

MINISTÉRIO DO PLANEAMENTO
E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO



DIRECÇÃO GERAL DOS RECURSOS NATURAIS

**PROJECTO DE GESTÃO INTEGRADA
DOS RECURSOS HIDRICOS DO NORTE**

SEMINÁRIO SOBRE PLANEAMENTO
E GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOURO
(JUSANTE)

PORTO, 10 OUTUBRO DE 1990

Estudo realizado no âmbito do projecto Metodologias
para Desenvolvimento e Gestão dos Recursos Hídricos
em Portugal — Aplicação à Região do Norte

NATO PO-RIVERS
Science for Stability Programme

PGIRH/N - Projecto de Gestão Integrada dos Recursos
Hídricos do Norte

**SEMINÁRIO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO
INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO
RIO DOURO (JUSANTE)**

PROGRAMA

Dia 10 de Outubro (quarta-feira)

09.00 Inscrições e recepção de documentação

09.30 Sessão de abertura
Apresentação Geral (Prof. J. Poças Martins)

10.00 Sessão de Comunicações
Presidente: Prof. Abílio Cardoso

**"A importância do Vale do Douro na
Problemática Global da Oferta Turística
Portuguesa"**

João de Freitas, IPT/Norte

**"Evolução da Qualidade da Água no Rio
Douro"**

António Guedes Marques, DSRH Douro - DGRN

**"Aproveitamentos Hidroeléctricos da
Electricidade de Portugal na Área
Metropolitana do Porto"**

Álvaro Cunha, Baptista Gomes, EDP

**"As Albufeiras do Douro no Âmbito de um
Plano Regional de Ordenamento"**

Maria da Graça Fonseca, CCRN/DRARN

**"As Intervenções Humanas no Douro e o
Regime Hidrodinâmico no seu Estuário"**

Veloso Gomes, IHRH

11.00 Intervalo para café

**SEMINÁRIO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO INTEGRADA DOS
RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOURO
(JUSANTE)**

COMUNICAÇÃO Nº 5

TÍTULO: "As Intervenções Humanas no Douro e o Regime Hidrodinâmico no seu Estuário"

AUTOR: F. Veloso Gomes (1)

RESUMO

O estuário do Douro e a sua envolvente constituem um valioso e vulnerável património multifacetado. As suas características como via de navegação e a sua produtividade biológica atraíram populações ao longo dos séculos, as quais promoveram o desenvolvimento económico e social, moldaram a paisagem da faixa ribeirinha, conferindo-lhe a personalidade que lhe é reconhecida. As intervenções humanas realizadas no estuário tiveram uma dimensão bem delimitada.

Como resultado do problema da transposição da barra, do progressivo estrangulamento geográfico e urbanístico, da ocorrência de cheias e da implantação em Leixões de infraestruturas portuárias mais favoráveis, verificou-se a decadência da utilização do estuário como porto comercial.

Nas últimas décadas não se realizaram obras de vulto no sentido de reactivar essa utilização.

Mas a progressiva construção de aproveitamentos hidroeléctricos no Douro e a recente execução de um canal de navegação, objectivos de inegável interesse regional e nacional, estão a introduzir alterações no regime hidrodinâmico no

(1) Professor - Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

estuário que necessitam de ser avaliadas. A intensiva extracção de sedimentos, a alteração das profundidades, dos campos de velocidades e acelerações induzem:

- a redução do transporte sólido com implicações sob o ponto de vista de protecção costeira.
- alterações na propagação das marés (particularmente no período de estiagem), originando alterações da salinidade e de outras características físico-químicas da água.

Apresentam-se alguns resultados elucidativos do exposto.

Defende-se que uma maior fiabilidade na previsão de alterações no estuário induzidas por intervenções humanas de vulto ou por evoluções naturais (tendências globais, alterações de carácter sazonal, consequências de cheias e grandes tempestades) exige uma abordagem integrada dos problemas apoiada em adequados estudos e dados de campo. E a componente hidrodinâmica desses estudos é essencial para os problemas de qualidade da água, recursos biológicos, evolução dos fundos, previsão de riscos, concepção das intervenções, caracterização das acções, realização dos projectos de execução, programação e monitorização.

AS INTERVENÇÕES HUMANAS NO DOURO E O REGIME HIDRODINÂMICO NO SEU ESTUÁRIO

F. Veloso Gomes

OS PROBLEMAS NA TRANSPOSIÇÃO DA BARRA DO DOURO

Perdem-se na memória as referências a dificuldades na transposição da barra do Rio Douro. Segundo Adolpho Loureiro, já em 1450 o mau estado da barra era de tal modo uma preocupação que as Cortes Gerais reunidas tomaram "providências para bem da navegação".

No século XVIII e na segunda metade do século XIX, foram elaborados diversos "projectos", não concretizados à excepção de algumas intervenções que ainda hoje permanecem:

- de 1792 a 1805: construção da parte submersa do dique a jusante da Cantareira (incluindo a "Meia Laranja"), segundo projecto do Engenheiro Reynaldo Gudinout;
- de 1820 a 1825: execução de um dique com 600m de comprimento, actualmente designado por molhe Luiz Gomes de Carvalho (ou Pedras do Lima), separando a bacia de S. Paio do canal principal de navegação no estuário. O seu coroamento aflora aquando da não ocorrência de preia-mares. A extensão executada (posteriormente recarregada) constitui parte do projecto, o qual nunca foi cumprido na sua globalidade já que se desenvolvia desde a Afurada até aos afloramentos de Fogamanadas;
- até 1892: quebramento de rocha "em larga escala";
- até 1910: realização das restantes obras na embocadura com a configuração que actualmente evidenciam.

A necessidade da execução de obras de correcção na embocadura está patente nos desenhos de muitos dos projectos não executados, elaborados nessa época e incluídos no trabalho de Adolpho Loureiro.

As condições de transposição da barra não melhoraram significativamente com as obras parciais realizadas. Os sucessivos naufrágios, projectos, pareceres, discussões acalentadas e soluções mirabolantes (canal entre o Douro e a laguna de Aveiro em 1778 e 1835) contribuíram para a procura de novas soluções, impulsionando a criação e desenvolvimento do porto artificial de Leixões. Este, de um porto de abrigo temporário para os navios destinados ao Rio Douro (final do século XIX), tornou-se, na actualidade, no segundo maior porto comercial português.

O tráfego comercial no Douro atrofiou-se, particularmente a partir de 1936 , ano em que ainda movimentou 800 000 toneladas. Nos finais da década de setenta e na década de oitenta praticamente extinguiu-se, com o abandono da movimentação de contentores, da pesca de longo curso, dos gases liquefeitos, da carga geral e do tráfego costeiro de cimentos.

Mas não foi o problema da transposição da barra do Douro o único factor responsável pela decadência desse tráfego. Em Leixões, as condições de entrada e abrigo eram adequadas (foram progressivamente melhoradas), foi possível afectar razoáveis terraplenos e profundidades aos cais, as acessibilidades rodoviárias e ferroviárias foram objecto de grandes investimentos, os cais e terminais especializaram-se, existiam grandes áreas para grupagem de mercadorias na envolvente. No Douro, os cais tinham grandes limitações quanto a profundidades e áreas de terraplano, as áreas urbanas do Porto e Gaia impossibilitavam uma adequada expansão do porto.

CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS NO ESTUÁRIO DO DOURO

No estuário do Douro verificam-se interacções muito significativas entre os caudais fluviais, as marés e a agitação marítima.

Da variação da intensidade relativa entre estes agentes resultam interacções muito variáveis em termos de correntes, níveis de água, prismas de maré, propagação e deformação da agitação, transporte sólido, configuração da restinga (Cabedelo) e bancos submersos.

O clima de agitação ao largo é bastante severo.

Considerando as observações em Leixões, durante diversos meses dos anos de 1976, 1977, 1982, 1983, num total de 25 meses, verificaram-se valores máximos diários de alturas significativas Hs superiores a 4m com as seguintes percentagens de excedência:

Jan	Fev	Abr	Mai	Set	Out	Nov	Dez
13	4	7	3	4	9	5	26

e superiores a 6m com as seguintes percentagens de excedência:

Jan	Abr	Nov	Dez
2	3	3	4

As ondas de maior altura e período sofrem uma pré-rebentação no banco de areia imediatamente a jusante da embocadura, originando um forte emulsionamento de areia. Este banco está a enfraquecer progressivamente, o que tornará as margens fluviais mais expostas à agitação.

As rosas de agitação ao largo indicam que as direcções da agitação energeticamente predominantes se localizam no quadrante N-NW, o que, por si só, induziria um transporte

de deriva longitudinal de Norte para Sul face à obliquidade da agitação em relação à batimetria. Mas a deformação da agitação por refração e difracção, a rebentação e a propagação em pequenas profundidades (segundo trens de ondas solitárias), origina um transporte sólido quase perpendicular à costa.

Como se referiu, os fenómenos hidrodinâmicos que governam o movimento de sedimentos na embocadura do Rio Douro, e em particular no Cabedelo, são: as correntes associadas aos caudais fluviais; as correntes associadas às marés e a acção da agitação.

Os planos de refração e de rebentação indiciam uma corrente de recirculação, de Sul para Norte ao longo da restinga (formação arenosa). O sistema hidrodinâmico configura o Cabedelo de forma a procurar uma resposta de equilíbrio à acção simultânea das marés, agitação e correntes fluviais.

Todo um possível espectro de estados de agitação e caudais fluviais, excitado por uma maior ou menor persistência e intensidade de estados excepcionais, permite explicar qualitativamente a maioria das configurações do Cabedelo e da embocadura do Douro ao longo dos anos.

A morfologia da embocadura revelou-se no passado muito variável. É condicionada fundamentalmente pelo regime de caudais e pela acção da agitação (levantamentos topo-hidrográficos disponíveis desde 1861, sessenta e oito anteriores a 1900, na maioria à escala 1/2500).

Quando as correntes fluviais são muito intensas (cheias), a embocadura tende a alargar-se e grandes volumes de areia saem para o exterior, sendo transportados para Sul e/ou recirculados. Para caudais de cheia a extremidade do Cabedelo tende a projectar-se no sentido Oeste (jusante). Cessando o período de cheia essa proterberância tende a ser progressivamente erodida pela agitação.

Os sedimentos que possam ultrapassar, para Sul, as formações rochosas no enraizamento do Cabedelo (seca do bacalhau), não têm possibilidade de recirculação novamente para Norte.

O transporte de sedimentos ao longo do Cabedelo, no sentido S - N, tem potencialmente um valor que pode atingir 1,5 milhões de m³ anuais, o que tenderia a fechar a embocadura. Esta tendência é contrariada pelas correntes fluviais (quando significativas) e de maré (presentes em dois ciclos diários).

Para pequenos caudais fluviais, a extremidade do Cabedelo tende a projectar-se para Este (montante) por acção da agitação. Nesta situação, as correntes dominantes na embocadura são as correntes de maré.

ALTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS

A exploração gradual da cascata de aproveitamento hidroeléctricos existente na bacia hidrográfica internacional do Douro teve como consequência uma acção progressiva de

"filtro" e "alisamento" das distribuições dos caudais líquidos e caudais sólidos no estuário.

Mesmo na hipótese de que o volume total da água anual lançada no Atlântico não tenha sido alterado significativamente pela construção das barragens (muitos são aproveitamentos a fio de água), a distribuição de caudais passou a ser mais uniforme e as "pontas de cheia" são mais atenuadas.

Os níveis de água associados às albufeiras, o controlo de caudais por requisitos de exploração do potencial energético e o aumento dos caudais captados (ou desviados) induziram alterações significativas nos campos de velocidades (transversais e longitudinais) e na capacidade de transporte de sedimentos.

Sendo o transporte de sedimentos função não linear do campo de correntes, anulando-se esse transporte para velocidades (ou forças tractivas) inferiores a certos valores mínimos, pode-se verificar que o transporte de sedimentos num rio dotado de aproveitamentos hidroeléctricos é muito menor que numa situação de ausência de aproveitamentos.

De uma situação no passado, com um transporte anual de sedimentos para o estuário estimado em montantes que atingiriam níveis entre 1 e 2 milhões de metros cúbicos /ano, atingiu-se presentemente uma situação de transporte anual de apenas algumas centenas de milhares de metros cúbicos / ano. Por muito imprecisos, incompletos ou difíceis de calibrar que sejam os métodos de quantificar esses valores, sob o ponto de vista qualitativo as conclusões convergem para uma drástica redução.

O "Engenheiro da Régua" não tem actuado com a intensidade e frequência do passado, quando, através de elevados caudais e correntes de cheia, possibilitava que os sedimentos fossem carreados para o exterior da barra vencendo a acção do mar (particularmente nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, meses onde se registaram 75% das grandes cheias desde 1727).

As relações dinâmicas que resultam do trinómio agitação, marés e correntes fluviais estão alteradas comparativamente ao passado. Não havendo evidência de alterações no clima de agitação, marés e ventos (em termos médios anuais), nem de alterações das condições climáticas médias na bacia hidrográfica, nem acentuadas alterações no tipo de ocupação das margens, a evolução tem a ver com a modificação do regime de caudais fluviais (líquidos e sólidos), como consequência da construção dos aproveitamentos hidroeléctricos e outras utilizações da água.

As configurações com protuberância na extremidade da restinga muito projectada para Oeste, frequentes no passado, estão a ocorrer com menor frequência devido às já referidas alterações no regime fluvial verificadas recentemente.

Na bacia de S. Paio ocorre uma lenta acreação geral, comprovada pela comparação entre cartas náuticas de 1872 e 1972. Este fenómeno, resultante da existência de um campo de velocidades pouco intenso, é atribuído à configuração da bacia e à execução do dique conhecido por Pedras do Lima ou molhe Luiz de Carvalho.

O FUTURO DA NAVEGABILIDADE DO DOURO E A BARRA

Já foi referido que o problema da transposição da barra não é novo. No entanto, as condições de navegabilidade na embocadura têm-se agravado nas últimas décadas.

Num esforço infrutífero de melhorar essas condições, têm decorrido, desde 1989, operações de dragagem no estuário e barra do Douro para abertura e manutenção de um canal navegável, com utilização das areias para a construção civil (com uma concessão até 1991). Até à data foram extraídos cerca de um milhão de m³ de areia.

Entre 1982 e 1986 foram extraídos cerca de três milhões de m³ de areia para estabelecimentos do canal de navegação no estuário do Douro, a jusante de Crestuma.

A intensidade destas operações não é comparável às dragagens de manutenção que no passado existiram.

As operações de dragagem, por si só, dificilmente garantirão condições de acesso e segurança na barra mesmo com uma intensa e contínua actuação.

Esta constatação já remonta aos séculos XVIII e XIX, podendo verificar-se que foram previstas obras fixas de correcção da embocadura nos projectos de José Monteiro Salazar (1779), Luiz Gomes de Carvalho (1820), Andrea Sheerboon (1838), Engenheiro Bigot (1843), Manuel Afonso de Espregueira (1866), Joaquim Nogueira Soares (1881), Russel Aitkens (1880), Carlos Marnay (1879) e Arthur Guimarães (1903).

Para além disso, este esforço de dragagem permanente previsivelmente será bastante gravoso sob o ponto de vista de impacte ambiental, numa dupla perspectiva:

- protecção de recursos vivos;
- protecção de praias e dunas.

Em relação a esta componente, a continuada extracção de areias, por dragagem, no estuário do Douro contribuirá para um agravamento da situação, já precária, de instabilidade litoral a Sul da embocadura, instabilidade induzida pela redução do transporte aluvionar proveniente do Douro (fonte aluvionar de alimentação de praias cuja acção faz-se sentir até à Nazaré).

Do ponto de vista de protecção de recursos vivos, a existência de operações quase contínuas e intensas de dragagem na estreita embocadura de um estuário afectará as espécies piscícolas migratórias, actualmente em acentuada regressão pela pressão de outros factores como a poluição, o excesso de capturas (na própria embocadura e na fase que antecede as desovas) e a dificuldade das espécies em transpor a barragem de Crestuma.

O referidos impactes poderão ser minimizados com a execução de obras exteriores devidamente estudadas após a discussão de diversos cenários e passando por aturados estudos de simulação. Existe uma proposta nesse sentido, a aprofundar, apresentada pela Hidrotécnica Portuguesa.

Parte ou a totalidade das areias extraídas nas dragagens de manutenção deverão ser utilizadas na alimentação do litoral a Sul da restinga, podendo ser efectuada por repulsão ou por deposição com barcaças, em locais a monitorizar. A alimentação terá de ser acompanhada de um controlo com vista a detectar eventuais níveis de poluição nos sedimentos dragados.

Mas a implantação de obras exteriores (molhes), favoráveis ao estabelecimento de uma "corrente de varrer" de maré que minimize as operações de dragagem de manutenção, só se justificará se o movimento fluvio-marítimo o suscitar em termos económicos.

Terão de ser efectuados estudos de viabilidade técnico-económica sobre a navegabilidade do Douro que incluam projecções macroeconómicas e de desenvolvimento regional de forma a fundamentar, de uma forma inequívoca, o estabelecimento de condições para a navegação fluvial ou fluvio-marítima.

NECESSIDADE DE UM PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO E DE ESTUDOS DE SIMULAÇÃO

É patente a necessidade de implementar programas de monitorização do estuário do Douro, incluindo:

- a instalação de um novo marégrafo permanente entre a Cantareira e a Ponte da Arrábida que não seja significativamente afectado pelo regolfo e pela morfologia da embocadura;

- a realização de levantamentos topo-hidrográficos periódicos abrangendo o baixo estuário, a embocadura, a restinga, o leito adjacente à restinga;

- o levantamento completo das cotas do interface rochoso dos fundos estuarinos;

- a realização de campanhas de medição de correntes e de "medição" de transporte sólido;

A utilização de modelos hidrodinâmicos e morfológicos mais recentes e sofisticados dos que já foram utilizados pela Hydronamic não trará significativos progressos em relação a estudos inseridos nos problemas do estuário do Douro se, entretanto, as bases de dados de campo não forem significativamente enriquecidas. Por exemplo, a base de dados disponível para a selecção de fórmulas de transporte sólido e calibração dos respectivos coeficientes é insuficiente. Não existe mesmo um levantamento topo-hidrográfico actualizado de todo o estuário.

Com efeito, as limitações das indispensáveis simulações são de duas naturezas:

- endógenas, pela imprecisão quanto ao conhecimento da complexa realidade física e pelas simplificações que os modelos assumem (por exemplo, não consideração de interacções não lineares entre correntes / agitação / caudais fluviais, consideração de um número reduzido de cenários "representativos", simplificação da geometria do sistema,

instabilidades numéricas, etc.);

- exógenas, pela insuficiência, em qualidade e sobretudo em extensão, dos dados de base disponíveis (por exemplo em relação às isóbatas da rocha, morfologia actual, dados de agitação, caudais de exploração, quantificações do caudal sólido no protótipo).

Na "NATO Advanced Study Institute of Recent Advances in Hydraulic Physical Modelling" (Lisboa, LNEC, 4 a 15 de Julho de 1988), considerou-se que a temática dos estuários e das embocaduras constituía um dos domínios em que será necessário continuar a recorrer, em paralelo, aos modelos físicos (laboratoriais) e aos modelos numéricos. Esta utilização é, no entanto, perspectivada de uma forma diferente do que ocorria nas décadas precedentes.

Tendo consciência dos elevados custos, morosidade e limitações dos modelos físicos, estes passam:

- a ser eventualmente executados e explorados após as fases iniciais de simulação, fases em que apenas se recorre a modelos numéricos;

- a representar zonas singulares (por exemplo a embocadura com a intervenção proposta e uma limitada zona envolvente), em lugar de abarcar toda a área em estudo (todo o estuário, por exemplo);

- a ser aferidos em paralelo como modelo numérico, recebendo inputs desse modelo (e do protótipo) e fornecendo resultados, num processo híbrido.

Os estudos de campo e as simulações hidromorfológicas são actividades morosas, pelo que a sua programação deverá ser antecipada de forma a obter dados representativos e que possam efectivamente constituir uma componente importante dos estudos integrados, apoiar o processo decisório e os projectos de engenharia.