

ANEXO 1

ELEMENTOS NECESSÁRIOS À DEFINIÇÃO DE REGIMES DE CAUDAIS ECOLÓGICOS NO ÂMBITO DO GUIA



Cofinanciado por:



ÍNDICES

TEXTO	Pág.
1 ENQUADRAMENTO	1
2 ADEQUAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS AOS TIPOS DE RIOS NACIONAIS	2
3 MÉTODOS INCLUÍDOS NA ABORDAGEM HIERÁRQUICA	7
3.1 MÉTODO HIDROLÓGICO DO PNA, 2002.....	7
3.2 MÉTODO DO CAUDAL BASE (CATALUNHA)	12
3.3 MÉTODO DE TENNANT OU MONTANA E SEUS DERIVADOS	13
3.3.1 Método do Texas.....	17
3.4 MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO	19
3.5 METODOLOGIA INCREMENTAL (IFIM)	22
3.6 METODOLOGIA HOLÍSTICA DESENVOLVIDA EM PORTUGAL.....	26
3.7 COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS CONSIDERADOS.....	29
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
 FIGURAS	 Pág.
Figura 3.1 - Exemplo de curva de duração de caudais médios. Linha azul: exemplo de regime natural; linha vermelha: exemplo de regime modificado. Fonte: Martins, 2012	7
Figura 3.2 – Exemplo de ajustamentos realizados após o cálculo dos quantis, para melhorar a aproximação à variação intranual do regime natural. Eixo principal: caudais em regime natural; Eixo secundário: RCE calculado pelo método PNA e valores de RCE após ajustamento.....	11
Figura 3.3 – Representação esquemática do método do perímetro molhado	20
Figura 3.4 - Esquema geral de como o modelo PHABSIM calcula a superfície ponderada útil em função do caudal. A) A profundidade (P_i), velocidade (V_i), cobertura (C_i) e área (A_i) são medidas ou simuladas para um determinado caudal; (B) Os critérios de adequação de habitat (CAH) são usados para ponderar a área de cada célula para esse caudal. Os valores de habitat utilizável para todas as células no segmento estudado são somados para obter um valor de habitat utilizável nesse segmento. O processo é repetido para uma gama de caudais para obter um gráfico como o apresentado no gráfico C) (Adaptado de Gopal, 2013).....	24

Figura 3.5 – Esquema geral da metodologia holística (Fonte: Godinho et al., 2014b) 28

QUADROS

Pág.

Quadro 2.1 - Adequação dos diferentes métodos em função das características dos regimes hidrológicos dos rios portugueses	3
Quadro 3.1 – Critérios para a definição de regimes de caudal ecológico com base no método desenvolvido para o território nacional no âmbito do PNA de 2002 (Q25, Q50, Q75, e Q90 – Quantis; Qmed – caudal médio mensal)	10
Quadro 3.2 - Caudais recomendados pelo método de Tennant.	14
Quadro 3.3 – Alteração ao método de Tennant proposta por Tessman. CMM – Caudal médio mensal; CMA – Caudal Médio Anual (Linnansaari et al, 2012).....	16
Quadro 3.4 – Regimes de caudais recomendados para as bacias hidrográficas dos rios internacionais portugueses Douro, Tejo e Guadiana, com base numa modificação do método de Tennant (European Commission, 1996 in Alves e Bernardo, 2003). As percentagens indicadas dizem respeito a percentagens do caudal médio anual	17
Quadro 3.5 – Relação entre a % da mediana mensal (P) e o índice hidrológico R (Mathews Jr. e Bao, 1991)	18

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

CAH	Critérios de Adequação de Habitat
CDC	Curva de duração média anual dos caudais médio diários
DQA	Diretiva Quadro da Água
DRIFT	<i>Downstream Response to Imposed Flow Transformations</i>
ELOHA	<i>Ecological Limits of Hydrologic Alteration</i>
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
MA	Massa de Água
PGBH	Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica
PGRH	Plano de Gestão de Região Hidrográfica
PNA	Plano Nacional da Água
Qb	Caudal Base
RCE	Regime de Caudais Ecológicos
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SPU	Superfície Ponderada Útil

1 ENQUADRAMENTO

Neste Anexo são identificadas as principais características dos **métodos** passíveis de serem utilizados no âmbito do Guia Metodológico de Definição de Regimes de Caudais Ecológicos para Aproveitamentos Hidráulicos de Portugal Continental, bem como os respetivos **pressupostos** e **requisitos** de aplicação. Esta informação é precedida por uma síntese relativamente à sua adequação aos diferentes contextos hidrológicos existentes em Portugal continental.

2 ADEQUAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS AOS TIPOS DE RIOS NACIONAIS

À medida que o conhecimento sobre caudais ecológicos evolui e é aprofundado, aumenta o número de métodos aplicáveis para a sua determinação. Conhecem-se atualmente centenas de métodos, no entanto nenhum pode ser considerado de forma transversal como mais adequado (Acreman e Dunbar, 2004), uma vez que a determinação do(s) regime(s) de caudais necessário(s) em cada caso vai depender, em grande parte, da capacidade que o método escolhido tem de integrar as características hidrológicas e ecológicas da região e/ou curso de água.

Assim, é necessário identificar e selecionar as metodologias melhor adaptadas a cada contexto. O funcionamento dos sistemas fluviais ibéricos – em particular nas regiões de clima mais marcadamente mediterrânico – é complexo e muito específico, sendo caracterizado por regimes hidrológicos muito variáveis (anual e interanualmente) e comunidades bióticas com elevados graus de endemismo e valor de conservação. Neste contexto, foram selecionados os métodos potencialmente mais adequados à realidade nacional, sendo esses aqui apresentados e comparados no que respeita à sua aplicabilidade a três dinâmicas hidrológicas determinantes: rios com regime permanente, rios temporários e grandes rios (rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana).

A maior ou menor adequação de cada método à determinação de Regime de Caudais Ecológicos (RCE) em Portugal é sistematizada no **Quadro 2.1**, considerando-se as seguintes classes (por ordem decrescente de adequação):

- Adequado - método adequado à realidade nacional;
- Moderado - método com adequação moderada;
- Limitado - método com adequação limitada;
- Não aplicável - método não aplicável.

Quadro 2.1 - Adequação dos diferentes métodos em função das características dos regimes hidrológicos dos rios portugueses

Tipo de método	Método	Rios com regime permanente*	Rios temporários	Grandes Rios
Hidrológico	PNA 2002	Adequado	Adequado	Não aplicável
	Caudal Base	Moderado	Não aplicável	Limitado
	Tennant e suas adaptações	Limitado	Limitado	Limitado
Hidráulico	Perímetro Molhado	Moderado	Moderado	Limitado
Ecohidráulico	IFIM	Adequado	Moderado	Moderado
Holístico	Metodologia holística desenvolvida em Portugal	Moderado	Moderado	Moderado
	ELOHA	Moderado	Moderado	Moderado
	DRIFT	Limitado	Limitado	Limitado

*Excluindo Grandes Rios

• Plano Nacional da Água (PNA) 2002

O método desenvolvido no âmbito do PNA de 2002 é, presentemente, o método hidrológico mais adequado à realidade portuguesa. No entanto, o desenvolvimento deste método não considerou os Grandes Rios, a que acresce que alguns dos seus pressupostos de base (p.e., períodos ecohidrológicos de recolonização outonal) são de aplicação questionável em rios de grandes dimensões. Assim, com exceção dos Grandes Rios, é recomendada a sua utilização ao nível do planeamento e como método inicial em abordagens hierárquicas que utilizam níveis crescentes de exigência.

Para o caso específico dos Grandes Rios, poderão ser utilizados outros métodos hidrológicos (p.e., método de Tennant e suas derivações ou o método do caudal base). Não obstante, reconhecendo também dificuldades na aplicação destes métodos, a determinação de RCE nos Grandes Rios deve, sempre que possível, incorporar metodologias mais precisas, de natureza hidráulica ou eco-hidráulica.

• Caudal Base

O método do Caudal Base foi desenvolvido para os rios da Catalunha, tendo sido posteriormente utilizado em Espanha para determinar RCE no âmbito dos respetivos Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH). Pode gerar valores de RCE demasiado reduzidos e, à semelhança de outros métodos, a sua eficácia não está suficientemente validada. Consequentemente, a utilização deve ser cautelosa e com o propósito principal de

contrastar os resultados de diferentes métodos de determinação de RCE. Este método não se adequa a rios com regime temporário.

- **Tennant e suas adaptações**

A versão original do método de Tennant só deve ser aplicada sem restrições na região e no tipo de rios para os quais foi criado. Essa versão utiliza as condições médias de escoamento, tendo sido desenvolvida para rios permanentes com escoamento estável, condições raras no contexto hidrológico português. Esta abordagem foi aplicada para estudo de caudais ecológicos em bacias hidrográficas nacionais, nomeadamente dos rios Douro, Tejo e Guadiana, no entanto os seus resultados não estão validados quanto à eficácia no contexto ecohidrológico ibérico.

Existem várias adaptações do método original (p.e., considerando vários períodos e/ou diferentes percentagens do caudal médio), contudo, a variabilidade do escoamento em Portugal, mesmo nos rios permanentes, recomenda a aplicação preferencial da adaptação do método de Tennant à região do Texas, vulgarmente designada como método do Texas. Esta adaptação, que contempla ajustes a regimes hidrológicos com alguma semelhança com os nacionais, já foi aplicada em Portugal, mas até à data é desconhecida a eficácia dos RCE determinados, pelo que a sua utilização deve ser cautelosa e sobretudo com o propósito de contrastar os resultados de diferentes métodos de determinação de RCE.

- **Perímetro molhado**

O método é aplicável à generalidade dos rios, desde que os troços a considerar apresentem características compatíveis com a metodologia de caracterização de variáveis hidráulicas, nomeadamente a existência de rápidos. A recolha de dados deve ser realizada em zonas com estas características por serem consideradas mais sensíveis às variações de caudal e, preferencialmente, em locais com perfis do leito não muito diferentes de uma secção retangular.

O método pode também ser aplicado em zonas com outras características caso existam objetivos específicos – p.e. em áreas de fundão, para avaliar a sua persistência durante o período de menores caudais –, embora se assuma que a proteção dos rápidos assegura, desde logo, a proteção das zonas mais profundas. Os rios de montanha, em que predominam os mesohabitats do tipo cascata e em que as zonas de rápidos são pouco significativas, dificultam a aplicação do método (Leathe e Nelson, 1986). Quanto aos Grandes Rios, a aplicação do método é limitada pelas dificuldades em encontrar zonas adequadas à recolha de dados (rápidos com perfil retangular).

Apesar das limitações, esta abordagem pode ser útil em termos comparativos quando utilizada em conjunto com outros métodos, recomendando-se a sua utilização em abordagens multinível em que seja necessária informação mais específica quanto ao comportamento hidráulico do rio em relação ao caudal. Embora o método já tenha sido

aplicado em Portugal, os valores de RCE assim determinados não estão validados quanto à sua eficácia.

- **Metodologia Incremental (*Instream Flow Incremental Methodology*, IFIM)**

A Metodologia Incremental, ou IFIM, assenta em critérios de uso ou preferência de habitat, de uma ou mais espécies, para simular a variação do habitat disponível em função dos vários regimes de caudal. Requer por isso a quantificação do habitat, através da utilização de levantamentos de campo pormenorizados nos segmentos fluviais a modelar. Esta metodologia é aplicável, de forma geral, à realidade hidrológica nacional, podendo apresentar limitações nos Grandes Rios, assim como em alguns dos temporários. Relativamente a estes últimos, a aplicação do método pode ser problemática nas situações em que as comunidades piscícolas se concentram em áreas isoladas nos períodos de menor caudal, sem ter capacidade para utilizar o habitat de acordo com as suas preferências. Nestas situações, os critérios de adequação/preferência devem ser determinados noutra(s) época(s) do ano e o RCE deve apresentar como base de partida os caudais referentes a essas épocas. Já nos Grandes Rios, as curvas de uso poderão ter de ser obtidas através de mergulho e podem surgir dificuldades acrescidas na sua determinação em condições de maiores caudais e/ou em zonas com baixa visibilidade. No entanto, abordagens baseadas em conhecimento pericial, extrapolação de resultados ou técnicas alternativas de modelação podem colmatar eventuais lacunas de conhecimento.

Em conclusão, e apesar das suas limitações, a metodologia ecohidráulica IFIM é adequada à generalidade dos rios de Portugal continental. Em particular, é recomendada a sua utilização em abordagens multinível em que seja necessário obter informação quantitativa relativamente ao habitat potencial das espécies selecionadas face a diferentes valores de caudal.

- **Método holístico desenvolvido para Portugal**

A metodologia integrada para determinação de RCE desenvolvida em Portugal é uma abordagem holística do tipo *bottom-up*, que gera um RCE de base mensal a partir do contraste e da concertação dos resultados obtidos por diferentes métodos. Esta concertação é realizada por um grupo multidisciplinar de peritos, integrando uma visita ao troço para onde os RCE gerados pelos diferentes métodos são visualizados em réguas graduadas. Cada perito realiza um relatório independente onde, para cada mês, seleciona um dos valores de RCE propostos pelos métodos aplicados, ou propõe um distinto, justificando devidamente a decisão tomada. Também para cada mês, os valores de RCE propostos por cada perito são por fim ponderados, obtendo-se o RCE final. A fiabilidade do processo depende dos métodos (hidrológicos, hidráulicos ou ecohidráulicos) utilizados como base do processo e ainda das áreas de especialização dos especialistas consultados, bem como da capacidade de diminuir a subjetividade do processo. Comparativamente com

outros métodos holísticos identificados abaixo afigura-se como vantajoso pela maior simplicidade do processo.

- **ELOHA (*Ecological Limits of Hydrologic Alteration*)**

A metodologia ELOHA apresenta um potencial interessante na determinação de RCE e é referida, em EC (2015), como sendo uma das metodologias holísticas de referência. A escala de implementação baseia-se no estabelecimento de tipos de rios homogêneos, sendo que a metodologia sintetiza a informação hidrológica e ecológica de diversos rios de uma determinada região, para gerar relações entre a alteração de escoamento e indicadores ecológicos para rios com diferentes tipos de regime hidrológico (incluindo diferentes graus de alteração). Requer assim o desenvolvimento de relações matemáticas robustas entre o caudal (avaliado em múltiplos locais com diferentes graus de alteração hidrológica), variáveis biológicas e o estabelecimento de limiares para a alteração hidrológica e para os indicadores ecológicos que se consideram compatíveis com o objetivo do RCE.

Não existem até à data exemplos de aplicação desta abordagem a nível nacional, embora tenha já sido aplicada em alguns estudos académicos em Espanha. Assim, o volume de informação necessária à operacionalização da metodologia destaca-se como principal limitação à sua aplicação a nível nacional, não tendo sido considerado na abordagem hierárquica descrita no Guia. Caso venham a ser desenvolvidas relações do tipo requerido para implementação da metodologia ELOHA, os seus resultados poderão também ser utilizados para balizar/validar, *a priori*, valores de RCE determinados através de outras abordagens, nomeadamente os baseados na metodologia IFIM.

- **DRIFT (*Downstream Response to Imposed Flow Transformation Methodology*)**

A metodologia DRIFT é uma das abordagens holísticas do tipo *bottom-up* mais consolidadas, sendo também referida em EC (2015) como uma das abordagens holísticas de referência a utilizar nos níveis de maior complexidade da abordagem hierárquica, em paralelo com a abordagem ELOHA. A aplicação da metodologia recorre a um *software* hidrológico – DRIFT-HYDRO – em associação com uma série de ficheiros Microsoft Excel™ interligados, que constituem a base de dados DRIFT; contudo, o facto de ainda não ter sido aplicada na Europa torna difícil a sua implementação em Portugal sem estudos adicionais. Assim, por ainda não ser um método consolidado na Europa, não é nesta fase recomendada a sua utilização em Portugal, não tendo sido integrado na abordagem hierárquica descrita no Guia.

3 MÉTODOS INCLUÍDOS NA ABORDAGEM HIERÁRQUICA

Com base na análise da adequação dos diferentes métodos aos tipos de rios nacionais foi efetuada a **seleção dos métodos** incluídos na abordagem hierárquica descrita no Guia. Os seus principais pressupostos e requisitos de aplicação são descritos de seguida, sendo também sintetizados na **secção 3.7**.

3.1 MÉTODO HIDROLÓGICO DO PNA, 2002

O método desenvolvido para o território nacional no âmbito do PNA de 2002 é um método hidrológico que baseia a determinação de RCE em curvas de duração de caudais (CDC). As CDC são curvas de frequências cumulativas representando o tempo durante o qual o escoamento médio (caudal) iguala, ou excede, um determinado valor num local específico (**Figura 3.1**). Uma vez que as CDC não consideram a sequência cronológica dos caudais, os métodos que as têm por base são por vezes apontados como ecologicamente pouco representativos.

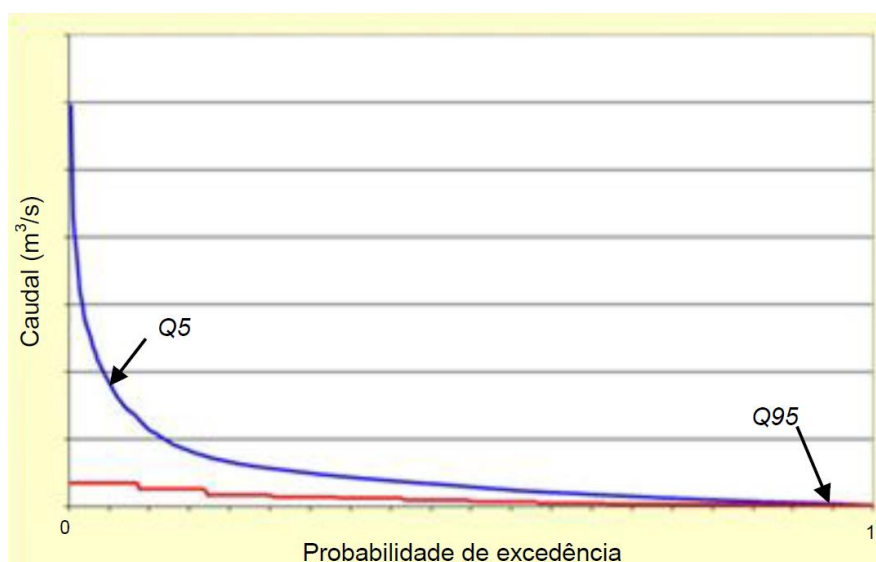


Figura 3.1 - Exemplo de curva de duração de caudais médios. Linha azul: exemplo de regime natural; linha vermelha: exemplo de regime modificado.

Fonte: Martins, 2012

No caso específico do método do PNA, 2002 a definição do RCE é realizada à escala mensal, com base nos quantis obtidos a partir das curvas de duração dos **caudais médios diários** em regime natural, sendo necessária a existência de registos históricos para um período não inferior a **15 anos**, preferencialmente sem falhas. Complementarmente pode ainda ser utilizada modelação para definição dos caudais médios diários em regime natural.

Relativamente à obtenção de dados históricos, importa considerar os seguintes aspetos:

- A determinação de RCE com base em dados históricos está dependente da disponibilidade de registos, que podem ser obtidos a partir do Sistema Nacional de Informação em Recursos Hídricos ([SNIRH](#)). A informação disponível tem que ser verificada e validada previamente ao cálculo dos RCE, através da realização de um estudo hidrológico que permita analisar a sua quantidade e qualidade, para que se possa concluir sobre a sua adequação para integração nos cálculos.
- Quando existem dados numa estação hidrométrica localizada na mesma bacia hidrográfica em que se insere a linha de água em estudo, a transposição dos dados para a secção em estudo é efetuada, regra geral, através de um método de regionalização de caudais.
- Caso se verifique a inexistência de estações hidrométricas na linha de água em estudo, deve ser analisada a possibilidade de selecionar uma estação localizada numa bacia hidrográfica contígua. Para concluir sobre a viabilidade de utilização dos dados em causa é necessário realizar uma análise comparativa entre as duas bacias hidrográficas. Assim, devem ter-se em consideração as respetivas características fisiográficas, precipitações e evapotranspiração médias (mensais ou anuais), bem como coberturas dos solos, com vista a aferir a existência, ou não, de condições hidrológicamente semelhantes, que permita justificar a utilização dos dados, e respetiva transposição para a secção em estudo.

No desenvolvimento deste método procurou-se identificar e considerar períodos críticos para os ecossistemas, por forma a robustecer a fundamentação ecológica dos RCE a determinar, e foi tido particularmente em conta o efeito da alteração hidrológica sobre a fauna piscícola e a vegetação ripária. Mais especificamente foram identificados os seguintes períodos/eventos, considerados ecologicamente relevantes:

- **Outubro-março:** período em que as condições hidrológicas devem possibilitar a recolonização/migração outono-invernal das populações piscícolas com interesse conservacionista ou económico;

- **Dezembro-abril:** período em que as condições de corrente e turbulência devem ser compatíveis com os processos de reprodução, designadamente das espécies piscícolas reófilas, sendo também assegurados os caudais de atração para as espécies migradoras diádromas;
- **Março-setembro:** período em que deve ser assegurada a persistência de condições ambientais nos pegos estivais que não agravem a sobrevivência de organismos aquáticos e de outros dependentes do sistema aquático;
- **Periodicamente,** devem também ser criadas condições para a manutenção da estrutura e composição da vegetação ripícola, nomeadamente pela libertação de caudais de limpeza, cujo objetivo é contrariar a tendência para a alteração do transporte sólido e consequente modificação da geomorfologia dos cursos de água.

Atendendo à variabilidade hidrológica existente em território nacional foi necessário dividir o país em grupos de rios com regimes hidrológicos similares, com o objetivo de permitir a definição de RCE coerentes com as características hidrológicas dos cursos de água – replicando a variação intranual do regime natural de caudais – e, assim, possibilitar uma melhor integração das necessidades dos ecossistemas afetados. Foram definidas três regiões consideradas como hidrológicamente homogéneas: a região a Norte do rio Tejo, excluindo a sub-região Terra Quente, a região Sul do rio Tejo e a sub-região da Terra Quente. Esta última foi individualizada dentro da região a Norte do rio Tejo, prolongando-se para sul do rio Douro e, abrangendo parte das bacias dos rios Seco, Côa e Teja.

Após o estabelecimento das três regiões acima referidas, foram determinados os critérios para a determinação de valores mensais de caudal em cada região. Os critérios apresentados no **Quadro 3.1** foram estabelecidos, pericialmente, com o objetivo de mimetizar o regime hidrológico natural através da manutenção das suas principais características, incluindo:

- Variação sazonal do caudal (variabilidade inter e intranual, ocorrência de cheias e secas, ocorrência de períodos de caudais reduzidos ou nulos).
- Baixa ou nula redução dos caudais naturais durante o período de estiagem, para não agravar os constrangimentos ambientais para o ecossistema.
- Valores superiores de caudal, durante o período de janeiro a março, quando são maiores as disponibilidades hídricas.
- Descarga de um caudal que permita a inundação do leito maior¹ durante o período húmido (janeiro-fevereiro) para manter a vegetação ripícola e a geomorfologia do curso de água;

¹ Correspondendo, de acordo com a bibliografia original, a uma cheia com um período de retorno de 2 anos, a determinar com base na série de registos de caudais, de modelos de estimativa regional ou com base na curva

- Modificação dos caudais propostos em ano seco (fator de redução do regime hidrológico em ano seco dado pela razão entre o escoamento anual em ano seco, com a probabilidade de não excedência de 20%, e o escoamento anual em ano médio).

Quadro 3.1 – Critérios para a definição de regimes de caudal ecológico com base no método desenvolvido para o território nacional no âmbito do PNA de 2002 (Q25, Q50, Q75, e Q90 – Quantis; Qmed – caudal médio mensal)

REGIÃO	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Norte do Rio Tejo	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₀	Q ₉₀	Q ₉₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₇₅
Sul do Rio Tejo	Q _m	Q ₂₅	$(Q_{50}+Q_{25})/2$	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀	Q _m	Q _m	Q _m
Terra Quente	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₇₅	Q ₉₀	Q ₉₀	Q ₇₅	Q ₅₀	Q _m	Q _m

A determinação dos valores mensais de caudal pode assim ser feita exclusivamente em gabinete, com base em séries históricas de caudal, que podem ser obtidas a partir de registos em estações hidrométricas ou com base em modelação.

Posteriormente à determinação do RCE através deste método pode ainda ser necessário realizar um passo adicional de ajustamento dos valores obtidos, de forma a melhorar a coerência do RCE face ao regime natural (**Figura 3.2**), bem como a assegurar a compatibilização com os usos existentes.

de duração de caudais. O caudal a descarregar deverá sofrer um aumento gradual durante cerca de 3 horas e um decréscimo gradual também de 3 horas na fase final do período de cheia.

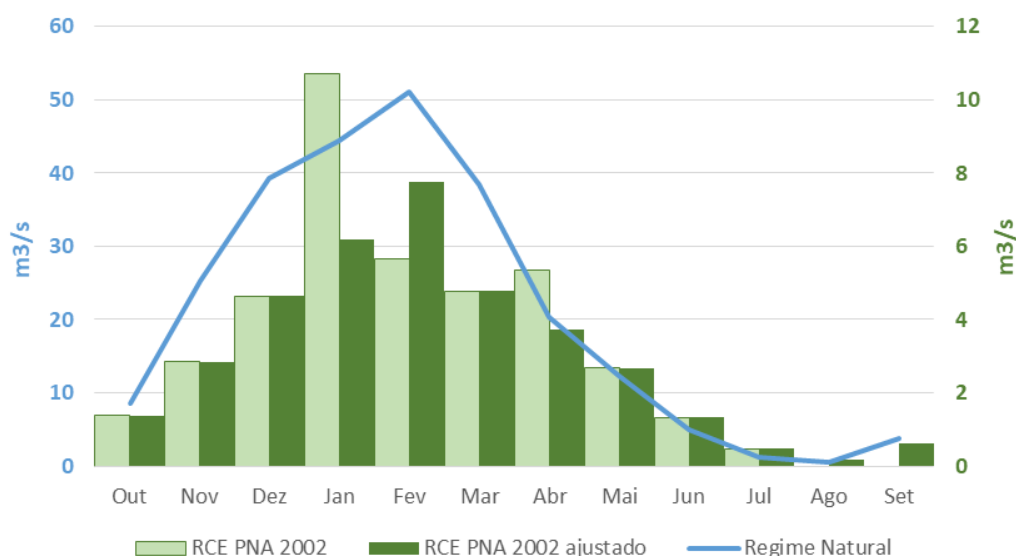


Figura 3.2 – Exemplo de ajustamentos realizados após o cálculo dos quantis, para melhorar a aproximação à variação intranual do regime natural.
Eixo principal: caudais em regime natural; Eixo secundário: RCE calculado pelo método PNA e valores de RCE após ajustamento

Uma das principais vantagens desta metodologia decorre de ter sido desenvolvida especificamente para a realidade do território de Portugal continental e de, apesar da sua natureza hidrológica, ter integrado pressupostos ecológicos no seu desenvolvimento conceptual. Pelo facto de não requerer trabalho de campo, é de aplicação expedita e pouco dispendiosa, implicando, contudo, conhecimentos de hidrologia para a obtenção e tratamento dos dados, assim como para a identificação da necessidade de realização de ajustamentos nos valores mensais obtidos.

Entre as principais limitações deste método conta-se o facto de, tal como a generalidade dos métodos hidrológicos, não integrar explicitamente relações entre os caudais libertados e variáveis biológicas. Acresce que alguns dos quantis considerados na metodologia, nomeadamente nos rios a Sul do Tejo, geram valores de RCE que se podem considerar conservativos (Portela, 2006). Importa ainda notar que este método não é aplicável nos Grandes Rios, pelo que em cursos de água deste tipo poderão, por exemplo, ser aplicadas variações do método de Tennant ou o método do caudal base, descritos sinteticamente de seguida. A determinação de RCE nos Grandes Rios deve, sempre que possível, incorporar ainda métodos hidráulicos ou ecohidráulicos.

3.2 MÉTODO DO CAUDAL BASE (CATALUNHA)

O método do Caudal Base foi desenvolvido para os cursos de água da Catalunha (Palau 1994; Palau e Alcazar, 1996), sendo bastante utilizado em Espanha, nomeadamente no âmbito dos RCE estabelecidos nos PGBH. A metodologia 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 um caudal mínimo (caudal base, Q_b), considerando ainda propostas para outros caudais (de acondicionamento, de manutenção, gerador e máximo).

O cálculo do Q_b assenta no estudo de irregularidades na série hidrológica de caudais médios diários, aplicando um modelo preditivo de médias móveis a intervalos crescentes de dias consecutivos até um máximo de 100 valores (Palau e Alcazar, 1996). Este limite foi estabelecido para evitar grandes volumes de dados e porque uma média de 100 dias consecutivos incluiu o período de menores caudais em qualquer dos locais estudados na bacia hidrográfica do Ebro, para onde o método foi desenvolvido.

O mínimo do modelo de médias móveis, aplicado a cada intervalo crescente, define o caudal médio mínimo de 1, 2, 3,... 100 dias consecutivos. O Q_b para cada ano é definido a partir do valor que determina o período mais longo de menores caudais, identificado pelo maior incremento relativo entre dois intervalos crescentes consecutivos de caudais médios mínimos (Palau e Alcazar, 1996). O valor final de Q_b resulta da média dos valores individuais de Q_b , para cada ano, ao longo do período de análise de pelo menos 10 anos.

O caudal base obtido apresenta elevado grau de sensibilidade às características hidrológicas do curso de água, aumentando com a média anual e com a área da bacia, ficando o seu valor compreendido geralmente entre o Q_{217} (caudal igualado ou excedido em 217 dias por ano) e o Q_{361} (caudal igualado ou excedido em 361 dias por ano).

Adicionalmente ao caudal base, o método abrange os seguintes caudais:

- **Caudal de acondicionamento** - é definido nos casos em que se tenha verificado que o caudal base não é suficiente, por exemplo, em situações em que há valores paisagísticos a conservar ou, quando o caudal base não permite manter condições de base adequadas para as espécies piscícolas. Este caudal é calculado a partir de simulações em secções representativas do troço do curso de água em questão.
- **Caudal de manutenção** - caudal mínimo que deve circular no rio, num dado intervalo de tempo. Decorre da aplicação de um "fator de variabilidade temporal" aos caudais base ou de acondicionamento, gerando o caudal de manutenção, que varia entre 10% a 35% do valor médio. Tal fator, 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 temporal, até ao mínimo de um dia (Portela, 2004).

- **Caudal gerador** - caudal destinado a assegurar a variabilidade hidráulica do rio, limpar o leito e controlar o crescimento da vegetação ribeirinha no leito, correspondendo ao período de retorno de 1 a 2 anos (Alcázar, 2007).
- **Caudal máximo** - corresponde ao valor mais elevado admitido numa determinada secção do curso de água, sendo estabelecido em situações específicas de transvase ou, descargas periódicas de baixo período de retorno para aproveitamentos com grande capacidade de regularização.

Os últimos desenvolvimentos do método incluem a utilização de redes neuronais na determinação do Qb em troços sem registos hidrológicos a partir de setores fluviais com registos de caudal (Alcazar *et al.*, 2008).

Embora o método seja aplicado em várias regiões espanholas, nomeadamente no âmbito da metodologia espanhola para estabelecimento de RCE em massas de água, a sua aplicação em Portugal tem tido resultados por vezes insatisfatórios. Num caso prático de implementação nacional, a aplicação comparativa do método do caudal base e, do método desenvolvido no âmbito do PNA 2002 em duas secções a jusante de pequenos aproveitamentos hidráulicos gerou, para o primeiro método, caudais mensais de manutenção inferiores em todos os meses, com exceção de julho, agosto e setembro (Portela, 2004). Similarmente, a utilização desta metodologia em secções da rede hidrográfica portuguesa, em particular no sul, resultou frequentemente em valores de caudal reconhecidamente baixos, sugerindo inadequações na sua aplicação aos regimes hidrológicos nacionais (Ferreira, 2004; Portela, 2005), particularmente nos de cariz mediterrânico. Assim, o método afigura-se como globalmente inadequado à realidade dos rios de caráter temporário, merecendo apenas consideração para determinação de RCE em cursos de água de grandes dimensões, como os Grandes Rios.

3.3 MÉTODO DE TENNANT OU MONTANA E SEUS DERIVADOS

O Método de Tennant, também conhecido como método de Montana, foi desenvolvido nos EUA no início da década de 1970 por Tennant (Tennant, 1975; 1976a, b), sendo um dos primeiros métodos estabelecidos com o objetivo de garantir as necessidades de água para as espécies piscícolas. Tornou-se um método bastante relevante, continuando a ser utilizado a nível mundial (Reiser *et al.*, 1989; Jowett, 1997).

O método foi inicialmente testado em 11 linhas de água nos estados americanos do Nebraska, Wyoming e Montana. Os testes realizados utilizaram dados hidráulicos obtidos em 58 secções transversais, que foram cruzados com avaliações subjetivas da qualidade do habitat para definir relações entre o caudal e a manutenção do habitat aquático (Hatfield *et al.*, 2013). Tennant observou que a largura do curso de água, velocidade do escoamento e profundidade aumentavam com o caudal, considerando:

- I. Uma profundidade média de 0,3 m e uma velocidade de 0,25 m/s como limite inferior para a sobrevivência piscícola de curta duração; e
- II. Uma profundidade média de 0,45 a 0,6 m e velocidade de 0,45 a 0,6 m/s como ótimas para os exemplares piscícolas (salmonídeos).

Estas condições eram obtidas, respetivamente, com 10% e 30% do caudal médio anual nos cursos de água que estudou.

O método recomenda caudais mínimos que são calculados como percentagens do caudal médio anual de cada local, sendo estes valores determinados para dois períodos: de outubro a março (período de maiores caudais naturais) e de abril a setembro (período de menores caudais naturais) (**Quadro 3.2**).

Quadro 3.2 - Caudais recomendados pelo método de Tennant.

Caudal	Regime de caudais recomendado (% do caudal médio anual)	
	outubro-março	abril-setembro
Descarga ou máximo	200%	
Gama de variação ótima	60-100%	
Excelente	40%	60%
Muito Bom	30%	50%
Bom	20%	40%
Fraco ou degradante	10%	30%
Pobre ou mínimo	10%	
Degradação elevada	0-10%	

A principal limitação do método decorre de só poder ser aplicado a cursos de água morfológicamente semelhantes àqueles para os quais a metodologia foi desenvolvida. Mann (2006) testou a validade do método em sete estados do oeste dos EUA, incluindo a região onde o método foi desenvolvido, tendo concluído que o método só era válido para linhas de água com declive inferior a 1%.

Outras limitações estão relacionadas com o facto do método se basear no caudal médio anual, não tomando em consideração as variações sazonais ou diárias do caudal, sendo mais adequado a rios com regime hidrológico estável ao longo do ano (Weasche e Rechard, 1980) e menos a cursos de água com comportamento hidrológico mais variável (Mathews Jr. e Bao, 1991).

O método apresenta, no entanto, a grande vantagem de ser fácil de implementar, uma vez que é baseado numa única estatística hidrológica (Hatfield *et al.*, 2013) e que a sua aplicação não requer trabalho de campo, podendo ser determinado simultaneamente em vários locais de uma bacia hidrográfica (Wesche e Rechard, 1980).

Embora este método se tenha mantido quase inalterado desde o seu desenvolvimento, algumas modificações foram propostas no sentido de o adaptar a regiões diferentes daquelas para as quais foi desenvolvido:

- Baya (1978) recomendou a manutenção de caudais correspondentes a 100% do caudal médio anual durante os meses de primavera, em vez dos 40-60% propostos no método original, para permitir a lavagem de materiais finos, a recarga das zonas húmidas e migração das espécies piscícolas.
- O método do Arkansas (EUA) foi desenvolvido a partir do Método de Tennant, considerando várias espécies piscícolas e a divisão do ano hidrológico em três períodos. O caudal ecológico é definido numa base mensal, correspondendo a uma percentagem do caudal médio mensal de cada período do ano. Para períodos de caudais elevados é recomendado 60% do caudal médio mensal que, na época de desova sobe para os 70%, enquanto nos períodos de caudais baixos o valor desce para os 50% do caudal médio mensal. A aplicação deste método resulta em estimativas muito altas do caudal ecológico para cursos de água não salmonícolas (Mathews Jr. e Bao, 1991).
- Orth e Maughan (1981) propuseram que a estação de caudais mínimos fosse entre julho e dezembro para o Oklahoma, no sul dos EUA (Linnansaari *et al.*, 2012).
- Fraser (1978) sugeriu a incorporação da variação sazonal através da definição de caudais mínimos mensais, como percentagens dos caudais médios mensais.
- Na sequência da proposta de Fraser, Tessman (1980) propôs uma modificação do Método de Tennant incluindo uma avaliação mensal do caudal mínimo a libertar de acordo com as regras estabelecidas no **Quadro 3.3**. As regras de

Tessman têm sido aplicadas no Canadá (Manitoba) em rios com escoamento permanente (Linnansaari *et al.*, 2012).

Quadro 3.3 – Alteração ao método de Tennant proposta por Tessman. CMM – Caudal médio mensal; CMA – Caudal Médio Anual (Linnansaari et al, 2012)

Regra	Caudal mínimo a considerar
se $CMM < 40\% \text{ de CMA}$	CMM
se $40\% \text{ CMA} < CMM < 100\% \text{ CMA}$	40% de CMA
se $CMM > CMA$	40% de CMM

- A adaptação do método para o Estado do Texas (método do Texas) inclui modificações para incorporar a extrema variabilidade nos regimes hidrológicos da região, utilizando valores de escoamento anual mediano em vez de médio (Hatfield *et al.* 2013). Esta adaptação do método de Tennant afigura-se como mais adequada à variabilidade do escoamento em Portugal, pelo que o método é descrito especificamente na **secção 3.3.1**.

O método de Tennant está também na origem da definição de valores de caudal ecológico em vários países europeus, nomeadamente França e Irlanda. O método foi utilizado em Portugal, particularmente nas bacias hidrográficas dos rios internacionais – Douro, Tejo e Guadiana – por exemplo na secção da barragem de Alqueva (Alves e Bernardo, 2003, Portela, 2005), mas também no rio Tuela (Alves, 1993).

Na aplicação realizada nos rios internacionais luso-espanhóis foi proposta uma redistribuição das percentagens definidas por Tennant, de forma a refletir as condições hidrológicas portuguesas – **Quadro 3.4** – (European Commission, 1996 *in* Alves e Bernardo, 2003). Assim, o período de caudais ecológicos elevados foi definido como sendo de dezembro a março, e o período de caudais ecológicos mínimos de junho a setembro, correspondendo abril, maio, outubro e novembro a meses de transição, para os quais foram definidos valores intermédios de caudal. Foi ainda garantido que o valor recomendado de cada mês não excedesse o caudal médio mensal.

Quadro 3.4 – Regimes de caudais recomendados para as bacias hidrográficas dos rios internacionais portugueses Douro, Tejo e Guadiana, com base numa modificação do método de Tennant (European Commission, 1996 in Alves e Bernardo, 2003). As percentagens indicadas dizem respeito a percentagens do caudal médio anual

Classe do caudal	Período		
	junho a setembro	abril, maio, outubro e novembro	dezembro a março
Excelente	40%	50%	60%
Muito bom	30%	40%	50%
Bom	20%	30%	40%
Fraco ou degradante	10%	20%	30%
Pobre ou mínimo	10%	10%	10%
Elevada degradação		0-10%	

3.3.1 Método do Texas

Como antes referido, este método é uma adaptação do método de Tennant específica para o estado do Texas, localizado no sul dos EUA (Mathews Jr. e Bao, 1991).

O método define uma percentagem da mediana mensal de forma a considerar as características hidrológicas e biológicas dos cursos de água não salmonícolas. O desenvolvimento do método requereu a seleção de locais representativos de cada região e, a compilação exaustiva de informação hidrológica e ictiofaunística, incluindo dados sobre os períodos críticos das espécies piscícolas presentes.

Com base nessa informação foram definidas as percentagens, P_i , da mediana mensal, tal que P_i é igual à razão entre o caudal recomendado e a mediana mensal MM_i . P_i é a componente do caudal necessária para a sobrevivência e manutenção das comunidades piscícolas. O valor de P_i é determinado para cada local representativo, sendo também calculado para cada local o índice hidrológico R_i :

$$R_i = \frac{MM_i}{MinMM}$$

Onde $MinMM$ é o mínimo da mediana mensal.

Este índice reflete a relação natural entre as condições hidrológicas e as necessidades biológicas das espécies piscícolas, indicando o mês de caudais mais baixos. A mediana mensal mais baixa corresponde ao mês em que o *stress* metabólico é mais elevado, devido

às temperaturas elevadas e à redução do espaço disponível, oxigénio e alimento (Mathews Jr. e Bao, 1991).

Com base nos estudos realizados foram obtidas, por regressão, equações do género $P_i = f(R_i)$ para cada mês (**Quadro 3.5**), bem como para o conjunto dos meses:

$$\ln P_i = a_{0i} + a_{1i} \ln R_i + a_{2i} [\ln R_i]^2$$

A relação entre P_i e R_i reflete o efeito composto da variação mensal do caudal e as necessidades de caudal das espécies piscícolas durante as diferentes fases do seu ciclo de vida.

A aplicação deste método envolve as seguintes três etapas:

- I. cálculo das medianas de cada mês, MM_i e do seu valor mínimo $\min MM_i$, com base no registo de caudais diários, calculando-se de seguida a sua razão R_i ;
- II. cálculo de P_i com base nas equações do **Quadro 3.5**; e
- III. cálculo do caudal recomendado para cada mês: $CR_i = P_i \times MM_i$.
- IV.

Quadro 3.5 – Relação entre a % da mediana mensal (P) e o índice hidrológico R (Mathews Jr. e Bao, 1991)

Mês	Equação de regressão	Variação de R	Coefficiente Correlação
Jan	$\ln(P) = -1,4360 - 0,42806 \ln(R) + 0,050495 [\ln(R)]^2$	$2,357 \leq R \leq 216,162$	0,748
Fev	$\ln(P) = -1,63630 - 0,38702 \ln(R) + 0,24140 [\ln(R)]^2$	$4,133 \leq R \leq 605,014$	0,756
Mar	$\ln(P) = -1,5507 - 0,39760 \ln(R) + 0,01188 [\ln(R)]^2$	$2,525 \leq R \leq 691,919$	0,91
Abr	$\ln(P) = -1,4354 - 0,052753 \ln(R) + 0,047708 [\ln(R)]^2$	$2,725 \leq R \leq 256,559$	0,927
Mai	$\ln(P) = -0,5637 - 1,09750 \ln(R) + 0,0119667 [\ln(R)]^2$	$6,904 \leq R \leq 137,879$	0,758
Jun	$\ln(P) = -1,81147 - 0,35525 \ln(R) + 0,041373 [\ln(R)]^2$	$3,406 \leq R \leq 115,545$	0,638
Jul	$\ln(P) = -2,2113 - 2,37833 \ln(R) + 1,49936 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 6,667$	0,766
Ago	$\ln(P) = -0,65509 - 3,33963 \ln(R) + 3,18706 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 1,812$	0,828

Mês	Equação de regressão	Variação de R	Coefficiente Correlação
Set	$\ln(P) = -0,66468 - 1,91114 \ln(R) + 0,8295 [\ln(R)]^2$	$1,07 \leq R \leq 6,263$	0,819
Out	$\ln(P) = -0,87566 - 0,222236 \ln(R) + 0,045455 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 107,172$	0,742
Nov	$\ln(P) = -1,11326 - 0,51778 \ln(R) + 0,045455 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 125,983$	0,771
Dez	$\ln(P) = -1,5416 - 0,37674 \ln(R) + 0,040795 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 690,909$	0,672
Todos os meses	$\ln(P) = -1,0045 - 0,68642 \ln(R) + 0,069307 [\ln(R)]^2$	$1,0 \leq R \leq 691,919$	0,75

Os caudais recomendados são caudais mínimos, cuja distribuição anual mimetiza a variabilidade natural dos caudais ao longo do ano hidrológico. A sua aplicação em regiões diferentes daquelas para onde foi desenvolvido requer um bom conhecimento sobre as necessidades de caudal dos elementos biológicos alvo, que sustentem o desenvolvimento das equações de regressão mensais.

Este método já foi aplicado em três secções da bacia hidrográfica do rio Guadiana (Caia, Alqueva e estuário), por se ter considerado existirem semelhanças entre as duas regiões em termos climáticos e hidrológicos (European Commission, 1996 *in* Alves, 2002). Este pressuposto não foi, todavia, validado.

3.4 MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO

O Método do Perímetro Molhado, também designado por Método dos Transeptos, foi desenvolvido pelo *Department of Fish, Wildlife and Parks de Montana* (EUA), sendo baseado no pressuposto de que existe uma relação crescente entre o perímetro molhado (distância medida ao longo do fundo e dos lados de uma secção transversal fluvial em contacto com a água) e a capacidade biogénica do rio (Leathe e Nelson, 1986).

É um método de ampla utilização, incluindo em Portugal (p.e., Alves e Bernardo, 2003; Portela, 2005; 2006; Godinho *et al.*, 2014a), sendo geralmente conjugado com outras metodologias.

A sua aplicação requer que, para uma dada secção (caracterizada pelo respetivo perfil transversal) de um curso de água, seja obtida a curva (P, Q), que relaciona os caudais (Q) que aí se escoam com os perímetros molhados (P) que lhes correspondem.

Estas curvas refletem, para cada secção transversal, o aumento continuado do perímetro molhado com o caudal, permitindo identificar o valor de caudal a partir do qual a taxa de aumento declina em função da morfologia do canal (**Figura 3.3**).

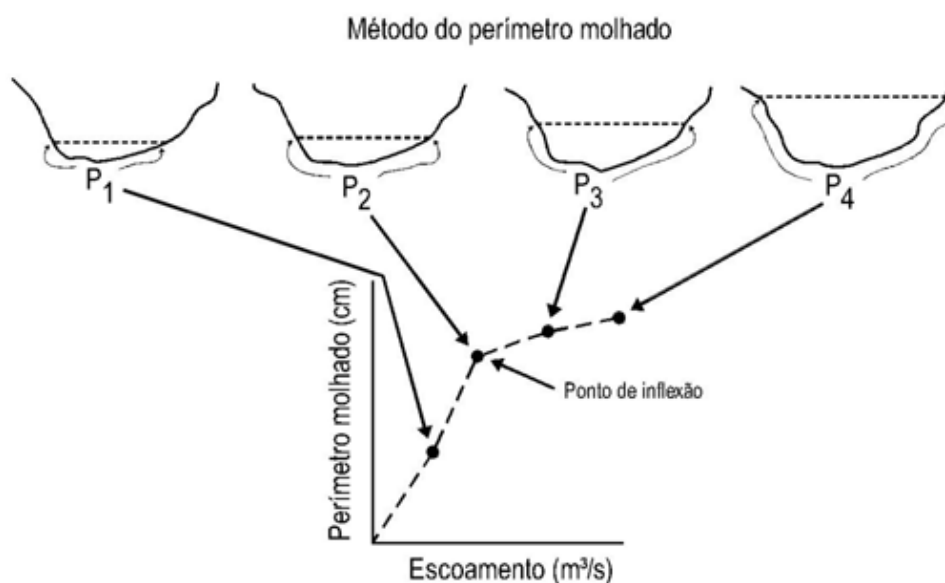


Figura 3.3 – Representação esquemática do método do perímetro molhado

Este caudal, associado ao primeiro ponto de inflexão da curva, é tomado como o caudal ecológico recomendado pelo método, sendo em geral excedido pelo caudal médio diário em 60% a 90% do tempo (Alves e Bernardo, 2003). Embora os cálculos efetuados não considerem a variação mensal do caudal, uma vez que pela sua aplicação apenas é obtido um valor de caudal, este último pode ser posteriormente transposto para um regime de base mensal, sendo para o efeito multiplicado por um fator obtido a partir da razão entre o caudal médio de cada mês e o caudal médio anual, ambos em regime natural.

A determinação do ponto de inflexão da curva (P, Q) tem gerado algumas críticas em resultado da sua subjetividade, tendo sido sugeridos alguns métodos estatísticos para contornar esse aspeto (p.e., Gippel e Stewardson, 1998; Men *et al.*, 2012). Em alternativa ao ponto de inflexão, o caudal ecológico a estabelecer pode ter como critério a manutenção de um determinado perímetro molhado, que se considere compatível com o grau de proteção pretendido. Este critério é definido em relação ao perímetro molhado existente, para um caudal de referência, no qual se considera existirem condições favoráveis (p.e., o perímetro molhado correspondente ao caudal máximo não deve sofrer uma redução

superior a 25%) para as espécies aquáticas. Esta abordagem pode ainda tornar este método utilizável ao nível do planeamento por estabelecer um critério universal aplicável a várias secções.

O método deve ser aplicado em zonas de rápidos (também referidos como *riffles*), sendo definidas secções transversais, preferencialmente situadas em zonas com perfis do leito retangulares (CDFW, 2013). As secções podem também ser determinadas com recurso a modelação.

A necessidade de caracterização das zonas de rápidos resulta da sua relevância ecológica: estes são um habitat importante para os invertebrados bentónicos (Leathe e Nelson, 1986) que, por sua vez, são a principal fonte de alimento de muitas espécies piscícolas; estes setores lóticos são também os mais sensíveis a reduções de caudal, podendo ser limitantes como locais de passagem e de postura para algumas espécies piscícolas. O método assume ainda que a proteção dos rápidos assegura igualmente a proteção das zonas mais profundas, nas quais as alturas e disponibilidades de água serão superiores.

Devem ser selecionadas secções representativas das condições existentes ao longo do segmento fluvial em análise – variando o número de secções com a extensão e irregularidade das condições observadas ao longo do troço a caracterizar – sendo depois determinada a média dos valores de caudal obtidos para os pontos de inflexão das curvas das várias secções.

Alguns autores aplicaram a metodologia não apenas em rápidos, mas também em secções transversais dos restantes habitats disponíveis no curso de água (Nelson, 1980; Reed e Mead, 1990). A aplicação do método pode ainda ir para além da consideração do perímetro molhado, podendo ser determinadas, para cada secção fluvial transversal, curvas que relacionem outras variáveis hidráulicas (p.e., profundidade e velocidade) com o escoamento (Wesche e Rechard, 1980). A evolução destas variáveis hidráulicas face ao caudal, em particular os valores obtidos com o perímetro molhado obtido, deve ser avaliada com base na informação biológica disponível para as espécies e comunidades nativas presentes no troço em estudo. Deverá, nomeadamente, ser considerado qual o valor do habitat que a velocidade e profundidade correspondentes ao perímetro molhado podem gerar, recorrendo por exemplo a critérios de preferência de habitat, caso existam.

Como é típico dos métodos hidráulicos, o perímetro molhado considera as características específicas do leito fluvial e, consequentemente, do habitat, o que representa uma vantagem face aos métodos hidrológicos. Simultaneamente, pelo facto de requerer trabalho de campo, torna este método mais moroso e dispendioso, relativamente aos anteriores. É recomendada a sua utilização em abordagens multinível em que se necessite de informação mais específica quanto ao comportamento hidráulico do rio em relação ao caudal. Importa, contudo, notar que a aplicação do método se encontra fortemente condicionada em rios de montanha, em que predominam os meso-habitats do tipo cascata,

assim como em rios de planície, em que as zonas de rápidos são pouco significativas (Leathe e Nelson 1986).

3.5 METODOLOGIA INCREMENTAL (IFIM)

A metodologia IFIM (Bovee, 1982; Gore *et al.*, 1989), ou metodologia incremental (Alves e Bernardo, 2003), corresponde a uma técnica desenvolvida nos Estados Unidos da América no final da década de 1970. Comparativamente com os métodos hidrológicos e hidráulicos, este método é mais sofisticado, demorado e dispendioso. Difere também dos métodos hidráulicos na ênfase que coloca na quantificação do habitat para as espécies-alvo e na sua otimização.

A metodologia é centrada no princípio de que a distribuição dos elementos biológicos (geralmente os peixes) de um determinado sistema fluvial é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos de água (Stalnaker e Milhous, 1983). Cada organismo tende a selecionar no curso de água as condições que lhe são mais adequadas, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência, que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (Gore *et al.*, 1989). Entre as variáveis usadas para estimar as preferências de micro-habitat encontram-se a profundidade, a velocidade, o substrato e os diferentes tipos de cobertura.

Esta metodologia recorre assim a critérios de uso ou preferência² de habitat, de uma ou mais espécies, para simular a variação do habitat disponível em função dos vários regimes de caudal (Gan e McMahon, 1990). Estes critérios são determinados para uma fase do ciclo de vida (p.e., juvenil ou adulto) e para uma atividade biológica em particular (p.e., reprodução, alimentação, refúgio), podendo ser desenvolvidos com base no conhecimento disponível sobre a(s) espécie(s), incluindo conhecimento pericial, extrapolação entre condições consideradas comparáveis ou, com base em amostragens de campo específicas (Bovee, 1986).

A disponibilidade de habitat para cada caudal simulado é medida por um índice chamado Superfície Ponderada Útil (SPU), que corresponde à área molhada gerada por esse caudal, ponderada pela sua adequação para utilização por um determinado organismo. A SPU é utilizada como variável de decisão na determinação de cada RCE.

Em termos genéricos, os principais passos considerados na aplicação da metodologia IFIM podem ser sistematizados da seguinte forma:

² Relação entre o habitat utilizado e o disponível.

- I. Seleção dos locais de estudo e das espécies-alvo a considerar. Devem ser escolhidos troços considerados representativos ou críticos no que respeita às condições de caudal;
- II. Caracterização das condições hidromorfológicas nos troços selecionados e calibração de modelos hidráulicos que irão permitir simular alterações em variáveis como profundidade e velocidade em função de diferentes caudais libertados;
- III. Informação sobre as espécies-alvo obtida a partir de trabalho de campo ou com recurso a outras fontes (p.e., bibliografia), de forma a caracterizar os respetivos critérios de uso ou preferência de habitats para cada fase do ciclo de vida, atividade e/ou época do ano e a relacioná-los com as características físicas dos locais em análise (velocidade, profundidade, substrato, etc.)
- IV. Pela combinação do modelo hidráulico e das informações relativas às espécies-alvo são geradas as curvas das SPU e analisada a sua variação em função do caudal;
- V. São aplicados critérios de decisão quanto ao caudal mínimo necessário para preservar condições adequadas para as espécies-alvo em cada fase do ciclo de vida, atividade e/ou época do ano.

Diferentes programas de simulação são comumente utilizados para modelar as relações entre o caudal e a superfície ponderada útil, incluindo o PHABSIM (sistema de simulação de habitat físico desenvolvido no âmbito do IFIM, **Figura 3.4**) e o RIVER2D.

Enquanto a metodologia IFIM se centra tradicionalmente nos micro-habitats, através da aplicação de modelos como o PHABSIM, trabalhos mais recentes têm vindo a desenvolver a possibilidade de aplicar modelos à escala dos meso-habitats e macro-habitats. A título de exemplo, Parasiewicz (2001; 2007a; 2007b) desenvolveu um modelo ao nível do meso-habitat (MesoHABSIM) que, embora modifique os dados a obter e a abordagem analítica do PHABSIM, gera resultados semelhantes.

Outros trabalhos permitiram o desenvolvimento de um conjunto de modelos *fuzzy* de simulação de habitat para a ictiofauna, macroinvertebrados e vegetação, denominado CASiMiR: *Computer Assisted Simulation Model for Instream Flow Requirements* (Jorde, 1996; Schneider *et al.*, 2010). Este conjunto de modelos fornece a distribuição espacial da aptidão de habitat, para determinado *taxon*, com base em dados de inventário e curvas de preferência habitacional (p.e., Boavida *et al.*, 2014). Os modelos integram módulos que podem ser combinados para situações particulares, nomeadamente módulos de regime hidrológico, leito fluvial, zona aquática, etc. Esta estrutura modular tem a vantagem de permitir a incorporação de mais parâmetros que, em qualquer altura, sejam considerados ecologicamente relevantes. Um dos módulos deste grupo de modelos (CASIMIR *vegetation*) já foi aplicado em Portugal, em troços fluviais situados nas bacias hidrográficas dos rios Sado, Guadiana, Tejo e Arade, no desenvolvimento de RCE adaptados à vegetação ribeirinha (Rivaes *et al.*, 2011; 2017).

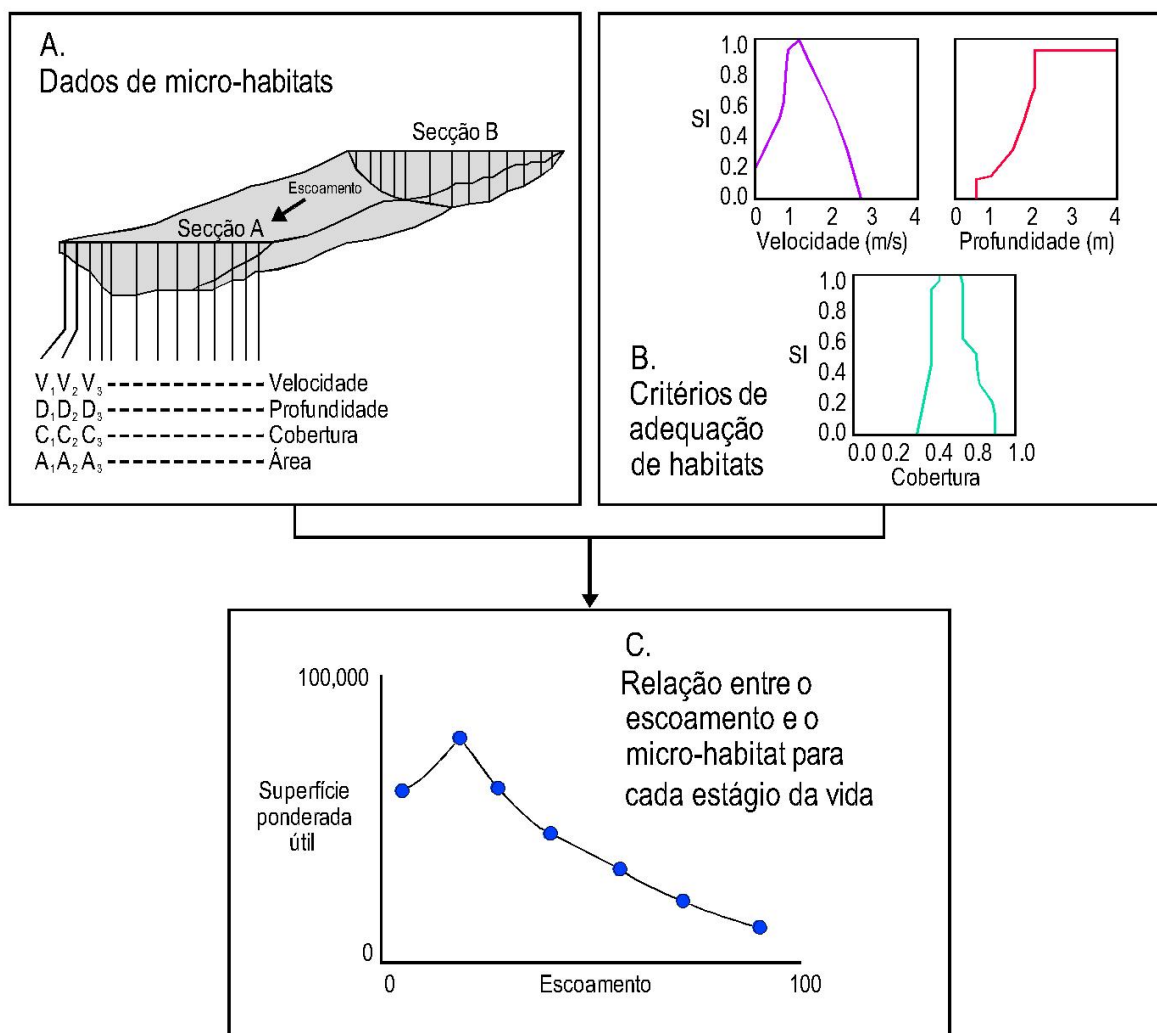


Figura 3.4 - Esquema geral de como o modelo PHABSIM calcula a superfície ponderada útil em função do caudal.

A) A profundidade (P_i), velocidade (V_i), cobertura (C_i) e área (A_i) são medidas ou simuladas para um determinado caudal; **(B)** Os critérios de adequação de habitat (CAH) são usados para ponderar a área de cada célula para esse caudal. Os valores de habitat utilizável para todas as células no segmento estudado são somados para obter um valor de habitat utilizável nesse segmento. O processo é repetido para uma gama de caudais para obter um gráfico como o apresentado no gráfico C) (Adaptado de Gopal, 2013)

Existem assim diversas vias pelas quais podem ser estimados RCE tendo por base os princípios da metodologia IFIM, bem como diferentes abordagens à decisão com base nos resultados obtidos. De forma geral, considera-se que na aplicação desta metodologia se devem ter em conta os seguintes princípios:

- Deve ser feita a aplicação individualizada do método a cada época do ano (pelo menos primavera, verão e outono³), utilizando critérios de uso/preferência de habitat específicas para cada período.
- As preferências para os vários fatores de habitat (profundidade, velocidade e substrato) em relação ao caudal, são combinadas para determinar uma adequação de habitat total. O índice de aptidão de habitat deve ser determinado como o produto das preferências para cada fator (velocidade, profundidade e substrato). Embora existam outras abordagens para determinar aquele índice (p.e. utilizando a média geométrica das preferências para cada fator), esta é a mais conservadora relativamente aos valores de SPU, já que gera uma aptidão de habitat nula quando um dos fatores apresenta uma preferência/adequação igual a zero, o que é ecologicamente sustentável.
- A determinação do caudal mínimo, para cada período do ano e espécie/fase do ciclo de vida, deve ser baseada no ponto de inflexão da curva SPU vs caudal, considerando os valores de caudal que em regime natural circulariam no rio naquele período, sendo que os valores de caudal ecológico obtidos não podem ser superiores aos valores de caudal médio em regime natural naquele período. Todavia, existem situações em que a curva apresenta vários pontos de inflexão, sendo necessária uma avaliação pericial dos valores obtidos.
- Quando as curvas de SPU vs habitat são relativamente semelhantes entre as diferentes espécies/fases do ciclo de vida, a compatibilização dos valores de caudal mínimo obtidos para cada espécie/fase do ciclo tende a ser simples. Todavia, quando os valores de caudal ecológico gerados para cada espécie/fase do ciclo de vida são bastante distintos, será necessário ponderá-los para determinar o RCE. Esta ponderação pode ser concretizada de várias formas, nomeadamente considerando um peso relativo para cada espécie/fase do ciclo de vida, ou otimizando a SPU para uma determinada espécie/fase do ciclo de vida considerada chave, aceitando uma determinada redução potencial (p.e. 20%) na SPU das restantes espécies/fases dos ciclos de vida.

No âmbito do planeamento e gestão dos recursos hídricos, a definição de critérios relativamente à proporção de SPU que deve ser garantida pelos RCE pode facilitar a implementação deste tipo de abordagem a uma escala mais ampla. Em Espanha, a metodologia de simulação de habitat integra a abordagem oficial para estabelecimento de RCE no âmbito dos PGBH, descrita na ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de setembro, que aprova as instruções de planeamento hidrológico. A legislação espanhola estabelece quais as percentagens de SPU que devem ser garantidas pelo RCE, estando definidas magnitudes de variação entre 30-80% para as massas de água em que se considera que o regime

³ Em alguns dos tipos de rios a avaliação na época do inverno poderá não ser possível de concretizar.

hidrológico se encontra muito alterado, e entre 50-80% nas restantes massas de água. Em condições de seca prolongada, o caudal ecológico mínimo pode ser reduzido até atingir 25% da SPU. O caudal associado ao habitat potencial máximo é determinado diretamente nos casos em que a curva SPU vs caudal apresenta um ponto de inflexão, sendo, nos restantes casos, determinado como o habitat correspondente aos percentis 10 a 25 da CDC (para um período de caudais médios diários em regime natural não inferior a 20 anos). Estes limiares podem ser considerados como referência a nível nacional, considerando-se, adicionalmente que, nas Zonas Protegidas em que se verifique a presença de valores de conservação relevantes com estreita ligação aos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, os critérios para a otimização da SPU poderão ser mais exigentes (p.e., 100% da SPU).

A metodologia IFIM é aplicável à generalidade das massas de água lóticas existentes em Portugal continental, embora a obtenção de dados em rios temporários e Grandes Rios possa necessitar de particular atenção, como já referido. Em particular, é recomendada a sua utilização em abordagens multinível em que seja necessário obter informação quantitativa relativamente ao habitat potencial das espécies selecionadas face a diferentes valores de caudal. Por questões de coerência, é adicionalmente proposta nesta fase a aplicação dos critérios de SPU constantes da legislação espanhola, e que foram acima identificados.

3.6 METODOLOGIA HOLÍSTICA DESENVOLVIDA EM PORTUGAL

A metodologia integrada para determinação de RCE descrita em Godinho *et al.* (2014b) visa a concertação dos resultados obtidos por metodologias frequentemente utilizadas, de modo a adequar os valores de caudal necessários às necessidades ecológicas das espécies-chave presentes, bem como às condições hidromorfológicas dos troços fluviais em causa. Pode ser considerado um método holístico, assumindo os RCE enquanto medida de mitigação dos impactes dos aproveitamentos hidráulicos sobre o regime hidrológico natural, sendo este último o principal determinante da dinâmica dos ecossistemas fluviais (de acordo por exemplo com Poff *et al.*, 1997).

A referida metodologia desenvolve-se sequencialmente ao longo de sete passos principais, representados esquematicamente na **Figura 3.5**.

- O primeiro deles corresponde à definição da área de estudo e à recolha de informação sobre a mesma, incluindo dados topográficos, hidrológicos e informações de cariz ecológico, i.e., dados bióticos, hidromorfológicos e físico-químicos, *sensu* Diretiva Quadro da Água (DQA).
- O segundo passo considera a seleção e consequente amostragem ecológica de troços fluviais representativos, situados a jusante da infraestrutura hidráulica (existente ou

prevista). O número de troços de amostragem variará com a extensão da área fluvial em estudo e com a diversidade hidromorfológica do segmento lótico.

- O terceiro passo está intimamente relacionado com o anterior, consistindo no estabelecimento de objetivos ambientais. Esta componente é baseada na DQA e varia de acordo com a sensibilidade ecológica da área em estudo, embora possa integrar outro tipo de objetivos.
- O quarto passo integra a formulação de RCE através de diferentes metodologias, que deverão integrar pelo menos um método hidráulico, em conjunto com avaliações de simulação de habitat.
- O quinto passo corresponde à ponderação *in situ* dos diferentes regimes de caudais determinados por uma equipa multidisciplinar de peritos, incluindo nomeadamente as temáticas da hidrologia, geomorfologia e ecologia dulçaquícola (fauna piscícola, macroinvertebrados e macrófitos). Para implementar o processo, cada secção transversal e respetivo troço fluvial, são avaliados em pormenor durante uma visita de campo, sendo observadas as zonas inundadas e os níveis originados com os caudais obtidos através dos diferentes métodos de determinação de caudais de manutenção ecológica utilizados.
- O sexto passo corresponde à proposta de RCE, de base mensal e considerando diferentes tipos de anos hidrológicos (ano médio, seco e húmido assim como caudais de limpeza caso se justifique), que é efetuada com base nos objetivos ambientais estabelecidos e nas avaliações dos peritos.
- O sétimo passo integra os trabalhos de monitorização, necessários para avaliar a capacidade do regime proposto em garantir os objetivos ambientais estabelecidos. Após um período inicial de monitorização e, caso os objetivos não sejam alcançados, o RCE terá de ser revisto pelos peritos e uma nova proposta deverá ser formulada, após consulta prévia aos interessados, permitindo que o procedimento proposto se adapte aos resultados da monitorização.
- A aplicação inicial desta metodologia em alguns locais das bacias hidrográficas dos rios Cávado e Guadiana gerou RCE que variaram entre 5 e 15% do escoamento total em condições naturais (ver mais detalhes em Godinho *et al.*, 2014b).
- Esta metodologia apresenta algumas das vantagens e desvantagens das metodologias holísticas. A abordagem proposta pode utilizar na base da sua análise os métodos de aplicação mais frequente em Portugal, incluindo um método hidrológico (Método desenvolvido para o território nacional no âmbito do PNA de 2002), um método hidráulico (Perímetro molhado) e um método ecohidráulico (IFIM). Congrega trabalho de gabinete e de campo e integra um painel multidisciplinar de peritos, que pode ser ajustado em função da singularidade ambiental do rio em avaliação. Pode ainda ser ajustado de forma a incluir um *workshop* de conciliação com os interessados, no âmbito do estabelecimento de um RCE. Integra explicitamente um programa de monitorização para avaliação da sua eficácia, e a gestão adaptativa dos RCE implementados.

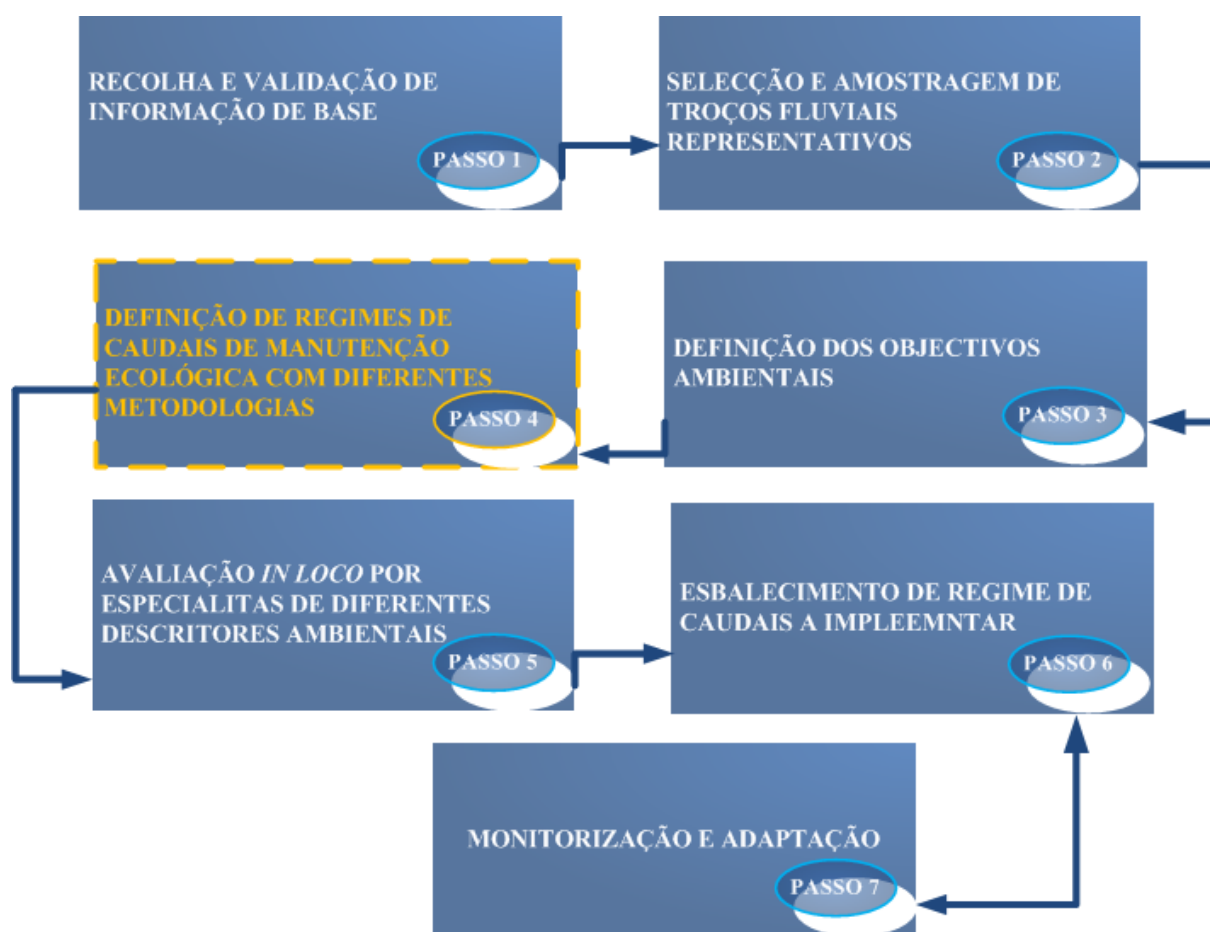


Figura 3.5 – Esquema geral da metodologia holística
(Fonte: Godinho et al., 2014b)

São desvantagens desta abordagem o facto de ser relativamente dispendiosa e demorada a sua implementação, podendo haver subjetividade na avaliação realizada pelos diferentes peritos. Será ainda desejável a elaboração de um manual de procedimentos que clarifique todos os passos do método, em particular a intervenção dos peritos. Até ao momento esta abordagem só foi aplicada em Portugal, nas bacias hidrográficas acima referidas, não estando os respetivos resultados validados.

3.7 COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS CONSIDERADOS

Tipo de método	Método	Recolha e tratamento de dados	Informação requerida	Especialização da equipa	Confiança e aplicabilidade	Âmbito de utilização	Duração do trabalho (meses)	Custo relativo
HIDROLÓGICO	Método desenvolvido no âmbito do PNA 2002	Gabinete	Dados históricos de caudal (registados ou modelados)	1 técnico com conhecimentos de hidrologia	Aplicável à generalidade dos rios de Portugal continental, com exceção dos Grandes Rios. São necessários mais casos de implementação para consolidar a validação dos RCE estabelecidos	Utilizado em Portugal, sendo o método hidrológico de referência para o cálculo de RCE no âmbito deste Guia	2 a 3	€
	Caudal Base (Catalunha)	Gabinete	Dados históricos de caudal (registados ou modelados)	1 técnico com conhecimentos de hidrologia	Não aplicável a regimes hidrológicos muito variáveis e com caudais naturais muito reduzidos no verão. São necessários mais casos de aplicação para aferir a sua adequação à realidade nacional	Utilizado em Espanha nos respetivos PGBH. Foi aplicado experimentalmente em Portugal, podendo ser considerado para cálculo de RCE em casos em que o método PNA 2002 não é aplicável	2 a 3	€
	Tennant e adaptações	Gabinete	Dados históricos de caudal (registados ou modelados)	1 técnico com conhecimentos de hidrologia	Razoavelmente fiável para o tipo de rios e região onde foi desenvolvido. São necessários mais casos de aplicação para aferir a sua adequação à realidade nacional	Método bastante aplicado e adaptado a muitas regiões, sobretudo na América do Norte. Pode ser considerado para cálculo de RCE em casos em que o método PNA 2002 não é aplicável	2 a 3	€
HIDRÁULICO	Perímetro molhado	Gabinete e trabalho de campo	Dados históricos de caudal (registados ou modelados); levantamentos de variáveis hidráulicas em secções transversais	1 a 2 técnicos com conhecimentos de hidrologia e hidráulica. 1 técnico de topografia para realização do levantamento de campo	A fiabilidade do método pode ser considerada razoável a boa desde que os pressupostos de aplicação da metodologia sejam respeitados. São necessários mais casos de implementação para consolidar a validação dos RCE estabelecidos	Método bastante consolidado e aplicado a nível mundial, incluindo em Portugal. As variáveis hidráulicas devem ser caracterizadas em zonas de rápidos, o que pode ser limitante em rios de montanha com quedas e poucas zonas de rápidos ou rios de planície	4 a 6	€€
ECOHIDRÁULICO	IFIM	Gabinete e trabalho de campo.	Dados históricos de caudal (registos ou modelados); levantamentos de variáveis hidráulicas em secções transversais; funções de uso de habitat por espécies/classes de dimensão	1 a 2 técnicos com conhecimentos em hidrologia e hidráulica. Técnicos de topografia para realização do levantamento de campo. 1 a 3 técnicos com formação em ecologia para desenvolvimento das funções de aptidão habitacional. A aplicação de funções já existentes pode reduzir o número de técnicos em biologia para 1	O método foi inicialmente desenvolvido para rios de montanha, mas foi depois alargado a outros contextos. A fiabilidade dos resultados é elevada desde que se reduzam as fontes de variação (utilização de curvas de preferência habitacional, utilização de curvas diferentes consoante a época do ano, utilização de várias espécies, etc.). São necessários mais casos de implementação para consolidar a validação dos RCE estabelecidos	Método bastante consolidado e adaptável, sendo uma das metodologias mais aplicadas a nível mundial	6 a 18	€€€ a €€€€
HOLÍSTICO	Metodologia holística desenvolvida em Portugal	Gabinete e trabalho de campo	Dados históricos de caudal (registados ou modelados); levantamentos de variáveis hidráulicas em secções transversais; funções de uso de habitat	Equipas multidisciplinares e alargadas de técnicos e peritos	A fiabilidade depende dos métodos incorporados na abordagem e da capacidade de reduzir fontes de subjetividade que possam existir na intervenção dos peritos. É necessário desenvolver manual de procedimentos, bem como validar a eficácia dos RCE propostos	Metodologia utilizada em alguns estudos em Portugal	12 a 24	€€€€ a €€€€€

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acreman, M.C. e M.J. Dunbar, (2004). Defining environmental river flow requirements - a review. *Hydrology and Earth System Science* **8**: 861-876.

Alcázar, J. (2007). *El método del caudal básico para la determinación de caudales de mantenimiento. Aplicación a la cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral.

Alcázar, J., Palau, A. e V.G. Cristina (2008). A neural net model for environmental flow estimation at the Ebro River Basin, Spain. *Journal of Hydrology* **349**: 44-55.

Alves, M.H. (1993). *Métodos de determinação do caudal ecológico*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.

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

Baya, K. (1978). *Instream Flow Methodologies for Regional and National Assessments*. Instream Flow Information Paper n.º 7. FWS/OBS.78/61. United States Fish and Wildlife Services. Washington DC.

Boavida, I., Dias, V., Ferreira, M.T. e J.M. Santos (2014). Univariate functions versus fuzzy logic: implications for fish habitat modelling. *Ecological Engineering* **71**: 533-538

Bovee, K. D. (1982). *A guide to stream habitat analysis using the Instream. Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information Paper 12. U.S. Fish and Wildlife Service

Bovee, K. D. (1986). *Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology*. Washington, DC: National Ecology Center, Division of Wildlife and Contaminant Research, Fish and Wildlife

CDFW (2013). *Standard Operating Procedure for the Wetted Perimeter Method in California*. California Department of Fish and Wildlife Instream Flow Program Standard Operating Procedure DFG-IFP-004.

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

Ferreira, D. A. (2004). *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.

Fraser, J.C. (1978). *Suggestions for developing flow recommendations for in-stream uses of New Zealand streams*. Water and Soil Miscellaneous Publication 6. Ministry of Works and Development, Wellington.

Gan, K. e T. McMahon (1990). Variability of results from the use of PHABSIM in estimating habitat area. *Regulated Rivers: Research & Management* **5**: 233-239.

Gippel, C.J. e M.J. Stewardson (1998). Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research and Management* **14**:53-67.

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

Godinho, F. N.; Costa, S. C.; Pinheiro, P. J.; Alvarez, T. e F. M. Reis (2014b). Metodologia integrada para determinação de regimes de caudais ecológicos em rios ibéricos. *Recursos Hídricos* **32**(2):19-27.

Gopal, B. (2013). *Environmental flows: An introduction for water resource managers*. National Institute of Ecology, New Delhi.

Gore, J.A., Nestler, J.M. e J. B. Layzer (1989). Instream flow predictions and management options for biota affected by peaking-power hydroelectric operations. *Regulated Rivers: Research & Management* **3**: 35-48.

Hatfield, T., Wright, N., Buchanan, S. e S. Faulkner (2013). *A Review of Environmental Flow Assessment Methods for Application to Northeastern British Columbia*. Consultant's report prepared for the Canadian Association of Petroleum Producers by Solander Ecological Research Ltd. and Ecofish Research Ltd.

Jorde, K. (1996). Ecological evaluation of instream flow regulations based on temporal and spatial variability of bottom shear stress and hydraulic habitat quality. In Leclerc, M., Capra, H., Valentin, S., Boudreault, A. e Y. Cote, (eds), *Ecohydraulics 2000*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics. INRS-Eau: Quebec, Canada; pp 63-174.

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

Leathe, S.A. e F.A. Nelson (1986). *A literature evaluation of Montana's wetted perimeter inflection point method for deriving instream flow recommendations*. Helena, MT, Department of Fish, Wildlife, and Parks, 70 p.

- Linnansaari, T., Monk, W.A., Baird, D.J. e R. A. Curry (2012). *Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally*. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/039.
- Mann, J.L. (2006). *Instream Flow Methodologies: An Evaluation of the Tennant Method for Higher Gradient Streams in the National Forest System Lands in the Western USA*. M.Sc. Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 143.
- Martins J.P. (2012). *Avaliação Ecohidrológica de Caudais Modificados e de Caudais Ecológicos em Troços de Rios Fortemente Modificados*. Dissertação de Mestrado em Gestão e Conservação de Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Mathews Jr, R.C. e Y. Bao, (1991). The Texas method of preliminary instream flow assessment. *Rivers* **2**: 295-310.
- Men, B.H., Liu, C.M. e C. K. Lin (2012). A new criterion for defining the breakpoint of the wetted perimeter-discharge curve and its application to estimating minimum instream flow requirements. *Science China -Technological Sciences* **55**: 2686-2693,
- Nelson, F.A. (1980). Evaluation of selected instream flow methods in Montana. *In Proceedings of the Annual Conference of the Western Association of Fish and Wildlife Agencies*. pp 412-432.
- Orth, D.J. e O.E. Maughan (1981). Evaluation of the "Montana method" for recommending instream flows in Oklahoma streams. *Proc. Okla. Acad. Sci.* **61**: 62-66.
- Palau, A. (1994). Los mal llamados caudales "ecológicos". Bases para una propuesta de cálculo. *Obra Pública* **28**: 84-95.
- Palau, A. e J. Alcázar (1996). The basic flow: an approach to calculate minimum environmental instream flows. In: *Ecohydraulics 2000, Proceedings 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*. Québec City pp 547-558...
- Parasiewicz P. (2001). MesoHABSIM: a concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries* **26**: 6-13.
- Parasiewicz P. (2007a). The MesoHABSIM model revisited. *River Research and Applications* **23**(8): 893-903.
- Parasiewicz P. (2007b). Using MesoHABSIM to develop reference habitat template and ecological management scenarios. *River Research and Applications* **23**(8): 924-932.
- Poff, L. R. Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. e J.C. Stromberg (1997). The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience* **47**: 769-784.

Portela, M.M. (2004). *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. (2005). Proposta de procedimento hidrológico-hidráulico para definir caudais ecológicos em cursos de água do Sul de Portugal Continental. *Recursos Hídricos*. **26**(1): 17-36.

Portela, M.M. (2006). *Definition of environmental flows in rivers of the south of Portugal*. 8º Congresso da Água - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Figueira da Foz, 14 pp.

Reed, S.E. e J.S. Mead (1990). Use of multiple methods for instream flow recommendations. A state agency approach. Pp.40-42. In M.B. Bain (ed.). *Ecology and assessment of warm water streams: workshop synopsis*. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report.

Reiser, D.W., Wesche, T.A., e C.Estes, (1989). Status of instream flow legislation and practise in North America. *Fisheries* **14**: 22-29.

Rivaes, R., Rodríguez-González, P.M., Albuquerque, A., Ferreira, M.T. e A. Pinheiro (2011). Uma nova ferramenta de restauro: aplicação de um modelo preditivo da evolução da vegetação ripícola em função das alterações hidrológicas. *Recursos Hídricos* **32**: 29-41

Rivaes, R., Boavida, I., Santos, J.M., Pinheiro, A.N. e M.T. Ferreira (2017). Importance of considering riparian vegetation requirements for the long-term efficiency of environmental flows in aquatic microhabitats. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **21**: 5763-5780.

Schneider, M., Noack, M., Gebler, T. e I. Kopecki (2010) *Handbook for the Habitat Simulation Model CASiMiR*. Module CASiMiR-Fish, Base Version.

Stalnaker C. B. e R. T. Milhous (1983). Responses to general questions compiled by the conventors of the Instream Flow Technology Section of the 1983 Hydropower Conference. Northwest Small Hydroelectric Association. November 29-December 1, 1983.

Tennant, D.L. (1975). *Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources*. U.S. Fish and Wildlife Service, Federal Building, Billings, MT.

Tennant, D.L. (1976a). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. In Orsborn, J.F. e C.H. Allman (eds), *Proceedings of the Symposium and Specialty Conference On Instream Flow Needs*. American Fisheries Society, Bethesda, pp 359-373,

Tennant, D.L. (1976b). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fisheries* **1**(4): 6-10.

Tessman, S.A. (1980). Environmental assessment, Technical Appendix E. *In Environmental use sector reconnaissance elements of the Western Dakotas region of South Dakota study*. Water Resources Research Institute, South Dakota State University, Brookings, South Dakota.

Weasche, T.A. e P.A. Rechar, (1980). *A Summary of Instream Flow Methods for Fisheries and Related Research Needs*. Eisenhower Consortium Bulletin n. 9. Eisenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research.