



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Avaliação de caudais ecológicos em cursos de água do Centro e Norte de Portugal

Vera Lúcia Meira Marmelo

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Doutor António Patrício de Sousa Betâmio de Almeida
Orientadora: Doutora Maria Manuela Portela Correia dos Santos Ramos Silva
Vogais: Doutora Maria Teresa Marques Ferreira da Cunha Cardoso

Setembro de 2007

AGRADECIMENTOS

Professora Maria Manuela Portela, pela infinita paciência e conhecimento transmitido.

HIDROERG, pelo material cedido sem o qual seria impossível realizar este trabalho.

IST, pela disciplina e capacidade de trabalho.

Marcelo e Maria, por tudo ser fácil com vocês.

Ana, pelas noites a falar sobre as questões existenciais e teorias inexistentes acerca da execução de obras de arte que em nada facilitam esta vida, sobre as decisões e sobre a necessidade de fugir delas.

Bernardo, pelas segundas-feiras leves.

José, my dear bird.

Mãe, pai, mano e prima, pela infinita paciência.

Fim.

RESUMO

A dissertação que se apresenta tem por objectivo a adaptação/adequação do método hidrológico-hidráulico, desenvolvido especificamente para regime hidrológico ocorrente no Sul do País e apresentado em PORTELA (2004, 2005 e 2006), tendo em vista a concepção de um método para determinar caudais ecológicos para a situação específica da região Norte de Portugal.

O trabalho dividiu-se em duas fases principais. Uma primeira fase que consistiu na pesquisa bibliográfica. Com o objectivo de reunir elementos relevantes para a melhor compreensão do tema e que reflectissem os esforços e iniciativas crescentes da comunidade técnico/científica internacional sobre o mesmo.

A segunda parte abrange a componente prática que compreende a concepção do novo método, a sua aplicação a um conjunto de casos de estudo referentes ao Norte do País, a aplicação, aos mesmos casos, dos métodos do perímetro molhado, do caudal base e desenvolvido por INAG/DSP, bem como a análise e crítica dos resultados obtidos com cada um dos métodos.

A informação/experiência sobre aos caudais ecológicos a adoptar em Portugal indica valores dentro do intervalo 5 a 10% do módulo como os mais apropriados para a região Norte.

Admitiu-se, assim, que os caudais ecológicos resultantes da aplicação do novo método eram demasiado elevados (e, como tal, economicamente injustificáveis), não obstante denotarem alguma consistência entre si, “captando” as características do regime hidrológico da região em foco.

Da aplicação do método do caudal base, à região em questão, resultaram valores daquele caudal compreendidos entre 8 a 13% dos módulos, percentagens que sugerem a possibilidade de adoptar o método do caudal base para estimar caudais ecológicos. Para tanto haveria que dar ao caudal base um entendimento distinto do considerado no método, assimilando-o ao caudal ecológico na média dos meses. Convém focar que, não obstante os casos com alturas do escoamento anual médio superiores a 650mm terem exibido resultados particularmente satisfatórios, a possibilidade de utilizar o método do caudal base nessa situação específica ou, eventualmente, noutras situações carece de estudos subsequentes.

Palavras-chave: caudal ecológico, secção transversal, método hidrológico-hidráulico, altura de escoamento, velocidade média de escoamento, Norte de Portugal.

ABSTRACT

The aim of this work is to test different proposals of adjustments of the hydrologic-hydraulic method, developed specifically for the hydrological regime that occurs in the South of Portugal and presented in PORTELA (2004, 2005 e 2006), while keeping in mind the formulation of a method to define an ecological flow regime for the specific hydrological regime of the North of Portugal.

To that effect, the work was divided in two fundamental phases. The first phase consisted in bibliographic research whose purpose was to reunite relevant elements to a better understanding of the theme and to demonstrate the current effort and increasing initiatives of the international technological/scientific community on the subject.

The second phase referred to the practical component of the research, comprehending the conception of a new method and its application to several case studies located in the North of Portugal. Basic flow, the wet perimeter and the INAG/DSP methods were also applied and compared with the new approach.

The results achieved indicate that ecological flows between 5 to 10% of the modulus should be suitable in Portugal.

Therefore, the ecological flows that were obtained with the new hydrological-hydraulic method proposed, were considered to be significantly higher than expected (and for that reason, economically unjustifiable), although still proving to be consistent with the characteristics of the local hydrological regime.

The basic flow method applied to the northern region of Portugal resulted in flows comprehended between 8 to 13% of the modulus, percentages that point towards the possibility of using that method to establish ecological flows. For that purpose, a different understanding of the procedure is necessary, for instance, by considering each basic flow as a monthly average ecological. Despite the good results achieved for watersheds with mean annual flow depths above 650mm, further research is still required in order to conclude about the adequacy of the basic flow method to evaluate ecological flows.

Keywords: ecological flow, cross section, flow height, hydrological-hydraulic method flow, mean velocity, north of Portugal.

ÍNDICE

1	Introdução geral	1.1
2	Caudal ecológico – revisão de conceitos	2.1
2.1	Introdução	2.1
2.2	Noção de caudal ecológico	2.1
2.3	Definição de caudal ecológico	2.5
2.3.1	Introdução.....	2.5
2.3.2	Métodos hidrológicos	2.6
2.3.2.1	Considerações gerais.....	2.6
2.3.2.2	Método caudal base.....	2.7
2.3.2.3	Método do INAG, DSP, 2002.....	2.8
2.3.3	Métodos hidráulicos	2.9
2.3.3.1	Considerações gerais.....	2.9
2.3.3.2	Método do perímetro molhado.....	2.11
2.3.4	Métodos ambientais	2.12
2.4	Métodos com ampla aplicação no mundo	2.12
2.5	Métodos com aplicação em Portugal	2.16
2.6	Método hidrológico-hidráulico	2.17
3	Concepção.....	3.1
3.1	Introdução	3.1
3.2	Casos de estudo.....	3.1
3.3	Procedimento geral.....	3.8
3.3.1	Breves considerações.....	3.8
3.3.2	Primeira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico	3.9
3.3.3	Segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico	3.10
3.3.4	Terceira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	3.10

3.3.5	Método baseado na fixação <i>à priori</i> do caudal ecológico	3.11
4	Apresentação e análise dos resultados	4.1
4.1	Considerações gerais	4.1
4.2	Resultados	4.2
4.2.1	Casos de estudo localizados no Norte do País. Métodos proposto por INAG, DPS, 2002; do caudal base e segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	4.2
4.2.2	Caudal base. Comparação com outros resultados disponíveis para Portugal Continental....	4.4
4.2.3	Casos de estudo localizados no Norte e no Sul do País. Fixação <i>à priori</i> do caudal ecológico	4.6
4.2.3.1	Nota prévia	4.6
4.2.3.2	Norte do País.....	4.7
4.2.3.3	Sul do País	4.10
4.2.3.4	Norte e Sul do País.....	4.12
5	Crítica dos resultados obtidos. Conclusões. Desenvolvimentos futuros	5.1
6	Bibliografia	6.4

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Relação altura de escoamento – percentagem do módulo correspondente ao caudal ecológico. Resultados decorrentes da aplicação do método caudal base aos casos de estudo 1 a 6 (Quadro 4.1) e apresentados em FERREIRA (2004).	4.5
Gráfico 4.2 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos resultantes do método do caudal base e da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	4.8
Gráfico 4.3 - Resultados do Gráfico 4.2 relativos a alturas do escoamento anual médio compreendidas entre 500 mm a 1000 mm.....	4.8
Gráfico 4.4 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico.....	4.9
Gráfico 4.5 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos resultantes do método hidrológico-hidráulico (PORTELA 2005).....	4.11
Gráfico 4.6 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico.....	4.12
Gráfico 4.7 – Casos de estudo inseridos no Norte e no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico. Compilação dos resultados apresentados nos Quadros 4.4 e 4.6 e nos Gráficos 4.2 e 4.5	4.13
Gráfico 4.8 – Casos de estudo inseridos no Norte e no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico. Compilação dos resultados apresentados nos Quadros 4.5 e 4.7 e nos Gráficos 4.4 e 4.6	4.13

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Definição dos caudais de manutenção ecológica de acordo com o método apresentado em INAG, DSP, 2002.....	2.9
Quadro 2.2 – Métodos para a determinação do caudal ecológico, lista disponibilizada pelo International Water Management Institute. Fonte: http://www.lk.iwmi.org/	2.13
Quadro 2.2 (continuação) – Métodos para a determinação do caudal ecológico, lista disponibilizada pelo International Water Management Institute. Fonte: http://www.lk.iwmi.org/	2.14
Quadro 2.2 (continuação) – Métodos para a determinação do caudal ecológico, lista disponibilizada pelo International Water Management Institute. Fonte: http://www.lk.iwmi.org/	2.14
Quadro 3.1 – Dados relativos aos projectos 1 a 6, localizados do Norte do País	3.4
Quadro 3.2 – Dados relativos aos projectos 7 a 10 , localizados no Sul do País	3.6
Quadro 3.3 – Dados relativos aos projectos 11 a 15 , localizados no Sul do País	3.6
Quadro 4.1 – Casos de estudo relativos a projectos localizados no Norte do País. Caudais ecológicos decorrentes da aplicação dos métodos propostos por INAG, DSP, 2002 e do caudal base.....	4.2
Quadro 4.2 – Casos de estudo relativos a projectos do Norte do País. Caudais ecológicos decorrentes da aplicação da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	4.3
Quadro 4.3 – Casos de estudo relativos a projectos com alturas de escoamento superiores a 400mm. Resultados decorrentes da aplicação do método do caudal base. Fonte: FERREIRA (2004).	4.5
Quadro 4.4 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos obtidos pelo método do caudal base e pela segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	4.7
Quadro 4.5 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico.....	4.9
Quadro 4.6 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos obtidos pelo método hidrológico-hidráulico (PORTELA 2005).	4.10
Quadro 4.7 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à <i>priori</i> do caudal ecológico.....	4.11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Método do perímetro molhado.....	2.11
Figura 2.2 – Dependência entre a altura do escoamento anual médio e a duração média do módulo. Fonte: PORTELA (2005 ^a).....	2.18
Figura 3.1 – Localização esquemática dos casos de estudo – adaptado de PORTELA e SANTOS (2006).....	3.2
Figura 3.2 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 1 . Perfis de montante para jusante: S1.1; S1.2 (secção de inserção do açude) e S1.3 (base: cartografia à escala 1/100).....	3.5
Figura 3.3 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 2 . Perfis de montante para jusante: S2.1; S2.2 (secção de inserção do açude) e S2.3 (base: cartografia à escala 1/200).....	3.5
Figura 3.4 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 3 . Perfis de montante e jusante do açude: S3.1; S3.2 (base: cartografia à escala 1/200).	3.5
Figura 3.5 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 4 . Perfis de montante para jusante: S4.1; S4.2 (secção de inserção do açude) e S4.3 (base: cartografia à escala 1/200).....	3.5
Figura 3.6 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 5 . Perfis de montante para jusante: S5.1; S5.2 (secção de inserção do açude) e S5.3 (base: cartografia à escala 1/200).....	3.5
Figura 3.7 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 6 . Perfis de montante e jusante do açude: S6.1; S6.2 (base: cartografia à escala 1/200).	3.5
Figura 3.8 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 7 (base: levantamento de campo).	3.7
Figura 3.9 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 8 (base: levantamento de campo).	3.7
Figura 3.10 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 9 (base: levantamento de campo).	3.7
Figura 3.11 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 10 (base: levantamento de campo).....	3.7
Figura 3.12 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 11 (base: levantamento de campo).....	3.7
Figura 3.13 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 12 (base: levantamento de campo).....	3.7
Figura 3.14 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 13 (base: levantamento de campo).....	3.7
Figura 3.15 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 14 (base: levantamento de campo).....	3.7
Figura 3.16 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 15 (base: levantamento de campo).....	3.8
Figura 3.17 – Representação esquemática da primeira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	3.10
Figura 3.18 – Representação esquemática da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	3.10
Figura 3.19 – Representação esquemática da terceira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.....	3.11

1 Introdução geral

Água a “sair” de uma torneira” é um direito adquirido pela sociedade actual. A par com esse direito, assiste-se a uma utilização crescente da água para abastecimento doméstico e industrial, recreio, rega, produção de energia, preservação do ambiente...

Ao longo dos tempos os diferentes tipos de utilizações da água assumiram importâncias relativamente distintas em correspondência com os sectores circunstancialmente objecto de desenvolvimento ou atenção mais intensos. Actualmente e na tentativa de cumprir as metas impostas pelo protocolo de Quioto, referente às emissões de carbono e assinado em 2005, uma das prioridades dirige-se para a reformulação do sector energético, designadamente no que respeita ao objectivo de assegurar 45% da produção de electricidade mediante o recurso a fontes renováveis de energia, entre as quais a energia hidroeléctrica ocupa um papel importante.

Para garantir esse objectivo ambicioso, admite-se que, para além do reforço da potência em centrais hidroeléctricas já existentes, seja necessário implementar novas centrais. Contudo, o cumprimento da anterior meta não deve, em circunstância alguma, comprometer a garantia de “sobrevivência” dos rios portugueses, que, são muito mais do que somente fornecedores de matéria-prima para a produção de energia. Para tanto, muito poderá contribuir a criteriosa definição do regime de caudais ecológicos adequado a cada intervenção no sistema fluvial, quer tal intervenção se refira à produção de energia, quer tenha natureza diversa.

Em linhas gerais, pode afirmar-se que o caudal ecológico num dado trecho fluvial tem por principal objectivo a manutenção e conservação do ecossistema associado ao regime hidrológico natural, entendendo-se por tal o regime existente anteriormente à intervenção naquele trecho.

Actualmente são frequentes as situações de não integração da ciência/técnica na parte decisional do uso da água, devido a um vasto leque de razões sócio-políticas. Tais situações ocorrem também em relação ao estabelecimento de caudais ecológicos, talvez até por não haver um processo simples de definição desses caudais. Julga-se, assim, que é pertinente identificar uma metodologia de estabelecimento de caudais ecológicos simultaneamente expedita e “justa” para os ecossistemas associados aos corredores fluviais e que seja aplicável a diferentes contextos de utilização de água, desde o abastecimento de água para fins consumptivos, até à exploração de centrais hidroeléctricas, ou ainda à estrita preservação da qualidade dos meios hídricos.

O desenvolvimento de critérios para definir propostas de caudais ecológicos a implementar em trechos de cursos de água naturais localizados a jusante de aproveitamentos

hidráulicos é, pelas razões acima apresentadas, mas também certamente por outras, uma problemática actual e, como tal, merece a atenção e a intervenção por parte da comunidade científica/técnica.

Recentemente, foram desenvolvidos vários estudos conducentes à apresentação de propostas de caudais ecológicos para alguns dos aproveitamentos hidráulicos que integram o sistema de Alqueva. Resultou, assim, o desenvolvimento de raiz de um método hidrológico-hidráulico para estabelecimento daqueles caudais e que se revelou bastante bem adaptado ao regime hidrológico ocorrente no Sul do País. Tal método é objecto de FERREIRA *et al.* (2003), e, especialmente, de PORTELA (2004, 2005 e 2006).

Em face das potencialidades que se concluiu existirem no método então desenvolvido, julgou-se adequado e oportuno retomar os estudos e analisar a possibilidade de adaptação/adequação do mesmo aos regimes hidrológicos ocorrentes no Norte de Portugal, os quais diferem substancialmente dos do Sul.

Tomou forma, assim, a dissertação que se apresenta e cujo objectivo se prendeu com a adequação do método hidrológico-hidráulico desenvolvido e apresentado em PORTELA (2005), tendo em vista a concepção de um método para determinar caudais ecológicos para a situação específica da região Norte de Portugal.

O texto que se apresenta é o resultado da investigação desenvolvido no contexto apresentado.

Assim e numa primeira parte do texto, expõe-se um conjunto de elementos que se afiguraram relevantes para a melhor compreensão do tema e que reflectem os esforços e as iniciativas crescentes da comunidade técnico/científica internacional em torno do mesmo.

Inclui-se, também, uma revisão dos métodos existentes para determinar caudais ecológicos, a qual, exceptuando o que respeita aos métodos objecto da segunda parte do texto, é apresentada em termos breves.

A segunda parte do texto refere-se à componente prática da investigação. Assim, é apresentada a concepção do novo método, bem como os resultados da sua aplicação a um conjunto de casos de estudo. Por corresponderem a métodos aplicados em Portugal, mas também de modo a possibilitar a comparação entre caudais ecológicos, são ainda apresentados os caudais decorrentes dos métodos do caudal base e do método que se designou por INAG/DSP. A finalizar, apresentam-se as conclusões e as propostas que decorreram do estudo efectuado.

2 Caudal ecológico – revisão de conceitos

2.1 Introdução

No presente capítulo apresenta-se uma abordagem geral e teórica à temática relacionada com caudais ecológicos. Com efeito, uma vez que a investigação levada a cabo teve por objectivo o desenvolvimento de um método para determinar regimes daqueles caudais, considerou-se adequado incluir uma reflexão sobre a situação actual do tema. São, assim, mencionados aspectos relacionados com:

- as razões que determinam a necessidade de definir caudais ecológicos;
- os custos e benefícios que advêm da determinação e da implementação de regimes de caudais ecológicos.

Para além dos anteriores aspectos, é também focado o trabalho multi-disciplinar pressuposto pela correcta abordagem da apresentação de propostas de caudais ecológicos. A tomada de consciência da multidisciplinaridade do tema resultou na diferenciação entre métodos para determinar caudais ecológicos também baseada na informação que tais métodos incorporam.

2.2 Noção de caudal ecológico

Os *caudais ecológicos* têm por objectivo satisfazer as necessidades dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, consubstanciando-se num conjunto de caudais mínimos a manter no curso de água que permite assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como a conservação e a manutenção dos ecossistemas ripícolas, dos aspectos estéticos da paisagem ou outros de interesse científico e cultural, BERNADO (2002).

A satisfação dos objectivos acima definidos, quando analisada em pormenor, compreende um conjunto alargado de aspectos. Cada uma das metodologias que adiante se mencionarão, atende, em maior ou menor escala, aos aspectos que determinam a necessidade de prever caudais ecológicos. Tal necessidade resulta, geralmente, de intervenções no corredor fluvial que alteram o regime hidrológico natural e, conseqüentemente, o equilíbrio do ecossistema.

Como alterações mais frequentemente associadas a aproveitamentos hidráulicos, especialmente quando destinados a regularizar as afluências em regime natural ou a amortecer

as cheias naturais, e que conduzem à necessidade de prever regimes de caudais ecológicos mencionam-se, 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;
- em consequência da redução do caudal, o eventual agravamento da qualidade da água, por diminuição da capacidade natural de diluição e de depuração.

Em Novembro de 2003 teve lugar, na Tanzânia, um *workshop* no âmbito dos caudais ecológicos (*Workshop - Building capacity to implement an environmental flow programme in Tanzania*). No correspondente relatório é apresentada uma lista de justificações para a necessidade de quantificar caudais ecológicos, da qual se realçam os seguintes considerandos:

- ✓ Do ponto de vista do ecossistema holístico, a necessidade de prever caudais ecológicos em trechos fluviais prende-se fundamentalmente com a preocupação de manter e de proteger o ecossistema que depende da existência de água nesse trecho.
- ✓ A água é um bem essencial; assim sendo, é também necessário garantir que a reafecção do bem em parte retirado ao ecossistema não causará conflitos. Por outras palavras, a fracção de água que não é afectada ao uso humano, mas antes reservada para garantir a manutenção/sobrevivência do ecossistema, tem de ser correctamente quantificada e justificada, uma vez que pode vir a ser contestada pelos demais utilizadores (Homem) e a transformar-se numa fonte de conflito.
- ✓ De modo geral, qualquer país pretende melhorar a sua economia, o que pode passar, como no caso de Portugal, pelo aumento da produção hidroeléctrica ou, mais amplamente, pela utilização mais intensa da água, por exemplo, para rega. No entanto, haverá sempre que procurar uma harmonia entre o desenvolvimento de um país/região, a gestão sustentada de bacias hidrográficas e a manutenção dos ecossistemas relacionados com o corredor fluvial.
- ✓ Deverá sempre assegurar-se a subsistência das comunidades radicadas a jusante de aproveitamentos hidráulicos, incluindo hidroeléctricos, e que sobrevivem à custa da pesca ou da utilização da água para rega ou para a pecuária.
- ✓ A conservação e a protecção do ecossistema, nas suas múltiplas facetas, são uns dos aspectos mais importantes a assegurar. É obrigatório, em face dos objectivos ambientais, garantir que os rios “estão de boa saúde”, protegendo a sua

biodiversidade, e ainda, assegurando a continuidade do transporte de sedimentos e a morfologia do canal, incluindo a estabilidade dos leitos de cheia.

Controlar a água – em quantidade e em qualidade – evitará ou diminuirá a degradação e os desastres associados à escassez do recurso. Aumentar a sustentabilidade da água pode passar pelo estabelecimento de “linhas-guia de uso adequado” do recurso, adaptadas a cada caso.

No que respeita especificamente à implementação de aproveitamentos hidráulicos, e tomando como exemplo, de entre esses aproveitamentos, os hidroeléctricos, é difícil, no entanto, não perder de vista os objectivos da sua implementação: a produção de energia eléctrica. Assim, quanto mais elevados forem os caudais ecológicos, menores serão os volumes afectos à produção de energia e, conseqüentemente, menor será essa produção. O facto de a vantagem de uma “utilização” ser a desvantagem de outra (o ecossistema *versus* a produção de energia e vice-versa), resultou na transformação da hidroelectricidade num tópico da gestão de recursos hídricos objecto de acesa discussão em vários países do mundo. Concluiu-se, assim, que, na implementação de caudais ecológicos, os aspectos económicos assumem um papel muito importante.

As medidas económicas relacionadas com a preservação dos ecossistemas podem constituir importantes ferramentas no âmbito da gestão dos recursos hídricos, desde que actuem como incentivos para que os utilizadores mudem o seu comportamento. Com efeito, é possível obter algumas vantagens através da aplicação de subsídios e de taxas para garantir um consenso entre as “partes interessadas” (*stakeholders*) na gestão do “rio”.

TAMAI e SHIRAKAWA (2003) admitem que a aplicação de um sistema de subsídio possa conduzir à adopção do caudal ecológico mais conveniente, uma vez que, exemplificando, se peça à entidade que explora uma central hidroeléctrica para estimar a quantidade de energia que produziria se não tivesse de abdicar do volume correspondente ao caudal ecológico, compensando-a por essa perda de produção. Deste modo e para cada central hidroeléctrica, seria possível otimizar o caudal ecológico a adoptar.

O “procedimento óptimo” está, no entanto, longe de ser implementado. Existe, antes, um conjunto de metodologias de fixação de caudais ecológicos que recorrem a contribuições ou que se apoiam em algumas das várias áreas técnico-científicas que podem dar contributos no âmbito. De entre tais áreas citam-se:

- a hidrologia;
- a hidráulica;
- a biologia marinha;
- a botânica;
- a zoologia;

- a ecologia;
- a agronomia;
- a hidro-geologia;
- o planeamento e a gestão de recursos hídricos;
- o controlo e operação de barragens;
- a qualidade da água;
- a economia.

A variedade de áreas anteriormente citadas faz esperar que os caudais ecológicos resultantes da consideração isolada de uma dessas áreas possam diferir bastante dos sugeridos por outra área. Também deixa antever quão difícil, se não mesmo impossível, deve ser a congregação numa única metodologia de critérios comuns às diferentes áreas.

“Errar” na determinação do caudal ecológico mais adequado a um dado curso de água acarreta, no mínimo, duas 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 conseqüente rotura social e económica.

Admite-se, assim, que o processo conducente ao estabelecimento de um dado regime de caudais ecológicos deva ser do tipo iterativo: cada “acção de gestão da água” (como seja, por exemplo, a adopção de dados valores daqueles caudais) deve ser encarada como um “ensaio”, a monitorizar/avaliar cuidadosamente; consoante os resultados desse “ensaio”, pode concluir-se pela necessidade de reequacionamento da “acção”, seguindo-se nova monitorização/avaliação. Este processo decisional que compreende uma aprendizagem baseada em ensaios e monitorizações/avaliações de que resultam em sucessivas reformulações das “acções de gestão” é designado por *gestão adaptativa*, HOLLING (1978); WALTERS (1986); GURDERSON et al. (1995).

A decisão por um dado regime de caudais ecológicos é idealmente considerada uma acção da *gestão adaptativa*. A monitorização a que esse regime tem de ser sujeito consubstancia um ensaio destinado a avaliar a influência do regime no ecossistema relacionado com o curso de água e que pode resultar na reformulação daqueles caudais, WARD e STANFORD (1993); POFF et al. (2003) em RICHTER et al.(2006).

Estes ensaios podem proporcionar ferramentas poderosas/eficazes para reduzir as incertezas associadas à compreensão científica da relação de causa-efeito entre regimes ecológicos específicos e respostas dos ecossistemas. Para tanto, têm de ser estruturados adequadamente, testando várias hipóteses de forma criteriosa e cientificamente fundamentada.

A comunidade científica há muito que defende a *gestão adaptativa* da água, pelo seu contributo para a redução de incertezas e de riscos sócio-económicos, WARD e STANFORD (1993); CASTLEBERRY *et al.* (1996); STANFORD *et al.*(1996); POFF *et al.*(1997, 2003); WALTERS (1997); RICHTER *et al.* (1997, 2003); JOHNSON (1999); NCR (2002, 2004a,b) em RICHTER *et al.* (2006).

Na sua forma mais simples, a *gestão adaptativa* da água inclui os seguintes elementos, HOLLING (1978); WALTERS (1986, 1997); CASTLEBERRY *et al.* (1996); STANFORD and POOLE (1996); LEE (1999); ROGERS e BIGGS (1999); NCR, 2002, 2004a, b; NCR (2002, 2004a,b) em RICHTER *et al.* 2006); IRWIN e FREEMAN (2002); RICHTER *et al.* (2003) em RICHTER *et al.* (2006):

- *Sound science*: refere-se a um modelo conceptual construído para o ecossistema que está a ser gerido. Novas informações permitem aumentar o conhecimento e, consequentemente, sendo incorporadas no modelo, refinar este último que, por sua vez, passa a fornecer mais indicações sobre o ecossistema. Um programa de monitorização, baseado no modelo conceptual, permitirá analisar a resposta dos indicadores do ecossistema às acções de gestão sobre a água.
- *Management commitment and flexibility*: nesta abordagem, os objectivos da gestão são definidos explicitamente, regularmente repensados e revistos. As incertezas do sistema são comunicadas aos gestores e às partes interessadas (*stakeholders*) que, no seu conjunto, se têm de comprometer a reduzir essas incertezas. É dado conhecimento aos gestores e aos *stakeholders* das opções de gestão alternativas, competindo-lhes viabilizar o ensaio dessas opções.
- *Learning from doing*: acções estratégicas são implementadas de forma progressiva para reduzir as incertezas e aumentar o conhecimento.
- *Public participation*: refere-se a uma estrutura colaborativa que garante a participação dos *stakeholders* no desenvolvimento e na revisão dos objectivos da gestão.

Como a *gestão adaptativa* é um “processo dinâmico” e não um “produto único e estático”, os gestores devem estar dispostos a fazer alterações por forma a ganhar novos conhecimentos.

2.3 Definição de caudal ecológico

2.3.1 Introdução

Actualmente existe um número considerável de métodos para definir o regime de caudais ecológicos num trecho fluvial. De modo geral, tais métodos têm em conta as variáveis

que melhor ou mais facilmente caracterizam tal trecho. No ponto anterior foram mencionadas algumas das áreas científico-técnicas que podem dar contributos essenciais para o desenvolvimento de metodologias destinadas à determinação daqueles caudais. No entanto, convém ter presente, por um lado, que cada caso é único, ou seja, apresenta especificidades particulares, e, por outro lado, que os diferentes métodos não devem ser aplicados isoladamente.

No presente item procede-se, de certa forma, ao agrupamento dos métodos desenvolvidos para o estabelecimento de regimes de caudais ecológicos, de acordo com as variáveis neles consideradas.

Segundo JOWETT (1997), tais métodos podem ser classificados em três grandes grupos:

- hidrológicos, quando baseados em registos históricos de caudais;
- hidráulicos, quando baseados em relações entre os parâmetros hidráulicos e o caudal;
- ambientais, quando baseados nas relações entre o *habitat* e o caudal.

THARME (1996, 2003) reconheceu quatro tipos de metodologias, ao invés das três antes referidas: hidrológica, hidráulica, de simulação de *habitats* e holística. Por uma questão de coerência entre o texto que se apresenta e o de ALVES (2001), no prosseguimento daquele texto será considerada, quando pertinente, a divisão nos três grupos propostos por JOWETT (1997).

Em ACREMAN e DUNBAR (2004) é também apresentada a divisão das metodologias em quatro categorias, embora distintas das anteriores: *look up tables*, *desktop analysis*, *functional analysis*, e *hydraulic habitat modeling*.

2.3.2 Métodos hidrológicos

2.3.2.1 Considerações gerais

Como referido anteriormente, os métodos hidrológicos para a determinação dos caudais ecológicos a manter em trechos dos cursos de água baseiam-se essencialmente em registos de caudais, podendo, inclusivamente, dispensar o reconhecimento local daqueles trechos, o que, do ponto de vista da aplicação prática, constitui, porventura, a sua principal vantagem.

O maior óbice dos métodos hidrológicos prende-se com a necessidade de se dispor de registos de caudais para períodos de tempo significativos, em que não tenham ocorrido alterações importantes nas características do escoamento, de modo a que tais registos possam

ser considerados representativos dos regimes hidrológicos naturais, GORDON *et al.* (1992). Em Portugal Continental, a inexistência de registos de caudal no trecho objecto de definição de caudais ecológicos não representa, contudo, qualquer obstáculo, uma vez que se dispõem dos procedimentos de estimação de séries de escoamento desenvolvidos por PORTELA e QUINTELA (2006), extensamente verificados.

A aplicação dos métodos hidrológicos só é possível em cursos de água naturais ou que tenham sido objecto de intervenção em passados muito remotos, de modo a garantir que os caudais ocorrentes na actualidade permitem sustentar as comunidades aquáticas a níveis aceitáveis, WESHE e RECHARD (1980). Trata-se, como seria expectável, de uma técnica com algumas limitações, de precisão por vezes reduzida e específica dos locais aos quais é aplicada. A sua validade está, de certa forma, restrita a situações em que se pretende manter a relação entre o caudal e o *habitat* aquático, não permitindo a análise específica das alterações do *habitat* ou da resposta biológica em consequência de alterações no regime hidrológico, SHIRVELL (1986); GORDON *et al.* (1992).

De acordo com a bibliografia da especialidade, a aplicação dos métodos hidrológicos é recomendada no âmbito da gestão dos recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica, ORTH e LEONARD (1990), ou à fase inicial do projecto que consubstancia a intervenção no meio fluvial, SALE e LOAR (1981). Julga-se, contudo, que poderá ter um âmbito de aplicação e um interesse mais gerais, pois, muito frequentemente, a única informação disponível para propor regimes de caudais ecológicos é de natureza hidrológica.

Inseridos nos métodos hidrológicos referem-se ainda os seguintes métodos: de Tennant ou de Montana; de Nova Inglaterra ou do Caudal Básico (*Aquatic Base Flow*, ABF, na terminologia anglo-saxónica); de *Northern Great Plains Resource Program* (NGPRP); de Hope; 7Q10; de Arkansas; do Texas; do caudal base; e proposto por INAG, DSP, 2002.

Existe um conjunto mais amplo de metodologias baseadas em características hidrológicas que foram desenvolvidas para situações mais específicas, conforme se identifica na lista apresentada no **Quadro 2.2**.

A aplicação dos métodos hidrológicos aos casos de estudo (capítulos 3 e 4 do presente texto) foi efectuada com base nos métodos do caudal base e apresentado por INAG, DSP, 2002, que, por essa razão, são seguidamente mencionados em pormenor.

2.3.2.2 Método caudal base

O método do caudal base, desenvolvido originalmente na Catalunha e presentemente bastante utilizado em Espanha, permite interpretar a informação contida nas séries (históricas) de caudais referentes a uma dada secção de um curso de água, com o fim de estabelecer para a mesma um caudal mínimo. Este valor de caudal mínimo é também conhecido, de acordo com

esta metodologia, por **caudal base**. Por aplicação de um “factor de variabilidade temporal” ao caudal base, é calculado o **caudal de manutenção**, entendido como o caudal mínimo que deve circular no rio num dado intervalo de tempo. Tal factor, que tem por função adequar a sequência de caudais mínimos às variações do diagrama cronológico dos caudais em regime natural, é normalmente definido numa base mensal, embora possa ser estabelecido para outra escala de tempo, até ao dia, de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{mi} = Q_b \sqrt{\frac{Q_{mes\ i}}{Q_{mes\ min}}} \quad (2.1)$$

em que Q_{mi} é o caudal de manutenção para o mês i , Q_b , o caudal base, $Q_{mes\ i}$, a média do caudal médio no mês i (caudal mensal médio no mês i) e $Q_{mes\ min}$, a menor das médias dos caudais mensais médios. Os caudais $Q_{mes\ i}$ e $Q_{mes\ min}$ são avaliados com base no período de registos adoptado na definição de Q_b .

De notar que este método permite recorrer a caudais médios diários em regime natural (e não a caudais médios mensais como a maior parte dos métodos baseados em registos hidrológicos).

Para maior detalhe sobre a formulação desta metodologia, consultar PALAU e ALACAZAR (1996).

2.3.2.3 Método do INAG, DSP, 2002

ALVES e BERNARDO (2002) propuseram um método aplicável a Portugal Continental para determinar o regime de caudais ecológicos a garantir a jusante de aproveitamentos hidráulicos e que admitem conduzir a um regime modificado que, na sua variabilidade intra-anual, mimetiza o regime natural.

O método admite a divisão do país em três regiões distintas que são consideradas pelos autores como hidrologicamente homogéneas e que se especificam no **Quadro 2.1**

Quadro 2.1 – Definição dos caudais de manutenção ecológica de acordo com o método apresentado em INAG, DSP, 2002.

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

No anterior quadro, q_{med} representa o caudal médio no mês em questão (caudal mensal médio) e o caudal q_{α} é tal que, em média, em $\alpha\%$ do número de dias desse mês ocorrem caudais médios diários superiores ao mesmo. O índice α representa, portanto, a estimativa amostral da probabilidade de excedência associada a q_{α} determinada, para esse mês, com base na série de registos disponíveis de caudais médios diários.

Cada uma destas regiões terá, de acordo com as especificações do quadro, um regime de caudal ecológico associado, definido à escala mensal, com base nos quantis obtidos a partir das curvas de duração dos caudais médios diários referentes aos sucessivos meses.

Para maior detalhe sobre a formulação sobre a metodologia, recomenda-se a leitura de ALVES e BERNARDO (2002).

2.3.3 Métodos hidráulicos

2.3.3.1 Considerações gerais

Os métodos hidráulicos baseiam a determinação do caudal ecológico na relação entre as características hidráulicas e aquele caudal. Na prática, respeitam a modelos com modestas exigências em termos de trabalho de campo, recorrendo a relações entre o caudal escoado e as características físicas do curso de água expressas, designadamente, por secções transversais ao leito e às margens. Da análise do “comportamento” do escoamento em cada secção resultam elementos que, de algum modo, caracterizam hidráulicamente o curso de água, tais como o perímetro molhado e a velocidade média e a altura do escoamento.

Incluem-se neste grupo todos os métodos que tomam em consideração as características hidráulicas do corredor fluvial para estabelecimento de relações gerais entre o

habitat e os caudais escoados, sem considerarem as preferências específicas de *habitat* das espécies ao longo do ciclo de vida, ALVES (2002).

A sua aplicação pressupõe a obtenção de perfis transversais de pormenor em secções representativas da geometria do leito do rio e margens e dos vários tipos de *habitat* existentes no corredor fluvial.

A recomendação de caudais mínimos a assegurar no trecho fluvial é feita a partir das curvas de variação, em função daqueles caudais, dos valores da “variável” ou das “variáveis hidráulicas” consideradas na análise, de acordo com os seguintes critérios:

- ✓ Critério de manutenção das características físicas do *habitat* que atende às diferenças entre as características do *habitat* para o caudal a implementar e para um caudal de referência que se considera assegurar condições favoráveis para as espécies aquáticas. Um exemplo deste critério admite que o caudal a implementar deve ser tal que assegure que o perímetro molhado correspondente ao caudal máximo não deva sofrer uma redução superior a 25%, BARTSCHI (1976) *in* LOAR e SALE (1981) *in* ALVES e BERNARDO (2002).
- ✓ Critério do ponto de vista da inflexão que consiste em encontrar o ponto na curva de “resposta” de variável hidráulica em função do caudal (por exemplo, na curva do perímetro molhado em função do caudal) a que corresponde uma variação acentuada de declive dessa curva. O caudal relativo a esse ponto é considerado como o caudal acima ou abaixo do qual a qualidade do *habitat* é significativamente degradada.

A principal desvantagem do critério do ponto de inflexão é o carácter subjectivo que está associado à selecção do ponto de inflexão da curva que relaciona a variável hidráulica com o caudal escoado, devido por exemplo, ao traçado irregular dessa curva ou, ainda, à existência de vários pontos de inflexão, ANNEAR e CONDER (1984). No entanto e relativamente aos critérios estritamente baseados em “estatísticas” de caudal, apresentam a vantagem de atenderem a características específicas do leito e das margens e, conseqüente e indirectamente, do *habitat* no trecho fluvial em análise, LOAR e SALE (1981) e JOWETT (1997) *em* ALVES e BERNARDO (2002).

Estes métodos não permitem a definição de caudais sazonais, – pois, em cada secção, indicam apenas um caudal ecológico a adoptar na mesma – nem a de caudais nulos, JOWETT, (1997). Este último aspecto levanta problemas na sua aplicação a cursos de água com regimes hidrológicos muito variáveis, com caudais muito baixos ou nulos durante o período seco, durante o qual os caudais ecológicos a garantir deveriam ter ordem de grandeza semelhante aos ocorrentes em regime natural, ARTHINGTON *et al.*, 1992 *em* ALVES e BERNARDO, (2002). Esta última limitação inviabiliza também a aplicação deste tipo de métodos à região Sul de Portugal, cuja característica mais marcante diz respeito a um regime hidrológico

extremamente irregular, típico de regiões semi-áridas, com longos períodos com caudais nulos ou praticamente nulos.

A ocorrência de caudais muito baixos ou nulos no Verão associada à existência de água no Inverno resulta na movimentação dos peixes para zonas mais profundas, onde a probabilidade de haver água na época seca é superior. Esta adaptação da fauna piscícola dá origem a um sistema natural muito marcado a que é obrigatório atender aquando a implantação de uma infra-estrutura que interfira com o escoamento.

De entre os métodos hidráulicos com mais aplicação referem-se os seguintes: do Colorado ou da Região 2 do USFWS; de Idaho; da Região 4 do USFWS; e do perímetro molhado.

Uma vez que o último dos anteriores métodos foi aplicado aos casos de estudo objecto do ponto seguinte, segue-se um breve apontamento sobre o mesmo.

2.3.3.2 Método do perímetro molhado

O método do perímetro molhado ou dos transeptos é o terceiro método mais utilizado nos Estados Unidos da América, REISER *et al.* (1989b) em ALVES e BERNARDO (2002). Baseia-se na análise comparativa entre os caudais que se escoam num trecho de um curso de água e os correspondentes perímetros molhados, partindo do princípio que existe uma relação directamente proporcional entre tais perímetros e a capacidade biogénica do rio.

O método requer que, para uma dada secção de um curso de água caracterizada pelo respectivo perfil transversal, seja obtida a curva que relaciona os caudais, Q , que aí se escoam com os perímetros molhados, P , que lhes correspondem – curva (Q, P) . O caudal, Q_{pm} , que decorre do método corresponde ao caudal, de entre os mais baixos caudais escoados, para o qual a anterior curva apresenta uma inflexão. No gráfico seguinte esquematiza-se o processo de selecção de Q_{pm} .

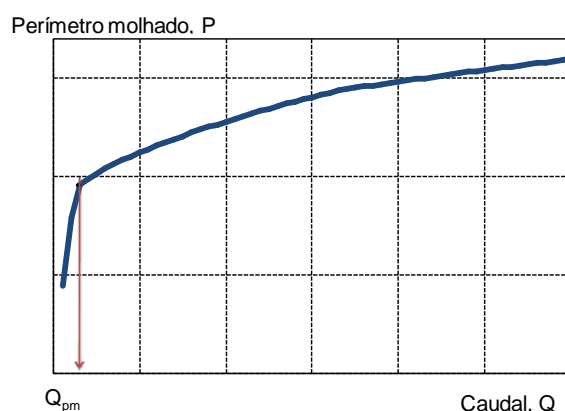


Figura 2.1 – Método do perímetro molhado.

A aplicação do método do perímetro molhado pressupõe, não só a selecção das secções dos cursos de água que deverão ser objecto de determinação dos caudais de manutenção ecológica, como também a explicitação do modelo a aplicar no cálculo hidráulico subjacente ao procedimento, designadamente no cálculo hidráulico do perímetro molhado, ou seja, das alturas e secções do escoamento.

Para maior detalhe sobre a formulação do método do perímetro molhado, sugere-se a consulta de GORDON *et al.* (1992).

2.3.4 Métodos ambientais

Os métodos ambientais baseiam-se na relação entre o *habitat* e o caudal. São os métodos mais sofisticados, quando comparados com os anteriormente abordados, uma vez que recorrem a critérios de aptidão de *habitat* para a espécie, numa determinada fase do seu ciclo de vida, para estimar a variação do *habitat* disponível em função do caudal. São também os que obrigam a um maior trabalho de campo pois requerem a análise aprofundada do *habitat* e das suas especificidades.

De entre os métodos ambientais referem-se, a título de exemplo, os seguintes: do WRRI Cover; de Washington; da Califórnia; de Oregon; e a Metodologia Incremental (IFIM, *Instream Flow Incremental Methodology*).

2.4 Métodos com ampla aplicação no mundo

Nos pontos anteriores mencionaram-se métodos de cada um dos tipos inicialmente especificados, de entre os aplicados actualmente e referidos em bibliografia de origem portuguesa. Nos quadros seguintes apresenta-se uma sistematização mais ampla dos métodos existentes, que, para o efeito, foram divididos de acordo com o correspondente tipo. De notar que a subdivisão considerada na fonte consultada é diferente da apresentada anteriormente. Esta considera os métodos como hidráulicos, holísticos, de simulação de *habitats*, de “combinação” e hidrológicos. Tal quadro teve o intuito de proporcionar um apanhado geral da ampla informação disponibilizada sobre o assunto na página da *Internet* do *International Water Management Institute* (<http://www.lk.iwmi.org/>), cuja consulta se recomenda, bem como o de entender até que ponto um dado método é aplicável em países com regimes hidrológicos semelhantes.

Quadro 2.2 – Métodos para a determinação do caudal ecológico, lista disponibilizada pelo International Water Management Institute. Fonte: <http://www.lk.iwmi.org/>.

Métodos hidráulicos

Metodologia	Fonte	País de aplicação
Hydraulic Geometry-Discharge Relationships	Mosley - 1992	Nova Zelândia
Hydraulic habitat simulation modelling (EFMs)	Dunbar et al. - 1998	Holanda
Wetted Perimeter Method		Portugal

Métodos holísticos

Metodologia	Fonte	País de aplicação
BBM		Austrália, Swaziland e Chile
Benchmarking Methodology	DNR - 1998, Brizga - 2000, Brizga et al. - 2002	
Drift	Southern Waters Ecological Research and Consulting, Cape Town, South Africa e outros	
Ecohydrological modelling	Não especificada	Brasil
Environmental Flow Management Plan Method	King et al. - 1999, Muller - 1996	África do Sul, Australia
Flow events method	Stewardson - 2001	
Holistic methodologies (DRIFT, BBM or similar)		Cambodja, Moçambique, Namíbia, Sri Lanka

Quadro 2.2 (continuação) – Métodos para a determinação do caudal ecológico, lista disponibilizada pelo International Water Management Institute. Fonte: <http://www.lk.iwmi.org/>.

Métodos de simulação de *habitat*

Metodologia	Fonte	País de aplicação
20% Food-producing WUA Approach	Jowett - 1997	Nova Zelândia
2-D/3-D hydrodynamic modelling	Lecler et al. - 1995, Scruton et al. - 1996	Canadá
CASIMIR	Jorde K	Noruega e França
Cubillo Method	Cubillo - 1992	Espanha
ENSA Toulouse Method	Dunbar et al. - 1998	França
EVHA	Ginot - 1995	Canadá, Filândia, França
Fish Rule Curve Method		Canadá
Fleckinger Approach	Cubillo - 1992	Espanha
Habitat Duration Analysis		Austrália
Integrated GIS-based habitat simulation model	Semmekrot et al. - 1996	Holanda
Newcombe's Methodology	Newcombe - 1981	
PHABSIM-based local physical habitat simulation tool	Nakamura et al. - 1995	
WSP Hydraulic Mode (with PJ)	Reiser et al. - 1989	

Combinação de métodos

Metodologia	Fonte	País de aplicação
BENHFOR Procedure	Buffagni - 2001	Itália
Case-specific holistic-based approaches	Department of Water Resources (DWR), Australia	Austrália
Correlations of Q95, physicochemical & biotic indices	Davoca et al. - 2000	Bulgária
Habitat-based hydrological modelling linked to river system fish populations	Hall - 1989	Cambodja
Hall Fish Habitat Approach	Hall - 1991	
Holistic framework combining expert opinion, various criteria (unspecified), 7 point naturalness scale, elements of IFIM/PHABSIM	Dunbar et al. - 1998	Áustria
Linked statistical hydraulic & multivariate habitat use models	Lamoroux et al. - 1998	França
Physical (hydraulic) biotope-based approaches	Stewardson & Gippel - 1997	
River Enxoe Approach	Bernardo & Alves - 1999	Portugal
Singh Regionalisation	Vismara et al. - 2001	
Thomson River Fish Habitat-Flow Approach	Gippel et al - 1994	
Threshold components of flow regime-based approaches	Conney - 1994	
Wimmera River Habitat-based Approach	Arthington & Pusey 1993	

Quadro 2.2 (continuação) – Métodos para a determinação do caudal ecológico: lista disponibilizada pelo *International Water Management Institute*. Fonte: <http://www.lk.iwmi.org/>.

Métodos hidrológicos

Metodologia	Fonte	País de aplicação
10% of MAF	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
10% of Q90	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
20% of Q90	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
25% of MAF	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
30% of MAF	Gordon et al. - 1992	Nova Zelândia
30% of Mean Monthly Flow	Gordon et al. - 1993	
30-75% of 1 in 5 year low flow	Jowett - 1997	Nova Zelândia
33-46% MAF	Docampo & De Bukiña - 1993	Espanha
5-20% of Q90	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
70% of 7Q10	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
7Q10	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
Average Base Flow Methodology	Kulik 1990, Stalnaker & Amette -1976	
Basic Flow Method	Palau & Alcazar - 1996	Catalunha
BWE	King et al. - 1999	África do Sul
Desktop estimate	DWAF - 1999, Hughes - 2001, King et al - 1999	
Ecotype-based Modified Tennant Method		Brasil e proposto para África do Sul
FDC Analysis (FDCA)	Gordon et al. - 1992	
FDC percentiles	Smakhtin - 2001	África do Sul
Flow Translucency Approach	Gippel - 2001	
Hope and Finnel Method	Hope & Finnel - 1970	
Mean Monthly Flow	Gordon et al. - 1992	
Median Monthly Flow	Gordon et al. - 1992	
Minimum Q of 50 l/s or Q347 (with minimum depth=0.20m, for Q>50l/s)	Docampo & De Bukiña - 1993	Espanha
MNQ	Statzner et al. - 1990	Alemanha
Modified Hoppe & Finnel Method		Austrália
Modified Tennant Method	Fraser - 1978	Nova Zelândia
MQ	Statzner et al. - 1990	Alemanha
Northern Great Plains Resource Program (NGPRP) Method	NGPRP - 1974	
OCFR (0.1-0.3 cm per 100km ²)	Nakamura et al. - 1994	
Q347	Crosa et al. - 1988	
Q355	Bernaová - 1998	
Q80 of unregulated mean daily flow regime	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
Q90 (of regulated/unregulated floW)	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
Q95 based on mean monthly discharge	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
Q95 or a multiple thereof	Gordon et al. - 1992, Smakhtin - 2001	
Q96	Jowett - 1997	
Regionalisation of % AAFs from Tennant Method	Casadei - 1990	
Robinson's 1969 Method	Robinsons - 1969	
RVA (and /or IHA)	Richeter et al. - 1996, Richter et al. - 1997	
Tennant Method	Tennant - 1976	
Tessman Modification of Tennant Method	Dubnar et al. - 1998	
Two-level seasonal modified Tennat Method (with PJ)	Scruton & LeDrew - 1996	
Various FDC percenties (inc./excl. Ecological and/or geomorphological data)	Gordon et al. - 1992	
VHI (use of PAWN Hydrological Model/other Methods)	Dubnar et al. - 1998	
Washington Base Flow Methodology	Stalnaker & Amette - 1976	

Nota: todas as referências bibliográficas podem ser encontradas em <http://dw.iwmi.org/ehdb/efm/Visitors/ViewAllReference.asp>.

2.5 Métodos com aplicação em Portugal

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

No que concerne à produção de energia, as primeiras indicações sobre o assunto surgiram no Decreto-Lei n.º 189/88, de 22 Maio, sendo, desde então, revertidas, pela entidade licenciadora, nos Alvarás de Licença de Utilização da Água, que normalmente estipulam a obrigação de assegurar caudais ecológicos para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Muito frequentemente são aceites caudais ecológicos na média dos meses compreendidos entre 2.5% e 5.0% dos caudais modulares, sem que se atenda às características do regime hidrológico dos cursos de água e dos ecossistemas a eles associados, pelo que se admite que os objectivos de qualidade ambiental possam não ser atingidos.

Na Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87, de 7 de Abril de 1987) e no Decreto-Lei n.º 70/90, de 2 de Março de 1990, refere-se a necessidade de atender à protecção e conservação do meio ambiente no processo de planeamento, administração e utilização do domínio público hídrico do Estado e na administração do domínio hídrico privado.

Em 2002, ALVES e BERNARDO desenvolvem um método aplicável a Portugal Continental relativamente simples e de aplicação expedita. Trata-se do já referido método do INAG, DSP, 2002, que se baseia em registos de caudais e que desempenha um papel de referência, pelo menos nas fases iniciais de projecto. O surgimento de uma metodologia especificamente desenvolvida para Portugal é, pelo menos, um ponto de partida para a concepção de outros métodos que, na determinação do caudal ecológico, atendam aos constrangimentos hidrológicos específicos do País.

No entanto, esta e outras metodologias não devem ser encaradas como “receitas”, tanto mais que não existe, por ora, “o método” mais adequado para a combinação de situações hidrológica, hidráulica e ambientais específicas. Existe, sim, a obrigação de proceder a uma análise cuidada de cada caso, recorrendo, em hipótese, à gestão adaptativa, antes mencionada, ou, inclusivamente, a métodos distintos dos apresentados, até que se alcance uma certa homogeneidade nos resultados.

Em aproveitamentos hidroeléctricos construídos mais recentemente, a fixação do caudal ecológico já não se restringiu à observância das indicações da legislação. Com efeito e exemplificando, nos aproveitamentos de Alto Lindoso e de Touvedo (rio Lima) aplicou-se 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 optou por uma metodologia para avaliar caudais ecológicos em cursos de água com regime torrencial

mediterrânico. Menciona-se, ainda, a aplicação da metodologia incremental e dos métodos do perímetro molhado e de Tennant à mini-hídrica do Torga (rio Tuela). O método do perímetro molhado e a metodologia incremental foram também aplicados no rio Guadiana, para o estudo integrado de impacte ambiental do empreendimento do Alqueva. Em 2004 é proposto um método hidrológico-hidráulico para o Sul do País, PORTELA (2004, 2005 e 2006), que foi aplicado a mais de uma dezena dos aproveitamentos hidráulicos que integram o sistema do Alqueva.

2.6 Método hidrológico-hidráulico

Este método, desenvolvido por PORTELA (2004, 2005 e 2006), tem por objectivo a definição de caudais ecológicos mensais em secções da rede hidrográfica do Sul de Portugal Continental, região caracterizada por escoamentos anuais médios muito baixos (inferiores a 150 mm) associados a acentuada variabilidade temporal, intra e interanual.

O método é sustentado por critérios hidrológicos e hidráulicos, fazendo depender os caudais ecológicos, por um lado das séries de caudais afluentes em regime natural às secções em estudo e das características de tais séries, com ênfase para a respectiva variabilidade temporal e, por outro lado, de parâmetros hidráulicos associados ao escoamento daqueles caudais, designadamente, das respectivas velocidades.

Em linhas gerais, o procedimento desenvolvido adopta para o caudal ecológico na média dos meses numa dada secção da rede hidrográfica o caudal cuja velocidade do escoamento é igual à média das velocidades do escoamento dos caudais que, aí se escoando, apresentam durações anuais médias compreendidas entre dados limites. A fixação, para cada secção, das durações anuais médias a considerar no estabelecimento do correspondente caudal ecológico tem em conta a variabilidade temporal do regime natural, PORTELA (2004, 2005 e 2006).

A metodologia obriga a dispor de uma série razoavelmente longa de caudais médios diários afluentes em regime natural à secção que se pretende analisar, bem como a conhecer a geometria dessa secção. Considerando apenas parte dos caudais médios diários que compõem a anterior série, são, então, calculadas as respectivas alturas e velocidades médias do escoamento, bem como os correspondentes valores médios.

O caudal ecológico proposto para a média dos meses, Q_{eco} , é o caudal cuja velocidade média do escoamento, v_{med} , é igual à média das velocidades médias anteriormente obtidas.

Para gerar um regime mensal de caudais ecológicos, sujeita-se o caudal Q_{eco} a uma espécie de “rotação mensal” em que é repartido por aplicação de coeficientes mensais; o

coeficiente em cada mês é dado pela razão entre o caudal afluyente nesse mês na média dos anos e o módulo. A equação que traduz a anterior rotação é dada por:

$$Q_i = Q_{eco} \frac{Q_{mes\ i}}{Q_{mod}} \quad (2.2)$$

em que Q_{eco} é, conforme mencionado, o caudal ecológico na média dos meses; Q_i , o caudal ecológico no mês i ; $Q_{mes\ i}$, a média, no período considerado, dos caudais médios diários no mês i , ou caudal mensal médio no mês i ; e Q_{mod} é o módulo.

O quociente $\frac{Q_{mes\ i}}{Q_{mod}}$ traduz a variabilidade intra-anual do escoamento.

Como antes se referiu, apenas parte da série de caudais médios diários é considerada, para o que se adoptam durações anuais médias e caudais médios diários limítrofes. Por duração anual média de um dado caudal entende-se o número médio de dias por ano em que esse caudal é igualado ou excedido.

Assim, no cálculo dos valores Q_{med} e de v_{med} excluem-se, na gama dos caudais médios diários mais elevados, os correspondentes a durações anuais médias inferiores ou iguais a cinco dias e que, geralmente, se referem a situações excepcionais de cheia que, não obstante puderem representar uma contribuição significativa para o escoamento anual, não são representativas do regime hidrológico. Na gama dos menores caudais médios despreza-se uma parte significativa dos dias com caudal nulo por forma a “contrariar” a expectativa de se alcançarem caudais ecológicos que, à partida, se anteviam influenciados por condições de escassez de recurso.

O critério para fixar o número de dias com caudal reduzido ou nulo a desprezar atendeu à dependência entre a duração anual média do módulo, D , e a altura anual média do escoamento, H , estabelecida por PORTELA e QUINTELA (2005a, 2005b) com base nos registos de caudais médios diários em 54 estações hidrométricas do País e apresentada na Figura 2.2.

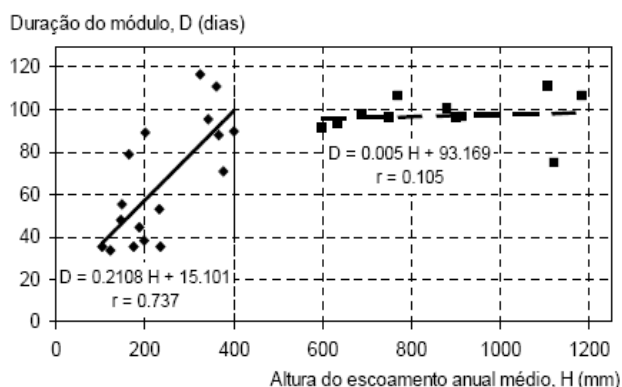


Figura 2.2 – Dependência entre a altura do escoamento anual médio e a duração média do módulo.
Fonte: PORTELA (2005a).

A anterior figura mostra que para alturas do escoamento anual médio, H , superiores a 400 mm, a duração anual média do módulo, D , é sempre muito próxima de 100 dias, enquanto que para valores de H inferiores a 400 mm, tal duração é menor quanto menor é a altura anual média.

Para maior detalhe sobre a formulação da anterior metodologia, sugere-se a leitura de PORTELA (2004, 2005 e 2006).

Convém notar que esta metodologia, a par das outras antes apresentadas, não pode dispensar o acompanhamento e a monitorização posteriormente à implementação de um dado regime de caudais ecológicos no curso de água.

3 Conceção

3.1 Introdução

Julga-se existir uma lacuna no que toca a metodologias de definição do caudal ecológico que atendam às especificidades do regime hidrológico de Portugal Continental. Com efeito e à parte do método referenciado por INAG, DSP, 2002, e do método hidrológico-hidráulico, PORTELA (2004, 2005 e 2006), ambos brevemente mencionados no ponto 2, as propostas de caudal ecológico para trechos de cursos de água sujeitos a intervenções baseiam-se em metodologias que não foram desenvolvidas especificamente para o País.

O trabalho que se apresenta surgiu na sequência dos estudos conducentes à apresentação de propostas de caudais ecológicos a implementar a jusante de aproveitamentos hidráulicos pertencentes ao sistema de Alqueva, em cujo âmbito foi desenvolvido, de raiz, o método hidrológico-hidráulico. Por este método se ter revelado bastante adequado aos regimes hidrológicos ocorrentes no Sul do País, surgiu a ideia de averiguar a sua adequação ou, mesmo, de proceder à sua reformulação tendo em vista regimes hidrológicos distintos daqueles outros, designadamente ocorrentes no Norte do País. Dessa tentativa resultaria a possibilidade de sustentar as propostas de caudais ecológicos num único método ou em métodos com raiz comum, capazes de atender às especificidades do regime hidrológico na totalidade do território de Portugal Continental.

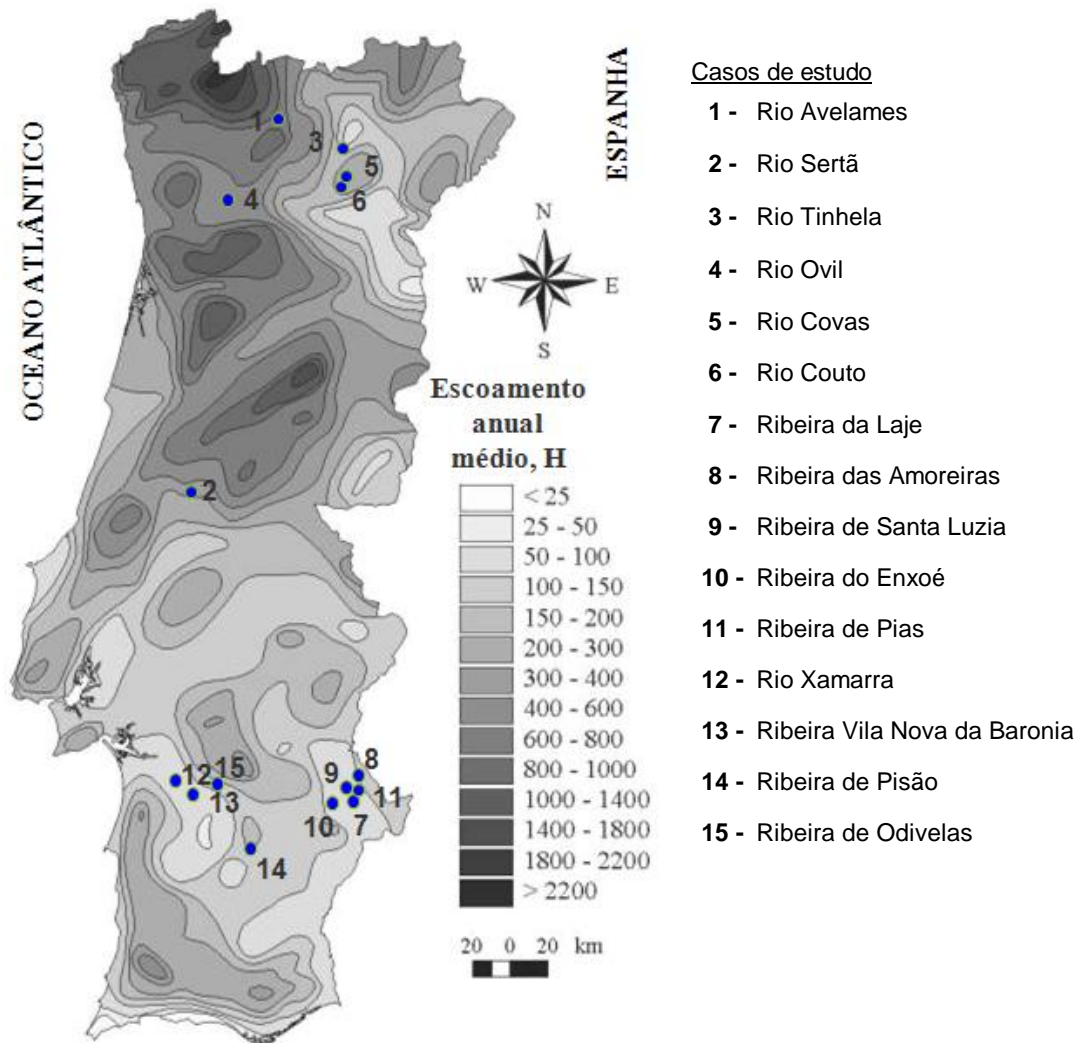
3.2 Casos de estudo

O estudo que se apresenta, relativo ao estabelecimento de caudais ecológicos em secções de cursos de água portuguesas, pressupõe a análise das características:

- hidrológicas, associadas aos caudais afluentes em regime hidrológico natural a essas secções;
- hidráulicas, associadas ao escoamento daqueles caudais, as quais dependem da geometria dos trechos em que se insere as secções objecto de apresentação de propostas de caudais ecológicos; para o efeito, é necessário dispor de perfis em secções transversais daqueles trechos que se admitam representativos da geometria e da ocupação dos leitos e das margens ao longo dos mesmos.

O estudo utilizou **seis casos de estudo**, identificados por **projecto 1** a **projecto 6**, inseridos no Norte do País, conforme se esquematiza na **Figura 3.1**.

Figura 3.1 – Localização esquemática dos casos de estudo – adaptado de PORTELA e SANTOS (2006).



Os **projectos 1 a 6** referem-se a pequenas centrais hidroeléctricas em exploração ou em fase de estudo. Foi também utilizada a informação relativa a mais nove casos de estudo correspondentes a aproveitamentos hidráulicos, em exploração ou em fase de estudo, localizados no Sul do País. Estes nove casos de estudo foram identificados por **projecto 7 a projecto 15** e considerados de modo a possibilitar a análise objecto do ponto 3.3.5 deste relatório.

Nos **Quadro 3.1 a Quadro 3.3** sistematizam-se os diferentes casos de estudo e identificam-se os dados pertinentes para a aplicação, não só do método que se desenvolveu, mas também dos métodos proposto por INAG, DSP, 2002; do perímetro molhado; do caudal base e hidrológico-hidráulico, que foram considerados de modo a possibilitar a mais ampla comparação de caudais ecológicos. Para o efeito, os casos de estudos foram agrupados consoante se inserem no Norte do País – **projectos 1 a 6, Quadro 3.1** – ou no Sul do País – **projectos 7 a 15, Quadro 3.2 e Quadro 3.3**.

Complementam a informação relativa a cada caso de estudo, os perfis transversais nas secções do trecho de rio consideradas para a definição de caudais ecológicos, em número de **dois a quatro**, consoante o caso. Tais perfis, que foram também agrupados por região, são apresentados nas **Figura 3.2 a 3.9**, para os casos localizados no Norte do País, e nas **Figura 3.10 a 3.16**, para os inseridos no Sul. Anota-se que na generalidade dos casos não foi possível obter perfis transversais com maior detalhe, apenas se dispondo dos elementos cartográficos (à escala 1/100 ou 1/200) que sustentaram o projecto das correspondentes obras.

Em cada quadro e para cada caso de estudo é indicada:

- a inserção geográfica no País;
- a estação hidrométrica utilizada na estimativa das séries de caudais médios diários afluentes e o correspondente período com registos daqueles caudais;
- o curso de água em que se insere e o curso de água principal;
- a área da bacia hidrográfica;
- o volume e a altura do escoamento anual médio afluente e o correspondente módulo;
- o número de secções consideradas no trecho do curso de água objecto de definição de caudais ecológicos e a designação atribuída a tais secções;
- o declive médio do trecho do curso de água objecto de definição de caudais ecológicos;
- a série de caudais mensais médios.

Menciona-se, ainda, que uma vez que nenhuma das secções objecto de definição de caudais ecológicos coincide com uma estação hidrométrica, a série de caudais médios diários afluentes à mesma foi estimada a partir dos registos daqueles caudais numa estação hidrométrica tão próxima quanto possível, por aplicação dos procedimentos de transposição propostos por PORTELA e QUINTELA (2000, 2002a e 2002b). Nos quadros correspondentes são indicadas as estações hidrométricas a partir das quais se procedeu à transposição de caudais para as secções relativas aos diferentes casos de estudo, bem como os períodos com registos disponíveis em tais estações.

Quadro 3.1 – Dados relativos aos projectos 1 a 6, localizados do Norte do País.

Projectos		1	2	3	4	5	6
Localização		Norte					
Estação hidrométrica		Santa Marta de Alvão	Fábrica da Matrena	Murça	Cabriz	Vale Giestoso	Vale Giestoso
Período de registos		45 anos	13 anos	27 anos	33 anos	40 anos	40 anos
		1955/56 a 1999/2000	1976/77 a 1988/89	1970/71 a 2003/04	1966/67 a 1999/2000	1957/58 a 1996/97	1957/58 a 1996/97
Curso de água		Rio Avelames	Rio Sertã	Rio Tinhela	Rio Ovil	Rio Covas	Rio Couto
Bacia hidrográfica principal		Rio Tâmega	Rio Tejo	Rio Tâmega	Rio Douro	Rio Tâmega	Rio Tâmega
Área da bacia hidrográfica (km ²)		78.8	301.5	87.0	53.7	21.3	58.9
Escoamento anual médio	Volume (hm ³)	40.4	174.9	53.1	37.6	28.3	78.3
	Altura (mm)	512.7	580.1	610.0	700.2	1328.6	1329.4
	Módulo (m ³ /s)	1.28	5.55	1.68	1.19	0.90	2.48
Duração anual média do módulo (dia)		101	88	86	107	91	91
Secções transversais		S1.1, S1.2 e S1.3	S2.1, S2.2 e S2.3	S3.1, S3.2, S3.3 e S3.4	S4.1 e S4.2	S5.1, S5.2 e S5.3	S6.1 e S6.2
Declive médio		1.2%	0.8%	4.5%	0.8%	9.0%	4.3%
Caudal mensal médio (l/s)	Outubro	577.75	1824.90	581.80	552.46	306.43	847.84
	Novembro	1363.32	3606.65	1220.16	1125.52	736.76	2038.45
	Dezembro	2421.62	8496.43	3338.39	1992.26	1497.44	4143.10
	Janeiro	2672.99	10132.11	3725.05	2560.09	1891.67	5233.84
	Fevereiro	2581.87	16667.85	3992.69	2421.85	2061.46	5703.63
	Março	2031.65	8178.88	2699.21	1675.70	1461.11	4042.58
	Abril	1510.22	6061.19	1717.56	1429.06	1033.16	2858.53
	Maió	1041.51	4557.43	1262.30	1294.82	702.30	1943.11
	Junho	520.71	2521.88	671.15	629.97	423.96	1173.00
	Julho	193.94	1451.40	310.35	177.47	213.40	590.43
Agosto	72.34	907.39	145.04	83.73	116.91	323.46	
Setembro	95.72	894.06	150.37	95.31	121.41	335.92	

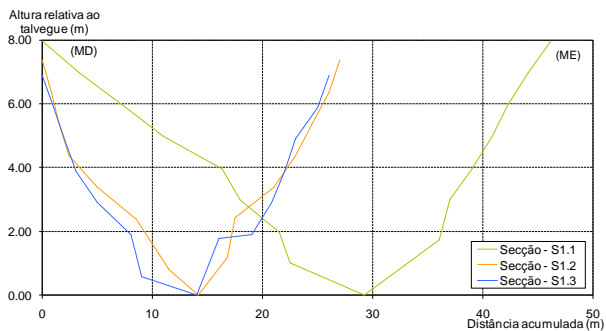


Figura 3.2 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 1. Perfis de montante para jusante: S1.1; S1.2 (secção de inserção do açude) e S1.3 (base: cartografia à escala 1/100).

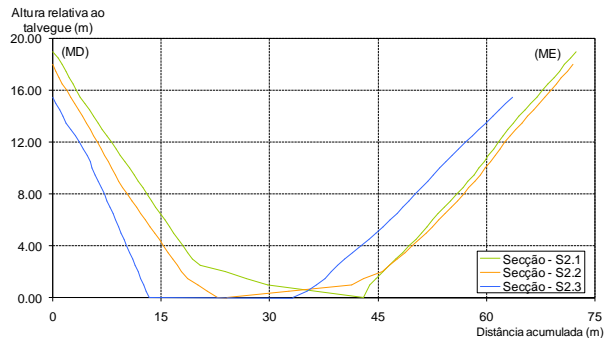


Figura 3.3 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 2. Perfis de montante para jusante: S2.1; S2.2 (secção de inserção do açude) e S2.3 (base: cartografia à escala 1/200).

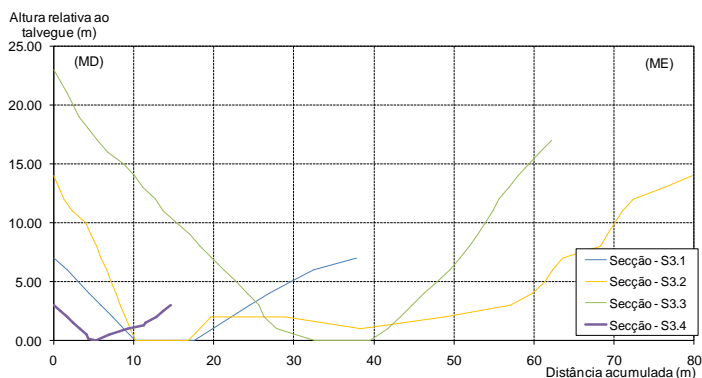


Figura 3.4 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 3. Perfis de montante e jusante do açude: S3.1; S3.2 (base: cartografia à escala 1/200).

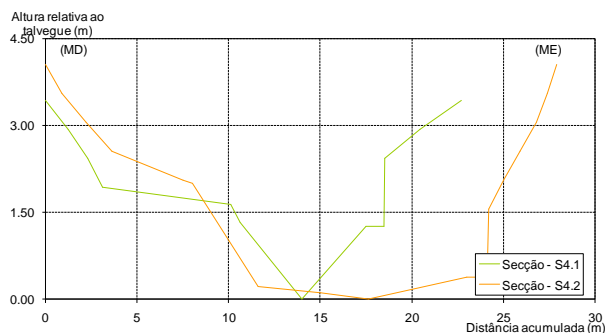


Figura 3.5 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 4. Perfis de montante para jusante: S4.1; S4.2 (secção de inserção do açude) e S4.3 (base: cartografia à escala 1/200).

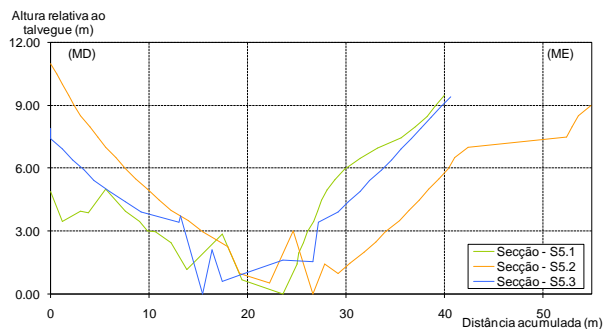


Figura 3.6 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 5. Perfis de montante para jusante: S5.1; S5.2 (secção de inserção do açude) e S5.3 (base: cartografia à escala 1/200).

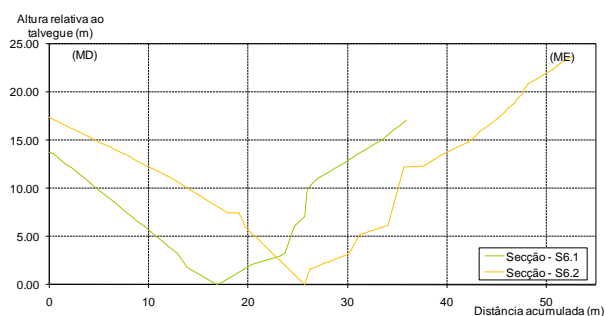


Figura 3.7 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 6. Perfis de montante e jusante do açude: S6.1; S6.2 (base: cartografia à escala 1/200).

Quadro 3.2 – Dados relativos aos projectos 7 a 10, localizados no Sul do País.

Projectos		7	8	9	10
Localização		Sul			
Estação hidrométrica		Albernoa	Albernoa	Albernoa	Albernoa
Período de registos		20 anos	20 anos	20 anos	20 anos
		1970/71 a 1989/90	1970/71 a 1989/90	1970/71 a 1989/90	1970/71 a 1989/90
Curso de água		Ribeira da Laje	Ribeira das Amoreiras	Ribeira de Santa Luzia	Ribeira Enxoe
Bacia hidrográfica principal		Guadiana	Guadiana	Guadiana	Guadiana
Área da bacia hidrográfica (km ²)		13.1	101.8	6.3	176.2
Escoamento anual médio	Volume (hm ³)	1.1	9.2	0.6	16.8
	Altura (mm)	83.8	90.7	94.4	95.5
	Módulo (m ³ /s)	0.03	0.29	0.02	0.53
Duração anual média do módulo (dia)		36	36	36	36
Secções transversais		S7.1 e S7.2	S8.1 e S8.2	S9.1 e S9.2	S10.1 e S10.2
Declive médio		0.7%	0.7%	0.6%	0.5%
Caudal mensal médio (l/s)	Outubro	11.06	0.09	5.93	0.17
	Novembro	49.72	0.42	26.67	0.76
	Dezembro	130.61	1.10	70.06	2.00
	Janeiro	82.83	0.70	44.43	1.27
	Fevereiro	94.04	0.79	50.44	1.44
	Março	32.94	0.27	17.67	0.50
	Abril	13.73	0.12	7.36	0.21
	Maio	3.61	0.03	1.93	0.06
	Junho	0.61	0.01	0.32	0.01
	Julho	0.26	0.00	0.14	0.00
Agosto	1.60	0.01	0.86	0.02	
Setembro	0.89	0.01	0.48	0.01	

Quadro 3.3 – Dados relativos aos projectos 11 a 15, localizados no Sul do País.

Projectos		11	12	13	14	15
Localização		Sul				
Estação hidrométrica		Albernoa	Torrão do Alentejo	Torrão do Alentejo	Monte da Ponte	Odivelas
Período de registos		20 anos	29 anos	29 anos	31 anos	33 anos
		1970/71 a 1989/90	1961/62 a 1989/90	1961/62 a 1989/90	1959/60 a 1989/90	1934/35 a 1966/67
Curso de água		Ribeira de Pias	Rio Xamarra	Ribeira Vila Nova da Baronia	Ribeira do Pisão	Ribeira de Odivelas
Bacia hidrográfica principal		Guadiana	Sado	Sado	Guadiana	Sado
Área da bacia hidrográfica (km ²)		37.6	509.0	39.8	48.0	218.0
Escoamento anual médio	Volume (hm ³)	3.6	73.2	5.9	7.5	76.7
	Altura (mm)	95.6	143.8	148.6	155.4	351.9
	Módulo (m ³ /s)	0.11	2.32	0.19	0.24	2.43
Duração anual média do módulo (dia)		36	49	49	39	48
Secções transversais		S11.1, S11.2 e S11.3	S12.1 e S12.2	S13.1 e S13.2	S14.1 e S14.2	S15.1 e S15.2
Declive médio		0.9%	0.2%	0.6%	0.4%	0.3%
Caudal mensal médio (l/s)	Outubro	0.04	0.39	31.50	69.80	0.57
	Novembro	0.16	1.31	105.80	259.00	1.68
	Dezembro	0.43	4.81	388.80	682.10	3.55
	Janeiro	0.27	6.50	525.00	681.40	6.94
	Fevereiro	0.31	8.76	707.60	709.70	7.39
	Março	0.11	4.33	305.10	359.10	6.24
	Abril	0.05	1.63	131.90	73.10	2.09
	Maio	0.01	0.40	32.70	22.10	0.89
	Junho	0.00	0.11	8.90	8.10	0.12
	Julho	0.00	0.02	1.40	0.20	0.01
Agosto	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
Setembro	0.00	0.01	0.70	0.40	0.02	

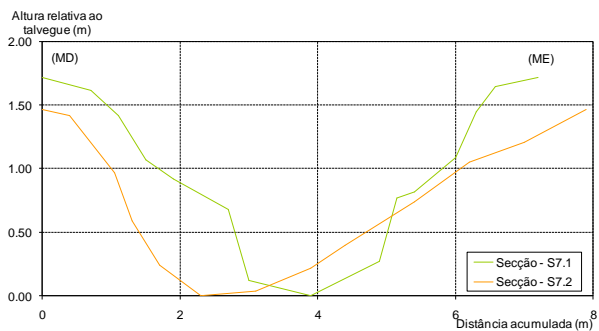


Figura 3.8 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 7 (base: levantamento de campo).

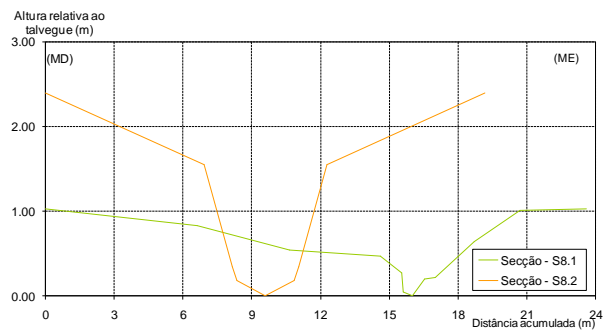


Figura 3.9 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 8 (base: levantamento de campo).

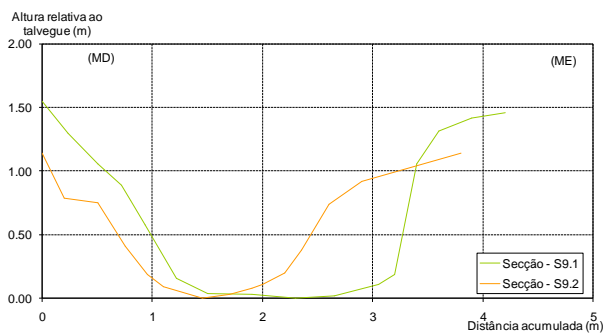


Figura 3.10 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 9 (base: levantamento de campo).

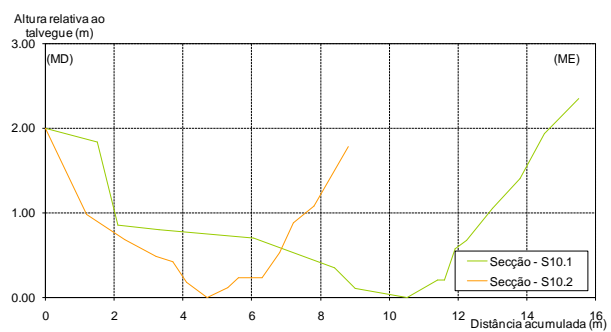


Figura 3.11 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 10 (base: levantamento de campo).

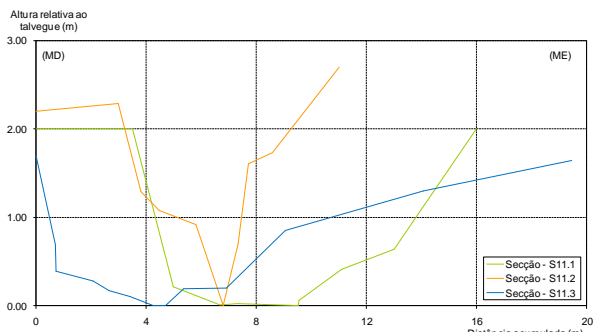


Figura 3.12 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 11 (base: levantamento de campo).

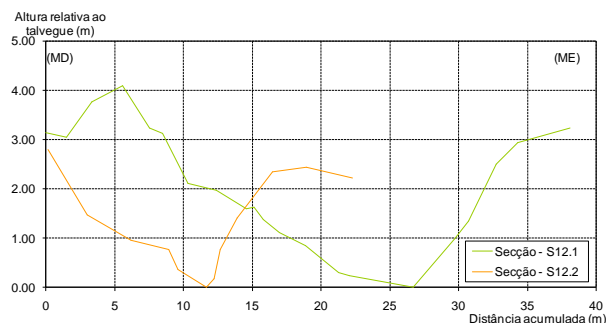


Figura 3.13 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 12 (base: levantamento de campo).

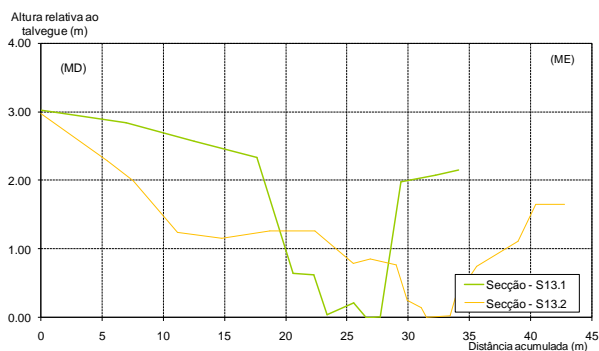


Figura 3.14 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 13 (base: levantamento de campo).

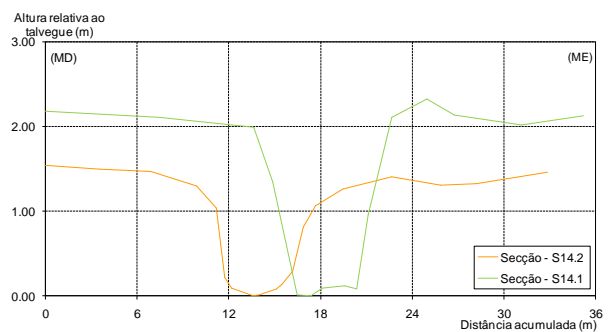


Figura 3.15 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 14 (base: levantamento de campo).

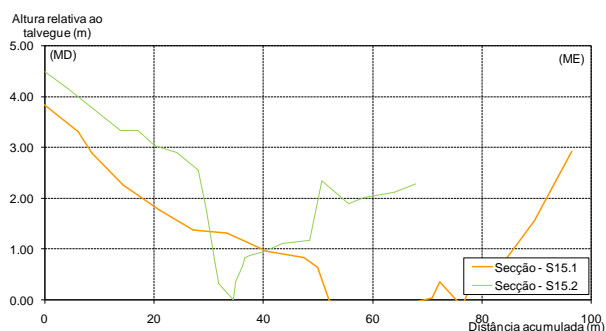


Figura 3.16 – Perfis transversais relativos ao caso de estudo 15 (base: levantamento de campo).

3.3 Procedimento geral

3.3.1 Breves considerações

Para cada um dos casos de estudo procedeu-se à aplicação dos métodos propostos por INAG, DSP, 2002, do perímetro molhado, do caudal base e hidrológico-hidráulico.

Menciona-se, desde já, que o método do perímetro molhado aplicado aos casos de estudo localizados no Norte do País se revelou totalmente inadequado. Com efeito, em nenhum destes casos de estudo, as curvas que relacionam os caudais escoados com os perímetros molhados exibiram pontos de inflexão que possibilitassem a identificação de caudais ecológicos. Tal circunstância pode ter decorrido do insuficiente pormenor dos perfis transversais utilizados ou da desadequação do método em menção à geometria dos cursos de água do Norte do País.

No decurso do estudo verificou-se que o método hidrológico-hidráulico, não obstante os bons resultados a que conduziu para o Sul do País, carecia de adequação ao regime hidrológico ocorrente no Norte, tendo-se ensaiado diversas adaptações suas, algumas das quais serão objecto dos pontos que se seguem.

Por ora, refere-se apenas que as alterações introduzidas tentaram diferenciar os regimes hidrológicos caracterizados por alturas do escoamento anual médio inferiores a 400 mm e superiores a este valor, sendo que, abaixo de 400 mm, se manteve o método hidrológico-hidráulico integralmente com o formalismo proposto por PORTELA (2004, 2005 e 2006). Tais alterações incidiram, em grande parte, mas não exclusivamente, sobre a identificação do intervalo de durações anuais médias que permite seleccionar os caudais médios diários a considerar no cálculo das velocidades médias do escoamento. Recorda-se que, de acordo com o método em discussão, o caudal ecológico a considerar numa dada secção na média dos meses é tal que lhe corresponde uma velocidade média do escoamento igual à média das velocidades médias calculada com base nos caudais médios diários com durações anuais médias entre limites pré-definidos. Deste modo, uma alteração dos limites do intervalo de durações resulta numa alteração dos caudais que intervêm no cálculo das velocidades médias e, necessariamente, numa alteração do caudal ecológico.

Nos pontos que se seguem descrevem-se, brevemente, os ensaios operados de modo a identificar um procedimento coerente de definição de caudais ecológicos para cursos de água inseridos no Norte do País, incluindo as sucessivas propostas de alteração do método hidrológico-hidráulico, ensaiadas no decurso da análise efectuada. Para tanto, recorreu-se a programas de cálculo automático computacional escritos em linguagem de programação FORTRAN.

3.3.2 Primeira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

Tendo-se concluído, num primeiro ensaio, que a aplicação do método hidrológico-hidráulico ao Norte do País conduzia a caudais ecológicos aparentemente muito elevados, procedeu-se ao “prolongamento”, por assim dizer, da série de caudais médios diários disponível em cada secção, mediante a adição de caudais nulos. Menciona-se que se manteve em cinco dias a duração anual média limite inferior para selecção de cada caudal a considerar no cálculo do caudal ecológico, Q_{eco} .

Concretamente e para além da duração anual média de 365 dias, foram anualmente adicionados caudais nulos, em número de $D_{caudais\ nulos}$, de acordo com a seguinte equação, em que H representa a altura anual média do escoamento:

$$D_{caudais\ nulos} = \bar{D} = (0.2198 H + 15.101) - 100 \quad (3.1)$$

Anota-se que os termos entre parêntesis decorrem da relação estabelecida por PORTELA e QUINTELA (2005a, 2005b), apresentada na **Figura 2.2**.

Assim sendo, e, recorda-se, exclusivamente para os casos com alturas do escoamento anual médios superiores a 400 mm ($H \geq 400$ mm), resultaram as seguintes durações anuais médias limítrofes, conforme se esquematiza na **Figura 3.17**:

$$\text{Duração limite inferior} - D_{inf} = 5 \text{ dias} \quad (3.2)$$

$$\text{Duração limite superior} - D_{sup} = 365 \text{ dias} + \bar{D} \quad (3.3)$$

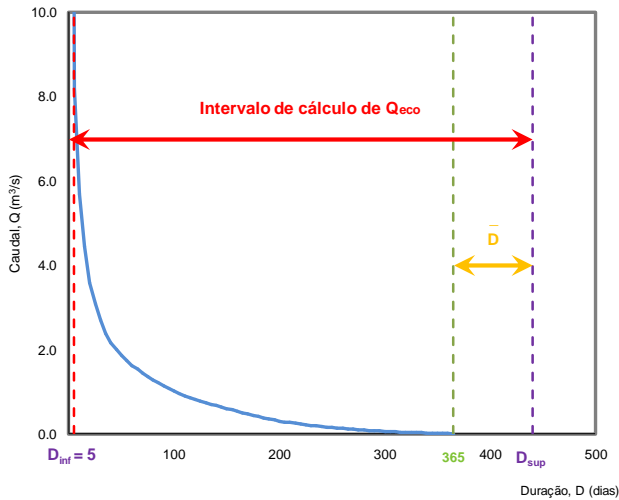


Figura 3.17 – Representação esquemática da primeira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.

3.3.3 Segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

Num segundo ensaio, optou-se por, em cada secção, desprezar os caudais médios diários mais elevados, considerando, em simultâneo, a totalidade dos menores caudais médios afluentes a essa secção, de acordo com os seguintes limites de durações anuais médias e com a **Figura 3.18**, tendo \bar{D} o significado antes apresentado:

$$\text{Duração limite inferior} - D_{\text{inf}} = 5 \text{ dias} + \bar{D} \quad (3.4)$$

$$\text{Duração limite superior} - D_{\text{sup}} = 365 \text{ dias} \quad (3.5)$$

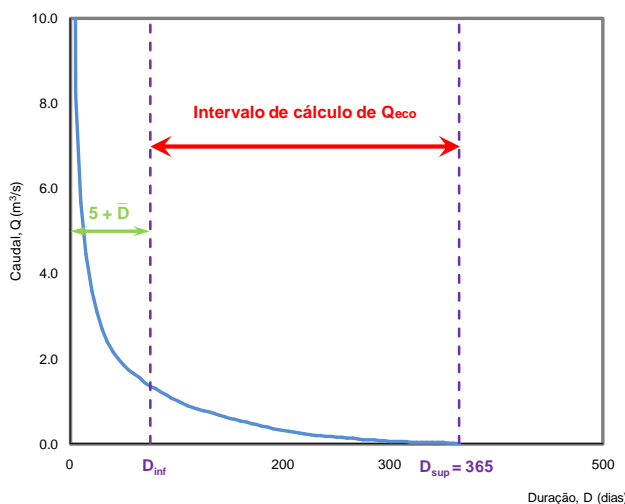


Figura 3.18 – Representação esquemática da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

3.3.4 Terceira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

Num terceiro ensaio “fundiram-se” as duas propostas de alteração anteriores, de acordo com as seguintes equações e com a **Figura 3.19**:

$$\text{Duração limite inferior} - D_{\text{inf}} = 5 \text{ dias} + \bar{D} \quad (3.6)$$

$$\text{Duração limite superior} - D_{\text{sup}} = 365 \text{ dias} + \bar{D} \quad (3.7)$$

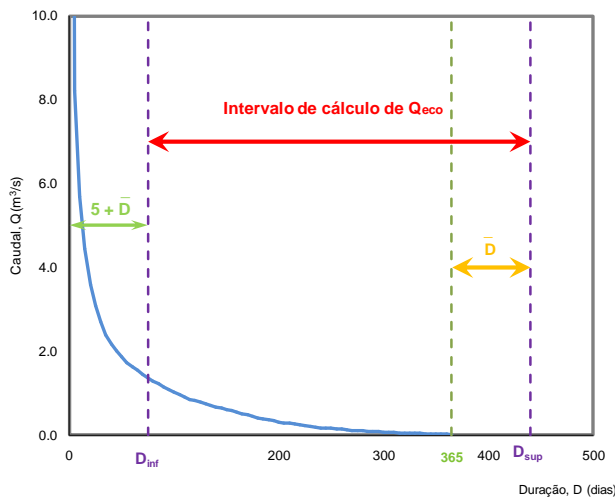


Figura 3.19 – Representação esquemática da terceira proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

3.3.5 Método baseado na fixação *à priori* do caudal ecológico

A par com os ensaios das anteriores propostas de alteração do método hidrológico-hidráulico, desenvolveu-se um procedimento destinado a pesquisar a possibilidade de estabelecer uma relação entre durações anuais médias subjacentes aos caudais médios diários intervenientes no cálculo dos caudais ecológicos e alturas do escoamento anual médio.

Para o efeito, considerou-se que o caudal ecológico era especificado *à priori*, fazendo-lhe corresponder uma percentagem, α , do módulo, ou seja:

$$Q_{eco} = \alpha Q_{mod} \quad (3.8)$$

Seguidamente, calculou-se a velocidade média correspondente ao escoamento de Q_{eco} , v_{eco} . Por fim, identificou-se a duração anual média do caudal médio diário a que corresponde a velocidade média do escoamento igual a v_{eco} .

4 Apresentação e análise dos resultados

4.1 Considerações gerais

Primeiramente, menciona-se que a aplicação das três propostas de alteração do método hidrológico-hidráulico aos casos de estudo do Norte do País evidenciou que apenas a segunda proposta (subcapítulo 3.3.3) conduzia a caudais ecológicos comparáveis entre diferentes secções, quer de um mesmo curso de água, quer de cursos de água distintos, mas exibindo alturas do escoamento anual médio próximas.

Deste modo e dado que em nada contribui para o objectivo do trabalho, julgou-se dispensável a apresentação dos resultados obtidos com base na primeira e terceiras propostas de alteração do método hidrológico-hidráulico (subcapítulos 3.3.2 e 3.3.4, respectivamente).

Assim, o subcapítulo 4.2.1 contém, para os casos de estudo inseridos no Norte do País, os resultados relativos à aplicação dos três métodos considerados para a obtenção do caudal ecológico, designadamente, do método proposto por INAG, DSP, 2002; do método do caudal base; e da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico. De um modo geral, para cada caso de estudo, tais resultados compreendem os caudais ecológicos – em valor absoluto e em percentagem dos módulos – e as correspondentes durações.

No subcapítulo 4.2.2 apresenta-se um conjunto de dados retirados do estudo apresentado em FERREIRA (2004) que se concentrou na aplicação do método do caudal base para obter valores de caudais ecológicos em numerosas secções da rede hidrográfica coincidentes com estações hidrométricas. O objectivo deste subcapítulo é cruzar os resultados obtidos por FERREIRA (2004) com os resultados relativos à aplicação do método do caudal base aos casos de estudo **1 a 6** localizados no Norte do País.

No subcapítulo 4.2.3 procede-se à apresentação dos resultados que advêm da aplicação do método baseado na fixação à *priori* do caudal ecológico. Este subcapítulo compreende, para além de breves notas introdutórias, três itens, onde se apresentam os resultados relativos aos casos de estudo localizados no Norte do País (casos de estudo 1 a 6, 4.2.3.2); aos casos de estudo do Sul do País (casos de estudo 7 a 15, item 4.2.3.3); e aos resultados decorrentes da análise conjunta de todos casos de estudo, (projectos 1 a 15, item 4.2.3.4).

4.2 Resultados

4.2.1 Casos de estudo localizados no Norte do País. Métodos proposto por INAG, DPS, 2002; do caudal base e segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico

No **Quadro 4.1** apresentam-se resultados relativos à aplicação dos métodos proposto por INAG, DPS, 2002 e do caudal base, designadamente, os caudais ecológicos obtidos para a média dos meses, Q_{eco} , quer em valor absoluto, quer em percentagem do módulo. Para cada caso, incluiu-se ainda a indicação do módulo, Q_{mod} , e da altura do escoamento anual médio, H . Como já havia sido referido, a aplicação destes métodos tem por objectivo facultar caudais ecológicos susceptíveis de serem comparados com os resultantes da aplicação da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico, única considerada para efeitos da apresentação de resultados

Quadro 4.1 – Casos de estudo relativos a projectos localizados no Norte do País. Caudais ecológicos decorrentes da aplicação dos métodos propostos por INAG, DPS, 2002 e do caudal base.

Casos de estudo	Q_{mod} m ³ /s	H mm	INAG/DSP		Caudal base	
			$Q_{ecológico}$			
			valor m ³ /s	percentagem %	valor m ³ /s	percentagem %
1	1.281	512.7	0.2880	22.5	0.1211	9.4
2	5.546	580.1	0.1124	2.0	0.5762	10.4
3	1.683	610.0	0.0419	2.5	0.2155	12.8
4	1.192	700.2	0.2817	23.6	0.0399	3.3
5	0.897	1328.6	0.2309	25.7	0.0696	7.8
6	2.483	1329.4	0.6390	25.7	0.1925	7.8

Antecedendo a análise dos resultados do anterior quadro, menciona-se que o projecto de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos começou a ser desenvolvido com base na adopção de caudais ecológicos de cerca de 3% dos caudais modulares, percentagem que veio a ser posteriormente aumentada para 5%. Tais projectos inserem-se essencialmente no Norte do País, caracterizado por disponibilidades hídricas mais abundantes e exibindo menor variabilidade temporal (quer ao longo do ano, quer entre anos).

A experiência adquirida em aproveitamentos hidráulicos localizados no Sul do País, designadamente, pertencentes ao sistema do Alqueva, sugere a adopção, para tais aproveitamentos, de caudais ecológicos mais elevados quando expressos em percentagem dos módulos, basicamente em consequência da acentuada irregularidade do regime hidrológico. Surgem, assim, propostas de caudais ecológicos próximos dos 10% dos correspondentes módulos, PORTELA (2005). Combinando a anterior informação, admite-se que caudais ecológicos compreendidos entre sensivelmente 5 e 10% dos módulos se possam adequar aos regimes hidrológicos ocorrentes em Portugal.

No que respeita aos resultados obtidos no âmbito do presente estudo, designadamente, apresentados no **Quadro 4.1**, verifica-se que a aplicação do método proposto por INAG, DSP, 2002, conduz mais frequentemente a caudais ecológicos reconhecidamente elevados. Exceptuando-se os casos de estudo **2** e **3**, cujo comportamento talvez possa ser explicado pelo pequeno número de anos com registos nas estações hidrométricas que serviram de base para estabelecer as séries de caudais médios diários e correspondentes caudais médios mensais, 13 e 27 anos, respectivamente.

Em face das anteriores considerações, julga-se válido afirmar que o método do caudal base apresenta resultados bastante satisfatórios. Com efeito e exceptuando o caso de estudo **4**, obtiveram-se caudais ecológicos compreendidos entre sensivelmente 8 a 13% dos módulos. Há ainda a sugestão que tal percentagem possa ser menor para as mais elevadas alturas do escoamento anual médio, talvez em consequência da maior regularidade do regime hidrológico.

No **Quadro 4.2** apresentam-se os caudais ecológicos resultantes da aplicação da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico, as correspondentes durações anuais médias, D, e as durações limites de cálculo daqueles caudais ecológicos, D_{inf} e D_{sup} , em conformidade com o exposto no capítulo 3.3.3. No quadro o símbolo SX.i identifica a secção i (com $i=1, \dots, 4$) do caso de estudo X (com $X=1, \dots, 6$).

Quadro 4.2 – Casos de estudo relativos a projectos do Norte do País. Caudais ecológicos decorrentes da aplicação da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.

	Casos de estudo	H mm	D_{inf} dias	D_{sup} dias	SX.1			SX.2		
					D dias	Q_{eco}		D dias	Q_{eco}	
						valor m^3/s	percentagem %		valor m^3/s	percentagem %
Norte	1	512.7	28	365	193	0.4419	34.5	191	0.4564	35.6
	2	580.1	42		208	1.6754	30.2	179	2.2231	40.1
	3	610.0	49		193	0.5084	30.2	192	0.5105	30.3
	4	700.2	68		227	0.2656	22.3	220	0.3076	25.8
	5	1328.6	200		291	0.1425	15.9	306	0.1254	14.0
	6	1329.4	200		291	0.3943	15.9	291	0.3942	15.9

	Casos de estudo	H mm	D_{inf} dias	D_{sup} dias	SX.3			SX.4		
					D dias	Q_{eco}		D dias	Q_{eco}	
						valor m^3/s	percentagem %		valor m^3/s	percentagem %
Norte	1	512.7	28	365	180	0.5252	41.0	-	-	-
	2	580.1	42		188	2.0008	36.1	-	-	-
	3	610.0	49		194	0.5009	29.8	209	0.4406	26.2
	4	700.2	68		-	-	-	-	-	-
	5	1328.6	200		316	0.1122	12.5	-	-	-
	6	1329.4	200		-	-	-	-	-	-

Os caudais ecológicos que advém da aplicação da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico excedem, muito significativamente, as mais elevadas

percentagens dos módulos comumente aceites na definição desses caudais, suscitando ainda as seguintes anotações.

- Com excepção dos casos de estudo **5** e **6**, as percentagens dos módulos que correspondem aos caudais ecológico são por demais elevadas para que seja economicamente viável aplicar os regimes ecológicos que pressupõe, circunstância em tudo equivalente à observada a propósito do método proposto por INAG; DSP, 2002.
- Para os casos de estudo **5** e **6**, tal percentagem reduz-se, continuando, contudo, a ser muito elevada. Não obstante este facto, tal circunstância reforça a expectativa, antes enunciada, de a alturas do escoamento anual médio mais elevadas puderem corresponder menores caudais ecológicos, quando expressos em percentagem dos correspondentes módulos.
- Aplicando a anterior análise a diferentes intervalos de alturas de escoamento verifica-se que projectos com alturas de escoamento próximas apresentam caudais ecológicos mais próximos entre si. É, assim, possível dividir os caudais ecológicos em dois grupos: os correspondentes a projectos com altura de escoamento entre 500 e 1000 mm e os relativos a alturas superiores a 1000 mm. Fica “no ar” a possibilidade de aplicar a segunda proposta de adequação do método hidrológico-hidráulico a mais casos de estudo com alturas de escoamento superiores a 1000 mm, por forma a verificar a tendência presente no **Quadro 4.2**.
- As durações anuais médias dos caudais ecológicos, D , são muito baixas (frequentemente inferior a 300 dias), ou seja, os números médios de dias por ano em que esses caudais são igualados ou ultrapassados são mais baixos do que os sugeridos pelas actuais práticas de projecto. Com efeito, é frequente haver menção ao facto de aos caudais ecológicos deverem corresponder durações anuais médias superiores a 335 dias, circunstância que nunca ocorreu nos casos analisados.

4.2.2 Caudal base. Comparação com outros resultados disponíveis para Portugal Continental.

Em FERREIRA (2004) é efectuada uma extensa aplicação do método do caudal base a secções da rede hidrográfica de Portugal Continental.

Assim, optou-se por recolher alguns dos resultados desse estudo e compará-los com os obtidos pelo mesmo método para os casos de estudo relativos ao Norte do País, antes apresentados no **Quadro 4.1**.

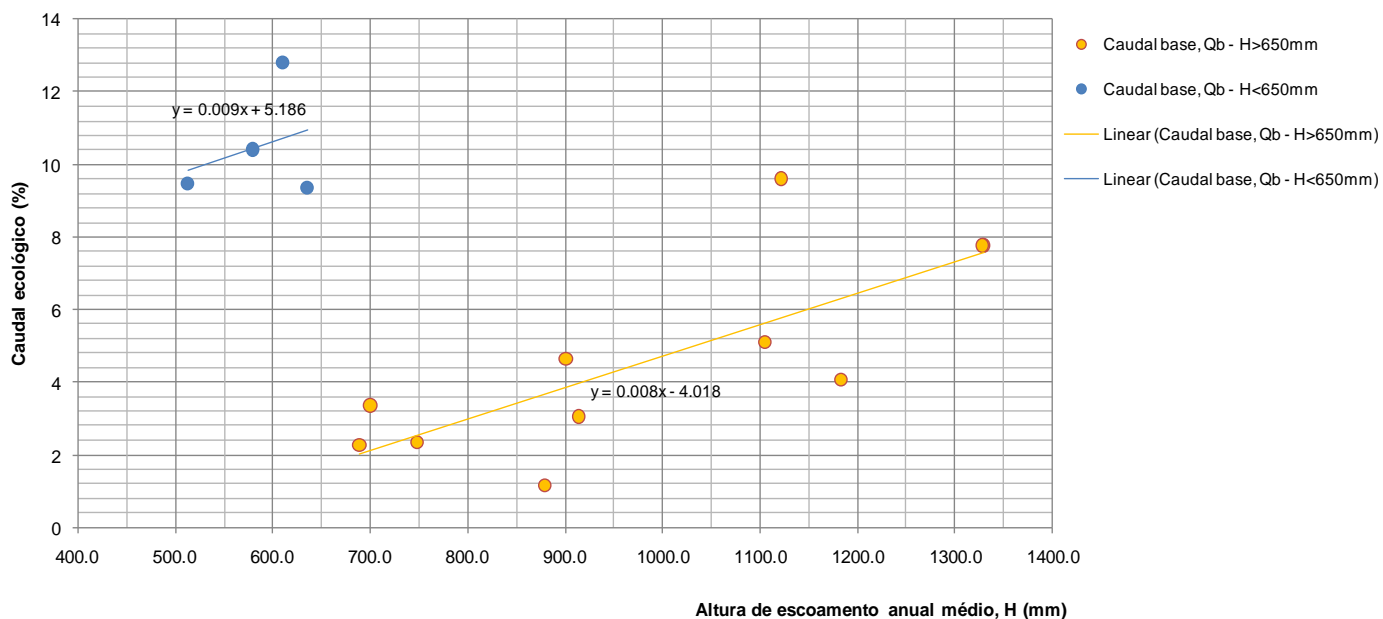
Para tanto, consideraram-se, de entre os casos de estudo analisados por FERREIRA (2004), os correspondentes a alturas anuais médias de escoamento superiores a 400 mm, conforme se sistematiza no **Quadro 4.3**.

Quadro 4.3 – Casos de estudo relativos a projectos com alturas de escoamento superiores a 400mm. Resultados decorrentes da aplicação do método do caudal base. Fonte: FERREIRA (2004).

Estação hidrométrica		Área da bacia hidrográfica km ²	Dimensão do período em análise anos	Afluência anual média			Caudal base, Qb	
código	nome			Volume hm ³	Módulo m ³ /s	Altura mm	valor m ³ /s	percentagem %
09G/01	Pte. Vale Maior	188	15	222.5	7.055	1183.4	0.2860	4.1
17F/02	Pte. Nova	102	10	114.5	3.630	1122.3	0.3482	9.6
09F/01	Pte. Minhoteira	114	14	126.0	3.994	1104.9	0.2033	5.1
11M/01	Pai Diz	50	17	45.7	1.449	914.1	0.0441	3.0
05K/01	S. Marta do Alvão	52	13	46.9	1.486	901.1	0.0689	4.6
06K/01	Ermida-Corgo	291	20	256.0	8.117	879.6	0.0927	1.1
10M/03	Videmonte	121	15	90.6	2.873	748.7	0.0670	2.3
08J/01	Castro d'Aire	291	18	200.5	6.358	689.0	0.1436	2.3
03K/01	Vale Giestoso	77	20	48.9	1.551	635.2	0.1450	9.3

De modo a comparar o maior número possível de caudais ecológicos obtidos por aplicação do método do caudal base e, conseqüentemente, a analisar a dependência entre esses caudais e a altura do escoamento anual médio, representou-se, no **Gráfico 4.1**, a totalidade dos caudais apresentados no **Quadro 4.1** e **4.3**, expressando-os em função daquela altura.

Gráfico 4.1 – Relação altura de escoamento – percentagem do módulo correspondente ao caudal ecológico. Resultados decorrentes da aplicação do método caudal base aos casos de estudo 1 a 6 (**Quadro 4.1**) e apresentados em FERREIRA (2004).



O anterior gráfico contém também a representação dos segmentos de recta obtidos por análise de regressão linear simples aplicada aos pares de valores (altura do escoamento anual médio; caudal ecológico) nele representados. A disposição desses pares de valores sugeriu o seu agrupamento consoante apresentavam altura do escoamento anual médio inferior ou superior a 650 mm, uma vez que se está nitidamente em presença de diferentes “dependências”.

4.2.3 Casos de estudo localizados no Norte e no Sul do País. Fixação à *priori* do caudal ecológico

4.2.3.1 Nota prévia

O método de fixação à *priori* do caudal ecológico foi aplicado tendo em vista a obtenção de resultados que, de algum modo, permitissem relacionar a altura de escoamento anual médio com uma característica intrínseca do caudal ecológico que não dependesse da área da bacia hidrográfica a que se refere aquele caudal. A característica seleccionada foi a duração anual média daquele caudal. Mediante a consideração desta característica, tornou-se possível comparar caudais ecológicos que, reportando-se a bacias hidrográficas com áreas distintas, não seriam de outro modo comparáveis, pois têm ordens de grandeza diferentes.

Para tanto o método em menção foi sujeito a dois tipos distintos de utilização.

No primeiro tipo de utilização, o método foi aplicado tendo em vista determinar as durações anuais médias dos caudais ecológicos antes obtidos para os diferentes casos de estudo localizados no Norte do País, apresentados no **Quadro 4.2**. Nessa utilização, incluíram-se também aos casos de estudo inseridos no Sul do País, cujos caudais ecológicos, definidos através do método hidrológico-hidráulico (PORTELA 2005) e correspondentes durações serão apresentados no **Quadro 4.6**. Observa-se que, para a segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico, aplicada aos casos de estudo do Norte do País, as durações anuais médias dos correspondentes caudais ecológicos já foram apresentadas no **Quadro 4.2**, restando apenas estimá-las para os caudais ecológicos resultantes do método do caudal base.

No segundo tipo de utilização do método de fixação à *priori* do caudal ecológico, tal caudal foi fixado em dadas percentagens do módulo e calculada, então, a duração anual média correspondente a cada uma dessas percentagens. Para o efeito, adoptaram-se as percentagens dos módulos de 7.5, 10.0, 15.0 e 20.0%.

Os resultados decorrentes dos dois anteriores tipos de utilização do método de fixação à *priori* do caudal ecológico foram organizados em conformidade com a localização geográfica dos casos de estudo nos subcapítulos 4.2.3.1 a 4.2.3.4, sendo oportunamente resumidos no

Quadro 4.6, para os localizados no Sul do País. A cada um dos anteriores quadros segue-se uma figura contendo a representação dos pares de valores (H,D), em que H é a altura do escoamento médio anual e D, a duração anual média do caudal ecológico. As figuras incluem ainda a representação de segmentos de recta obtidos por aplicação da análise de regressão linear àqueles pares de valores.

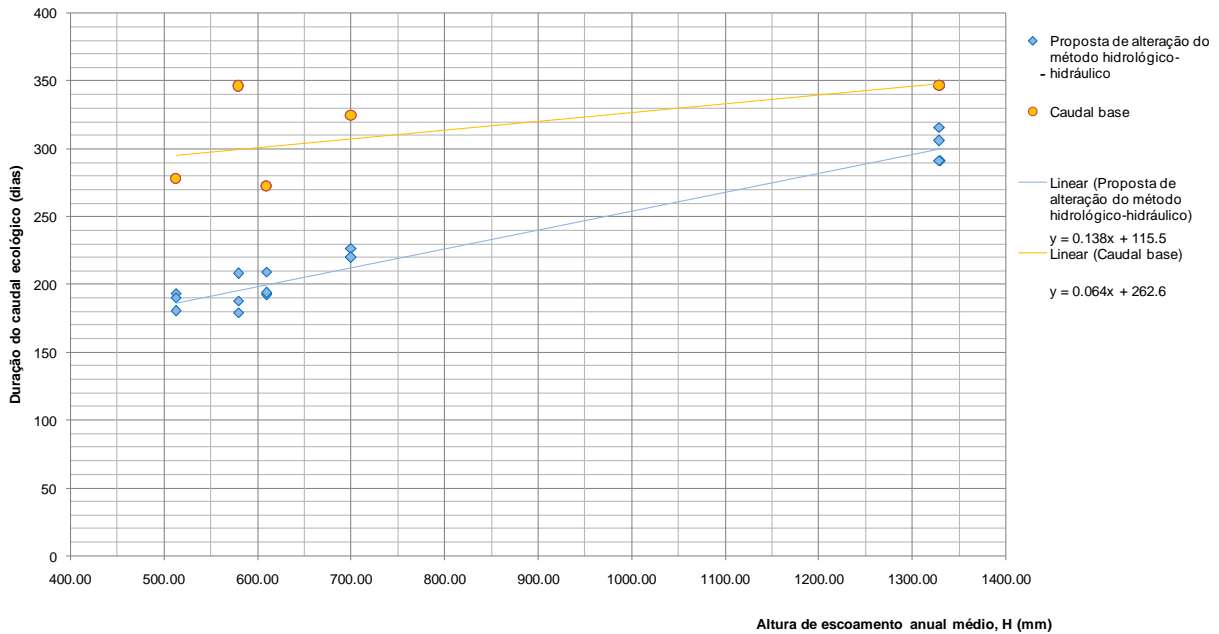
4.2.3.2 Norte do País

Os resultados obtidos a partir do primeiro tipo de utilização do método em menção são apresentados nos **Quadro 4.4** no qual, por uma questão de sistematização, se reproduziram os valores associados à segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico, retirados do **Quadro 4.2**. A simbologia adoptada no **Quadro 4.4** coincide com a antes especificada. As “correlações” aí incluídas referem-se aos valores do coeficiente de correlação da análise de regressão linear simples entre alturas anuais médias do escoamento e durações dos caudais ecológicos. Os segmentos de recta decorrentes da análise de regressão linear simples, bem como as correspondentes equações são representados no **Gráfico 4.2**.

Quadro 4.4 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos obtidos pelo método do caudal base e pela segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.

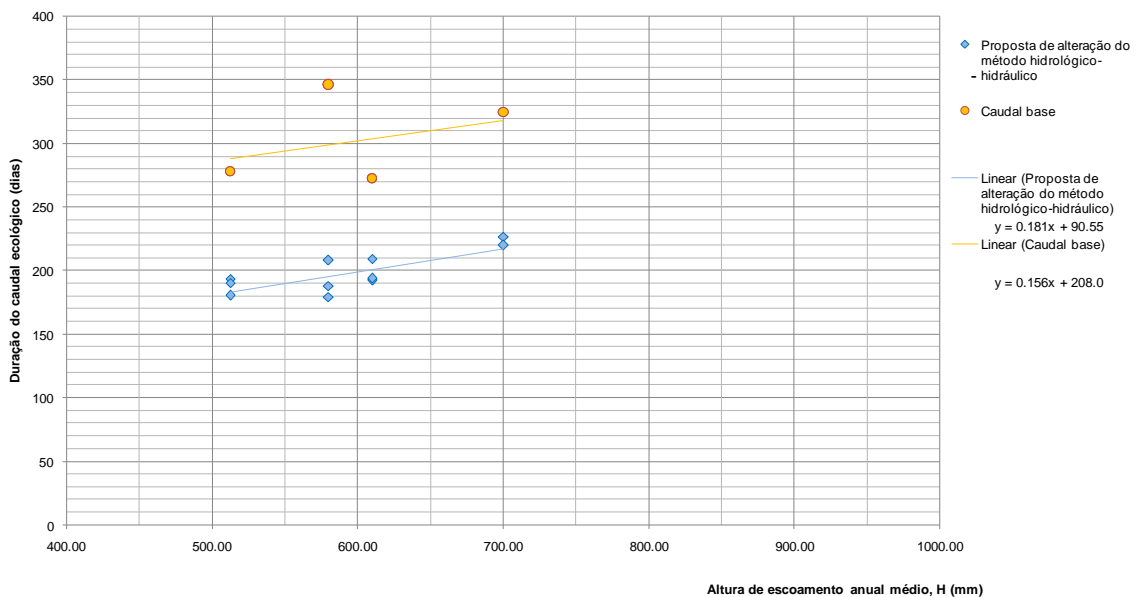
Casos de estudo	Secções	H mm	Caudal base		Hidrológico-hidráulico	
			Q _{eco} %	D dias	Q _{eco} %	D dias
1	S1.1	512.7	9.4	278	34.5	193
	S1.2				35.6	191
	S1.3				41.0	180
2	S2.1	580.1	10.4	346	30.2	208
	S2.2				40.1	179
	S2.3				36.1	188
3	S3.1	610.0	12.8	273	30.2	193
	S3.2				30.3	192
	S3.3				29.8	194
	S3.4				26.2	209
4	S4.1	700.2	3.3	324	22.3	227
	S4.2				25.8	220
5	S5.1	1328.6	7.8	347	15.9	291
	S5.2				14.0	306
	S5.3				12.5	316
6	S6.1	1329.4	7.8	347	15.9	291
	S6.2				15.9	291
Correlação				0.64	0.98	

Gráfico 4.2 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à *priori* do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos resultantes do método do caudal base e da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.



O **Gráfico 4.3** reproduz os resultados do gráfico precedente para alturas do escoamento anual médio compreendidas entre 500 mm e 1000 mm, evidenciando-se o melhor ajuste da recta de regressão aos pontos obtidos através da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico.

Gráfico 4.3 - Resultados do **Gráfico 4.2** relativos a alturas do escoamento anual médio compreendidas entre 500 mm a 1000 mm.

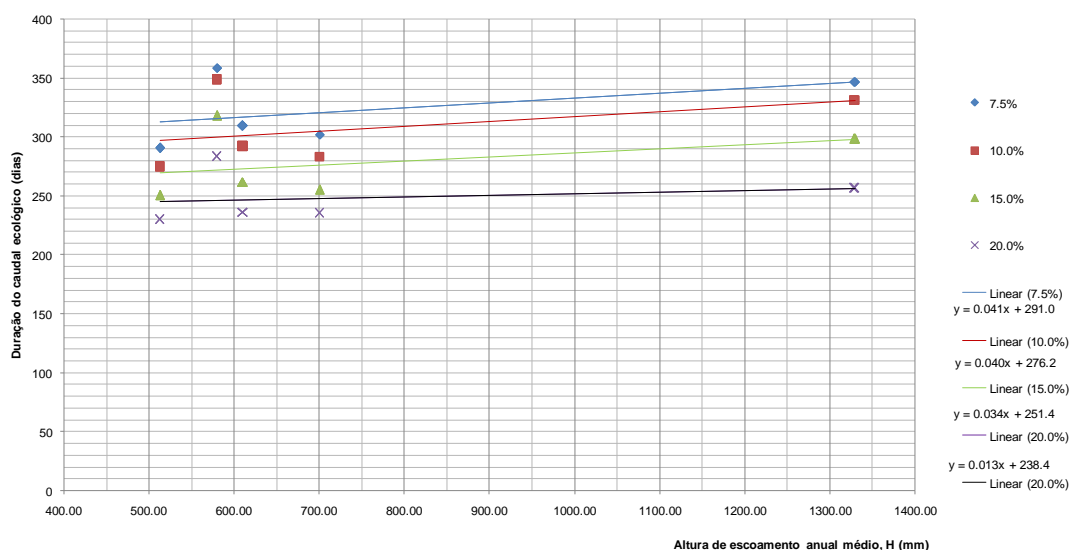


O **Quadro 4.5** e o **Gráfico 4.4** contêm resultados equivalentes aos precedentes obtidos na sequência do segundo tipo de utilização dada ao método da fixação à priori do caudal ecológico. Como mencionado, as percentagens dos módulos adoptadas na definição dos caudais ecológicos foram de 7.5, 10.0, 15.0 e 20.0%, sendo diferenciadas mediante adopção de pontos e de segmentos de recta com cores distintas.

Quadro 4.5 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico.

Casos de estudo	Secções	H mm	7.5%	10.0%	15.0%	20.0%
			D dias			
1	S1.1	512.7	290	275	250	230
	S1.2		290	275	250	230
	S1.3		290	275	250	230
2	S2.1	580.1	358	348	318	283
	S2.2		358	348	318	283
	S2.3		358	348	318	283
3	S3.1	610.0	309	292	262	236
	S3.2		309	292	262	236
	S3.3		309	292	262	236
	S3.4		309	292	262	236
4	S4.1	700.2	302	283	255	235
	S4.2		302	283	255	235
5	S5.1	1328.6	347	331	298	257
	S5.2		347	331	298	257
	S5.3		347	331	298	257
6	S6.1	1329.4	347	331	298	257
	S6.2		347	331	298	257
Correlação			0.55	0.50	0.46	0.24

Gráfico 4.4 – Casos de estudo inseridos no Norte do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico.



Por ora, menciona-se apenas que o **Gráfico 4.4** evidencia que, para um mesmo valor da altura do escoamento anual médio, a duração do caudal ecológico aumenta ao diminuir a percentagem do módulo que define esse caudal ecológico, como seria razoável, uma vez que se está em presença de um menor caudal.

4.2.3.3 Sul do País

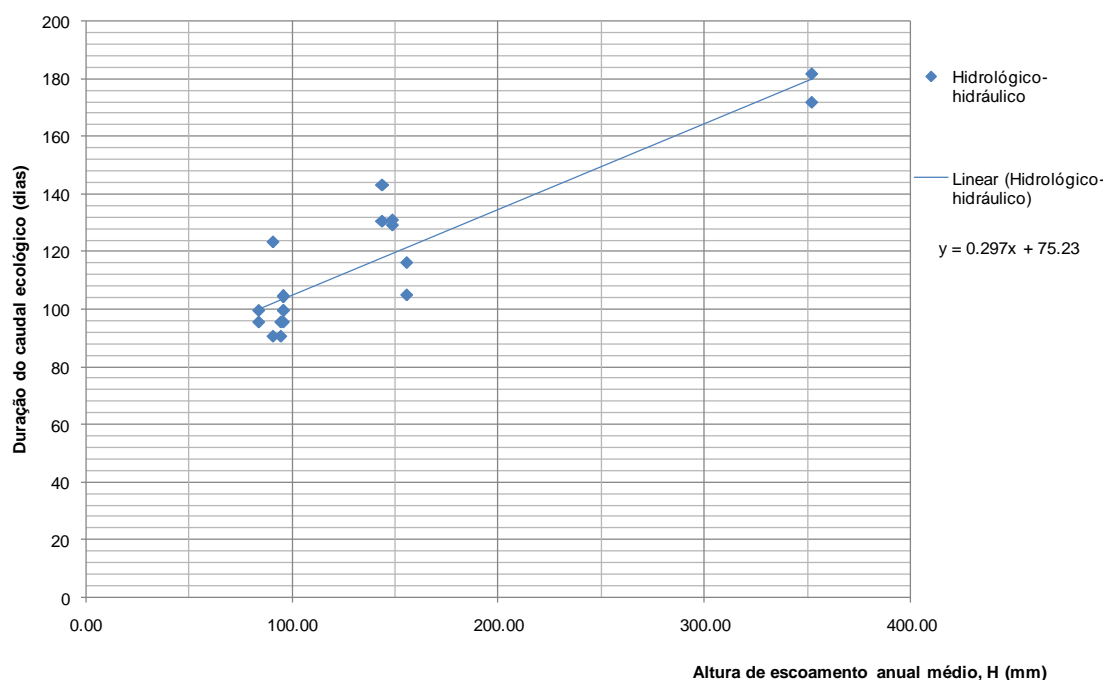
Refere-se, o presente item, aos casos de estudo **7 a 15**, relativos a projectos inseridos no Sul do País, a que correspondem alturas de escoamento anual médio inferiores a 400 mm.

Para analisar a relação entre a duração do caudal ecológico e a altura do escoamento anual médio, utilizaram-se os caudais ecológicos resultantes do método hidrológico-hidráulico apresentados em PORTELA (2005), sujeitando-os ao primeiro tipo utilização de que foi objecto o método de fixação *à priori* dos caudais ecológicos, com obtenção dos resultados apresentados no **Quadro 4.6** e no **Gráfico 4.5**.

Quadro 4.6 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos obtidos pelo método hidrológico-hidráulico (PORTELA 2005).

	Casos de estudo	H mm	SX.1			SX.2			SX.3		
			D dias	Q _{eco}		D dias	Q _{eco}		D dias	Q _{eco}	
				valor m ³ /s	percentagem %		valor m ³ /s	percentagem %		valor m ³ /s	percentagem %
Sul	7	83.8	96	0.0045	12.8	100	0.0040	11.4	-	-	-
	8	90.7	91	0.0436	14.9	123	0.0174	5.9	-	-	-
	9	94.4	91	0.0027	14.4	96	0.0022	12.0	-	-	-
	10	95.5	100	0.0559	10.5	96	0.0690	12.9	-	-	-
	11	95.6	100	0.0131	11.5	104	0.0112	9.9	104	0.0104	9.1
	12	143.8	131	0.2659	11.5	143	0.1728	7.4	-	-	-
	13	148.6	129	0.0217	11.6	131	0.0200	10.7	-	-	-
	14	155.4	105	0.0219	9.3	116	0.0156	6.6	-	-	-
	15	351.9	172	0.1111	4.6	182	0.0982	4.0	-	-	-

Gráfico 4.5 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico: aplicação aos caudais ecológicos resultantes do método hidrológico-hidráulico (PORTELA 2005).

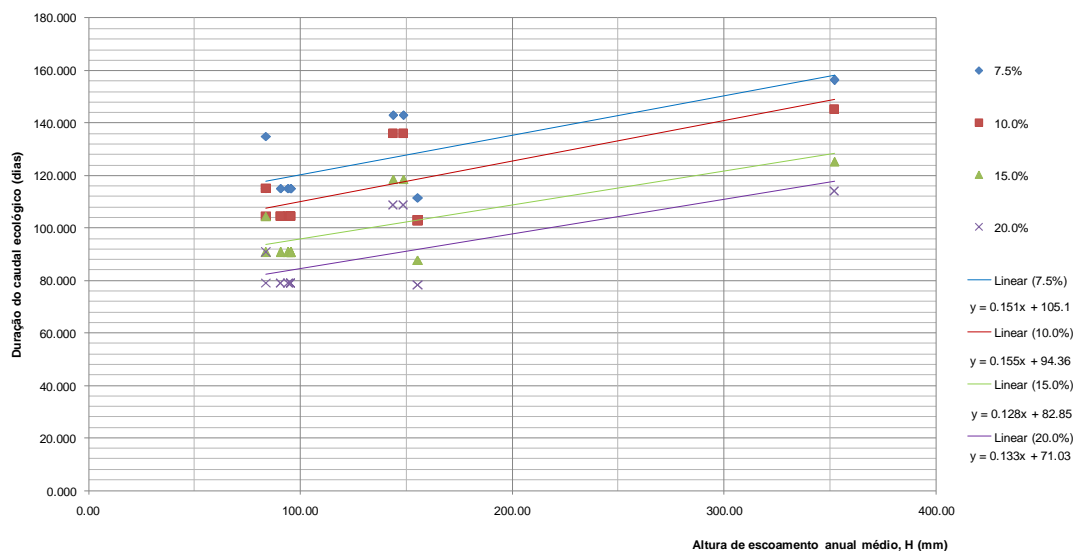


No **Quadro 4.7** e **Gráfico 4.6** apresentam-se os resultados equivalentes aos anteriores, mas decorrentes do segundo tipo de utilização do método de fixação à priori dos caudais ecológicos. Tal como para os casos de estudo inseridos no Norte do País, os resultados associados a diferentes percentagens dos módulos foram diferenciados mediante a adopção de simbologia com cores distintas.

Quadro 4.7 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico.

Casos de estudo	Secções	H mm	7.5%	10.0%	15.0%	20.0%
			D dias			
7	S7.1	83.8	115	104	91	79
	S7.2		135	115	104	91
8	S8.1	90.7	115	104	91	79
	S8.2		115	104	91	79
9	S9.1	94.4	115	104	91	79
	S9.2		115	104	91	79
10	S10.1	95.5	115	104	91	79
	S10.2		115	104	91	79
11	S11.1	95.6	115	104	91	79
	S11.2		115	104	91	79
	S11.3		115	104	91	79
12	S12.1	143.8	143	136	119	109
	S12.2		143	136	119	109
13	S13.1	148.6	143	136	119	109
	S13.2		143	136	119	109
14	S14.1	155.4	112	103	88	78
	S14.2		112	103	88	78
15	S15.1	351.9	156	145	125	114
	S15.2		156	145	125	114
Correlação			0.75	0.75	0.71	0.71

Gráfico 4.6 – Casos de estudo inseridos no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Resultados decorrentes do segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico.



4.2.3.4 Norte e Sul do País

Os dois gráficos que se seguem compilam os resultados globais, para o Norte e para o Sul do País, decorrentes do primeiro tipo – **Gráfico 4.7** – e do segundo tipo – **Gráfico 4.8** – de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico.

De notar que os resultados referentes aos casos de estudo inseridos no Norte do País resultaram da segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico e os relativos aos casos de estudo localizados no Sul do País, do método hidrológico-hidráulico desenvolvido por PORTELA (2004, 2005 e 2006), como explicitado em itens precedentes.

Gráfico 4.7 – Casos de estudo inseridos no Norte e no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Primeiro tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico. Compilação dos resultados apresentados nos **Quadros 4.4 e 4.6** e nos **Gráficos 4.2 e 4.5**.

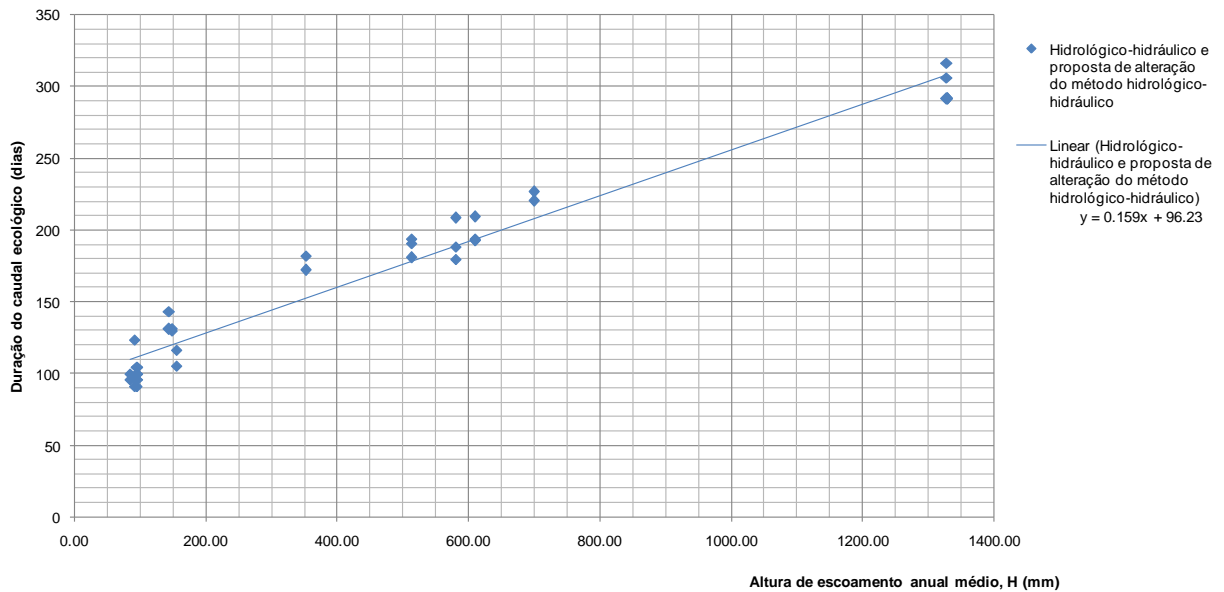
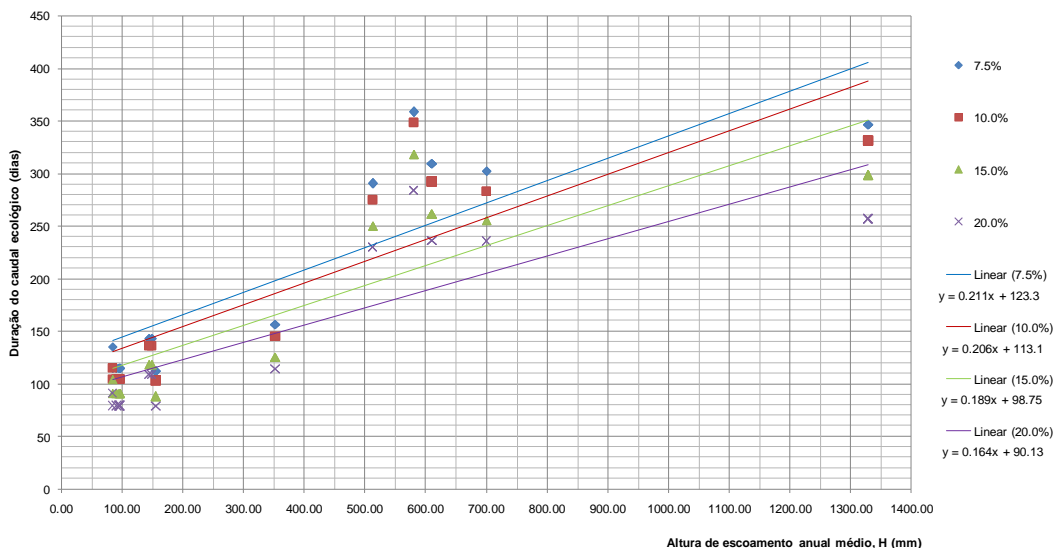


Gráfico 4.8 – Casos de estudo inseridos no Norte e no Sul do País. Relação altura do escoamento anual médio - duração do caudal ecológico. Segundo tipo de utilização do método baseado na fixação à priori do caudal ecológico. Compilação dos resultados apresentados nos **Quadros 4.5 e 4.7** e nos **Gráficos 4.4 e 4.6**.



5 Crítica dos resultados obtidos. Conclusões. Desenvolvimentos futuros

Não obstante não terem sido explicitados os caudais ecológicos resultantes do método hidrológico-hidráulico com o formalismo original desenvolvido por PORTELA (2004, 2005 e 2006), o estudo efectuado revelou muito claramente, que tal método não se adequa ao regime hidrológico ocorrente no Norte do País. Tal circunstância determinou a formulação de propostas de alteração daquele método que, de algum modo, conduzissem a caudais ecológicos coerentes entre si.

De entre essas propostas, prosseguiu-se com a aplicação aos seis casos inseridos no Norte do País a que se admitiu ter melhor desempenho – segunda proposta de alteração, objecto do item 3.3.3. Os caudais ecológicos assim obtidos, apresentados no **Quadro 4.2**, revelaram-se demasiado elevados (e, como tal, economicamente injustificáveis) não obstante denotarem alguma consistência entre si, expressa pelo facto de a alturas do escoamento anual médio próximas corresponderem caudais ecológicos, expressos em percentagens dos correspondentes módulos, da mesma ordem de grandeza.

Importa, contudo, mencionar que o carácter informativo do método hidrológico-hidráulico (de acordo, quer com o formalismo original, quer com as alterações que lhe foram introduzidas em resultado da análise efectuada), mas também o do método do perímetro molhado dependem do pormenor dos perfis transversais nas secções objecto da definição de caudais ecológicos. Admite-se, assim, que para a aparente inadequação daquele primeiro método a secções inseridas no Norte do País possa ter contribuído o insuficiente pormenor dos perfis transversais de que foi possível dispor.

Com efeito, grande parte desses perfis foi recolhida dos projectos dos aproveitamentos hidroeléctricos a que se referem, correspondendo-lhe geometrias que nem sequer permitiram a inequívoca identificação dos leitos dos cursos de água. Assim sendo, admite-se que às restrições da utilização da metodologia apresentadas no subcapítulo 4.2.1 do presente relatório, se deva juntar a necessidade de dispor de perfis transversais relativos às secções objecto de definição de caudais ecológicos com detalhe razoável.

Conforme antes mencionado, a segunda proposta de alteração do método hidrológico-hidráulico afigura-se capaz de “captar” as características do regime hidrológico. Tal conclusão é particularmente evidente no **Gráfico 4.7**, referente à totalidade dos casos de estudo, através do posicionamento regular, ao longo da recta de regressão, dos pontos representativos dos pares de valores (H, D) – sendo H a altura do escoamento anual médio e D, a duração do caudal ecológico. A anterior conclusão mantém-se válida quando se consideram separadamente os casos de estudo inseridos no Norte (**Gráfico 4.2**) e no Sul do País (**Gráfico 4.5**). A importância desta constatação não obvia, contudo, o facto de o método

em apreço conduzir a caudais ecológicos que, no Norte do País, são por demais elevados para que seja razoável prever a sua implementação. Para o Sul do País, o método hidrológico-hidráulico com o formalismo desenvolvido por PORTELA (2004, 2005 e 2006) tem-se demonstrado totalmente adequado, não carecendo, portanto, de propostas de alteração.

Importa realçar que, para alturas do escoamento anual médio superiores a 400 mm, os caudais ecológicos relativos ao método do caudal base se revelaram, de algum modo, bastante “consistentes”. Com efeito sugerem evidente dependência entre caudais base e alturas do escoamento anual médio. No entanto, quando se “cruzam” os resultados dos seis casos de estudo inseridos no Norte do País com os apresentados em FERREIRA (2004), detectam-se ordens de grandeza daqueles caudais bastante distintas, consoante se refiram a bacias hidrográficas com alturas de escoamento inferiores a 650 mm – em que se obtiveram caudais base superiores a 10% dos módulos – ou superiores a 650 mm – conducentes a caudais base sensivelmente compreendidos entre 2 e 8% dos módulos (**Gráfico 4.1**).

Admite-se, assim, que a aplicação do método do caudal base possa ser adequada, designadamente, a bacias hidrográficas a que correspondam alturas do escoamento anual médio superiores a 650 mm, circunstância que carece, contudo, de estudos subsequentes. Regista-se que o método em apreço não é aplicável aos regimes hidrológicos ocorrentes no Sul de Portugal, como demonstrado em FERREIRA *et al.*, (2003).

A eventual adopção do método do caudal base para estabelecer caudais ecológicos requer, contudo, uma interpretação distinta da que lhe foi originalmente atribuída e que, de algum modo, já foi pressuposta na análise levada a cabo. Concretamente, admite-se que tal método possa ser adequado uma vez que um dado caudal base seja entendido como o caudal ecológico a implementar na média dos meses, alias em conformidade com admitido no estudo levado a cabo. Neste sentido, o regime mensal de caudais ecológicos pode ser obtido mediante uma “rotação” mensal do caudal base, a qual terá de ser necessariamente distinta da pressuposta pelo método original. Com efeito, nas aplicações analisadas, a “rotação” mensal definida pela **equação 2.1** conduz a caudais médios mensais muito superiores aos caudais base a partir dos quais são gerados os regimes mensais. Admite-se que a adopção do caudal base como caudal ecológico na média dos meses seja compatível com uma “rotação” mensal idêntica à pressuposta pelo método hidrológico-hidráulico, definida pela **equação 2.2**.

Importa, contudo, prosseguir a investigação, no sentido de identificar uma variante do método hidrológico-hidráulico, mediante pesquisa de alterações distintas das analisadas, adequada à estimativa, numa base conceptual afim, de caudais ecológicos em secções da rede hidrográfica de Portugal Continental. Com efeito, não obstante as limitações que são reconhecidas aos métodos de estabelecimento de caudais ecológicos baseados em informação de carácter hidrológico, é importante prosseguir a pesquisa apoiada nesses métodos pois são, muito frequentemente, os únicos susceptíveis de ser aplicados, em face da

informação de base disponível. A inclusão nesta informação, de outra de carácter hidráulico, introduz uma mais-valia naqueles métodos, que deve continuar a ser explorada.

Por fim, anota-se que começam a surgir soluções técnicas para produção de energia mediante o turbinamento dos volumes de água afectos aos caudais ecológicos. A instalação de pequenas turbinas, com potências adequadas, nas saídas dos caudais ecológicos permitiria uma valorização adicional, em termos da produção de energia, dos volumes de água requeridos pela manutenção dos *habitats*. Antecedendo, contudo, a implementação deste tipo de soluções, é fundamental sensibilizar a comunidade envolvida e, muito especialmente, os investidores e as entidades licenciadoras, para a pertinência de assegurar caudais ecológicos ambientalmente, mas também e necessariamente, economicamente sustentáveis.

É “urgente” continuar a pesquisar, de entre as diferentes abordagens, as que melhor se adequam à informação de base, quer disponível, quer objectivamente susceptível de ser obtida, e aos regimes hidrológicos ocorrentes nas diferentes zonas do País. No entanto, convém não esquecer que uma dada metodologia pode não ser a “solução do problema”: contudo, facilitará a tarefa de encontrar soluções que, necessariamente, terão de ser alvo de monitorização, após construção da infra-estrutura responsável pela alteração do regime fluvial natural. A gestão adaptativa, mencionada no capítulo 2.2, poderá constituir uma solução plausível, do ponto de vista ambiental, para o que haveria de ser analisada a possibilidade de teste em aproveitamentos hidráulicos, quer pré-existentes, quer futuros.

6 Bibliografia

- ACREMAN, Mike, DUNBAR, Michael J., *Defining environmental river flow requirements – a review, Hydrology e Earth System Sciences*, Center of Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxon, UK, 2004.
- ALVES, Maria Helena, BERNARDO, João Manuel, “Novas perspectivas para a determinação do caudal ecológico em regiões semi-áridas”, Seminário sobre barragens e ambiente, Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, Porto, 7 a 9 de Maio de 1998.
- BERNARDO, João Manuel, “Caudais ecológicos: direitos da natureza e usos humanos”, *in Caudais Ecológicos em Portugal*, pp 1.1- 1.5, Lisboa, Instituto da Água, Ministério das cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, 2002.
- BRIAN D. RICHTER, ANDREW T. WARNER, JUDY L. MEYER and KIM LUTZ, “A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations”, *River Research and applications* Vol. 22 - Wiley InterScience (2006), pp 297–318.
- ALVES, Maria Helena, “Revisão de métodos para a determinação de caudal ecológico”, *in Caudais Ecológicos em Portugal*, pp 4.1-4.52, Lisboa, Instituto da Água, Ministério das cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, 2002.
- CASTLEBERRY, D.T., CECH, J.J. Jr., ERMIN, D.C., HANKIN, D., HEALEY, M., KONDOLF, G.M., MANGEL, M., MOHR, M., MOYLE, P.B., NIELSIN, J., SPEED, T.P., WILLIAMS, J.G., “Uncertainty and instream flow standards”, *Fisheries* Vol. 21(8) (1996), pp 20–21.
- DAVIES, B. R., THOMAS, M. C., WALKER, K. F., O’KEEFFE, J. F., GORE, J. A., “Dryland Rivers: their Ecology, Conservation and Management” *in Handbook of Rivers*, pp. 484-511 Oxford (UK), P. Calow e G. Petts - Blackwell Scientific Publications, 1994.
- FERREIRA, Duarte dos Anjos, *Aplicabilidade do método do caudal base à definição de caudais ecológicos em cursos de água naturais em Portugal Continental - Relatório do trabalho final de curso de Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais*, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia (ISA), Universidade Técnica de Lisboa, 2004.
- FERREIRA, M. T., GODINHO, F. N., PORTELA, M. M., *Mitigação de impactes e gestão de ecossistemas aquáticos do sistema de transferência de água entre a bacia hidrográfica do Guadiana e a do Sado - Relatório final*, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia (ISA), Instituto Superior Técnico (IST), 2003.
- GORDON, N.D., MCMAHON, T.A., FINLAYSON, B.L., *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Chichester, John Wiley e Sons, 1992.

- GUNDERSON L.H., HOLLING C.S., LIGHT S.S., *Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions*, New York, Columbia University Press, 1995.
- HOLLING C.S., *Adaptive Environmental Assessment and Management*, New York, John Wiley and Sons, 1978.
- IRWIN E.R., FREEMAN M.C., "Proposal for adaptive management to conserve biotic integrity in a regulated segment of the Tallapoosa River, Alabama, U.S.A.", *Conservation Biology*, Vol. 16 (2002), pp 1212–1222.
- IUCN – The World Conservation Union, Water & Nature initiative, Flow – *The essentials of environmental flows*. Gland - Switzerland and Cambridge – UK, IUCN, 2003.
- JOHNSON B.L., "The role of adaptive management as an operational approach for resource management agencies", *online* - <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art8> (1999).
- JOWETT, I.G. "Instream flow methods: a comparison of approaches.", *Regulated Rivers: Research and Management*, Vol. 13 (1997), pp 115-127.
- LEE K.N., "Appraising adaptive management.", *Conservation Ecology*, *online* - <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art3> (1999).
- IUCN – The World Conservation Union, Water & Nature initiative, "Building capacity to implement an environmental flow programme in Tanzania", Report of a training workshop in Tanzania (2003), pp13-21, Ministry of Water and Livestock Development, World Bank Netherlands Water Partnership Program - Environmental Flow Allocation Window, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, Southern Waters, Cape Town, South Africa, University of Cape Town, South Africa.
- National Research Council (NRC), *The Missouri River Ecosystem: Exploring the Prospects for Recovery*, Washington, DC, National Academies Press, 2002.
- National Research Council (NRC), *Managing the Columbia River: Instream Flows, Water Withdrawals, and Salmon Survival*, Washington, DC, National Academies Press, 2004^a.
- National Research Council (NRC), *Adaptive Management for Water Resources Project Planning*, Washington, DC, National Academies Press, 2004^b.
- ORTH, D.J., LEONARD, P.M., "Comparison of discharge methods and habitat optimization for recommending instream flows to protect fish habitat.", *Regulated Rivers: Research & Management* Vol. 5 (1990), pp 129-138.
- PALAU, A., ALCAZAR, J., "The basic flow: an alternative approach to calculate minimum environmental instream flows". *Proceedings of Ecohydraulics 2000. 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics – Québec, Canada (1996)*, pp 547-558.

- POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., STROMBERG, J.C., “The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration”, *BioScience* Vol. 47 (1997), pp 769–784.
- POFF, N.L., ALLAN, J.D., HART, D.D., RICHTER, B.D., MEYER, J.L., PALMER, M.A., STANFORD, J.A., “Environmental science and water conflicts: five steps to improved scientific decision-making”, *Frontiers in Ecology and the Environment* Vol. 1 (2003), pp 298–306.
- PORTELA, M. M., *Caudais ecológicos nas secções das barragens de Barras, Odivelas, Pisão, Roxo e Vale do Gaio - Relatório final*, Lisboa, NEMUS, Gestão e Requalificação Ambiental, Lda., Instituto Superior Técnico, IST, CEHIDRO, Instituto Superior de Agronomia, ISA, Setembro 2004.
- PORTELA, M. M., “Proposta de procedimento hidrológico-hidráulico para definir caudais ecológicos em cursos de água do Sul de Portugal Continental”, *Recursos Hídricos - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH)*, Lisboa., Vol. 26 (2005), pp. 17-36,
- PORTELA, M. M., “Definição de caudais ecológicos em cursos de água do Sul de Portugal Continental”. 8º Congresso da Água - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Figueira da Foz, 2006, 14 p.
- PORTELA, M. M., “Caudais ecológicos em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos: comparação de métodos de definição com base em dois casos de estudo”, 7º Congresso da água - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa, 2004.
- PORTELA, M. M., QUINTELA, A.C., “Estimação de séries de caudais médios diários na ausência de informação hidrométrica”, VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa – Portugal, 2005a.
- PORTELA, M. M., QUINTELA, A.C., “Regionalization of hydrologic information: establishment of flow series at ungauged watersheds”, *in Water Resources Management III (Carvoeiro, Portugal)*, pp. 11-20, Wessex Institute, Southampton, Boston, WITPress, 2005b.
- PORTELA, M. M.; SANTOS, J. F., 2006, “Estimação de escoamentos superficiais mensais em Portugal continental baseada na evapotranspiração potencial de Thornthwaite”. . *Recursos Hídricos*, Vol 27(2), pp. 19-33, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH),
- RICHTER B.D., MATHEWS R., HARRISON D.L., WIGINGTON R., “Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity”, *Ecological Applications* Vol. 13 (2003), pp 206–224.
- RICHTER B.D., BAUMGARTNER J.V., WIGINGTON R., Braun D.P., “How much water does a river need?”, 1997.

- ROGERS K., BIGGS H., "Integrating indicators, endpoints, and value systems in strategic management of the rivers of Kruger National Park.", *Freshwater Biology* Vol. 37 (1999), pp. 231–249.
- SALE, M. J. e J. M. LOAR "Instream flow and hydropower development: methods and strategies for impact assessment.", *WaterPower'81: An international Conference on Hydropower*, 1981.
- SHIRVELL, C. S., "Pitfalls of physical habitat simulation in the Instream Flow Incremental Methodology", *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 1460 (1986), pp. 1-68.
- STANFORD J.A., POOLE G.C., "A protocol for ecosystem management.", *Ecological Applications* 6 (1996), pp 741–744.
- WALTERS C., "Adaptive Management of Renewable Resources", Blackburn Press, New Jersey, 1986.
- WALTERS C., "Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems", *Conservation Ecology*, *online* - <http://www.consecol.org/vol1/iss2/art1>, (1997).
- WARD, J.V., STANFORD, J.A., "Research needs in regulated river ecology. Regulated Rivers", *Research and Management* Vol. 8 (1993), pp 205–209.
- WESCHE, T. A.; RECHARD, P. A. "A Summary of Instream Flow Methods for Fisheries and Related Research Needs", *Eisenhower Consortium Bulletin* N° 9, Eisenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research (1980), 122 pp.