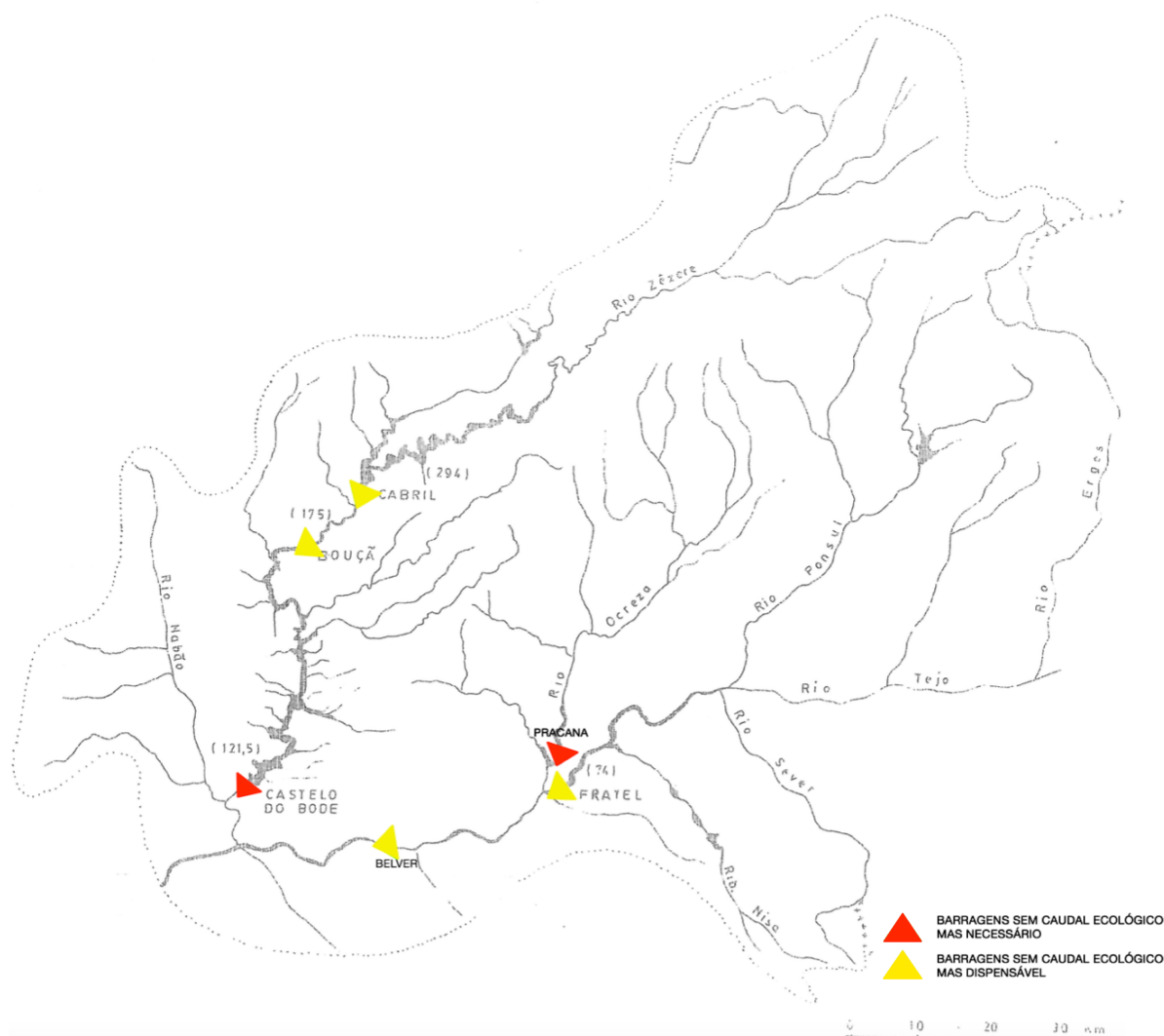


Fig. 6.17 – Planta da bacia hidrográfica do rio Tejo. Castelo do Bode, Bouçã, Cabril, Pracana e Belver.

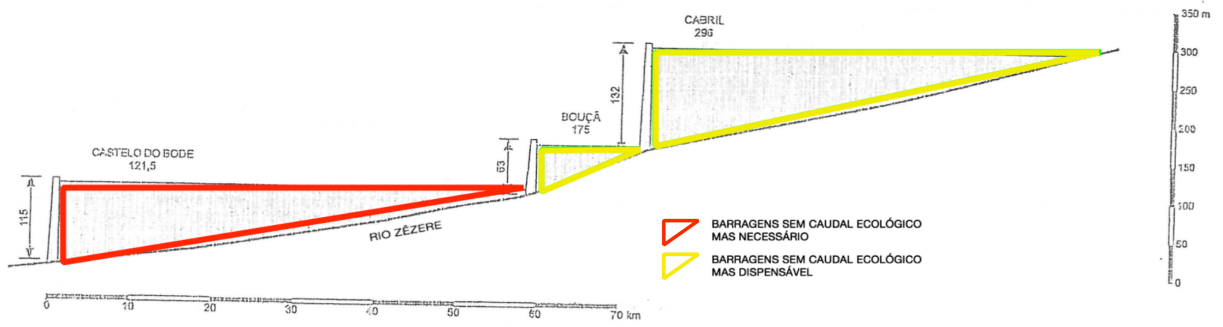


Fig. 6.18 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos do rio Zêzere. Castelo do Bode, Bouçã e Cabril.

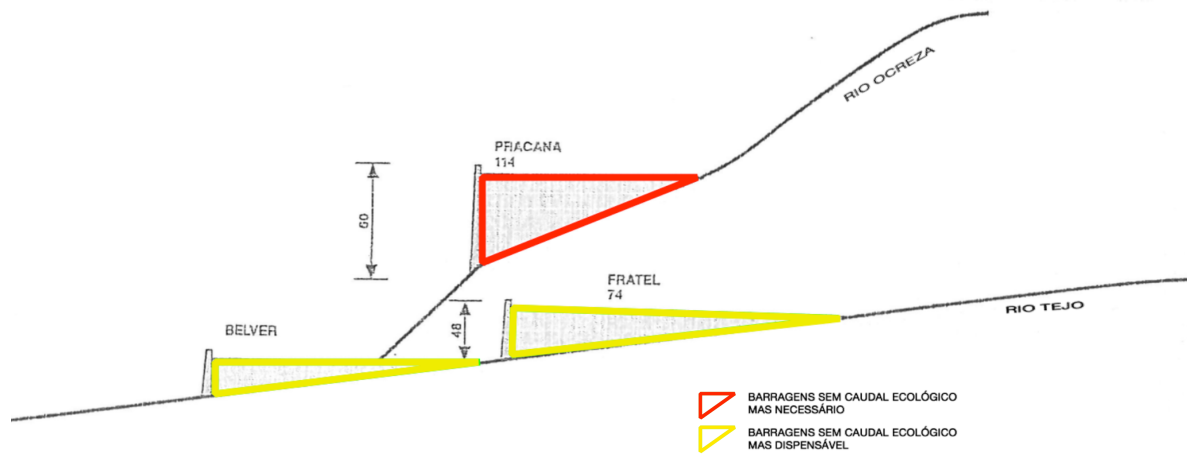


Fig. 6.19 – Perfil esquemático dos aproveitamentos hidroelétricos dos rios Tejo e Ocreza. Belver, Fratel e Pracana.

6.3.3.1. Castelo de Bode

Este aproveitamento hidroelétrico de Castelo de Bode iniciou a sua exploração em 1951. Pertence ao rio Zêzere, um afluente do Tejo.

Relativamente à barragem, apresenta 115 metros de altura e um desenvolvimento de coroamento de 402 metros, ligando as duas margens.

O aproveitamento é constituído por uma barragem de betão de albufeira, do tipo arco gravidade, com descarregador de cheias, por um circuito hidráulico curto, com condutas independentes, uma central tipo pé de barragem, que se situa imediatamente a jusante.

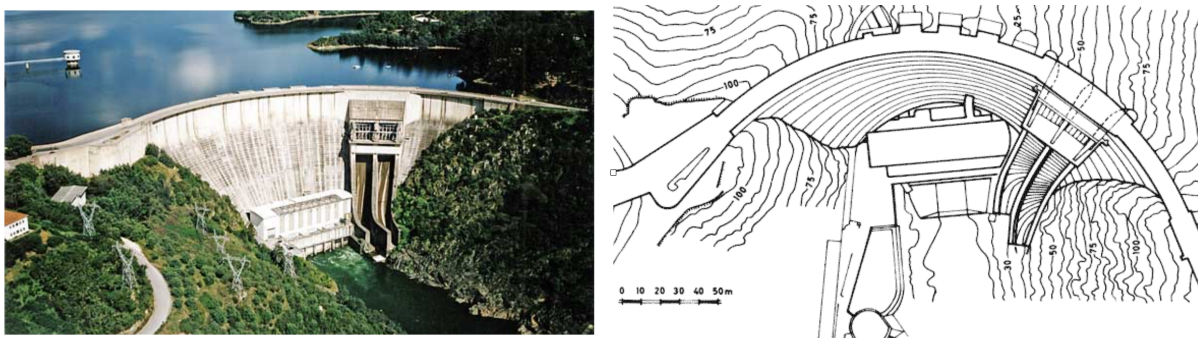


Fig. 6.20 – Barragem de Castelo de Bode. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

Castelo de Bode, tal como muitos aproveitamentos hidroelétricos da bacia do Tejo, tem a central hidroelétrica no pé da barragem. Assim os caudais turbinados são restituídos imediatamente a jusante da barragem, figura 6.21.

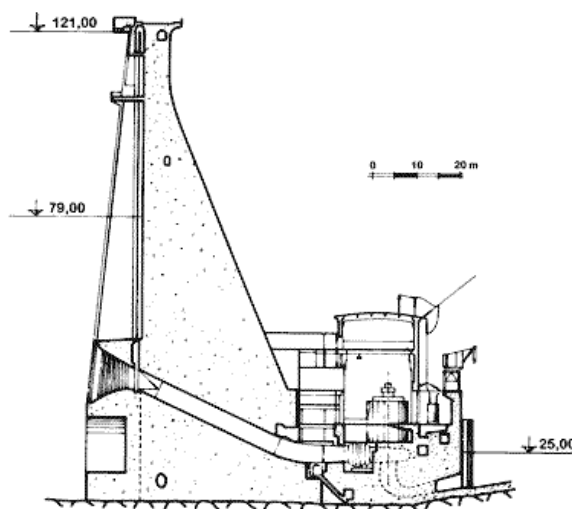


Fig. 6.21 – Circuito hidráulico de Castelo de Bode. (cnpqb.apambiente.pt).

Tendo em conta as características do aproveitamento, propõe-se como solução para descarga do caudal ecológico uma picagem no circuito hidráulico dos grupos, com instalação de conduta e válvulas adequadas. A qualidade da água neste caso não se considera muito relevante dado que os caudais de turbinamento, frequentemente lançados e com valor elevado, têm a mesma origem.

6.3.3.2. Pracana

O aproveitamento hidroelétrico de Pracana iniciou a sua exploração em 1951 e em 1993 foi objeto de intervenção. Localiza-se no rio Ocreza, um afluente da margem direita do rio Tejo.

A albufeira criada pela barragem tem uma capacidade útil de 69,3 hm³, com 547 ha de área inundada, a uma cota de 114 no Nível Pleno de Armazenamento, estendendo-se aos concelhos de Mação, Proença-a-Nova e Vila Velha de Ródão.

Relativamente à barragem, esta apresenta 60 metros de altura e 245,5 metros de desenvolvimento do coroamento, localizada na freguesia de Envendos, concelho de Mação, distrito de Santarém.

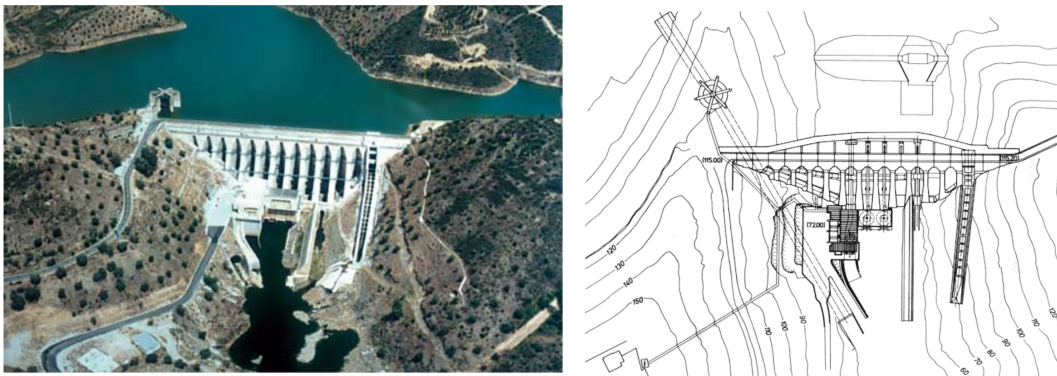


Fig. 6.22 – Barragem de Pracana. Planta. (cnpqb.apambiente.pt).

O aproveitamento é constituído por uma barragem de betão, tipo contrafortes, com 2 descarregadores de cheias, um em poço e outro frontal e por uma central tipo pé de barragem.

O caso do aproveitamento de Pracana é semelhante ao de Castelo de Bode, com um circuito hidráulico curto, e com a restituição dos caudais turbinados no pé da barragem.

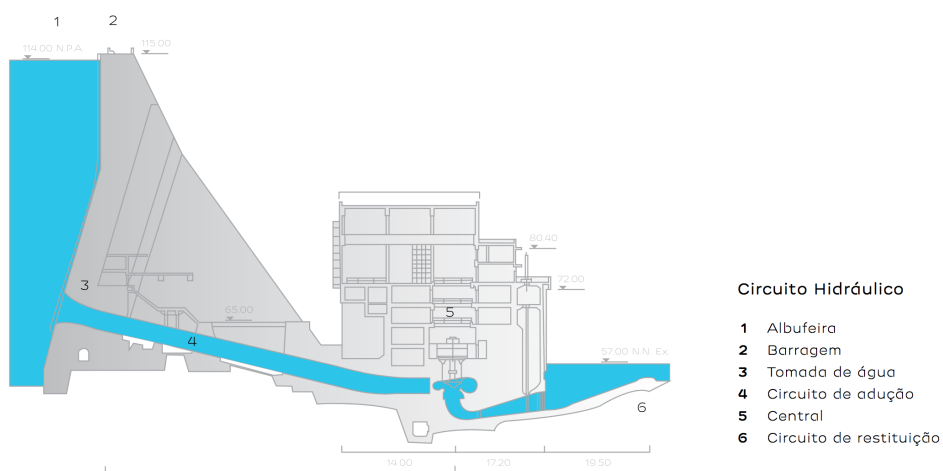


Fig. 6.23 – Circuito hidráulico de Pracana. EDP Produção, SA. (2013a).

Face às características do aproveitamento, propõe-se para o dispositivo de caudal ecológico uma solução idêntica à de Castelo de Bode.

7

CONCLUSÕES

Este capítulo tem a finalidade de apresentar um sumário das principais conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento do trabalho realizado na presente dissertação.

A crescente preocupação com os impactes da instalação de uma barragem tem impulsionado o desenvolvimento de uma série de soluções que visam ultrapassar este problema. A hidroeletricidade deve ser vista com consciência ambiental, ou seja, para além de ser economicamente viável, não pode descurar os impactes negativos associados sendo necessário desenvolver estratégias para os mitigar.

De seguida, é apresentada a listagem das principais conclusões:

- Os grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses apresentam mais valias que vão para além da sua finalidade principal de produção de energia elétrica, sendo de referir, nomeadamente:
 - a reserva estratégica de água, permitindo garantir o abastecimento para o consumo humano e agrícola;
 - a regularização de caudais e controlo de cheias;
 - a navegação;
 - a redução da dependência dos combustíveis fósseis importados e das emissões de CO₂.

- Relativamente à legislação portuguesa, no que diz respeito ao tema de caudais ecológicos, não existe atualmente a obrigação de aplicar um método específico de determinação de caudal ecológico. A legislação portuguesa não é objetiva, sendo por vezes incoerente e não fomenta incentivos. A legislação em vigor também não apresenta normas de fiscalização e controlo.
Em relação à legislação estrangeira, existem países em que é recomendada a aplicação de métodos específicos, como a Suíça, mas também casos como a Alemanha e a Irlanda em que recorrem a percentagens do caudal médio. A Espanha não possui legislação específica. No entanto, existem regiões administrativas com critérios próprios.

- Os impactes mais frequentemente associados a aproveitamentos hidroelétricos compreendem:
 - a diminuição da variação sazonal do caudal;
 - a eventual alteração do regime de ocorrência dos caudais extremos, reduzindo a magnitude das cheias e impondo descargas não naturais;
 - o prolongamento do período de estiagem;

- o agravamento da qualidade da água.
- A determinação de caudais ecológicos envolve a utilização de uma variedade de áreas técnico-científicas e o seu cálculo é de elevada complexidade, podendo obter-se soluções distintas com métodos diferentes.
- Na determinação de caudais ecológicos deve-se otimizar a solução de forma a minimizar a perda de produtividade. O processo não termina com a adoção de uma solução. Deve ser implementado um programa de monitorização para poder proceder aos devidos ajustes, sempre que necessário.
- Existem em Portugal mais de três dezenas de grandes aproveitamentos hidroelétricos. Neste trabalho foram analisadas 31 barragens que estão associadas a grandes aproveitamentos, (das quais cerca de 80% foram construídas antes da Lei de Bases do Ambiente), tendo-se concluído que:
 - 9 barragens estão equipadas com dispositivo de descarga de caudal ecológico (incluindo Foz Tua e Caniçada, cujos dispositivos estão em construção);
 - 16 não têm necessidade de dispositivo de caudal ecológico, uma vez que existe continuidade hidráulica nos cursos de água, não apresentando troços secos;
 - 6 barragens não dispõem, mas têm necessidade de libertação de caudal ecológico, uma vez que a jusante das mesmas existem troços completamente secos.
- A escolha do dispositivo de caudal ecológico é determinada por vários fatores, nomeadamente, as características do aproveitamento (aspetos estruturais e níveis de exploração) e a qualidade da água da albufeira.
- Na presente tese, com base na informação disponível, as propostas apresentadas para os dispositivos de descarga de caudal ecológico a instalar nos 6 aproveitamentos em exploração anteriormente referidos, compreendem três tipos de soluções: conduta de derivação (equipada com válvula de isolamento e de regulação de caudal) ligada ao circuito hidráulico da descarga de fundo ou dum grupo gerador ou, quando tal não se afigura viável, dispositivo de captação superficial, através de jangada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azedo, C. (1970). Centrais eléctricas do Bill e do Tarragido. In *Vila Real de Trás-os-Montes*, Tipografia do Carvalhido, Porto.
- Alves, M. H., Bernardo, J. B. (1998). *Novas Perspectivas para a Determinação do Caudal Ecológico em Regiões Semi-Áridas*. Seminário sobre barragens e ambiente, Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, 7 a 9 de Maio de 1998, Porto.
- Alves, M. H., Bernardo, J. B. (2002). *Caudais Ecológicos em Portugal*. INAG, Lisboa.
- Alves, M. H. (2001). Caudais ambientais. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Bochechas, J., Ferreira, M. T., Pinheiro, A. N. (1998). *Gestão Ecohidráulica em Portugal: Diagnóstico e Principais Linhas de Actuação*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.
- Decreto-Lei nº 45/94 de 22 de Fevereiro. Diário da República - série I.
- Decreto-Lei nº 46/94 de 22 de Fevereiro. <http://www.iapmei.pt/iapmei-leg-03.php?lei=2270>. Acedido dia 10 de março de 2015.
- Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio. Diário da República - I série-A nº 102 - 3 de maio de 2000.
- Decreto-Lei nº 112/2002 de 17 de Abril. Diário da República - I série-A nº 90- 17 de abril de 2002.
- Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio. Diário da República I série- nº 105-31 de maio de 2007
- Decreto Regulamentar nº 2/88 de 20 de Janeiro. Diário da República - I série-nº 16.
- Diretiva 2000/60/CE de 23 de Outubro de 2000. Jornal Oficial das Comunidades Europeias 22.12.2000.
- David, L., Oliveira, P. *Aproveitamentos Hidroeléctricos e Fins Múltiplos*. <https://woc.uc.pt/deec/getFile.do?tipo=2&id=11117>. Acedido em 29 de Março de 2015.
- EDP Produção, SA. (2013a). *Declaração Ambiental 2012 – Aproveitamentos Hidroeléctricos da Direção de Produção Hidráulica: Centro de Produção Cávado-Lima, Douro e Tejo-Mondego*.
- EDP Produção, SA. (2013b). *Relatório Técnico 2012*.
- Fernandes, I., Oliveira, M. S., Oliveira, M., Silva, J. D. (2013). *Hydraulic-operational safety assessment of EDP dams in Portugal. Current status*. 8th International Conference of ERWA, 26 a 29 de Junho de 2013, Porto.
- Ferreira, A. (2010). *Análise Hidráulica de Potenciais Soluções para a Descarga Controlada de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidroeléctricos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Ferreira, A., Fernandes, I. R., Silva, J. D., Maia, R. J. (2012). *Dispositivos de Caudal Ecológico nas Barragens da EDP*. 11º Congresso da Água, 6 a 8 de Fevereiro de 2012, Porto.
- Fonseca, J. (2014). *Modelação de Escoamento no Âmbito da Determinação do RCE (Regime de Caudais Ecológicos) Aplicação do Programa River 2D*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Godinho, F. N., Costa, S. C., Pinheiro, P. J. (2014). *Metodologia Integrada para a Determinação de Regimes de Caudais Ecológicos em Rios Ibéricos*. 12º Congresso da Água, 5 a 8 de Março de 2014, Lisboa.

Jowett, I. J. (1997). *Instream flow methods: a comparison of approaches. Regulated Rivers: Research and Management*. Volume 13: 115-127

Lei nº 11/87 (1987). *Lei de Bases do Ambiente*. Diário da República - I série-nº 81.

Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro. *Lei da Água*. Diário da República - I série-A nº 249-29 de dezembro de 2005.

Leonardi, A. (2001). A conservação da energia. In *Enciclopédia Pedagógica Universal, Força e Energia*, Volume 2, ASA Editores II, S.A. - Portugal.

Garcia, J., Alves, M. F., Mendes, M. P., Andrade, S. (1982). *Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira*, actualização, Volume II, Editorial Enciclopédia, Limitada, Lisboa - Rio de Janeiro.

http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/index.htm. Acedido em 2 de março de 2015.

<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>. Acedido em 2 de março de 2015.

http://ec.europa.eu/environment/water/participation/map_mc/countries/portugal_en.htm. Acedido em 8 de março de 2015.

http://ec.europa.eu/environment/water/participation/notes_en.htm. Acedido em 10 de março de 2015.

<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=834#pgbh-tabela>. Acedido em 17 de março de 2015.

<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9#>. Acedido em 17 de março de 2015.

<http://www.apambiente.pt/dqa/docsof-dqa-pt-legisl.html>. Acedido em 17 de março de 2015.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroel%C3%A9ctricas_em_Portugal. Acedido em 19 de março de 2015.

<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>. Acedido em 19 de março de 2015.

<http://www.prof2000.pt/users/cristianap/funcionamentoh.htm>. Acedido em 19 de março de 2015.

http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/empreendimento_type.php?e_type=nb. Acedido em 26 de março de 2015.

http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/46_1/PDIRT-E%202013.pdf. Acedido em 26 de março de 2015.

<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/PublicacoesGerais/Hidroelectricidade%20em%20Portugal%20-%20Mem%C3%B3ria%20e%20desafio.pdf>. Acedido em 26 de março de 2015.

www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/PublicacoesGerais/Potencial%20Hidroel%C3%A9ctrico%20Nacional.pdf. Acedido em 26 de março de 2015.

www.apren.pt/fotos/editor2/apresentacao_grandes_aproveitamentos_hidroeletricos_coimbra.pdf. Acedido em 26 de março de 2015.

http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp. Acedido em 27 de março de 2015.

<http://pt.hidroerg.pt/energia-hiacutedrica.html>. Acedido em 29 de março de 2015.

http://www.energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID_area=5. Acedido 29 de março de 2015.

<http://pt.slideshare.net/luishenriquelacerdarosa/hidreltricas-conceitos-bsicos>. Acedido 29 de março de 2015.

<http://www.portal-energia.com/funcionamento-da-energia-hidrica-barragens-hidroelectricas/>. Acedido 29 de março de 2015

<http://museudodouro.pt/exposicoes/passado>. Acedido 29 de março de 2015.

<https://apenergiasrenovaveis.wordpress.com/hidrica/tipos-de-aproveitamento/>. Acedido 30 de março de 2015.

<http://engenhariacivilonline.blogspot.pt/2011/05/barragem-do-alto-lindoso.html>. Acedido 4 de abril de 2015.

<http://visao.sapo.pt/hidrica-um-questao-de-rendas=f681609>. Acedido 4 de abril de 2015.

http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/plan_hidrologico_nacional.aspx. Acedido 11 de abril de 2015.

http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sintesis_tcm7-28955.pdf. Acedido 11 de abril de 2015.

<http://pontedelima.com/wp-content/uploads/stories/mapas/lima.gif>. Acedido 26 de abril de 2015.

http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/EDPDocuments/Estudos%20de%20impacte%20ambiental/AH_Alvito-RNT.pdf. Acedido 28 de maio de 2015.

<http://www.snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.5>. Acedido dia 28 de maio de 2015.

<http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/Paginas/ImpactesAmbientais.aspx>. Acedido dia 28 de maio de 2015.

http://www.dgterritorio.pt/legislacao/ordenamento_e_cidades/gestao_territorial/planos_de_gestao_de_bacias_hidrograficas_2/. Acedido dia 28 de maio de 2015.

<http://www.aprh.pt/index.php/pt/regioes-e-bacias-hidrograficas>. Acedido dia 28 de maio de 2015.

<http://www.aia-regiaoalentejo.pt/index.php?q=noticia/pgrh-tejo-plano-de-gestao-de-regiao-hidrografica-do-tejo>. Acedido dia 28 de maio de 2015.

Marmelo, V. L. M. (2007). *Avaliação de Caudais ecológicos em Cursos de água do Centro e Norte de Portugal*. Dissertação de Mestrado,

Pons, F. R. (1999). Recursos Energéticos In *Sabatina, Guia de Formação Escolar, Volume Tecnologia e Informática*, Marina Editores, Lda., Setúbal.

Quintela, A. C. (1990). *Estruturas Hidráulicas*.

REN - Rede Eléctrica Nacional, S. A. (2002). *Hidroelectricidade em Portugal - memória e desafio*. Lisboa.

REN - Rede Eléctrica Nacional, S. A. (2006). *Potencial Hidroeléctrico Nacional - Importância Sócio-Económica e Ambiental do seu Desenvolvimento*. Lisboa.

Rijo, M., Morais, M., Pinto, P., Saúde, A. C., Caeiro, J., Pinto, V., Pinheiro, A. C., Saraiva, J. P., Cupeto, C. A., Santos, F. L., Serralheiro, R. P., (2002). *Água Recurso a Preservar*. Universidade de Évora.

