

Recursos Hídricos

Volume 39, N.º 1 | Março 2018



**ASSOCIAÇÃO
PORTUGUESA DOS
RECURSOS HÍDRICOS**

Proprietário

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

Diretor

António Gonçalves Henriques

Diretores Associados

Ana Katila Ribeiro

Fernanda Santiago

Maria Manuela Portela

Conselho Editorial

António Betâmio de Almeida

António Guerreiro de Brito

António Pinheiro

António Trigo Teixeira

Catarina Roseta Palma

Fernando Veloso Gomes

Francisco Ferreira

Francisco Nunes Correia

Jaime Melo Baptista

João Pedroso de Lima

Jorge Matos

José Matos

Luís Ribeiro

Manuel Rijo

Maria da Conceição Cunha

Paulo Canelas de Castro

Rafaela Matos

Rodrigo Maia

Rodrigo Oliveira

Rui Santos

Teresa Ferreira

Secretariado

Ana Estêvão

André Cardoso

Conceição Martins

Redação e Administração

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

a/c LNEC

Av. do Brasil, 101

1700-066 Lisboa

PORTUGAL

Telefone 21 844 34 28 Fax 21 844 30 17

NIF nº 501063706

Design

Ana Rosária Gonçalves

Periodicidade

Quadrimestral

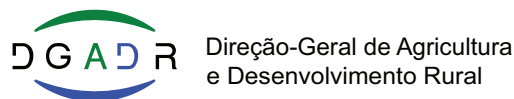
Os artigos publicados na Recursos Hídricos são identificados com DOI (Digital Object Identifier).

Registo na ERC nº 125584

Depósito legal nº 5838/84

ISSN 0870-1741

Apoiantes



INDÍCE

EDITORIAL	5
EM DESTAQUE	7
<i>Reflexões sobre a monitorização dos recursos hídricos, a Convenção de Albufeira e o licenciamento de descargas nas massas de água, a propósito do incidente de poluição do rio Tejo de janeiro de 2018</i>	
António Gonçalves Henriques	9
CT&I (CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO)	19
<i>Simulação de níveis de cheia no estuário do rio Douro, antes e após a construção dos molhes</i>	
Isabel Iglesias, José Luís Pinho, Stênio Venâncio, Paulo Avilez-Valente, Raquel Peixoto, José Manuel Vieira	21
<i>Plataforma interativa e integradora para gestão do risco de inundação costeira</i>	
Anabela Oliveira, André B. Fortunato, Paula Freire, João Rogeiro, Alberto Azevedo, Marta Rodrigues, Luís M. David, Elsa Alves, Ana Mendes, Joana Teixeira	31
DIVULGAÇÃO	43
<i>Alberto Abecasis Manzanares 1915 - 2004</i>	
Maria Manuela Portela	45
<i>Água: a importância de um líquido improvável</i>	
Carlos C. Romão	67
DENTRO DA APRH	77
NOTÍCIAS	81

Caros Associados da APRH, Caros Amigos

Estando a terminar o meu mandato como Presidente da Comissão Diretiva da APRH durante o biénio 2016-2017 vou aproveitar este editorial da Recursos Hídricos para agradecer a todos os que de uma forma direta ou indireta contribuíram para estes dois anos de muito trabalho e dedicação à APRH e aos Recursos Hídricos.

Uma palavra especial de agradecimento a toda a equipa da Revista “Recursos Hídricos” por ter mantido vivo este importante meio de divulgação da APRH.

Quero também salientar mais uma organização do Congresso da Água (o 14º), agradecendo o enorme empenho do Núcleo Regional do Sul, uma prova da vitalidade e vontade de bem fazer. Sem o vosso empenho e ajuda desde o início até ao fim, este 14º Congresso da Água não seria o mesmo.

Este 14º Congresso da Água, dedicado à Gestão dos RH – Novos Desafios, contou com a presença de cerca de 300 participantes e mais de 30 sessões paralelas, de posters e mesas redondas. Incluiu um vasto conjunto de apresentações, abrangendo vários temas gerais muitos focados no interesse atual e na atividade temática das nossas Comissões Especializadas.

Os temas propostos para as mesas redondas também não poderiam ter sido mais atuais e nem sempre consensuais:

- Cooperação Transfronteiriça para a Água;
- Escassez, Seca, Usos Múltiplos e Infraestruturas Hidráulicas;
- Serviços dos Ecossistemas em Bacias Hidrográficas;
- Monitorização e Licenciamento de Recursos Hídricos;
- Revisão da DQA e Novos Modelos de Gestão dos Recursos Hídricos.

Posso dizer agora que este 14º Congresso da Água cumpriu o seu papel e contribuiu uma vez mais para a discussão dos problemas relativos aos recursos hídricos nos seus vários domínios, o que é e continuará a ser a nossa missão enquanto APRH.

Os recentes problemas relativos à seca, à poluição de cursos de água, aos serviços dos ecossistemas, às inundações costeiras, às cheias, às alterações climáticas, à energia, ao regadio, à eficiência hídrica, entre tantos outros problemas, vieram demonstrar e realçar o quanto continua a ser importante este papel da APRH.

O meu mandato enquanto Presidente da Comissão Diretiva da APRH deste biénio 2016-2017 termina agora. Estes dois anos foram intensos, rápidos e desafiantes para poder exercer esta “mui nobre” função de muita responsabilidade.

Ao longo deste mandato tentámos cumprir o mais possível o nosso Plano de Atividades, tendo a noção de que nos esforçámos ao máximo e demos o nosso melhor para o conseguir, mas também com a noção de que nem sempre tudo corre como desejamos por variadíssimas razões. Era um plano ambicioso, mas é da ambição que nascem coisas novas.

Apesar de tudo, o balanço é muito positivo e temos a noção de que conseguimos manter a atividade e visibilidade da APRH enquanto Associação de referência no sector da Água. Ao longo destes 2 anos realizámos (CD, NR, CE) mais de 25 eventos, ou seja, em média mais de um por mês.

Quero também desejar muita boa sorte à nova CD e um especial agradecimento à Prof. Susana Neto por ter aceite este desafio.

A ação da APRH deve continuar o esforço de promover os Recursos Hídricos, pois como é patente, infelizmente, muitos dos Novos Desafios são Velhos Desafios. A APRH deve adaptar-se aos novos tempos (isso é incontornável), deve procurar inovar e aproveitar o enorme recurso Associativo de que dispomos, através das CE e dos NR.

Terminados estes 2 anos fiquei com a ideia clara de que os Associados querem ser mais ativos e querem ajudar, mas mais variadas atividades da APRH. As várias opiniões ilustram que os Associados pretendem mais de nós e tenho a certeza que esse aspeto será tido em conta num futuro próximo.

Enquanto Presidente da CD da APRH neste biénio 2016-2017 foi um privilégio contribuir para mais uma fase da história da APRH e de ter dirigido uma vasta equipa. Esta experiência ficará sempre como uma agradável memória.

Obrigado por tudo. Até breve.
Somos APRH. Viva a APRH.

Francisco Taveira Pinto
Presidente da Comissão Diretiva da APRH



em destaque

Reflexões sobre a monitorização dos recursos hídricos, a Convenção de Albufeira e o licenciamento de descargas nas massas de água, a propósito do incidente de poluição do rio Tejo de janeiro de 2018

António Gonçalves Henriques

Professor Convidado do Instituto Superior Técnico. Investigador Coordenador aposentado do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Director da Revista Recursos Hídricos

1. O INCIDENTE DE POLUIÇÃO DO RIO TEJO DE JANEIRO DE 2018

Vivemos durante o passado mês de janeiro um dos mais espetaculares e inconcebíveis incidentes de poluição que julgaríamos impossível no século XXI, no rio Tejo, o principal rio de Portugal, num país dotado de técnicos experientes com elevada competência em matéria de recursos hídricos, e dos melhores e mais avançados instrumentos legislativos e administrativos nesta matéria.

Porque o incidente de poluição que ocorreu é, a todos os títulos, inadmissível, procuramos identificar as causas, de forma factual, sem que nos mova qualquer preocupação de assinalar situações ilícitas e, muito menos, de apontar eventuais culpados. Pretendemos tão só, com base na informação disponível, apresentar algumas reflexões e recomendações que visam melhorar a forma como os nossos recursos hídricos são geridos e evitar a ocorrência de situações análogas.

Os elementos conhecidos apontam como principal causa do incidente de poluição as descargas da Celtejo, uma fábrica de pasta de papel localizada em Vila Velha de Ródão. A Celtejo é uma empresa com cerca de 50 anos, pertencente desde 2006 ao Grupo ALTRI, que produz pasta de eucalipto branqueado do tipo BEKP.

2. A LICENÇA AMBIENTAL DA CELTEJO

Em dezembro de 2016 foi notícia o investimento de 85,3 milhões de euros na fábrica, projeto co-

financiado por fundos europeus no montante de 21,37 milhões de euros. Este projeto visa aumentar a capacidade de produção da Celtejo de 218 mil toneladas/ano de pasta de papel em 2014 para 267 mil toneladas/ano em 2020, com a introdução de inovações no processo produtivo para aumentar a eficiência e melhorar o desempenho e a monitorização industrial¹.

A operação da Celtejo é regulada pela licença ambiental nº 540/1.0/2015, de acordo com o decreto-lei nº 127/2013, de 30 de agosto, emitida em janeiro de 2015, válida até janeiro de 2020, que estabelece a capacidade de produção instalada de 262 800 tSA/ano². Integra a licença ambiental a licença de utilização de recursos hídricos para descarga de águas residuais nº L003644.2016. RH5, emitida em maio de 2016, com validade até dezembro de 2018. Esta licença fixa o caudal máximo de descarga no rio Tejo, na albufeira de Fratel, em 15 000 m³/dia, equivalente a 173,6 L/s, e as seguintes condições de descarga, entre outras:

Sólidos suspensos totais (kg/tSA)	1,05
Azoto total (kg/tSA)	0,175
Fósforo total (kg/tSA)	0,02
Carência bioquímica de oxigénio, CBO ₅ (kg/tSA)	2,5
Carência química de oxigénio, CQO (kg/tSA)	14,5

1 - <https://eco.pt/2016/12/22/celtejo-investe-853-milhoes-na-fabrica-de-vila-velha-de-rodao/>

2 - tSA – tonelada de celulose seca ao ar.

Estas condições de descarga deveriam ter em conta a “abordagem combinada”, isto é, as melhores técnicas disponíveis para a indústria da pasta de papel e a capacidade da massa de água para receber as cargas poluentes sem degradação do respetivo estado de qualidade e os usos existentes, de acordo com o artigo 53º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, com a redação atual, relativo ao regime da utilização dos recursos hídricos.

Considerando a produção diária de cerca de 1000 tSA (correspondente a 260 dias por ano de produção da capacidade máxima), obtêm-se os seguintes valores de descarga diária:

Sólidos suspensos totais (kg)	1050
Azoto total (kg)	175
Fósforo total (kg)	20
Carência bioquímica de oxigénio, CBO ₅ (kg)	2500
Carência química de oxigénio, CQO (kg)	14 500

3. O REGIME HIDROLÓGICO DO TROÇO DO RIO TEJO ENTRE AS BARRAGENS DE CEDILLO E DE FRATEL

Na Figura 1 apresenta-se o troço do rio Tejo entre as barragens de Cedillo e de Fratel, diretamente afetado pelas descargas da Celtejo. Este troço corresponde à albufeira da barragem de Fratel,

cujo regolfo se estende até ao pé da barragem de Cedillo.

Na secção de montante do troço em apreço, a barragem de Cedillo, que se apresenta a Figura 2, é uma barragem espanhola construída na confluência do rio Sever com o rio Tejo, na secção de jusante do troço deste rio que estabelece a fronteira entre Portugal e Espanha³. A área da bacia hidrográfica drenada pela barragem de Cedillo é de cerca de 58 000 km², e a afluência anual média é de 7277 hm³, a que corresponde o caudal médio de 230 m³/s⁴. A barragem, concluída em 1978, está integrada na cascata constituída pelas barragens de Azután, Valdecañas, Torrejon, Alcántara (Gabriel y Galan) e Cedillo que tem por finalidade a produção de eletricidade, e é explorada atualmente

3 - A barragem de Cedillo construída imediatamente a jusante da confluência do rio Sever com o rio Tejo tem ambos os encontros em território de Portugal, embora seja uma barragem espanhola. O aproveitamento do troço do rio Tejo entre as confluências dos rios Erges e Sever, que estabelece a fronteira, foi atribuído a Espanha pelo Convénio entre Portugal e Espanha para Regular o Uso e o Aproveitamento Hidráulico dos Troços Internacionais dos Rios Minho, Lima, Tejo, Guadiana, Chança e Seus Afluentes de 1968.

4 - Inventario de Presas y Embalses, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de Espanha, <http://sig.mapama.es/93/CienteWS/snczi/default.aspx?nombre=PRESA&claves=CODPRESA&valor es=3100117>, consultado em 2018-03-23.



Figura 1 – Troço do rio Tejo entre as barragens de Cedillo e Fratel, diretamente afetado pela descarga da Celtejo.

pela Iberdrola. O conjunto dos aproveitamentos hidroelétricos tem capacidade para armazenar 5118 hm³, o que permite alterar o regime de caudais do rio Tejo de forma a concentrar a produção de eletricidade nos períodos de maior consumo, em que o valor é maior.

O regime de caudais na secção de Cedillo que tem de ser garantido por Espanha é estabelecido pela Convenção de Albufeira de 1998, a Convenção sobre a Cooperação para a Proteção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas. A Convenção estabelece, no artigo 16º, alterado pelo Protocolo de Revisão da Convenção de 2008, que as partes, no seio da Comissão para a Aplicação e o Desenvolvimento da Convenção (CADC), *definirão para cada bacia hidrográfica, de acordo com métodos adequados à especificidade de cada bacia, o regime de caudais necessários para garantir o bom estado das águas e os usos atuais e futuros*. O mesmo artigo estabelece que enquanto o referido regime de caudais não for definido é aplicado o Protocolo Adicional à Convenção.

De facto, não foi ainda definido o regime de caudais estabelecido no artigo 16º. No caso do rio Tejo na secção de Cedillo, o referido Protocolo Adicional estabelece que o regime de caudais deve satisfazer, no mínimo, o valor do caudal integral anual de 2700 hm³, exceto nos períodos de escassez de precipitação definidos

no mesmo Protocolo Adicional. O Segundo Anexo ao Protocolo Adicional, anexo ao Protocolo de Revisão da Convenção de 2008 referido, estabelece, adicionalmente, os valores mínimos dos caudais integrais trimestrais e do caudal integral semanal que têm de ser garantidos em Cedillo, nomeadamente, 295 hm³ para o trimestre de 1 de outubro a 31 de dezembro, 350 hm³ para o trimestre de 1 de janeiro a 31 de março, 220 hm³ para o trimestre de 1 de abril a 30 de junho, 130 hm³ para o trimestre de 1 de julho a 30 de setembro e 7 hm³ para o caudal integral semanal. Estes valores mínimos não se aplicam nos períodos de escassez de precipitação definidos no referido Protocolo de Revisão da Convenção.

Verifica-se que os limites mínimos definidos provisoriamente são muito insuficientes *para garantir o bom estado das águas e os usos atuais e futuros*. Embora não sejam publicados dados de monitorização dos caudais horários ou diários efluentes da barragem de Cedillo, afluentes a Portugal, é possível constatar que, embora cumprindo, em regra, os valores mínimos estabelecidos, os caudais afluentes a Portugal são nulos durante grande parte do tempo, e são concentrados em curtos períodos de tempo, de apenas algumas horas por semana, devido ao regime de funcionamento da central hidroelétrica de Cedillo para colocar a eletricidade produzida nos períodos de maior consumo, como foi referido. Esta situação, ilustrada na Figura 3.



Figura 2 - Barragem de Cedillo, na confluência do Rio Sever com o Rio Tejo. Fotografia gentilmente cedida por Duarte Fernandes Pinto, autor do blog "A Terceira Dimensão - Fotografia Aérea", <http://portugalfotografiaaerea.blogspot.com>.



Figura 3 – Pormenor da barragem de Cedillo. O caudal efluente da barragem é nulo, como ilustrado na fotografia. Esta situação ocorre durante a maior parte do tempo, exceto nos períodos em que os caudais afluentes à albufeira, gerados na parte da bacia hidrográfica do Tejo em território de Espanha são elevados. Fotografia gentilmente cedida por Maria Manuela Portela.

De facto, na barragem de Cedillo os caudais afluentes, com regime fortemente modificado pela exploração das centrais hidroelétricas das barragens que se encontram a montante, são armazenados na albufeira para serem turbinados nos períodos de maior consumo de eletricidade, como foi referido. A albufeira tem 260 hm³ de capacidade, equivalente a 313 horas ou 13 dias do caudal médio. A central hidroelétrica está equipada com quatro grupos com turbinas Kaplan com potência de 110 MW cada, ligadas a dois circuitos hidráulicos de restituição com caudais de turbinagem de 252 m³/s cada. O caudal integral semanal de 7 hm³ estabelecido no Protocolo Adicional referido é, assim, satisfeito em menos de quatro horas de funcionamento da central hidroelétrica em plena potência ou menos de oito horas de funcionamento com metade da potência.

Com base no Relatório Hidrometeorológico do Regime de Caudais do Ano Hidrológico de 2016-2017 publicado pela CADC, pode simular-se o

regime de caudais afluentes a Portugal. Admitindo que a central hidroelétrica turbinou sempre o caudal máximo quando funcionou⁵, verifica-se que a percentagem do tempo de funcionamento foi apenas de 27,2%, com a distribuição que se representa na Figura 4. Em consequência, o caudal do rio Tejo afluente a Portugal foi nulo durante 72,8% do tempo no ano hidrológico de 2016/17, e durante mais de 95% do tempo em 9 das 52 semanas. Em todas as semanas do ano verificaram-se períodos em que o caudal foi nulo durante, pelo menos, 20 horas (períodos contínuos ou intermitentes). Esta situação é semelhante nos outros anos hidrológicos (admitindo a mesma hipótese sobre o regime de turbinamento, o caudal do rio Tejo afluente a Portugal teria sido nulo durante 65% do tempo em 2015/16 e durante 77% do tempo em 2014/15).

⁵ - Esta hipótese é, naturalmente, questionável, mas é possível e corresponde à situação mais desfavorável para Portugal.

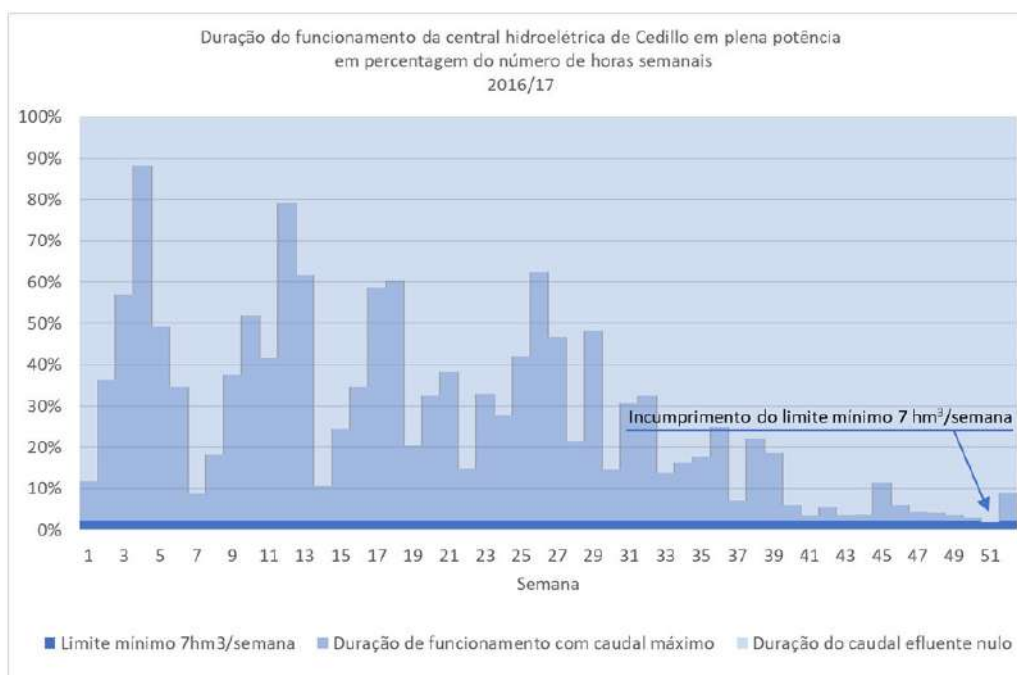


Figura 4 – Resultados da simulação do regime de caudais afluentes a Portugal resultantes da exploração da central hidroelétrica de Cedillo com o caudal máximo de turbinagem.

Verifica-se, assim, que as condições estabelecidas no Protocolo Adicional à Convenção de Albufeira são muito insuficientes para satisfazer o bom estado das águas.

Na secção de jusante do troço em apreço, a barragem de Fratel, representada na Figura 5, é também um aproveitamento hidroelétrico, equipado com três grupos com turbinas Kaplan, com potência nominal de 45,6 MW cada, que entrou em funcionamento em 1974 e é atualmente explorado pela EDP. A barragem cria uma albufeira relativamente pequena, com 92,5 hm³ de capacidade total e 21 hm³ de capacidade útil⁶. A área do segmento de bacia hidrográfica do rio Tejo intermédio entre as barragens de Cedillo e de Fratel é de cerca de 1600 km².

Existem registos contínuos de caudais médios diários afluentes à albufeira desde 1 de janeiro de 1984, com um reduzido número de falhas, publicados no SNIRH⁷. Na Figura 6 representa-se a série de caudais médios diários a partir de 1/10/2010, e na Figura 7

a curva de duração dos caudais médios diários⁸ no período correspondente aos anos hidrológicos de 2010/11 a 2016/17. Verifica-se que os caudais afluentes à barragem de Fratel são relativamente reduzidos, inferiores a 10 m³/s, num número relativamente elevado de dias, em média 14 dias por ano, com maior frequência nos dias do fim de semana em que os consumos de eletricidade são menores⁹. No entanto, o valor médio dos caudais médios diários é relativamente elevado, 184 m³/s, valor que é excedido, em média, 127 dias por ano.

8 - Na curva de duração dos caudais médios diários representa-se em ordenadas o número médio de dias do ano hidrológico em que um determinado caudal é excedido.

9 - Regista-se que os valores apresentados nos Relatórios Hidrometeorológicos do Regime de Caudais para a secção de Cedillo publicados pela CADC são inconsistentes com os valores dos caudais afluentes à albufeira de Fratel publicados no SNIRH. De facto, os valores dos caudais médios diários em Cedillo publicados nos relatórios da CADC são sistematicamente superiores aos valores dos caudais correspondentes registados em Fratel, que se encontra a jusante, e não existem consumos significativos no troço intermédio entre as barragens que justifiquem aquelas diferenças. Em 2014/15, 2015/16 e 2016/17 os caudais integrais anuais publicados pela CADC são superiores aos valores correspondentes em Fratel em 153 hm³, 136 hm³ e 93 hm³, respetivamente.

6 - Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, http://cnpngb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/FICHAS/Fratelficha.htm, consultado em 2018-03-23, e EDP, Centrais Hidroelétricas, Fratel, Informação Técnica, http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/info_tecnica.php?item_id=28&cp_type=he§ion_type=info_tecnica, consultado em 2018-03-23.

7 - (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>)



Figura 5 – Barragem de Fratel (Fonte: http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Fratel.htm).

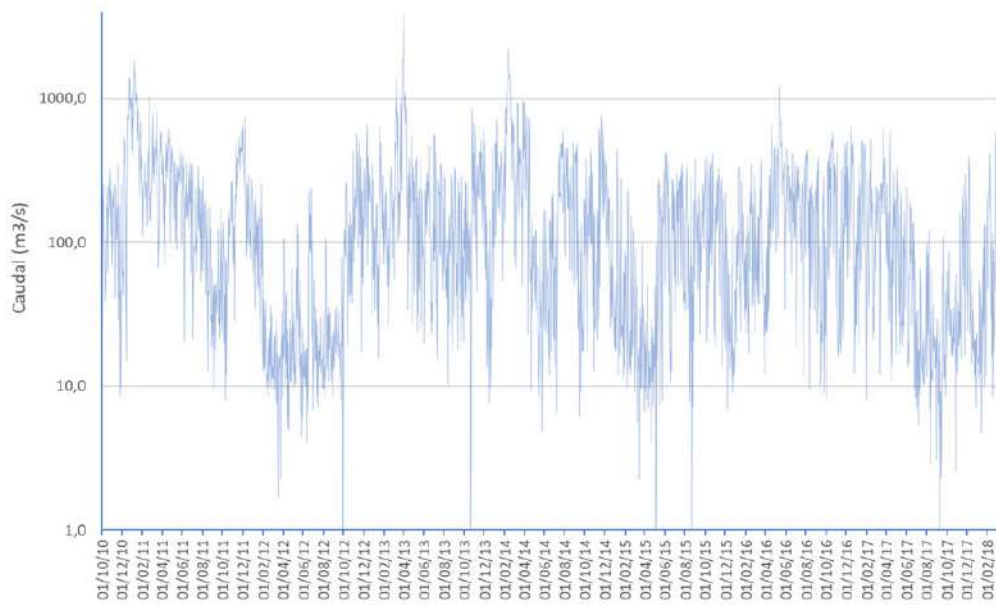


Figura 6 – Série de caudais diários afluentes à albufeira de Fratel.

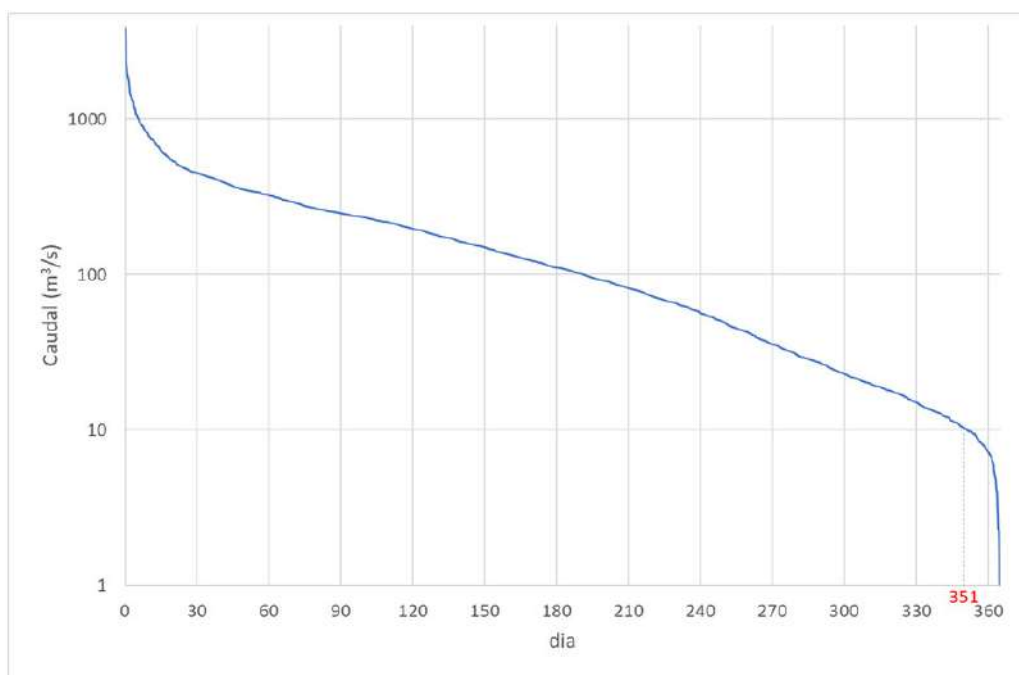


Figura 7 – Curva de duração média dos caudais diários afluentes à albufeira de Fratel (período de 2010/11 a 2016/17).

4. A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO TROÇO DO RIO TEJO ENTRE CEDILLO E FRATEL

Mesmo admitindo que o estado de qualidade da água do rio Tejo à entrada em Portugal é bom, em consequência do regime hidrológico do rio no troço em apreço, nomeadamente a frequência relativamente elevada de períodos com caudais nulos ou muito reduzidos, as descargas da Celtejo, mesmo cumprindo os valores estipulados na licença de utilização dos recursos hídricos, vão determinar necessariamente, em particular nesses períodos, a degradação significativa do estado das águas do rio a jusante da descarga, nomeadamente na albufeira de Fratel, mas também a jusante das barragens de Fratel e de Belver, como ficou patente em janeiro passado.

Não existem séries contínuas suficientemente longas de dados de qualidade da água disponíveis no troço do rio Tejo afetado diretamente pelas descargas da Celtejo que permitam analisar com maior rigor o impacte dessas descargas. No entanto, a análise dos dados do oxigénio dissolvido disponíveis nas estações da albufeira de Fratel, referidos como EH Fratel 1 e EH Fratel 2 na Figura 1, permitem evidenciar a degradação da qualidade da água. Para ambas as estações estão publicados no SNIRH os valores do oxigénio dissolvido a diferentes profundidades, registados entre 2011/02/28 e 2017/11/14, em intervalos de tempo que variam

entre 28 dias e 113 dias¹⁰. Na Figura 8 representam-se os valores registados à superfície e junto ao fundo.

Verifica-se que o teor de oxigénio dissolvido junto ao fundo é frequentemente muito reduzido, inferior a 5 mg/L, que corresponde, *grosso modo*, ao limiar de sobrevivência das espécies piscícolas do troço do rio Tejo em apreço. Ocorrem algumas situações extremas de anoxia normalmente associadas a períodos de caudais baixos, em que a degradação da matéria orgânica dá origem à formação de metano. Destaca-se o período iniciado em julho de 2017 que antecedeu e se prolongou até ao incidente de poluição a que assistimos em janeiro de 2018. Sendo a albufeira relativamente pequena e pouco profunda, nos períodos com caudais mais elevados observa-se a mistura das águas e a oxigenação junto ao fundo. Esta situação é patente em março e abril de 2013, março de 2014, fevereiro a junho de 2016, e março a maio de 2017.

O teor de oxigénio dissolvido à superfície é em regra superior ao limiar de 5 mg/L. Registam-se, no entanto, algumas situações em que o teor de oxigénio dissolvido à superfície é inferior àquele limiar, normalmente na sequência de períodos de caudais reduzidos. Estas situações correspondem

¹⁰ - Consulta ao SNIRH em 2018/03/23. A outras estações de qualidade da água entre Vila Velha de Ródão e a barragem de Fratel têm muito poucos registos.

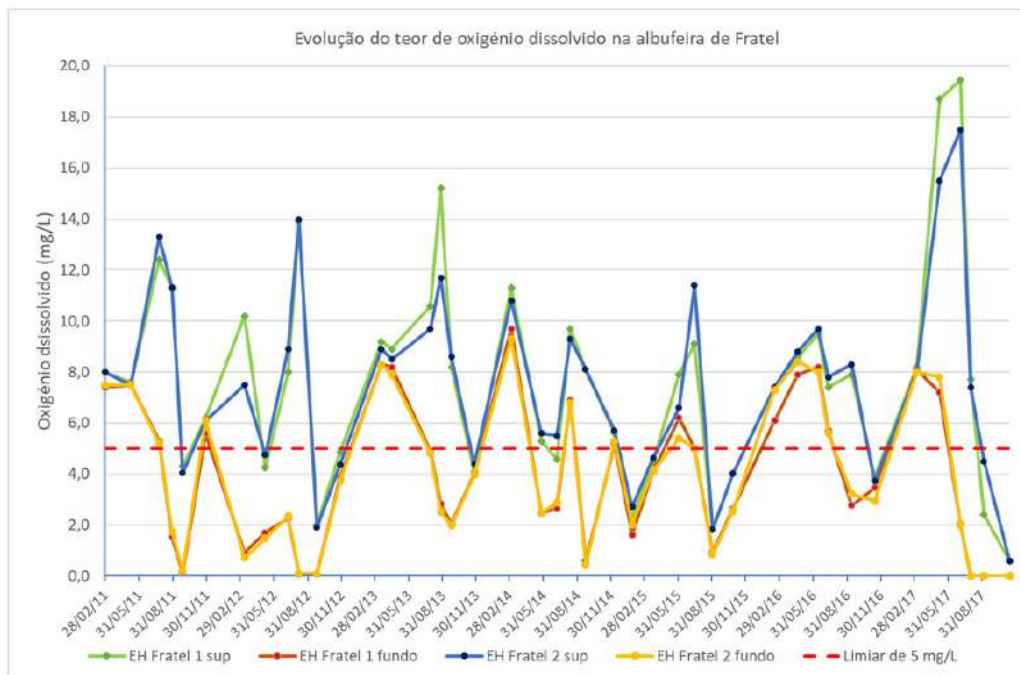


Figura 8 – Evolução do teor de oxigénio na albufeira de Fratel.

a episódios em que se observa a mortalidade de peixes. Destaca-se o período iniciado em setembro de 2017 que antecedeu o episódio de poluição extrema referido, e em que se observou também a mortalidade generalizada de peixes na albufeira.

Os valores do oxigénio dissolvido registados na albufeira de Fratel permitem concluir que os valores das descargas de CBO₅ e de CQO definidos na licença de utilização de recursos hídricos excedem claramente a capacidade de carga da albufeira, provocando a degradação do estado da massa de água, criando mesmo condições extremas de anoxia como foi referido, quando os caudais são nulos ou muito baixos. Estes episódios extremos deveriam ter levado as autoridades a intervir tempestivamente, logo no início de setembro de 2017, quando são registados valores nulos de oxigénio dissolvido na albufeira, de modo a evitar a situação extrema que ocorreu em janeiro de 2018.

Por outro lado, os valores muito elevados das descargas de sólidos suspensos totais, da ordem de 1 ton por dia, associada a períodos de caudais nulos, determinam a deposição destes sólidos no fundo da albufeira, não podendo ser removidos naturalmente nos períodos em que ocorrem caudais mais elevados. Esses sólidos depositados só podem ser removidos por dragagem, o que se verificou na sequência do incidente de poluição que se observou em janeiro passado. Em conclusão, a carga de sólidos em suspensão estabelecida na licença de utilização de recursos hídricos excede também a capacidade de carga da massa de água.

Não existem dados que permitam confirmar, mas admite-se que os valores das descargas de nutrientes, azoto e fósforo, definidos na licença de utilização de recursos hídricos excedam também a capacidade da massa de água, o que deve ter originado o aparecimento de grandes quantidades de espuma no troço do rio a jusante, nas zonas mais oxigenadas.

5. CONCLUSÕES

5.1 Licenciamento de utilização dos recursos hídricos, descarga de águas residuais

As condições de descarga estabelecidas na licença de utilização dos recursos hídricos em vigor para a Celtejo não respeitam a capacidade da massa de água para receber as cargas poluentes sem degradação do respetivo estado de qualidade e sem prejudicar os usos existentes, para o regime de caudais atual. Por esse motivo é necessário proceder à adequação das descargas às condições impostas pela manutenção do bom estado da massa de água e pelos usos existentes, e proceder à revisão da licença de utilização dos recursos hídricos em conformidade. Não é admissível em Portugal, na situação atual, invocar razões de ordem económica ou social, como a manutenção de empregos no interior, para justificar a adoção de condições de descarga que provocam a degradação ambiental do rio mais importante do país, porque a redução das cargas poluentes a montante da

descarga é perfeitamente viável tecnicamente e economicamente. Esse argumento da necessidade de desenvolvimento económico e da manutenção de emprego, mesmo com condições infra-humanas, é apresentado por exemplo pelas autoridades do Bangladesh para justificar a degradação extrema dos rios Pagma (Ganges) e Jamuna (Brahmaputra) devida sobretudo às descargas das fábricas de têxteis que produzem muitas das roupas de marca que são exportadas para a Europa e para os EUA. Em nossa opinião, a licença ambiental, bem como a licença de utilização de recursos hídricos, só deveriam ser atribuídas pelas autoridades competentes perante a demonstração, por parte da empresa, de que são cumpridas as condições de descarga de acordo com a aplicação do princípio da abordagem combinada. Este requisito obrigaria a empresa a cumprir os requisitos ambientais verificados a priori, e a evidenciar esse cumprimento no ato de pedir a licença, em vez de transferir para as autoridades competentes o ónus da verificação da conformidade das condições estabelecidas nas licenças com as condições ambientais. Essa transferência de ónus tem como consequência a atribuição da responsabilidade ambiental às autoridades competentes, se os danos ambientais se verificarem no cumprimento estrito das condições da licença, mesmo se essas condições forem inadequadas. Esta opinião tem fundamento na aplicação do princípio da precaução, e tem sustentação em procedimentos ambientais análogos, como por exemplo, a emissão da declaração de impacte ambiental.

5.2 Revisão do regime de caudais da Convenção de Albufeira

As condições estabelecidas no Protocolo Adicional à Convenção de Albufeira são muito insuficientes para satisfazer o bom estado das águas. Consideramos ser prioritária a definição do regime de caudais de acordo com o artigo 16º da Convenção, à semelhança do que já foi feito pelas autoridades espanholas para o rio Tejo¹¹. A montante da albufeira de Azután (Talavera), por exemplo, foi estabelecido o caudal mínimo de 10 m³/s, o que, aplicando uma mera relação entre as áreas da bacia hidrográfica, corresponderia ao caudal mínimo de 16 m³/s na secção de Cedillo.

Não parece haver uma verificação, em Portugal, dos caudais garantidos por Espanha. De facto, os caudais reportados por Espanha em Cedillo, que constam dos relatórios Hidrometeorológicos publicados pela CADC, são sistematicamente superiores aos caudais registados em Fratel, a jusante, como se referiu. Não existem consumos significativos que justifiquem as diferenças detetadas.

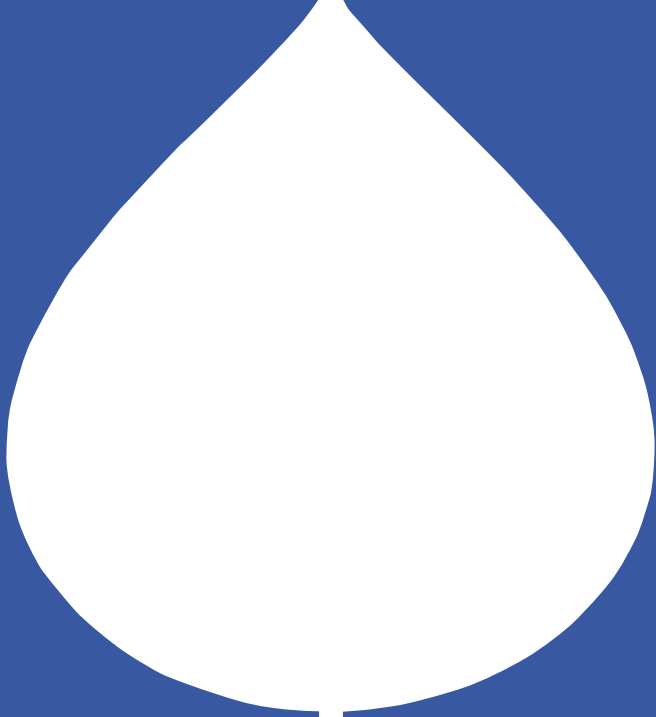
5.3 Monitorização dos caudais e dos parâmetros da qualidade da água e divulgação dos resultados

Consideramos uma prioridade absoluta investir na monitorização dos caudais e dos parâmetros da qualidade da água, atualmente muito insuficiente, e na divulgação dos resultados da monitorização. A falta de informação determina a impossibilidade de analisar, com um mínimo de rigor, as causas do incidente de poluição e a atribuição de responsabilidades, nomeadamente da responsabilidade ambiental. Deveria ser disponibilizado o registo contínuo dos caudais turbinados e descarregados em Cedillo e deveriam ser divulgados no SNIRH e no portal da CADC em tempo real os caudais horários, de forma a poder haver um controlo efetivo do regime de caudais do rio Tejo a secção de entrada em Portugal.

Analogamente, deveria ser realizada a monitorização contínua, monitorização de vigilância, da qualidade da água do rio Tejo à entrada em Portugal, com uma estação automática. Os valores dos parâmetros deveriam também ser divulgados no SNIRH e no portal da CADC em tempo real.

Tendo em conta a importância das descargas em Vila Velha de Ródão, justifica-se também a monitorização de vigilância da qualidade da água a jusante, na albufeira de Fratel.

11 - Confederación Hidrográfica del Tajo, Caudales mínimos y caudales ecológicos, Anejo VI del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo 2015-2012 (<http://www.chtajo.es/LaCuenca/Paginas/CaudalEcoMini.aspx>, consultado em 2018-03-23)



ct&i

(Ciência, Tecnologia e Inovação)

Simulação de níveis de cheia no estuário do rio Douro, antes e após a construção dos molhes

River Douro estuary flood levels simulation, before and after the breakwater construction

Isabel Iglesias^{1,}, José Luís Pinho², Stênio Venâncio^{2,3}, Paulo Avilez-Valente^{1,4}, Raquel Peixoto⁴, José Manuel Vieira²*

** Autor para a correspondência: iiglesias@ciimar.up.pt / isabel.iglesias.fdz@gmail.com*

¹ Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto, Novo Edifício do Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, Avenida General Norton de Matos s/n, 4450-208 Matosinhos, Portugal.

² Centro do Território, Ambiente e Construção (CTAC), Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Dr. Randolpho Borges Júnior 1250, Univerdecidade, 38064-200 Uberaba/MG, Brasil.

⁴ Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto (FEUP), Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Portugal.

RESUMO: A hidrodinâmica característica das zonas estuarinas apresenta padrões de circulação complexos, sendo as cheias um dos eventos extremos que interessa caracterizar de modo detalhado nestes ambientes. Neste contexto, na ótica da gestão ambiental sustentável e da minimização dos riscos associados à ocorrência de cheias em zonas ribeirinhas, os modelos numéricos, devidamente calibrados e validados, constituem uma ferramenta de análise de grande valia, permitindo realizar previsões com uma elevada fiabilidade. Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos com dois modelos numéricos aplicados ao estudo das cheias no estuário do rio Douro. Pretende-se criar um sistema de previsão e alerta de cheias que permita também identificar as áreas que poderão ser inundadas. Foram realizadas várias simulações, que incluíram diversos cenários, representando o efeito da atual configuração do sistema restinga e molhes na elevação da superfície livre da água. Os cenários simulados pretendem avaliar os riscos associados à ocorrência de cheias semelhantes às cheias históricas. Observou-se que, caso se verifiquem cheias com valores idênticos de caudal às que ocorreram no passado, serão inevitáveis inundações eventualmente mais gravosas, tendo-se identificado as áreas que poderão vir a ser afetadas. Os resultados obtidos poderão servir, desde já, para a definição de medidas que permitam diminuir eventuais perdas económicas e danos em infraestruturas.

Palavras-chave: Cheias; Hidrodinâmica; Modelos numéricos; Estuário; rio Douro.

ABSTRACT: Estuarine hydrodynamics present complex circulation patterns being floods one of the extreme events that needs correct characterization in these environments. In this context, from the point of view of sustainable environmental management and the minimization of associated flood risks in the estuarine banks, numerical models represent highly valuable analysis tools, allowing to develop reliable forecasts. This work presents the results of two numerical models implemented to simulate floods in the river Douro estuary. It is intended to use these models to design and implement an early warning and flood forecast system with capabilities to identify areas that could potentially be inundated. Simulations included several scenarios representing the effect of the current configuration of the sand spit and breakwaters, located at the estuary mouth, in water elevations within the estuary. It was observed that, for floods similar to those that occurred in the past, more serious effects can be expected in the estuarine margins. Results from this study can be used to define adequate solutions to minimize potential economic losses and damage of infrastructures.

Keywords: Floods; Hydrodynamics; Numerical models; Estuary; river Douro.

1. INTRODUÇÃO

As margens dos estuários são zonas muito atrativas para ocupação antrópica, resultando em áreas densamente urbanizadas devido ao elevado número de serviços ecossistêmicos oferecidos, nomeadamente turismo, pesca, paisagem, transporte, atividades náuticas ou portuárias, entre outras. Tendo em consideração o impacto que as construções antropogénicas, como quebra-mares portuários, diques e estruturas de defesa costeira têm sobre as áreas estuarinas, é necessário conhecer a dinâmica destes sistemas influenciada por aquelas infraestruturas hidráulicas. Quando necessário, deverão ser definidas medidas de adaptação que permitam aumentar a resiliência destes sistemas a eventos extremos.

Um dos problemas mais relevantes para as margens estuarinas são as inundações urbanas, condicionadas diretamente pelas descargas fluviais e pela oscilação do nível do mar, mas também pela dinâmica de condicionantes naturais, como a evolução morfológica dos fundos, agravadas por eventuais ações antropogénicas. As cheias e inundações têm assolado o equilíbrio das envolventes urbanas de estuários, com impactos na conjuntura económica, social e ambiental. Sabendo-se que uma considerável parcela da população mundial vive em zonas urbanas adjacentes a estuários, onde a ocorrência das inundações é relativamente frequente, torna-se fulcral a produção de informação que permita a mitigação e adaptação das áreas vulneráveis à inundação e a sua consideração nos planos municipais de ordenamento do território.

Em Portugal, o estuário do rio Douro apresenta-se como um importante exemplo da ocorrência de inundações, apresentando vulnerabilidades devido aos aglomerados urbanos implantados nas zonas ribeirinhas. Este estuário é uma das 22 zonas críticas em Portugal Continental contempladas no Plano de Gestão dos Riscos de Inundações (APA 2016) pelo histórico das grandes cheias. Durante a ocorrência destas cheias, como por exemplo, as ocorridas em 1909 e 1962, antes da construção das barragens de montante, alguns dos efeitos incluíram perdas de vidas, problemas de navegação, e grandes prejuízos económicos (Bastos *et al.* 2012). É, portanto, fulcral o seu estudo devido à importância que apresenta para a minimização dos efeitos associados a estes fenómenos extremos, enquadrado nas orientações e prioridades de atuação da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (RCM 2010), mas também no âmbito de várias estratégias nacionais e internacionais como a Estratégia Marítima Nacional

Portuguesa, o Programa H2020 ou a Estratégia de Especialização Inteligente (RIS3). Estas estratégias incluem como objetivos principais o estudo dos efeitos e consequências nos ambientes marinhos e no ciclo da água das alterações climáticas e dos eventos extremos.

Entretanto, a gestão atual deste processo ainda assume caráter não trivial, pelas próprias características das albufeiras portuguesas (fio de água) que dependem do controlo feito em território espanhol, pelo conhecimento da dinâmica marítima em cenário de mudanças climáticas, pela morfodinâmica do estuário, e pela incapacidade de antever cenários baseados no conhecimento de todas as variáveis envolvidas, ora pela escassez ou ausência de dados.

A modelação numérica computacional tem sido uma ferramenta generalizadamente aplicada em todo o mundo em estudos completos e detalhados de cheias e inundações em estuários (Araújo *et al.* 2013; Horritt e Bates 2002; Pinho *et al.* 2010). Os modelos numéricos permitem a representação dos processos hidrodinâmicos, dos padrões de circulação e dos processos de erosão/deposição, sendo uma importante ferramenta para avaliar e prever os efeitos de intervenções antropogénicas, eventos extremos ou alterações climáticas, apoiando uma gestão eficaz e integrada e promovendo a segurança das populações e a sustentabilidade dos ecossistemas e dos seus serviços. Uma vez calibrados e validados, estes modelos podem ser aplicados para identificar as áreas de risco perante a ocorrência de eventos extremos, protegendo as populações, os recursos naturais e as atividades económicas e promovendo a gestão, informação e apoio à decisão na gestão dos sistemas estuarinos. Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos com dois modelos numéricos desenvolvidos para o estuário do rio Douro, com o objetivo de identificar as áreas estuarinas vulneráveis à ocorrência de inundações, tendo por base as características das cheias históricas e da atual configuração da embocadura do estuário. Os modelos foram implementados em duas ferramentas de modelação distintas, *Delft3D* (Delft3D-FLOW 2011) e *OpenTELEMAC-MASCARET* (Telemac-2D 2017), o que permite aumentar a confiança nos resultados.

2. ÁREA DE ESTUDO

O rio Douro é um dos principais rios da Península Ibérica, escoando para o Oceano Atlântico através de um estuário estreito e altamente dinâmico (9,8 km² de área, 21,6 km de extensão), limitado por

duas cidades: Porto e Vila Nova de Gaia (Figura 1). A montante, o estuário está limitado pela barragem de Crestuma-Lever. Na embocadura encontra-se a restinga, um banco arenoso e extremadamente dinâmico formado pela deposição de sedimentos

provenientes da deriva litoral e/ou do rio. Junto à restinga encontra-se a Baía de São Paio onde fica localizada a Reserva Natural Local do Estuário do Douro cujos objetivos são a preservação da paisagem e a proteção do habitat das aves.



Figura 1. Principais estruturas do estuário do rio Douro e pontos de amostragem: a verde locais de medição da elevação da superfície livre, a vermelho locais de medição das correntes e a azul os locais com marcas de níveis atingidos durante cheias históricas consideradas. (Fonte: Google Earth).

A batimetria deste estuário tem uma distribuição irregular (Araújo *et al.* 2013), com profundidades entre 0 e 10 m (referente ao nível médio da água do mar, NMM). Existem locais com 28 m (NMM) de profundidade associados a secções do estuário mais estreitas, curvas exteriores e locais de extração de inertes (Portela 2008). O transporte de sedimentos é condicionado pelos processos fluviais, sendo este estuário a principal fonte de sedimentos finos na parte norte da plataforma continental portuguesa (Araújo *et al.* 2002). Contudo, o sistema de barragens que controla as descargas fluviais tem vindo a reduzir a quantidade de sedimento que chega à zona estuarina e, portanto, também a que chega à plataforma costeira (Portela 2008).

A temperatura média diária das massas de água estuarinas varia entre 7 °C no inverno e 22 °C no verão (Magalhães *et al.* 2002). As marés são semidiurnas, apresentando um período de maré de 12.4 h. É um estuário mesotidal, em que a amplitude da maré varia entre 2 e 4 m (Vieira e Bordalo 2000). A intrusão salina depende do caudal do rio e da amplitude da maré e só atinge a barragem de Crestuma-Lever em condições de caudal exceccionalmente baixo (Pinho *et al.* 2010). O caudal de água doce, controlado por esta barragem, é altamente dependente da produção de energia hidroelétrica, e pode atingir um valor superior a 13000 m³/s (Azevedo *et al.* 2010). Este caudal apresenta um comportamento normal consentâneo com o clima de bacias à sua latitude, com valores mais altos durante o inverno e mais baixos durante o verão, dependendo do ciclo anual de precipitação na região (Gómez-Gesteira *et al.* 2011). Contudo, a sua variabilidade interanual é elevada, com diferenças significativas entre anos secos e húmidos. Em anos húmidos pode apresentar regimes torrenciais com correntes e cheias intensas (Portela 2008).

A dinâmica deste estuário é forçada fundamentalmente pelos fluxos de água que são turbinados na barragem de Crestuma-Lever. Para valores de caudal superiores a 800 m³/s, as massas de água estuarina são de origem fluvial, pelo que a intrusão de água salina durante a ocorrência de cheias é inexistente. Abaixo daquele valor, a água oceânica entra no estuário em forma de cunha salina (Azevedo *et al.* 2008). Esta variabilidade implica que o tempo de residência da água doce no estuário possa variar de 8 h a mais de 2 semanas (Vieira e Bordalo 2000).

O estuário do rio Douro tem vindo a sofrer intensas modificações antropogénicas. Para além da construção de marinas, cais e muros, dragagem de sedimentos e artificialização das margens, foram

construídos no ano de 2008 os quebra-mares na foz do estuário (Figura 1a) que modificaram os padrões de circulação e erosão/acreção desta área. Os objetivos principais da construção do molhe norte e do quebra-mar destacado foram diminuir o assoreamento do canal de navegação, impedir a migração da restinga (Figura 1a) para o interior do estuário e reduzir a propagação das ondas no interior da área estuarina protegendo a navegação no interior do estuário. No entanto, estes molhes têm vindo a interferir com os padrões hidrodinâmicos e de sedimentação, produzindo um assoreamento da Baía de São Paio e um aumento na área e volume da restinga (Bastos *et al.* 2012). Antes da construção dos molhes, a restinga era completamente ou parcialmente destruída para caudais da ordem dos 10000 m³/s, aliviando a subida do nível da cheia no interior do estuário. A atual configuração da restinga diminui as possibilidades de galgamento ou rutura durante as cheias, contribuindo para o aumento do nível da água durante a ocorrência de cheias e, portanto, apresentando-se como um fator que poderá agravar as perdas económicas e os danos em infraestruturas.

Considerando que este estuário tem sofrido importantes cheias devido às características do seu vale extremamente encaixado e ao caudal elevado, com a consequente inundação das zonas ribeirinhas, torna-se importante conhecer o comportamento da hidrodinâmica no estuário com a atual configuração da embocadura, considerando a ocorrência de cheias idênticas às que ocorreram no período anterior ao da construção das obras de defesa.

3. MODELOS NUMÉRICOS

Para a consecução deste trabalho foram selecionados dois programas de modelação hidrodinâmica, com base na sua capacidade de simular os padrões hidrodinâmicos das áreas estuarinas e a elevação da superfície livre da água durante os eventos de cheias. As versões 2DH, i.e. duas dimensões horizontais, do *OpenTELEMAC-MASCARET* e do *Delf3D* resolvem as equações de águas pouco profundas integradas segundo a direção vertical, tendo em consideração efeitos como o atrito com o fundo, a turbulência ou a natureza lenta ou rápida do escoamento, entre outros.

O *Telemac2D* (Telemac-2D 2017) é um módulo do *OpenTELEMAC-MASCARET* (<http://www.opentelemac.org/>) com uma formulação 2DH onde se considera a coluna de água bem misturada e a velocidade segundo a direção vertical negligenciável. O fundo e a superfície livre são

considerados impermeáveis. Para a discretização e integração numérica, utiliza-se um esquema numérico baseado no método dos elementos finitos, utilizando malhas não estruturadas de elementos finitos triangulares.

O *Delft3D-FLOW* (Delft3D-FLOW 2011) é o módulo de base principal do *Delft3D* (<https://oss.deltares.nl/web/delft3d>), que realiza a simulação hidrodinâmica e de transporte com formulações da hidrodinâmica e simplificações 2DH idênticas às consideradas no *Telemac2D*, mas com técnicas numéricas de discretização espacial baseadas no método das diferenças finitas.

Para cada um dos modelos considerados foram construídas duas malhas computacionais abrangendo um domínio que se estende desde a barragem de Crestuma-Lever até ao Oceano Atlântico, incluindo a área costeira adjacente e o Porto de Leixões (Figura 2). A diferença entre as duas malhas reside na representação da embocadura do estuário antes e após a construção dos quebra-mares. Foram utilizados dados de batimetrias do *GEBCO* (Becker *et al.* 2009) e do Instituto Hidrográfico (IH), com datas de 1998 e de 2002, bem como levantamentos topográficos da restinga realizados pelo CIIMAR-UPorto (Bastos *et al.* 2012).

A maré foi introduzida no *OpenTELEMAC-MASCARET* utilizando os dados do *TPXO.2* (Egbert *et al.* 1994) e no *Delft3D* através dos principais constituintes harmónicos obtidos a partir de séries históricas da elevação de maré. Os caudais fluviais foram

fornecidos pela EDP e, para os registos históricos, foram usados valores anteriormente publicados (Pardé 1966; Rodrigues *et al.* 2003). A temperatura e a salinidade das fronteiras oceânica e do rio foram incluídas utilizando valores extraídos de trabalhos anteriores (Azevedo *et al.* 2006; deCastro *et al.* 2008; Pinto 2007) ficando fixadas em 35,8 PSU e 17 °C para a fronteira oceânica e 0 PSU e 8 °C para a fronteira fluvial.

4. VALIDAÇÃO E CALIBRAÇÃO

Os dados de campo usados para a validação e calibração dos modelos numéricos foram disponibilizados pelo IH e referem-se a dados de batimetria e às estações de monitorização de Cantareira e Cais da Estiva (marégrafo), assim como a dois pontos (A e B) de medição de velocidades (Figura 1a e b). O levantamento batimétrico selecionado para a construção das malhas tem data de 1998, mas as medições de elevação e de corrente foram realizados na Campanha Hidromorfológica para o Estudo da Barra do Douro (IH 1995) que decorreu entre Setembro e Outubro de 1994. Estes dados permitiram calibrar e validar os modelos com dados de elevação da superfície livre e de velocidade da corrente em condições normais, para a situação anterior à construção dos molhes. Com este intuito, foram feitas simulações de 24 dias de duração entre o dia 11 de Setembro de 1994 e o dia 4 de Outubro do mesmo ano.

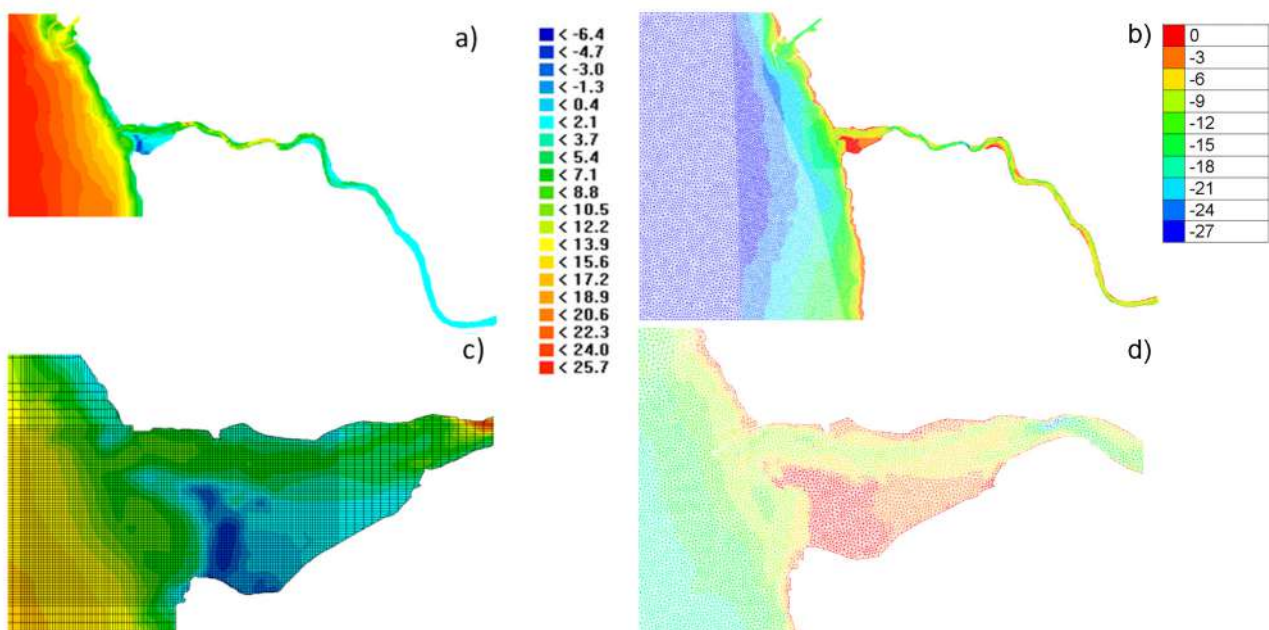


Figura 2. Malhas computacionais dos modelos do estuário do rio Douro. A escala de cores representa a batimetria (m). a) Batimetria do *Delft3D* antes da construção dos quebra-mares; b) Batimetria do *OpenTELEMAC-MASCARET* após a construção dos quebra-mares; c) Detalhe de a); d) Detalhe de b).

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados desta análise para os períodos em que foram registados os dados de campo, evidenciando o bom desempenho dos modelos na representação da elevação da superfície livre da água (Figura 3) e na simulação da componente horizontal (média na coluna de água) da velocidade da corrente (Figura 4). Os dados de elevação da superfície livre são da mesma ordem de grandeza nos pontos de controlo de Cantareira e Cais da Estiva, o que mostra que, para o caudal fluvial considerado, que não excedeu $700 \text{ m}^3/\text{s}$, a hidrodinâmica do estuário é controlada pela maré.

As diferenças verificadas entre os valores das velocidades das correntes medidos e os valores

simulados pelos modelos (Figura 4) podem estar relacionadas com a configuração da restinga e a batimetria considerada nas simulações (de 1998) e a configuração real à data da campanha de amostragem (1994). Por outro lado, as diferenças encontradas entre os resultados dos modelos, que utilizam os mesmos dados de base, poderão ser explicáveis, essencialmente, pelas diferentes técnicas de discretização espacial utilizadas, e eventualmente por alguma diferença no tratamento das zonas inter-marés. Contudo, os valores obtidos estão em concordância com os apresentados por Portela (2008) para as mesmas estações de monitorização.

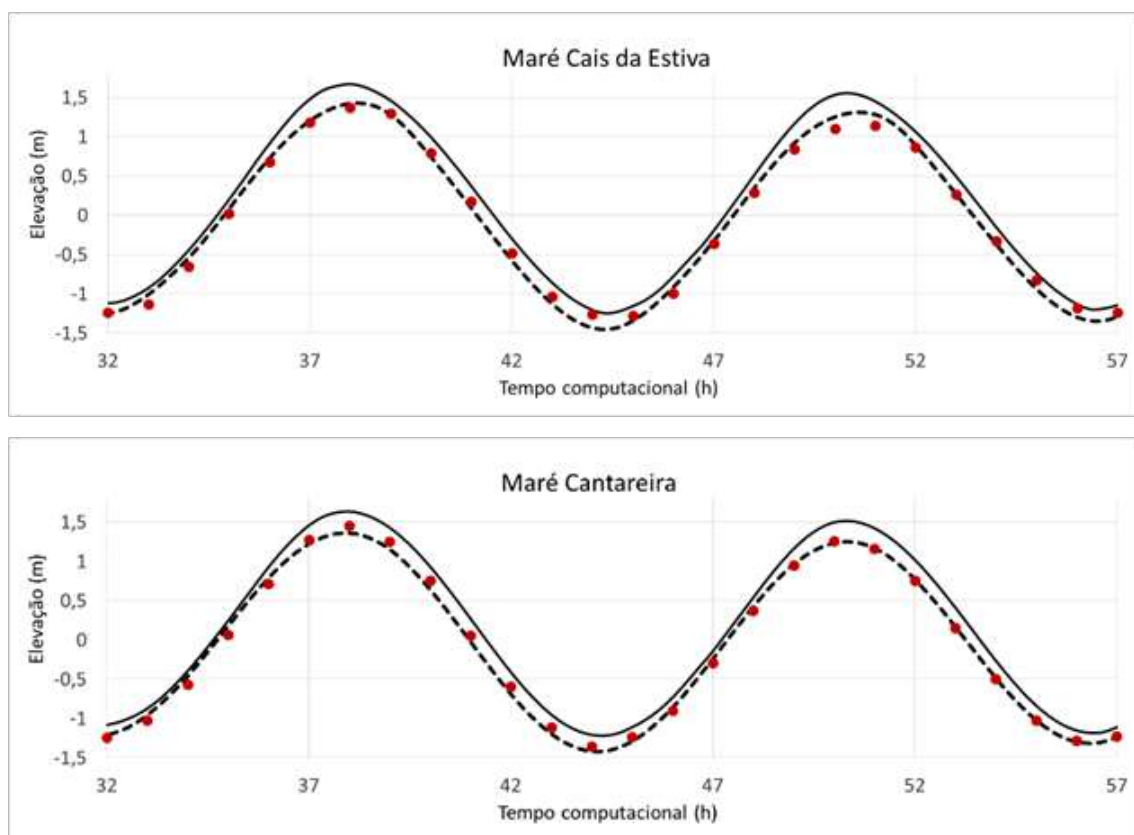


Figura 3. Resultados da validação dos modelos: elevação da superfície livre em Cais da Estiva e Cantareira. Pontos vermelhos: campanha; linha contínua: *OpenTELEMAC-MASCARET*; linha descontinua: *Delft3D*.

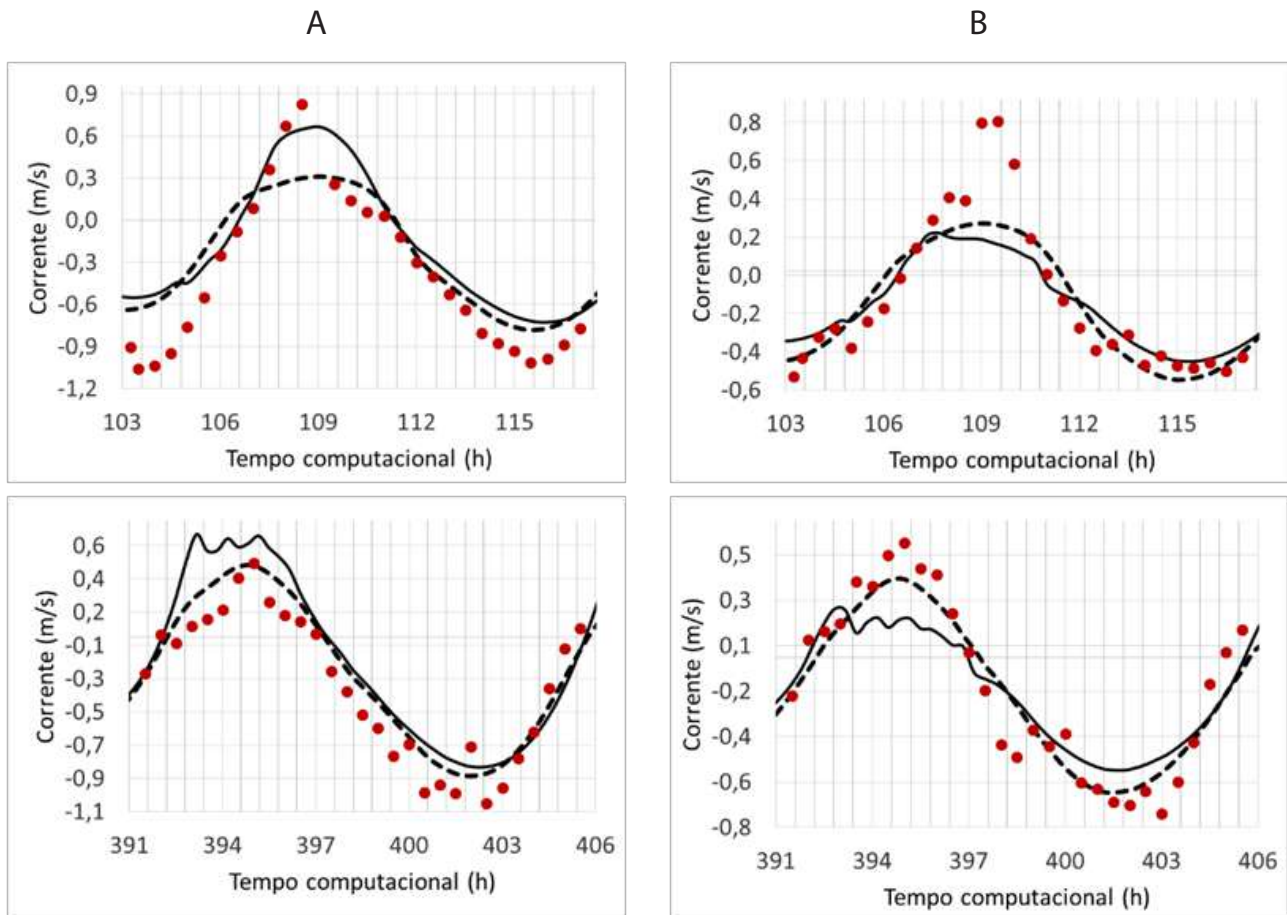


Figura 4. Resultados da validação dos modelos: velocidade média da corrente para os pontos A e B. Pontos vermelhos: campanha; linha contínua: *OpenTELEMAC-MASCARET*; linha descontinua: *Delft3D*.

5. SIMULAÇÕES DE CHEIAS

Foram consideradas simulações de cheias históricas correspondentes aos eventos de 1962 e de 2001, onde se verificaram caudais da ordem de 17000 m³/s e 9812 m³/s respetivamente (dados de caudais procedentes de Pardé 1966 e da EDP). Os níveis de água obtidos pelos modelos foram comparados

com as marcas de cheias materializadas nas edificações das caves Sandeman, móveis Pina, bar Falcão e com os dados procedentes do trabalho de Oliveira (1973) referentes à ponte Luiz I (Tabela 1, Figura 1b). Estas marcas serviram também para validar e calibrar o modelo para as situações de cheia.

Tabela 1. Comparação dos níveis de elevação da superfície livre medidos e simulados em diversos pontos do estuário, na configuração sem quebra-mares (SQ).

Cheia	Localização	Nível observado (m)	Nível simulado (m)			
			OpenTELEMAC-MASCARET		Delft3D	
			SQ	Diferença	SQ	Diferença
1962	Sandeman	8,29	8,35	0,06	8,23	-0,06
	Falcão	8,32	8,39	0,07	8,05	-0,27
	Pina	8,18	8,57	0,39	8,13	0,05
	Ponte Luiz I	8,00	8,07	0,07	8,01	0,01
2001	Sandeman	4,99	5,34	0,35	5,16	0,17

As simulações das cheias históricas foram realizadas com as duas malhas construídas (representativas das situações anterior e posterior à construção dos molhes, Figura 2) de forma a investigar o efeito que uma cheia histórica teria, na atual configuração do estuário do rio Douro, devido à evolução da restinga e à construção dos quebra-mares. Os resultados obtidos para a elevação da superfície na simulação das cheias são apresentados nas Tabelas 1 e 2 e também na Figura 5.

Os resultados incluídos na Tabela 1 mostram que os níveis obtidos com ambos os modelos estão próximos daqueles que foram registados, com diferenças entre 0,06 e 0,39 m para o modelo construído com o programa *OpenTELEMAC-MASCARET* e entre -0,27 e 0,17 m com o modelo construído com o programa *Delft3D*.

Se comparamos os níveis antes e após a construção dos molhes nas zonas que habitualmente são inundáveis (Sandeman, Falcão, Pina e Ponte Luiz I; ver Tabela 2) observamos que o *OpenTELEMAC-MASCARET* prevê um aumento da elevação da superfície livre de aproximadamente 1,24 m para a cheia de 1962 e de 0,45 m para a cheia do 2001, e que o *Delft3D* prevê aumentos de 0,64 e 0,23 m, respetivamente.

Um perfil da elevação da superfície livre entre a restinga e a ponte Luiz I (ver Figura 5) mostra que, para as duas cheias analisadas (caudais superiores a 9800 m³/s), o efeito da variação da elevação do nível do mar não se faz sentir para o interior do estuário para montante de uma secção próxima da Ponte da Arrábida, sendo os níveis de cheia para montante condicionados unicamente pelo caudal fluvial. Para além disso, o efeito da construção dos molhes produz um aumento da elevação da superfície livre da água, assumindo que a configuração da restinga se mantém inalterada durante a cheia. O gradiente máximo é observado no limite oceânico da região estuarina, onde se localizam os quebra-mares e

a restinga. Este gradiente poderá estar associado à formação de um ressalto com passagem de regime rápido a lento (Nahon et al. 2011), mas as interpolações batimétricas consideradas e os métodos numéricos para resolução de problemas podem influenciar os níveis de água e padrões de ressalto obtidos por ambos os modelos. Outra possível causa para a formação deste gradiente seria à contração que as estruturas da embocadura induzem na secção transversal do fluxo de cheia. O nível da água atingido neste local varia entre 4,4 m e 7,2 m dependendo do valor do caudal de cheia. Apresentando as margens estuarinas uma elevação entre 3 e 5 m acima do nível médio do mar serão inevitáveis inundações eventualmente mais gravosas, caso se verifiquem cheias com caudais semelhantes aos que ocorreram no passado.

6. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido evidencia a importância do desenvolvimento de técnicas baseadas em ferramentas de modelação hidrodinâmica que permitam prever o comportamento das áreas estuarinas em caso de ocorrência de cheias. Deste modo é possível caracterizar os riscos decorrentes da ocupação urbana e contribui-se para uma gestão mais eficaz durante a ocorrência deste tipo de evento através do conhecimento antecipado de situações que possam afetar as populações ribeirinhas. Os resultados permitem a adoção de medidas de defesa ou adaptação que procurem mitigar os efeitos das cheias de forma a diminuir a danos em infraestruturas, perdas económicas e, sobretudo, evitar a perda de vidas humanas. Os modelos hidrodinâmicos implementados para o estuário do rio Douro apresentaram robustez, confirmando a sua capacidade de reproduzir os níveis registados com elevada aproximação. As diferenças observadas na validação podem estar relacionadas com os dados de batimetria

Tabela 2. Comparação dos níveis de elevação da superfície livre em diversos pontos do estuário, para as simulações sem quebra-mares (SQ) e com quebra-mares (CQ).

Cheia	Localização	Nível (m)			
		<i>OpenTELEMAC-MASCARET</i>		<i>Delft3D</i>	
		Simulação CQ	S.CQ – S.SQ	Simulação CQ	S.CQ – S.SQ
1962	Sandeman	9,57	1,22	8,87	0,64
	Falcão	9,62	1,23	8,66	0,61
	Pina	9,79	1,22	8,77	0,64
	Ponte Luiz I	9,31	1,24	8,65	0,64
2001	Sandeman	5,79	0,45	5,39	0,23

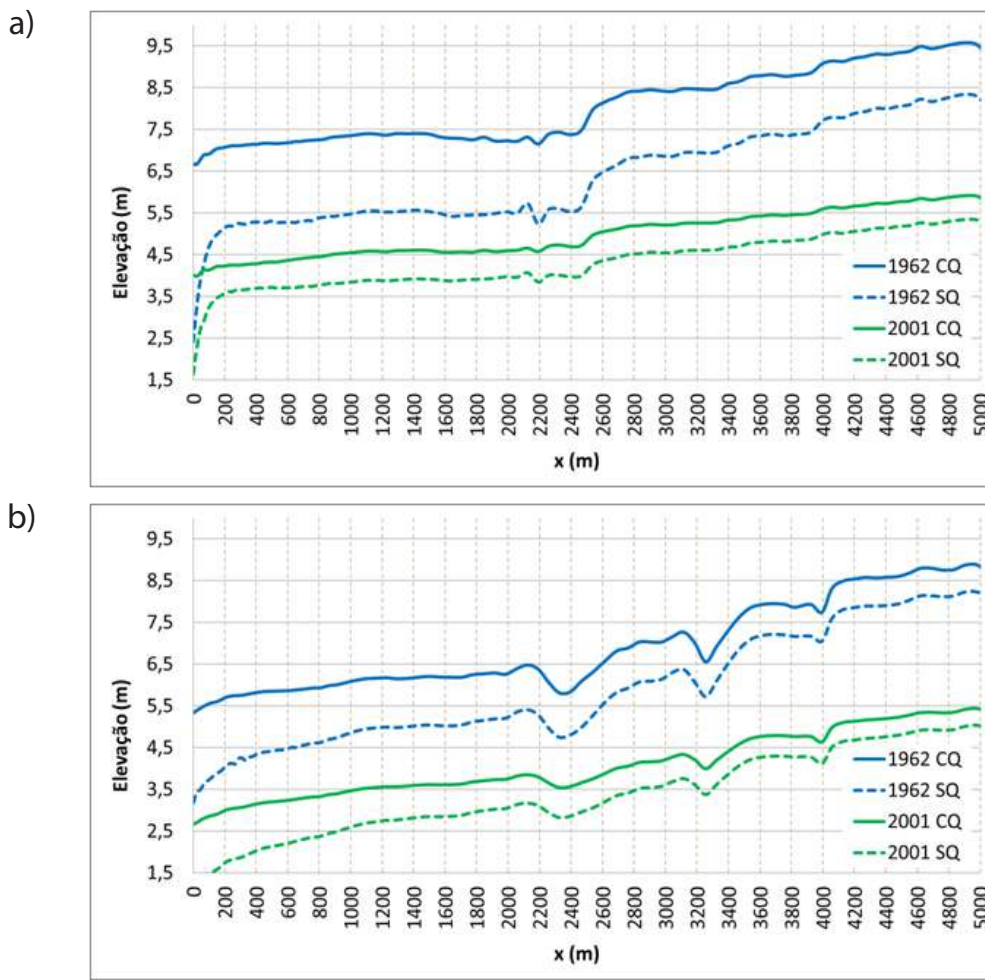


Figura 5. Perfil de elevação da superfície livre entre a foz do estuário (0 m) e a ponte Luiz I (5000 m), para as simulações sem quebra-mares (SQ) e com quebra-mares (CQ). a) *OpenTELEMAC-MASCARET*; b) *Delft3D*.

incluídos na geração das malhas computacionais. Os resultados obtidos demonstraram que a hidrodinâmica do estuário é controlada pela maré ou pela influência fluvial dependendo do caudal, sendo que, em condições de cheia, o efeito da elevação do mar, relacionado com as marés, não se faz sentir para montante de uma secção próxima da Ponte da Arrábida. Foi claramente representada a influência da atual configuração do sistema restinga/molhes nos níveis de cheias atingidos durante a ocorrência de cheias com magnitude idêntica à de cheias históricas. Os valores obtidos para as configurações antes e após a construção dos quebra-mares revelam um aumento da elevação da superfície livre de entre 0,64 e 1,24 m para uma cheia similar à de 1962 e de entre 0,23 e 0,45 m para uma similar à de 2001, o que implicaria níveis máximos de elevação da superfície livre na zona estuarina entre 8,75 e 9,31 m para um caudal de cheia como o verificado em 1962, e de entre

5,39 e 5,79 m para o caudal de cheia de 2001. Estes resultados permitirão avaliar os riscos associados à ocorrência de eventos extremos de cheia que implicam inundações mais graves devido à atual configuração desta área estuarina, agravando as perdas económicas e os danos em infraestruturas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela linha de investigação ECOSERVICES, integrada no Projeto Estruturado de I&D&I INNOVMAR—Innovation and Sustainability in the Management and Exploitation of Marine Resources (NORTE-01-0145-FEDER-000035), cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), e pelo CNPq através de uma bolsa de pós doutoramento concedida ao segundo autor (200016 / 2014-8).

REFERÊNCIAS

- APA (2016): Plano de Gestão dos Riscos de Inundações: Região Hidrográfica 3 – Douro. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa.
- Araújo, MF, J-M Jouanneau, P Valério, T Barbosa, A Gouveia, O Weber, A Oliveira, A Rodrigues and JMA Dias (2002): Geochemical tracers of northern Portuguese estuarine sediments on the shelf. *Progress in Oceanography* 52: 277–297.
- Araújo, MAVC, A Mazzolari, A Trigo-Teixeira (2013): An object oriented mesh generator: application to flooding in the Douro estuary. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 65: 642–647.
- Azevedo, IC, PM Duarte, AA Bordalo (2006): Pelagic metabolism of the Douro estuary (Portugal) - Factors controlling primary production. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69:133-146.
- Azevedo, IC, PM Duarte, AA Bordalo (2008): Understanding spatial and temporal dynamics of key environmental characteristics in a mesotidal Atlantic estuary (Douro, NW Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 620–633.
- Azevedo, IC, AA Bordalo, PM Duarte (2010): Influence of river discharge patterns on the hydrodynamics and potential contaminant dispersion in the Douro estuary (Portugal). *Water Research* 44: 3133–3146.
- Bastos, L, A Bio, JL Pinho, H Granja, AJ daSilva. (2012): Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 109: 53–69.
- Becker, JJ, DT Sandwell, WHF Smith, J Braud, B Binder, J Depner, D Fabre, J Factor, S Ingalls, S-H Kim, R Ladner, K Marks, S Nelson, A Pharaoh, R Trimmer, J Von Rosenberg, G Wallace, P Weatherall (2009): Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30_PLUS. *Marine Geodesy* 32: 355–371.
- deCastro, M, M Gómez-Gesteira, MN Lorenzo, I Álvarez, AJC Crespo (2008): Influence of atmospheric modes on coastal upwelling along the western coast of the Iberian Peninsula, 1985 to 2005. *Climate Research* 36: 169-179.
- Delft3D-Flow (2011): User Manual – Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. Deltares, Netherlands, 64p.
- Egbert, GD, AF Bennett, MGG Foreman (1994): Topex/Poseidon tides estimated using a global inverse model. *Journal Geophysical Research* 99: 24821–52.
- Gómez-Gesteira, M, L Gimeno, M deCastro, MN Lorenzo, I Alvarez, R Nieto, JJ Taboada, AJC Crespo, AM Ramos, I Iglesias, JL Gomez-Gesteira, FE Santo, D Barriopedro, IF Trigo (2011): The state of climate in NW Iberia. *Climate Research* 48: 109–144.
- Horritt, MS, PD Bates (2002): Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology* 268: 87–99.
- IH (1995): Campanha Hidromorfológica para o Estudo da Barra do Douro, Set/Out 94. Instituto Hidrográfico. Report REL TF/OF/02/95, Lisboa.
- Magalhães, CM, AA Bordalo, WJ Wiebe (2002): Temporal and spatial patterns of intertidal sediment-water nutrient and oxygen fluxes in the Douro River estuary, Portugal. *Marine Ecology Progress Series* 233: 55–71.
- Nahon, A, AB Fortunato, X Bertin, AR Pires, A Oliveira, MC Freitas, C Andrade (2011): Numerical modelling of opening and closure of an artificial inlet – Santo André Lagoon, Portugal . *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11(3):341-353
- Oliveira, JMP. (1973): O Espaço Urbano do Porto — Condições Naturais e Desenvolvimento. Instituto de Alta Cultura, Centro de Estudos Geográficos, Edições Afrontamento, Coimbra, 496p.
- Pardé, M (1966): Les crues du Douro d’après une étude portugaise remarquable. *Boletim Trimestral de Informação, Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos, Lisboa, n.23, 93–169.*
- Pinho, JLS, JMP Vieira, DRCB Neves (2010): Efeito das Obras da Embocadura na Hidrodinâmica, Intrusão Salina e Dinâmica Sedimentar do Estuário do Rio Douro. 10º Congresso da Água. Alvor, 1-13.
- Pinto, J (2007): Influência do regime de escoamento fluvial na hidrologia e dinâmica do estuário do Douro. Relatório final de estágio, Universidade de Évora.
- Portela, LI (2008): Sediment transport and morphodynamics of the Douro River estuary. *Geo-Marine Letters* 28: 77–86.
- RCM (2010): Resolução do Conselho de Ministros n.º 24/2010. Diário da República, 1.ª série — N.º 64 — 1 de Abril de 2010. Presidência do Conselho de Ministros, Lisboa.
- Rodrigues, R, C Brandão, JP da Costa (2003): As Cheias no Douro Ontem, Hoje e Amanhã. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Instituto da Água. Report. http://snirh.pt/snirh/download/Douro_hoje.pdf.
- Telemac-2D (2017): User Manual. http://wiki.opentelemac.org/doku.php?id=user_manual_telemac-2d.
- Vieira, MEC, AA Bordalo (2000): The Douro estuary (Portugal): a mesotidal salt wedge. *Oceanologica Acta* 23: 585–594.

Plataforma interativa e integradora para gestão do risco de inundação costeira

Interactive and integrative platform for coastal flood risk management

Anabela Oliveira^{1,*}, André B. Fortunato², Paula Freire³, João Rogeiro⁴, Alberto Azevedo⁵, Marta Rodrigues⁶, Luís M. David⁷, Elsa Alves⁸, Ana Mendes⁹, Joana Teixeira¹⁰

* Autor para correspondência: aoliveira@lnec.pt

¹ Doutora em Engenharia do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

² Doutor em Engenharia do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

³ Doutora em Geologia Económica e do Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁴ Mestre em Engenharia Informática, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁵ Doutor em Ciências Geofísicas e da Geoinformação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, Lisboa, Portugal

⁶ Doutora em Biologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁷ Doutor em Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁸ Doutora em Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

⁹ Licenciada em Informática, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

¹⁰ Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

RESUMO: Apresenta-se uma plataforma WebSIG para suporte à gestão do risco de inundação, aplicável do rio até ao oceano, incluindo a dimensão urbana. Permitindo o acesso diferenciado e produtos customizados para vários utilizadores, esta plataforma oferece um acesso central a toda a informação útil para a gestão da inundação, quer para o planeamento, quer para situações de emergência. Baseia-se no acoplamento de vários modelos que simulam todos os processos geradores de inundação: marés, sobrelevação de origem meteorológica, agitação marítima, escoamento fluvial, drenagem urbana e eventos de precipitação. Quando a interação entre processos é fundamental, o acoplamento é efetuado através da modelação integrada dos mesmos (para ter em conta p.ex. a interação entre a agitação marítima e as correntes). Este sistema de modelação está integrado na plataforma de previsão em tempo real do LNEC (*WIFF - Water Information Forecast Framework*) que produz diária e automaticamente previsões a 48 horas da inundação no caso de estudo escolhido. Estas previsões são depois disponibilizadas numa plataforma WebSIG, através de um conjunto de produtos customizados às necessidades do utilizador, como boletins de alerta, mapas de previsão da circulação e de inundação e séries temporais de grandezas em pontos pré-selecionados (sensores virtuais). Oferece ainda serviços de comparação automática com dados em tempo real e sistemas de alerta. Ilustra-se a valia desta plataforma numa aplicação à gestão da inundação no estuário do Tejo, com destaque para os alertas customizados ao interesse da Proteção Civil, desde a escala oceânica até à região estuarina de interesse.

Palavras-chave: Plataforma Web, previsão em tempo real, modelação integrada, mapas de inundação, sistema de alerta.

ABSTRACT: An innovative WebGIS platform for inundation management support is presented herein, targeting all relevant spatial scales from the rivers to the ocean including the urban dimension. This platform constitutes a central repository of all relevant information for inundation management, supporting planning and emergency operations alike, with different access levels and customized products for distinct users. It is based on the coupling of several models that simulate all inundation related processes: tides, storm surge, waves, river flow, urban drainage and precipitation events. When process

interaction is essential, coupling is achieved through integrated modeling (to account, for instance, the interaction between waves and currents). This modeling system is integrated in LNEC's real time forecast framework (WIFF - Water Information Forecast Framework) which generates daily in an automatic way 48-hour inundation predictions for the selected use case. These predictions are then uploaded to a WebGIS platform, through several customized products targeted at the users' needs, as well as early-warning bulletins, maps of circulation and inundation, and time series of selected variables at pre-defined places (virtual sensors). Automatic comparison with real time data and alert systems are also available. The gains provided by this platform are illustrated in a deployment for inundation management in the Tagus estuary, highlighting the Civil Protection customized alert system, applicable from the oceanic to the local estuarine scales.

Keywords: Web platform, real time forecasts, integrated numerical modeling, inundation maps, early-warning system.

1. INTRODUÇÃO

A base de dados internacional do Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (<http://emdat.be>) mostra que, entre 2000 e 2015, os eventos de inundação na Europa foram responsáveis por 1892 mortes e por um prejuízo total de cerca de 95 biliões de dólares. Atualmente os decisores e as autoridades responsáveis pela gestão da água desenvolvem as suas funções sem tirar total partido dos avanços científicos e tecnológicos existentes, quer na modelação preditiva dos eventos, quer no uso das potentes ferramentas de tecnologias de informação.

A necessidade de prever de forma quantitativa eventos extremos (como tempestades e inundações) e de antecipar os impactos de acidentes

de natureza antropogénica (como derrames de hidrocarbonetos e descargas ilegais) nos meios aquáticos motivou o desenvolvimento pelo LNEC de um sistema de previsão em tempo real para aplicação à circulação e qualidade da água nestes meios. Os sistemas de previsão em tempo real produzem previsões a horizontes temporais curtos (dias), através da integração de modelos numéricos e dados recolhidos *in situ* (Baptista, 2006). São hoje ferramentas habituais de suporte à gestão costeira e portuária para análise de grandezas como a agitação marítima, os níveis e as velocidades da água (Anselmi-Molina *et al.*, 2012, Dietrich *et al.*, 2011, Oliveira *et al.*, 2014), e têm vindo a ser alargados à qualidade da água (Daniel *et al.*, 2004, Rodrigues *et al.*, 2015, Azevedo *et al.*, 2017). Designado por WIFF – Water Information Forecast Framework, o sistema

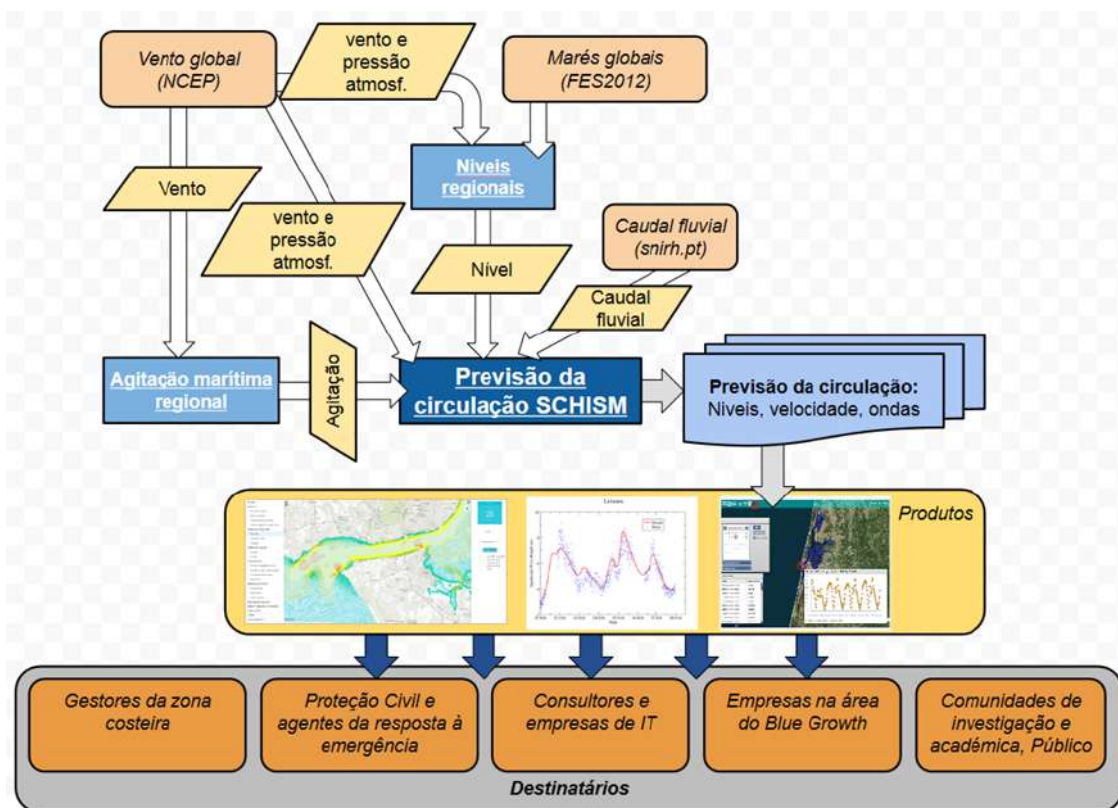


Figura 1. Exemplo de aplicação da infraestrutura de previsão WIFF à inundação em ambientes estuarinos onde os processos associados à interação ondas-correntes são relevantes.

de previsão em tempo real do LNEC agrega escalas espaciais desde o oceano até aos rios, incluindo a interface com as cidades (Figura 1, Oliveira *et al.*, 2014), e permite efetuar a previsão de grandezas relevantes em meios aquáticos e zonas urbanas adjacentes.

O aumento da presença das tecnologias de informação na atividade diária dos cidadãos, aliado a maiores recursos computacionais e à melhor capacitação dos técnicos no uso dos sistemas de informação, tem conduzido a uma mudança de paradigma na gestão do risco de inundação (Herold *et al.*, 2005). Estas tarefas são crescentemente suportadas por sistemas automáticos, que preveem e geram alertas de eventos. A informação gerada fica disponível através de interfaces *Web* que permitem aceder a toda a informação relevante para a gestão do risco e da emergência (Kulkarni *et al.*, 2014, Gomes *et al.*, 2017). Estas interfaces oferecem ainda a possibilidade de interação com o utilizador (e.g., pesquisa de resultados da previsão em locais escolhidos pelo utilizador, simulações a pedido ou carregamento de informação dos agentes de Proteção Civil no terreno para análise integrada dos eventos).

Este artigo apresenta assim uma plataforma WebSIG para apoio à gestão do risco e à resposta à emergência de inundação, que permite integrar produtos de previsão em tempo real e alerta, assim como os resultados de uma análise de risco detalhada (secção 2). É ainda sumariamente apresentado o sistema WIFF e os sistemas de modelação que o sustentam. Esta ferramenta é ilustrada numa aplicação à gestão da inundação no estuário do Tejo. Finalmente as considerações finais e direções futuras de investigação são apresentadas na secção 3.

2. PLATAFORMA WEBSIG PARA APOIO À GESTÃO DA INUNDAÇÃO EM MEIOS AQUÁTICOS E URBANOS

2.1 Infraestrutura de previsão e monitorização em tempo real WIFF

A WIFF é uma plataforma de previsão em tempo real genérica, adaptável a qualquer localização geográfica. Foi desenvolvida no LNEC para vários tipos de aplicações em meios aquáticos e suas interfaces urbanas (Figura 1) e integra um conjunto de modelos numéricos que corre diariamente em ambientes de elevada performance (Rogeyro *et al.*, 2017). Este sistema produz previsões a horizontes temporais curtos (2 dias) (Fortunato *et al.*, 2017),

através da operacionalização de modelos numéricos e sua interligação com dados de campo.

A WIFF é operada num sistema LINUX e é baseada num conjunto de *scripts*, orquestrados para correr periodicamente, que preparam e lançam as simulações para cada modelo de previsão (Figura 1). Estes *scripts* interagem com uma base de dados *PostgreSQL* para obterem os dados de forçamento dos modelos (tais como caudais fluviais, temperatura da água ou informação atmosférica). Diariamente, a WIFF cria o ambiente de computação para a previsão desse dia, obtém os dados de forçamento e recolhe as previsões do dia anterior (para poder tirar partido das funcionalidades de *hotstart* do sistema de modelos, reiniciando a simulação a partir da previsão do dia anterior, e ser mais eficiente e preciso). Com base em serviços de *ssh* e *scripts bash*, esta infraestrutura pode ser operada de modo seguro, fiável e flexível em qualquer ambiente de computação de forma transparente (Rogeyro *et al.*, 2017).

A disponibilização atempada das previsões é outro requisito dos sistemas de previsão. O LNEC opera as várias aplicações do sistema de previsão de forma redundante utilizando várias estações de trabalho e nós do *cluster* MEDUSA (integrado na Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída – INCD, Rogeyro *et al.*, 2017). Cada implementação da WIFF é ainda otimizada para a aplicação escolhida e para os recursos disponíveis, permitindo dessa forma uma utilização sustentável e eficiente dos recursos computacionais (Rogeyro *et al.*, 2017).

Cada aplicação da WIFF é validada automaticamente por comparação com os dados disponíveis *online* em tempo real (Figura 2), permitindo aos utilizadores aferir de forma independente a qualidade dos resultados. A WIFF integra uma rede de sensores em tempo real, operada pelo LNEC em vários sistemas aquáticos portugueses (Gomes *et al.*, 2013, Rodrigues *et al.*, 2015), assim como dados de outras redes *online* dos sistemas de interesse. Todos os dados da rede do LNEC são transmitidos por GSM/GPRS, processados para controlo de qualidade e arquivados nos servidores do Centro de Dados do DHA (Gomes *et al.*, 2013).

2.2 Sistemas de modelação de suporte às previsões da WIFF

A modelação na plataforma WIFF é efetuada de forma acoplada, tipicamente através da imposição de condições de fronteira de um modelo para o seguinte, podendo ainda ser usadas estratégias de acoplamento em círculo (e.g. os níveis de maré são usados para forçar as condições de fronteira de jusante de níveis num modelo de drenagem

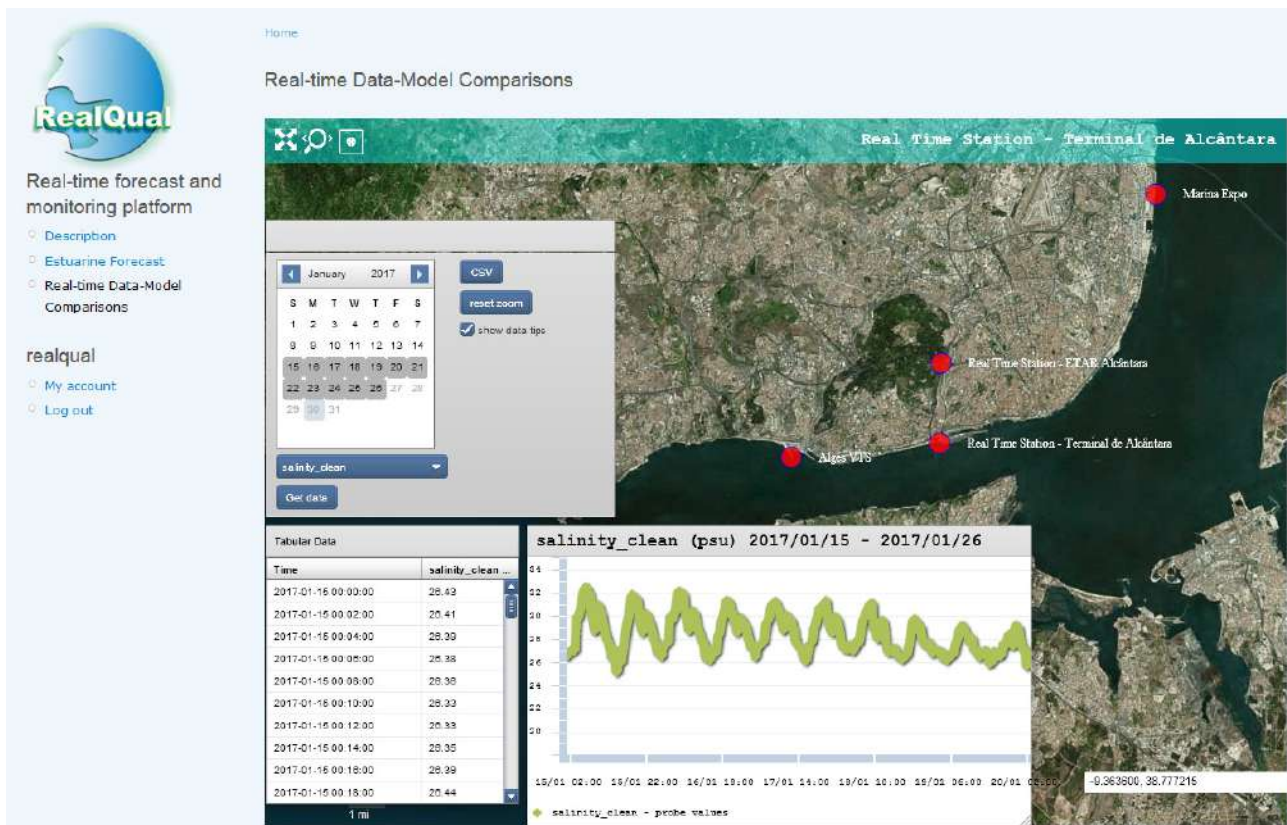


Figura 2. Exemplo de nó da rede de monitorização do estuário do Tejo da aplicação do WIFF no projeto FLAD RealQual - Towards real-time high-resolution monitoring and prediction of water quality in estuaries and coastal areas.

urbano, sendo depois os resultados de caudal deste modelo usados como aporte de descarga urbana no modelo do estuário). Quando a interação entre processos é relevante para o problema em simulação, o acoplamento é feito de forma mais completa e complexa, através da modelação integrada dos processos (e.g., a interação entre a agitação marítima e as correntes).

O sistema de modelos SCHISM (*Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model*, Zhang et al., 2016) constitui a base do sistema de modelação usado, graças à sua abrangência de simulação de processos fluviais, estuarinos e costeiros, boas propriedades numéricas a nível da precisão e conservação de massa (mesmo a nível das zonas intertidais) e elevada eficiência a nível computacional. Acresce a política de disponibilização do modelo – modelo de acesso e código abertos, enquadrado numa vasta comunidade mundial de utilizadores, a qual confere robustez e confiabilidade à sua utilização. O SCHISM é um sistema de modelos totalmente paralelizado para a simulação tridimensional baroclínica a escalas que vão do rio ao oceano. Utiliza malhas não estruturadas, métodos semi-implícitos de elementos e volumes finitos combinados com

algoritmos Eulerianos-Lagrangianos para resolver as equações de águas pouco profundas.

A modelação regional da agitação marítima é efetuada através do modelo WW3 (Tolman, 2009) e a modelação da drenagem e da qualidade da água urbana é feita através do modelo SWMM (Rossman, 2007). Quando o conhecimento dos processos é insuficiente para a integração de modelos genéricos, baseados em equações, podem ser ainda usados modelos empíricos e simplificados, baseados em dados e/ou em conhecimento pericial, os quais apenas são válidos para o caso de estudo em causa. Com base neste sistema de modelação, o LNEC opera sistemas operacionais regionais de agitação marítima e de níveis (Fortunato et al., 2017), da gestão do risco de derrames na Ria de Aveiro (Azevedo et al., 2017) e de inundação costeira (Freire et al., 2016, Fortunato et al., 2017) e qualidade da água (David et al., 2015, Rodrigues et al., 2015) no estuário do Tejo. Cada uma destas aplicações foi devidamente calibrada e validada com dados históricos, baseada em trabalhos anteriores de estabelecimento dos vários modelos. Destaca-se ainda o sistema operacional desenvolvido no âmbito do projeto SI-GeA, no qual foi desenvolvido o acoplamento dos modelos do sistema de

drenagem e da ETAR de Alcântara, e do estuário do Tejo, suportado por uma rede de monitorização em tempo real na ETAR e na zona de descarga do Caneiro utilizando espectrofotómetros e outros equipamentos. Este sistema visava o suporte à gestão integrada, em tempo real, dos riscos de inundação e de contaminação fecal no estuário do Tejo, integrando as aflúncias urbanas e a dinâmica estuarina (David *et al.*, 2015, Rodrigues *et al.*, 2015).

2.3 Sistema de alerta multi-escala para a inundação em zonas costeiras

A conceção de um sistema de alerta para as zonas costeiras e estuarinas tem de ter em conta os vários

mecanismos forçadores e os vários processos em jogo. Dependendo da dimensão da área em estudo e da informação disponível (quer a nível da previsão quer a nível dos elementos expostos), este sistema poderá ser mais agregador ou mais detalhado. Assim, no âmbito do projeto MOLINES foi conceptualizada uma cadeia de sistemas de alerta, adaptada às necessidades de cada destinatário, sendo o respetivo boletim enviado em situação de alerta e disponibilizado diariamente na plataforma. A informação incluída nos boletins de alerta é customizada às escalas relevantes e ilustrada aqui através da aplicação desde a plataforma costeira até à Baía do Seixal (Figura 3).

a)

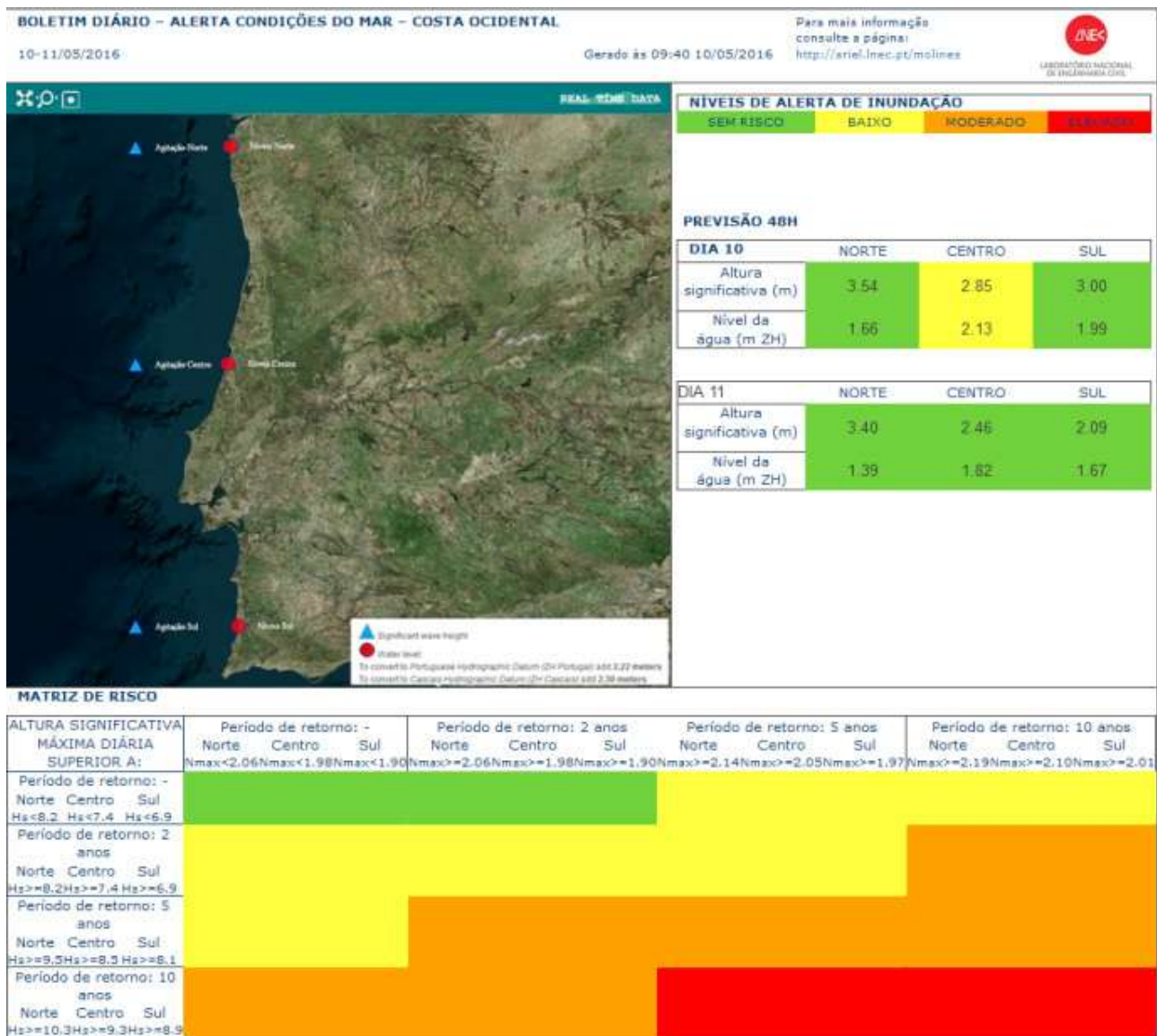


Figura 3. Boletim de alerta multi-escalas. Exemplo de aplicação à:
 a) Costa portuguesa; b) Estuário do Tejo; e c) Baía do Seixal.

b)

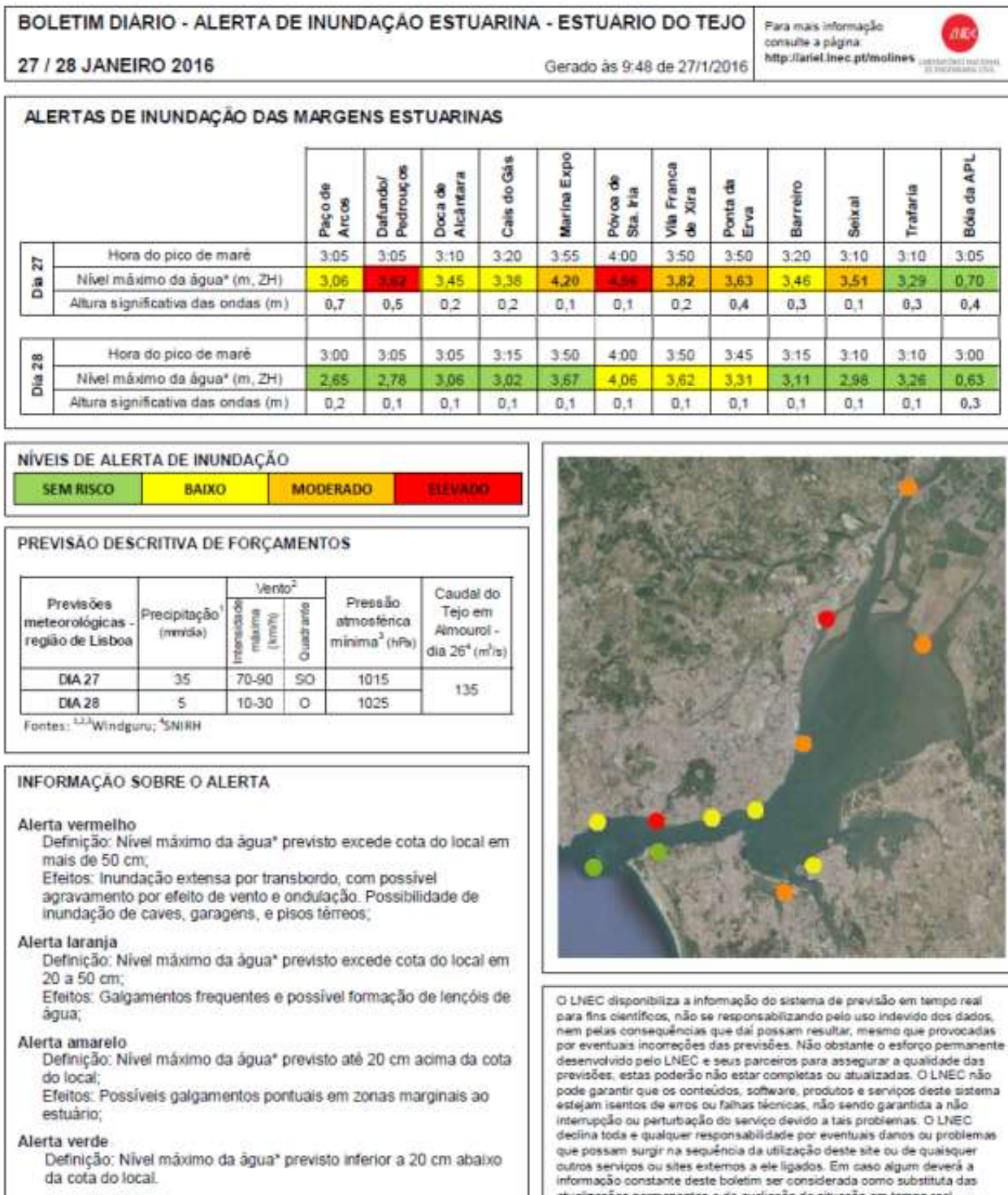


Figura 3. Continuação.

c)

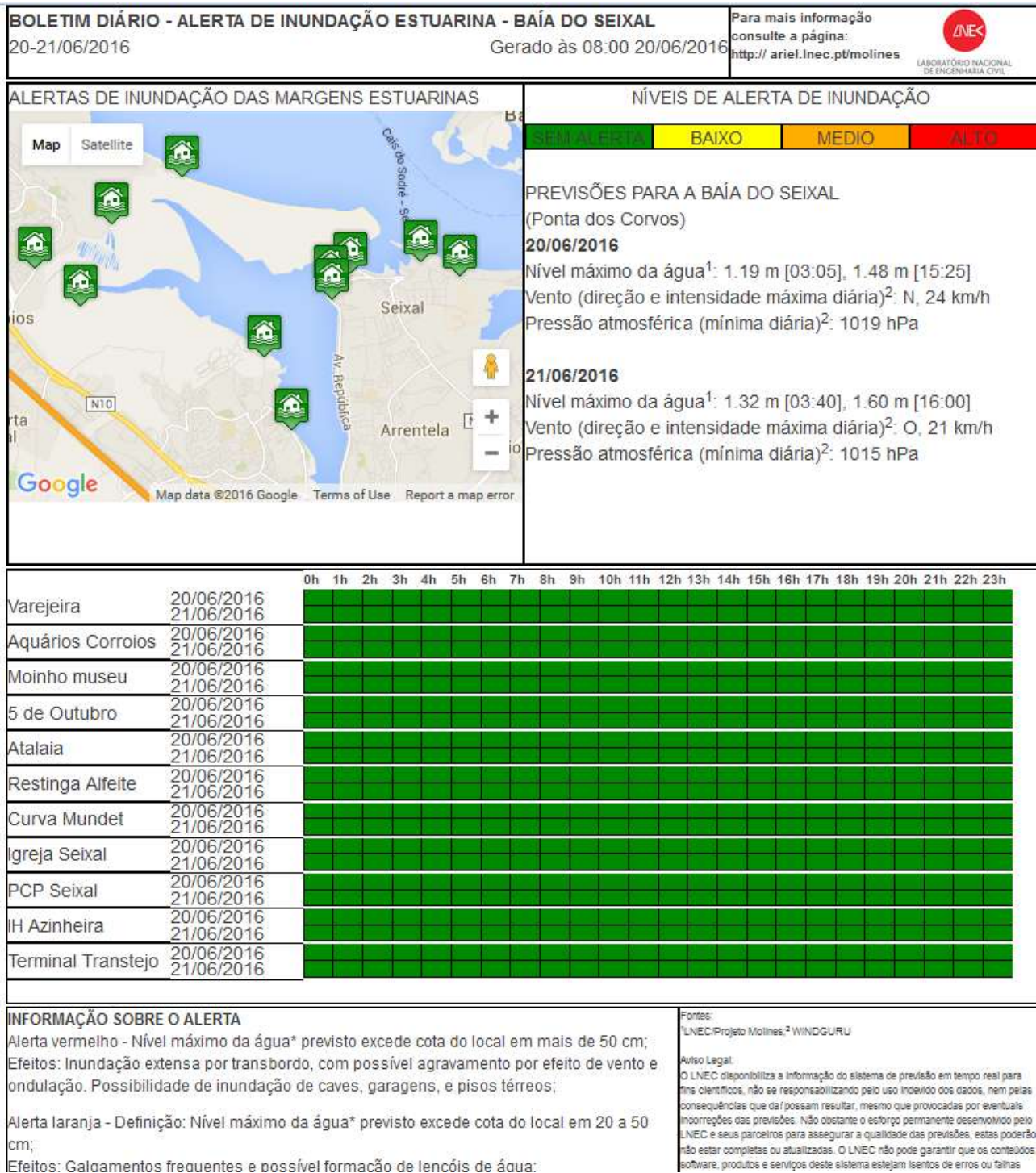
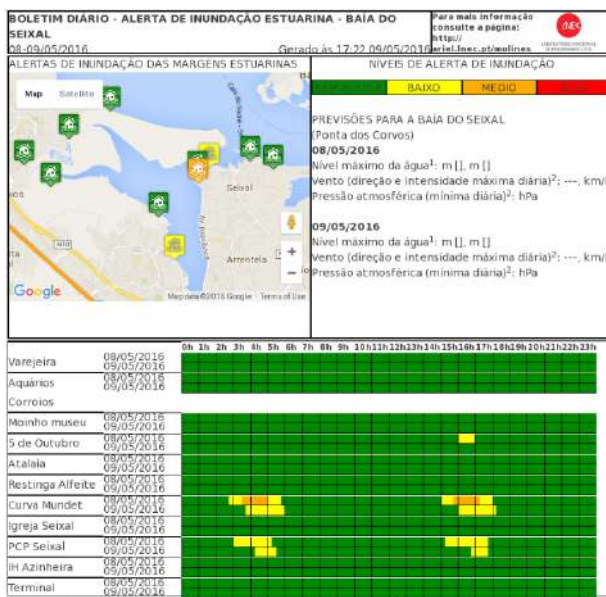


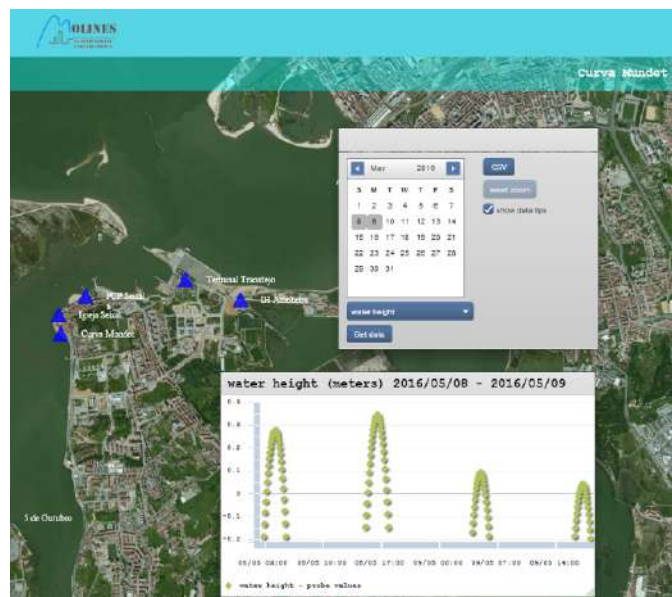
Figura 3. Continuação.

O sistema de alerta para as escalas mais finas foi concebido com base na noção de pontos críticos, onde o historial de eventos passados é grave e/ou os recursos em risco são elevados. Em cada ponto é calculada diariamente a previsão das alturas de água, com base nas previsões do modelo de circulação. Quando estas alturas ultrapassam o valor limite de inundação (definido ponto a ponto), emite-se um boletim de alerta (Figura 3), o qual fica disponível na plataforma WebSIG (descrita na próxima seção) e é também enviado às autoridades competentes por correio eletrónico. O nível de

alerta depende das alturas da água em cada ponto crítico, estando as respetivas séries temporais disponíveis para as entidades gestoras com a definição precisa dos níveis máximos expectáveis e os períodos expectáveis de inundação (Figura 4). O limite de inundação inclui ainda uma margem de erro para contabilizar a incerteza dos forçamentos, do modelo e da topografia (Figura 5). Esta margem de erro é definida consoante a precisão do modelo, avaliada em sede de validação do mesmo, e permite evitar a ocorrência de falsos negativos e dar robustez ao apoio à emergência.



a)



b)



c)



d)

Figura 4. a) Boletim de alerta para um evento de inundação; b) respetiva série temporal de alturas de água numa zona inundada; c) e d) fotos da zona inundada na Curva da Mundet, gentilmente cedidas pelos Serviços de Proteção Civil da C.M. Seixal.

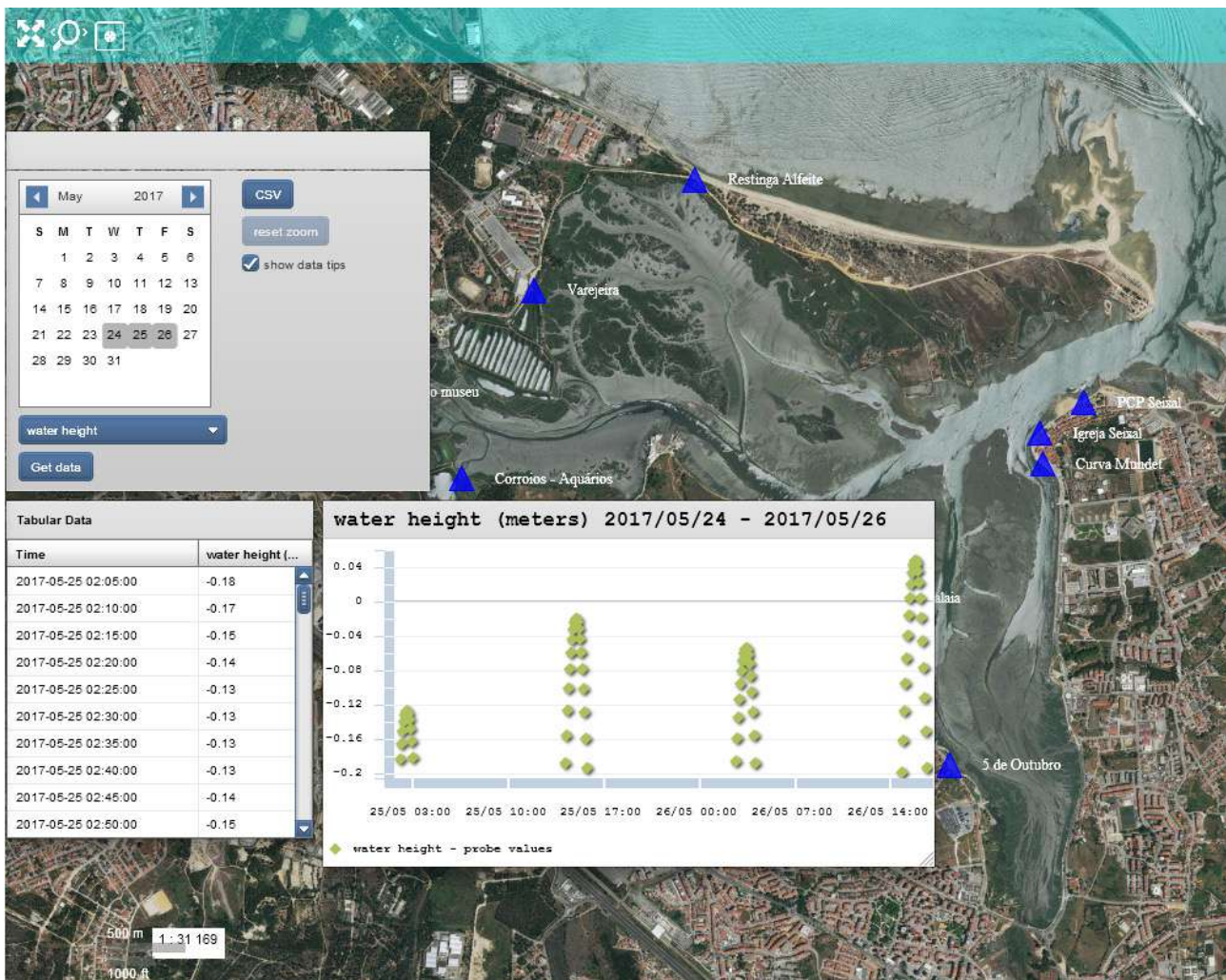


Figura 5. Séries temporais de alturas de água em zonas inundadas, ilustrando situações em que o nível de inundação está dentro da margem de erro do modelo e outras em que foi prevista inundação efetiva (i.e. quando as alturas de água previstas foram positivas, superiores à cota do terreno).

2.4 Plataforma WebSIG para gestão e apoio à emergência de inundações

Os resultados dos sistemas de previsão e monitorização são disponibilizados aos utilizadores através de interfaces *web*. Estas plataformas tiram partido de novas tecnologias para providenciar o acesso *online*, de forma intuitiva e georeferenciada, aos dados e previsões em tempo real, assim como a serviços customizados aos utilizadores, pré-definidos ou a pedido. O acesso pode ser livre (exemplo: <http://ariel.Inec.pt>) ou restrito às entidades gestoras (exemplo: <http://ariel.Inec.pt/molines>), de forma a assegurar a confidencialidade da informação.

No projeto MOLINES, os resultados da WIFF foram integrados numa plataforma *WebSIG* organizada ao longo de 4 eixos: 1) informação de alerta, às escalas regionais e locais; 2) previsões da inundação estuarina, com séries temporais em sensores virtuais

e produtos SIG das variáveis relevantes e validação com os dados *online*; 3) previsões em tempo real da inundação urbana; e 4) produtos de análise de risco, suportados por análise de perigosidade e de vulnerabilidade territorial.

Foi efetuada uma análise de exposição e impactos na Baía do Seixal (Freire *et al.*, 2016) e identificados os pontos críticos pelos serviços de proteção civil da Câmara Municipal do Seixal (Oliveira *et al.*, 2016). Esta análise constituiu a base da implementação do sistema de alerta, o qual foi validado operacionalmente com o evento de inundação em 8 de maio de 2016, onde a Curva da Mundet foi alagada (Figura 4), em concordância com as previsões. O alerta de inundação é apresentado de várias formas, quer mapeado freguesia a freguesia, quer de forma global para toda a baía.

A inundação é prevista diariamente através de simulações do modelo SCHISM, tendo em conta os efeitos acoplados das ondas e das correntes,

forçado por simulações regionais de ondas e de níveis (maré, vento e sobrelevação de origem meteorológica, Figura 1, Fortunato et al., 2017). Os mapas de inundação constituem um dos produtos detalhados disponíveis na plataforma Web, permitindo ao utilizador visualizar em ambiente SIG as zonas que são inundadas e a propagação da frente de inundação (Figura 6). Em locais pré-seleccionados, foram ainda definidos sensores virtuais, onde é possível visualizar e descarregar séries temporais das previsões de níveis dentro do domínio em estudo. Para melhor compreensão dos processos conducentes aos eventos de inundação, o utilizador pode ainda aceder às previsões forçadoras de ondas e níveis regionais e às previsões de precipitação.

Em termos tecnológicos, esta plataforma utiliza a *framework CakePHP*, bases de dados *PostgreSQL*, várias instâncias de *Geoserver* e um conjunto de *scripts Perl* e *Python* que asseguram funcionalidades não cobertas pelas componentes anteriores. O *Geoserver* gere e disponibiliza os mapas georreferenciados, armazenados em bases de dados *PostGIS*, e resultados dos modelos de previsão, em formato *shapefile*. A interface é uma aplicação Web, desenhada não só para computadores mas também para dispositivos móveis, que permite ao utilizador visualizar e interagir com a informação gerada, tirando partido de tecnologias web como *HTML5*, *CSS3*, *AngularJS*, *Google Polymer* e *OpenLayers* (Gomes et al., 2017).

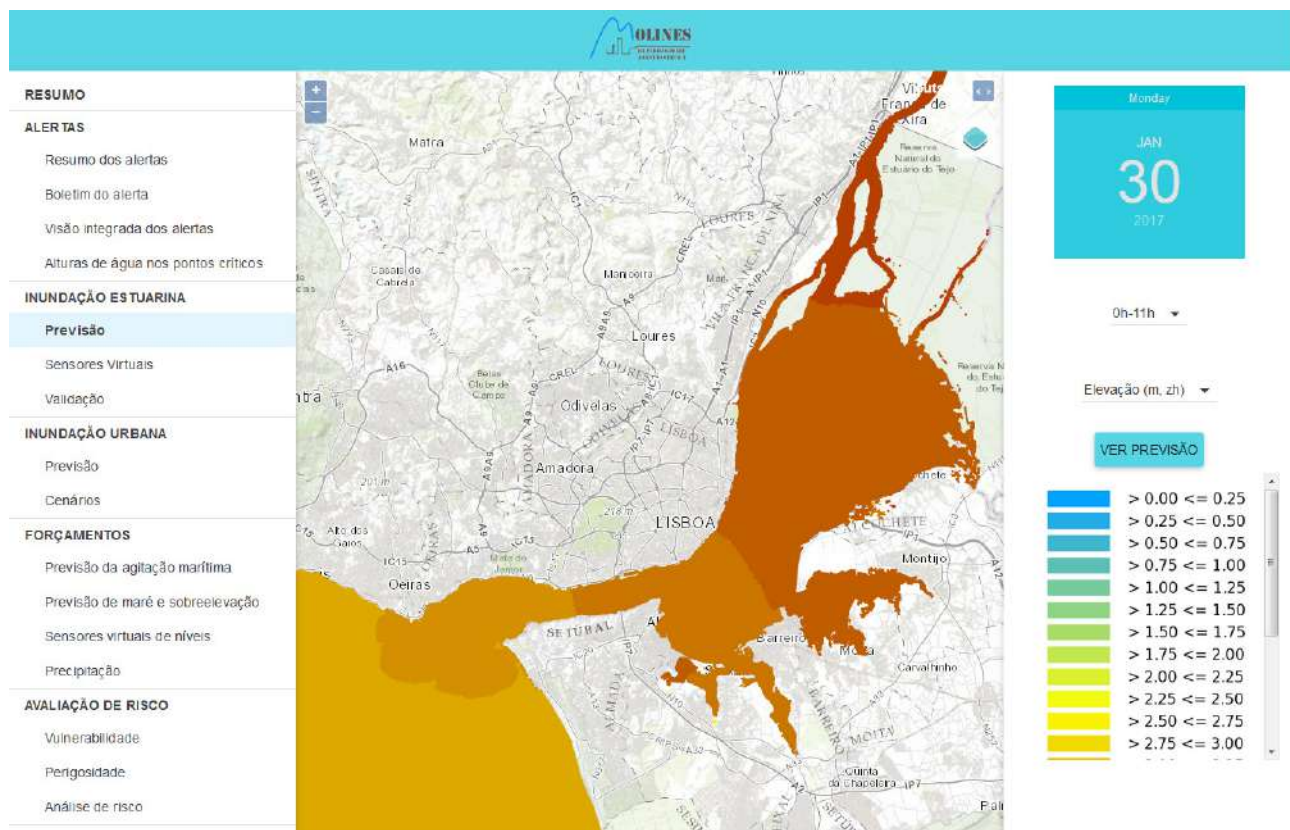


Figura 6. Previsão em tempo real dos níveis no estuário do Tejo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DIREÇÕES FUTURAS DE INVESTIGAÇÃO

Neste artigo apresentaram-se as linhas mestras da plataforma *WebSIG* do LNEC para suporte à gestão de meios aquáticos, ilustrando a sua flexibilidade e abrangência na previsão de eventos de inundação no estuário do Tejo. Esta plataforma é genérica e tem vindo a ser incrementalmente melhorada e alargada a um conjunto de processos aquáticos, desde a circulação e propagação da agitação marítima até à qualidade da água, frequentemente integrada em sistemas de apoio à gestão do risco. A sua operação é, no entanto, exigente, quer na aplicação a novos casos de estudo, quer na sua manutenção com fiabilidade e robustez, requerendo uma vasta equipa multidisciplinar que integra especialistas em processos aquáticos, em modelação numérica e em tecnologias da informação. Neste enquadramento, a capacidade de desenvolver e manter estes sistemas é restrita a algumas equipas em Portugal e tem custos significativos, sendo assim limitada a facilidade de se promover a sua adoção para todas as zonas costeiras e ribeirinhas em Portugal.

De modo a poder alcançar este objetivo para as zonas costeiras portuguesas, o LNEC está a desenvolver uma infraestrutura genérica que permita estabelecer, de forma interativa, por um utilizador com conhecimentos básicos de modelação, um sistema de previsão em tempo real da circulação costeira aplicado a um trecho da costa Portuguesa à sua escolha. Esta aplicação, designada *OPENCoastS* (Teixeira et al., 2017) e enquadrada no projeto FCT INCD (Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída - <http://www.incd.pt>), será suportada pela infraestrutura computacional do Roteiro Nacional de Infraestruturas e permitirá aos gestores da zona costeira usufruir de uma ferramenta avançada e amigável para gestão costeira. Permitirá ainda apoiar os agentes da Proteção Civil a antecipar eventos de inundação e planear a devida resposta.

Uma vez que o serviço *OPENCoastS* irá promover o paradigma de total acesso aos dados gerados, prevê-se que os sistemas operacionais gerados por este serviço alimentem uma base de dados global de resultados numéricos que, por sua vez, podem ser utilizados por todos os utilizadores em estudos climatológicos das zonas costeiras. Esta base de dados pode beneficiar ainda o sector privado, o qual pode desenvolver novos serviços e produtos alimentados pelos resultados dos sistemas de previsão em tempo real desenvolvidos no serviço *OPENCoastS*. Simultaneamente esta ferramenta será uma mais-valia para a comunidade

científica, permitindo uma melhor compreensão dos processos físicos, e para a formação avançada em engenharia costeira, permitindo aos alunos a compreensão do que é um sistema de previsão, seus requisitos de modelação e de como se podem estabelecer estas ferramentas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projetos UBEST (PTDC/AAG-MAA/6899/2014), MOLINES (PTDC/AAG-MAA/2811/2012), Piloto Cloud e Roteiro de Infraestruturas INCD (projeto nº22153), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), SI-GeA, financiado pela Agência de Inovação, e REALQUAL, financiado pela FLAD – Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento. A sexta autora é co-financiada pela bolsa SFRH/BPD/87512/2012 da FCT.

Os autores agradecem às equipas que desenvolvem os modelos WW3 e SCHISM a disponibilização dos seus modelos, à NOAA e ao Windguru pelas previsões atmosféricas e às várias entidades que detêm redes de monitorização em tempo real pela disponibilização dos seus dados. Agradecem ainda à ANPC e à Câmara Municipal do Seixal por todo o apoio prestado durante o projeto MOLINES. Agradecem também aos colegas do LIP e da FCCN/FCT o apoio e a disponibilização de recursos computacionais para as previsões dos vários projetos, e a todos os parceiros dos projetos MOLINES, SI-GeA e RealQual pelo apoio no desenvolvimento dos modelos e participação nas campanhas de campo.

REFERÊNCIAS

- Anselmi-Molina C.M., Canals M., Morell J., Gonzalez J., Capella J., Mercado A. (2012). Development of an operational nearshore wave forecast system for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Journal of Coastal Research*. 28:1049–1056.
- Azevedo, A., A.B. Fortunato, B. Epifânio, S. den Boer, E.R. Oliveira, F.L. Alves, G. Jesus, J.L. Gomes, A. Oliveira. (2017). An oil risk management system based on high-resolution hazard and vulnerability calculations. *Ocean & Coastal Management*, Volume 136, Pages 1–18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.014>.
- Baptista A.M. (2006). CORIE: the first decade of a coastal-margin collaborative observatory. *Oceans'06, MTS/IEEE*. Boston, MA, 6 pp, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4099047>.

- Daniel P., Josse P., Dandin P., Lefevre J.M., Lery G., Cabioc'h F., Gouriou V. (2004). Forecasting the prestige oil spills. *Proceedings of the Interspill 2004*, 17 pp.
- David L.M., Rodrigues M., Fortunato A.B., Oliveira A., Mota T., Costa J., Rogeiro J., Jesus G., Gomes J.L., Menaia J., David C., Póvoa P., Frazão A., Matos R.S. (2015). Chapter 1.4 Demonstration system for early warning of faecal contamination in recreational waters in Lisbon. In *Climate Change, Water Supply and Sanitation: Risk Assessment, Management, Mitigation and Reduction*. Hulsmann A. et al. (Eds), IWA Pub., p.18-23.
- Dietrich J.C., Zijlema M., Westerink J.J., Holthuijsen L.H., Dawson C., Luettich R.A. Jr, Jensen R.E., Smith J.M., Stelling G.S., Stone G.W. (2011). Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations. *Coastal Engineering*. 58:45–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2010.08.001>.
- Freire, P., Tavares, A.O., Sá, L., Oliveira, A., Fortunato, A.B., Santos, P.P., Rilo, A., Gomes, J.L., Rogeiro, J., Pablo, R., Pinto, P.J. (2016) A local-scale approach to estuarine flood risk management, *Natural Hazards*, 84/3: 1–35, <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-016-2510-y>.
- Fortunato, A.B., Oliveira A., Rogeiro, J., Costa, R.T., Gomes, J.L., Li, K., esus, G., Freire, P., Rilo, A., Mendes, A., Rodrigues, M., Azevedo, A. (2017). Operational forecast framework applied to extreme sea levels at regional and local scales. *Journal of Operational Oceanography*, 10/1: 1-15. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1255471>.
- Gomes, J.L., Jesus, G., Rodrigues, M., Rogeiro, J., Azevedo, A. and Oliveira, A. (2013). Managing a Coastal Sensors Network in a Nowcast-forecast Information System, *Proceedings of the Sixth Int. Workshop on Next Generation of Wireless and Mobile Networks (NGWMN-2013)*, 6 pages.
- Gomes J.L., Jesus G., Rogeiro J., Oliveira A., Costa R., Fortunato A. (2017). An Innovative Platform for Flood Risk Management, M. Grzenda et al. (eds.), *Advances in Network Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing 461*, 271-231.
- Herold S., Sawada M., Wellar B. (2005). Integrating geographic information systems, spatial databases and the internet: a framework for disaster management. *Proceedings of the 98th Annual Canadian Institute of Geomatics Conference*, p. 13–15.
- Kulkarni A.T., Mohanty J., Eldho T.I., Rao E.P., Mohan B.K. (2014). A web GIS based integrated flood assessment modeling tool for coastal urban watersheds. *Computers & Geosciences*. 64:7–14. doi:10.1016/J.CAGEO.2013.11.002.
- Oliveira, A., Jesus, G., Gomes, J.L., Rogeiro, J., Azevedo, A., Rodrigues, M., Fortunato, A.B., Dias, J.M., Tomas, L.M., Oliveira, E.R. Alves, F.L., den Boer, S., (2014). An interactive WebGIS observatory platform for enhanced support of coastal management. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 66, pp. 507-512, ISSN 0749-0208.
- Oliveira, A., Rogeiro, J., Gomes, J.L., Pinto, P., Fortunato, A.B., Freire, P., Costa, R.T., Sá, L., Pablo, R., Mendes, A. (2016). Plataforma integrada WebSIG para apoio à gestão da emergência em eventos de inundação em estuários, *Actas das 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 121-124.
- Rodrigues M., David L.M., Oliveira A., Fortunato A.B., Menaia J., Costa J., Mota T., Rogeiro J., Jesus G., Morais P., Palma J., Matos R. (2015). Chapter 3.9 On-line monitoring of CSO: sewer and receiving waters. In *Climate Change, Water Supply and Sanitation: Risk Assessment, Management, Mitigation and Reduction*. A. Hulsmann, G. Grützmacher, G. van den Berg, W. Rauch, A.L. Jensen, V. Popovych, M.R. Mazzola, L. S. Vamvakeridou-Lyroudia and D.A. Savic (Eds), IWA Publishing, p. 181-188. ISBN 9781780404998.
- Rogeiro, J., M. Rodrigues, A. Azevedo, A. Oliveira, J. P. Martins, M. David, J. Pina, N. Dias, J. Gomes. (2017). Running high resolution coastal models in forecast systems: moving from workstations and HPC cluster to cloud resources, *Advances in Engineering Software*, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.04.002>.
- Rossman L.A. (2007). *Stormwater Management Model User's Manual*.
- Teixeira, J.J. Rogeiro, A. Oliveira, A.B. Fortunato, A. Azevedo, M. Rodrigues (2017). OPENCoastS.pt – serviço de previsão em tempo real a pedido para a circulação e agitação marítima na costa portuguesa, 9as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, 19 pp, http://www.pianc.pt/Jornadas_novembro_2017/22AOliveira.pdf.
- Tolman H.L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III, version 3.14. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276, 194 p.
- Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.05.002>.



divulgação



VULTOS PORTUGUESES EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

Alberto Abecasis Manzanares

1915 - 2004

Maria Manuela Portela

Professora Associada do IST; Associada da APRH n.º 1192

NOTA PRÉVIA

Ciente de que a uma Escola da Universidade compete, para além do mais, preservar o património constituído pela memória da atividade dos seus professores que mais contribuíram para a elevar a uma posição de destaque, o então

Departamento Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico (IST) decidiu promover, em 2004, uma homenagem ao Professor Engenheiro Alberto Abecasis Manzanares. Tal homenagem compreendeu, entre outras iniciativas, a edição dos livros *Alberto Abecasis Manzanares e a Engenharia Hidráulica em Portugal* e *Alberto Abecasis Manzanares. Colectânea de Publicações Fac-Similadas* (Quintela & Portela 2004a,b), com forma de registar a personalidade e a contribuição de Alberto Abecasis Manzanares enquanto muito distinto Professor Catedrático e Investigador do IST e Engenheiro de Hidráulica e Recursos Hídricos de muito alto mérito.

No primeiro dos anteriores livros foram reunidas mais de 210 páginas com perto de 50 colaborações, sob a forma de textos de autor e depoimentos, na sua generalidade provenientes de antigos colaboradores na docência do IST e, muito pertinentemente, no exercício profissional da Hidrotécnica Portuguesa, Consultores para Estudos e Projectos, Lda. (HP), primeira empresa portuguesa de consultoria no domínio da engenharia civil, de que foi simultaneamente impulsionador e maioritariamente sócio fundador. O segundo livro apresenta, sob a forma fac-similada, grande parte do acervo bibliográfico legado pelo Professor Manzanares, concretamente 40 publicações. Apesar de não terem sido aí incluídas as duas dissertações de concurso para Professor Catedrático de Hidráulica do Instituto Superior Técnico, os numerosos textos policopiados de lições e, obviamente, os dois livros de autor, tal acervo atesta a sua invulgar estatura de investigador e de pedagogo, possuidor de sólido conhecimento e de rigoroso formalismo matemático e também, de engenheiro, interventor ativo no planeamento hidráulico.

O registo que agora se promove consubstancia, no essencial, uma síntese da informação contida nos mencionados livros, conforme, aliás, Quintela & Portela, 2004c, com o objetivo de destacar marcos da atividade profissional do Professor Alberto Abecasis Manzanares, bem como contribuições suas relevantes que, globalmente, tornam incontornável

o seu reconhecimento como destacado vulto português no domínio da hidráulica e dos recursos hídricos.

Uma vez que, no entretanto, nada há a acrescentar à sistematização longa e abrangente que consta das referências antes mencionadas, considerou-se que identificar sistematicamente ao longo do presente texto as fontes que sucessivamente o suportam mais não seria que duplicar informação desnecessária. Deste modo, as referências agora utilizadas restringem-se, apenas às que se revelaram necessárias para enquadrar aspetos específicos tratados no texto.

1. DADOS PESSOAIS E ACADÉMICOS

Alberto Vicente Virgínio João Abecasis Manzanares, também oficialmente identificado por Alberto Abecasis Manzanares, nasceu a 27 de Maio de 1915, em Aiamonte, Huelva, Espanha, sendo o mais velho dos sete filhos de Fernando Abecasis e de Maria Manuela Manzanares Yñiguez de Valdeosera – Figura 1.



Figura 1. Os pais de Alberto Abecasis Manzanares.

Fernando Abecasis, que à data do nascimento de Alberto Abecasis Manzanares estava colocado como cônsul de Portugal em Aiamonte, era neto de Joseph Abecasis, inglês de Gibraltar, originário da diáspora judaica portuguesa, que retornara a Portugal em meados do século XIX para dirigir as minas de S. Domingos (que tinham capitais

ingleses), tendo-se radicado em Vila Real de Santo António e casado com uma senhora portuguesa. O pai de Fernando Abecasis, José Abecasis Júnior (o mais velho dos oito filhos de Joseph), foi engenheiro civil pela Escola de Guerra, de Lisboa, engenheiro do Banco de Portugal e diretor da Companhia de Caminhos de Ferro do Sul e Sueste.

A mãe de Alberto Abecasis Manzanares, Maria Manuela Manzanares Yñiguez de Valdeosera, pertencia por via materna a uma ilustre família espanhola, cuja origem remontava ao rei de Navarra Yñigo Garcia, o qual, nos inícios do século VIII, fora, como Pelágio nas Astúrias, o chefe de um dos núcleos da resistência cristã à invasão islâmica da Península Ibérica.

Devido a transferências de seu pai, enquanto membro do corpo consular de Portugal, Alberto Abecasis Manzanares partiu de tenra idade para Demerara (Georgetown), capital da Guiana Inglesa, onde permaneceu até cerca dos três anos de idade. Seguiu-se Boston, nos Estados Unidos da América, por um período de três anos, e, finalmente Barcelona (Espanha), sensivelmente entre 1921 e 1931.

Em Barcelona realizou os seus estudos primários e secundários, tendo concluído o liceu, em 1930, ao completar quinze anos, no *Instituto Nacional de 2ª Ensenanza (Liceo Balmes)*. Em outubro desse mesmo ano foi aprovado no exame de aptidão universitária na Universidade de Barcelona (*Examen final de Bachillerato Universitario*). A partir desse momento, começou a preparar-se para concorrer à *Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, em Madrid. Tal preparação demorava em regra dois a três anos, em academias particulares, tais eram as exigências inerentes ao ingresso.

Contudo, em 1931, o cônsul Fernando Abecasis foi transferido para o Ministério dos Negócios Estrangeiros, em Lisboa, para onde se mudou com toda a sua numerosa família. Em Lisboa, Alberto Abecasis Manzanares desenvolveu diligências para ser admitido no Instituto Superior Técnico tendo, em setembro daquele ano, requerido ao Diretor do Instituto Superior Técnico (IST), o Professor Engenheiro Duarte Pacheco, que lhe fosse permitido apresentar-se ao exame de admissão ao IST. O requerimento revela o fraco conhecimento de que então dispunha da escrita em português, fruto de ter sido o castelhano a língua seguida nos ensinamentos primário e liceal que havia frequentado – Figura 2. O Engenheiro Duarte Pacheco terá recebido o candidato a aluno do IST numa construção precária localizada no estaleiro das futuras instalações do Instituto, junto da Alameda D. Afonso Henriques, e, após ter obtido resposta às questões que apresentou, deferiu a pretensão.

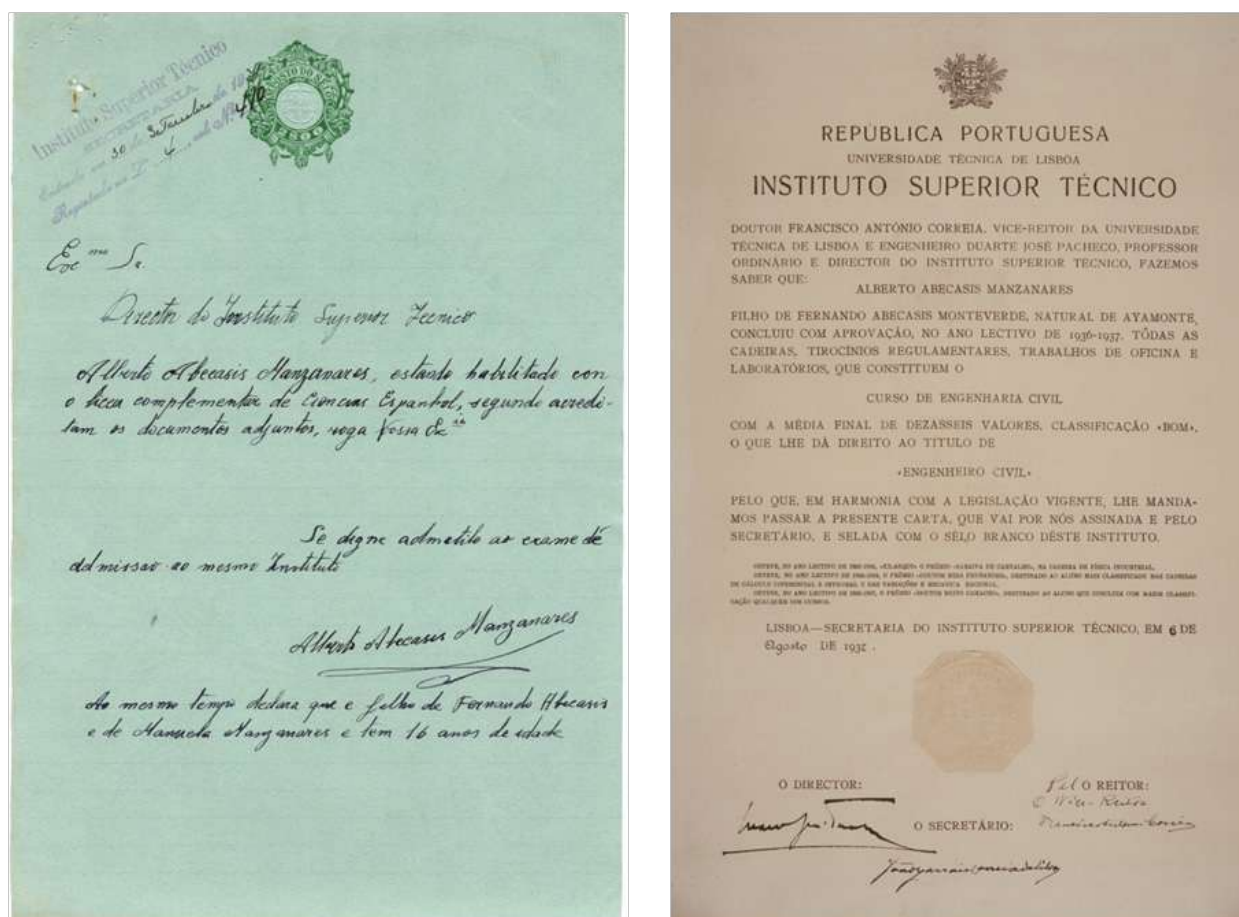


Figura 2. À esquerda, requerimento para o exame de admissão ao IST, Setembro de 1930, e à direita, carta de curso de Engenharia Civil, pelo IST, Agosto de 1937.

Alberto Abecasis Manzanares iniciou, assim, o curso de Engenharia Civil ainda no ano letivo de 1931/32 tendo-o terminado no ano letivo de 1936/37, com a média final de 16 valores (a melhor do curso) após ter realizado os três estágios regulamentares na Companhia das Águas de Lisboa (CAL), cada um com a duração de 20 dias. A segunda melhor média final foi a de Manuel Bravo, que obteve 15,5 e seguiu depois uma longa carreira docente no IST e profissional, fora do IST, nas áreas de estruturas, de betão armado e de construção.

Da carta de curso de Abecasis Manzanares constam os seguintes prémios com que foi distinguido pelas mais altas classificações obtidas – Figura 2:

- no ano letivo de 1933/34, o Prémio Saraiva de Carvalho, na cadeira de Física Industrial, atribuído *ex aequo* com Emídio Correia Guedes, e o Prémio Doutor Mira Fernandes, nas cadeiras de Cálculo Diferencial e Integral e das Variações, e de Mecânica Racional;
- no ano letivo de 1936/37, o Prémio Doutor Brito Camacho, destinado ao aluno com mais alta classificação, nesse ano, em qualquer dos cursos do IST.

A fraca saúde de seu Pai, já doente desde Barcelona, e a sua aposentação pouco depois, ainda no decurso do ano de 1931, apenas com 41 anos, resultaram em condições financeiras familiares precárias. Para ajudar a ultrapassar tais condições Alberto Abecasis Manzanares começou a trabalhar duramente logo a partir do início dos seus estudos universitários: primeiro, dando explicações e, mais tarde, a partir de 1 de novembro de 1934, empregando-se como calculador na Companhia das Águas de Lisboa. Aquelas explicações, que funcionavam fundamentalmente como cursos de preparação para o exame de admissão ao IST e que manteve para além de terminar o curso, foram muito conhecidas e frequentadas. A favor da admissão de Alberto Abecasis Manzanares como calculador na CAL terá intervindo Duarte Pacheco, conhecedor das extremas dificuldades económicas da família. Ficou, porém, estabelecido que os seus serviços na CAL seriam dispensados caso perdesse um ano escolar no IST, para o que à data bastava reprovar numa cadeira. Seu pai veio a falecer em 1938, com a idade de apenas 47 anos.

Ao contrário dos seus irmãos, Alberto Abecasis Manzanares tem os apelidos ordenados à maneira espanhola – primeiro o do pai e depois o da mãe – mas com tratamento corrente pelo do pai. Julga-se que, como aluno do IST e na Companhia das Águas de Lisboa, sempre foi tratado por Abecasis. No entanto, na Direção-Geral dos Serviços Hidráulicos, de que era Diretor-Geral seu tio, Engenheiro Duarte Abecasis, para evitar a confusão, foi tratado pelo apelido materno, Manzanares, facto que persistiu na docência no IST e na atividade profissional privada.

2. PERCURSO CIENTÍFICO-TÉCNICO. ENQUADRAMENTO GERAL

Como mencionado, em 1934, Alberto Abecasis Manzanares, aluno do 3º ano de Engenharia Civil do IST, ingressou, como calculador, na Companhia das Águas de Lisboa (CAL). Aí e na EPAL¹, que lhe sucedeu, exerceu atividade como engenheiro, de 1937 a 1968, e como consultor, de 1968 a 1988. A atividade de engenheiro assumiu, em geral, caráter nitidamente especializado e consistiu na elaboração de estudos e projetos de natureza diversa, bem como na direção da execução de obras.

Em 1937, pouco após a conclusão do curso, iniciou funções, como engenheiro de 3ª classe, na Administração Geral dos Serviços Hidráulicos e Eléctricos (posteriormente Direção-Geral dos Serviços Hidráulicos), onde veio a chefiar a Secção de Estudos de Hidráulica Fluvial e, mais tarde, a Repartição de Construção dos Serviços Fluviais, até tomar posse como Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico, em 1948.

Entre outubro de 1938 e maio de 1940, por iniciativa do Diretor-Geral dos Serviços Hidráulicos, foi bolseiro do Instituto para a Alta Cultura (IAC) em Itália e na Suíça. Naquele primeiro país frequentou o curso de aperfeiçoamento em Hidráulica do Instituto de Hidráulica da Universidade de Pádua tendo sido aprovado com as classificações de 98,7 em 100, na média das cadeiras, e de 100 em 100, no exame final. Na Suíça, estagiou, como assistente voluntário, no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica Federal de Zurique. Teve, assim, oportunidade de estabelecer contacto com grandes vultos da Hidráulica, muito em especial, com Ettore Scimemi e com Charles Jaeger. A formação que, deste modo, obteve influiu decisivamente no seu percurso técnico-científico posterior.

Entre 1948 e 1985, Alberto Abecasis Manzanares teve

uma ação brilhante como Professor Catedrático do IST. Promoveu um ensino de alta qualidade, ao nível do praticado em escolas estrangeiras de grande prestígio, que se baseava numa sólida formulação matemática, acompanhada de esclarecedora análise fenomenológica. Devese-lhe a introdução, na cadeira de Hidráulica Aplicada para Engenharia Civil, de matérias de hidrologia e de planeamento hidráulico, só mais tarde lecionadas em muito boas escolas de engenharia no estrangeiro.

A partir de 1949, prestou consultoria para a construção dos aproveitamentos hidroelétricos de Belver, da Caniçada e de Picote e, em 1951, apresentou o anteprojeto do aproveitamento hidroelétrico do Alvito, no rio Ocreza, concessionado à HidroElétrica Alto Alentejo, HEAA.

Concluído aquele anteprojeto, criou em 1953 o Gabinete de Estudos e Projectos Prof. Eng. Alberto Abecasis Manzanares. Iniciou nessa época a sua atividade de estudos de engenharia hidráulica para o continente africano com a orientação técnica das brigadas de estudos hidráulicos do Revuè (Moçambique) e da Guiné, em cumprimento dos contratos que celebrou com o Ministério do Ultramar, respetivamente, em 1955 e 1956. Associada à orientação da segunda daquelas brigadas, recebeu, em 1956, a incumbência de apresentar um relatório sobre a repercussão do aproveitamento de Kariba no regime do rio Zambeze e sobre a construção de um aproveitamento hidroelétrico nos rápidos de Cahora Bassa. Desta incumbência vieram a resultar a criação da Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze e a elaboração dos estudos do plano geral do Vale do Zambeze.

Perante os trabalhos que se perspetivavam para a HEAA, para as brigadas de estudos hidráulicos atrás mencionadas e, ainda, para a Missão do Zambeze, desempenhou o papel de figura principal na criação, em 1957, da primeira empresa portuguesa de consultores, a Hidrotécnica Portuguesa, Consultores para Estudos e Projectos, Lda. (HP), de que se manteve à frente, até 1996.

Na HP, Abecasis Manzanares impulsionou a valorização profissional dos seus colaboradores, quer pela exigência da qualidade dos trabalhos – o que os obrigava a estudo aprofundado de algumas matérias – quer pelo incentivo à participação em ações de formação e reuniões técnico-científicas e ainda à realização de trabalhos de investigação aplicada à resolução de problemas de projeto. Aos membros das equipas dava plena liberdade de atuação, mas com orientação firme, clara e convincente

Pode afirmar-se que a Hidrotécnica Portuguesa funcionou para muitos dos seus colaboradores

1 - Até 1981, Empresa Pública das Águas de Lisboa e, posteriormente, Empresa Pública das Águas Livres.

como uma instituição de pós-graduação. São numerosos os seus excolaboradores que ainda hoje se encontram em posições de destaque em universidades, instituições públicas e empresas de consultoria.

3. INVESTIGAÇÃO

Alberto Abecasis Manzanares desenvolveu uma notável atividade de investigação – e também de ensino universitário – que contribuiu decisivamente para o progresso dos conhecimentos de Hidráulica utilizados pelos engenheiros portugueses.

Na base dos resultados dessa atividade de investigação estiveram as suas altas qualidades de inteligência e a excelente formação, particularmente nas áreas da Matemática e da Física, obtida no curso de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, bem como a especialização em Hidráulica adquirida como bolseiro fora do País.

A oportunidade, proporcionada pelo Instituto para a Alta Cultura (IAC), de contacto próximo com meios universitários italianos e suíços, altamente especializados em Hidráulica e Recursos Hídricos em muito estimulou o seu natural pendor para encarar problemas científicos e técnicos com grande profundidade e numa perspetiva abrangente e com rigoroso formalismo matemático.

Observa-se que o exercício profissional e a investigação realizados por Abecasis Manzanares se influenciaram mutuamente e que contribuíram para que pudesse promover um ensino inovador de alto nível científico e técnico.

Na atividade de investigação de Abecasis Manzanares distinguem-se, pela importância dos resultados obtidos e pelas numerosas publicações que originaram, muito em especial dois períodos centrados, o primeiro, de 1939 a 1941, na Hidráulica Teórica, em especial dos escoamentos com superfície livre, e o segundo, de 1948 a 1958, na Hidráulica Aplicada, designadamente no planeamento hidráulico. Posteriormente a 1958, as suas publicações respeitam essencialmente a problemas do ensino de Engenharia, com ênfase, para a Engenharia Hidráulica, e a aspetos relacionados com a atividade profissional (Quintela & Portela, 2004b).

Até sensivelmente 1957 as publicações de Abecasis Manzanares tiveram lugar predominantemente na revista *Técnica*, da Associação de Estudantes do IST, e no *Boletim* (ou na *Revista*) *da Ordem dos Engenheiros* e corresponderam frequentemente a conferências, realizadas no IST e na Ordem dos Engenheiros, o que revela um acentuado empenho na difusão de

conhecimentos de Hidráulica entre os alunos e os profissionais de engenharia portugueses.

De entre os doze artigos essencialmente centrados na Hidráulica Teórica publicados na *Técnica* ou no *Boletim da Ordem dos Engenheiros* entre 1939 e 1941 a que acresce um outro artigo datado de 1943, quatro abordavam questões especializadas e, outros dois, referem-se à então “moderna” orientação do ensino de Hidráulica e à necessidade de criar em Portugal um laboratório para apoio ao projeto e ao ensino nessa área. Os restantes sete artigos traduzem os resultados da extensa e profunda investigação conduzida por Abecasis Manzanares sobre escoamentos permanentes com superfície livre, em canais, sobre soleiras descarregadoras de crista arredondada e em de caleiras Venturi. Desses artigos há a destacar muito especialmente os que se referem:

- ao método de cálculo de regolfo, por diferenças finitas, que desenvolveu para canais prismáticos com a restrição de não serem de secção fechada, Manzanares, 1941c;
- à consideração “inovadora” do efeito da “curvatura dos filetes líquidos” dos escoamentos, quer sobre soleiras descarregadoras arredondadas, quer em caleiras Venturi (para as quais dirigiu ensaios hidráulicos em modelo).

O efeito da curvatura já havia sido considerado num dos seus mais importantes trabalhos de investigação: a comunicação apresentada por Abecasis Manzanares em coautoria com Charles Jaeger à Academia das Ciências de Paris, publicada nos respetivos *comptes-rendus*, Jaeger & Manzanares, 1940.

Jaeger e Manzanares propuseram a inovação de considerar, relativamente a uma secção transversal de um escoamento plano com filetes curvos, o coeficiente β , dependente da distribuição da pressão e da velocidade nessa secção.

Aquele coeficiente, no caso de filetes retilíneos e paralelos (distribuição hidrostática da pressão), tem valor unitário e, no caso de filetes curvos, é menor ou maior que a unidade, consoante o sentido da curvatura. Varennes e Mendonça, nas suas publicações sobre regolfo, veio a designar β por coeficiente de Jaeger-Manzanares.

Introduzido o coeficiente β , a energia específica, H , define-se por

$$H = \beta h + \frac{\alpha Q^2}{2g\Omega^2} \quad (1)$$

em que Q e Ω representam o caudal e a área da secção transversal do escoamento.

Da equação anterior, aplicada ao escoamento em regime permanente numa secção transversal de geometria conhecida, resulta que:

- a um dado caudal corresponde uma energia específica mínima – regime crítico;
- a uma dada energia específica corresponde um caudal máximo escoado – regime crítico (o que confirmava o princípio referido por Belanger em relação ao escoamento sobre soleiras descarregadoras).

Jaeger e Manzanares, a partir da derivação da última equação, escrita na forma implícita, $\phi(H, Q, \Omega) = 0$, demonstraram a coincidência dos dois estados críticos, definidos a partir do caudal constante e da energia específica constante.

As publicações no âmbito da investigação em Hidráulica Aplicada (período 1948 a 1958) incidem essencialmente sobre orientações e medidas a adoptar no planeamento da utilização e do domínio da água em Portugal. Embora já compreendendo artigos em conferências nacionais e internacionais, continuam a privilegiar a revista *Técnica*, da Associação de Estudantes do IST, e o *Boletim* e as *Memórias* da Ordem dos Engenheiros.

A primeira dessas publicações (Manzanares, 1948a) contém uma classificação dos mais prementes problemas que se punham no País relativamente à utilização e ao domínio da água e regista a necessidade da elaboração de planos gerais – uma preocupação constante de Abecasis Manzanares – para permitir a utilização eficaz e integral das possibilidades hidráulicas do País, o que entende exigir, não só conhecimentos técnicos, mas também “*uma cultura geral, política, social e de geografia humana...*”.

As publicações Manzanares, 1952, 1955, fazem pressupor um vultuoso trabalho de recolha e tratamento de dados de natureza topográfica, hidrológica e económica. São altamente relevantes e inovadoras, em especial a primeira, pela análise do papel da água na política de fomento, pela avaliação do potencial hidroelétrico de Portugal, pelas orientações e princípios propostos para o planeamento hidráulico (e hidroelétrico, em especial) e pelo esboço de um plano geral de obras hidráulicas em Portugal.

Abecasis Manzanares procedeu a ampla investigação sobre as compensações térmica e hidráulica (esta promovida por albufeiras), que se tornavam necessárias em Portugal para assegurar a produção de energia permanente por sistemas de aproveitamentos hidroelétricos e sustentou

que “*a planificação da produção de energia deve ser feita na base da sua permanência anual e interanual, acompanhando a evolução do consumo e garantindo-o, mesmo nos anos muito secos.*”

A partir de resultados que obteve, definiu os seguintes critérios para classificar a capacidade útil de uma albufeira de um aproveitamento hidroelétrico, tendo por base a respetiva regularização específica, definida pelo quociente entre aquela capacidade e o escoamento anual médio afluente. Concluiu, assim, que para que uma albufeira pudesse promover regularização interanual a sua regularização específica teria de ser pelo menos igual a 2. Para valores da regularização específica entre 2 e 3 a albufeira poderia compensar, pelo menos em parte, aproveitamentos a fio-de-água. Tal compensação seria total e dita de inversão estival para regularizações específicas da ordem de 3 a 3,5, caso em que se poderia encarar o reforço das aflúncias mediante bombagem ou desvio de água a partir de bacias hidrográficas vizinhas.

Defende que a decisão de construir aproveitamentos hidroelétricos de regularização anual – cuja produção apresenta elevada variabilidade entre anos – só deveria ter lugar quando fosse necessário recorrer ao apoio térmico, uma vez saturadas as possibilidades de compensação hidráulica.

Especificamente no que respeita ao planeamento hidroelétrico, Alberto Abecasis Manzanares propõe: (i) a elaboração urgente, com critério uniforme, do inventário dos possíveis aproveitamentos hidráulicos em Portugal, que considerasse, dentro do razoável, todas as utilizações de que a água é suscetível e também o seu domínio; (ii) a consideração da hipótese de utilizar energia nuclear para compensar a irregularidade da produção hidroelétrica mediante a bombagem para criar armazenamentos em albufeiras que posteriormente possibilitassem a produção hidroelétrica, em épocas secas, à escala anual, ou em anos secos, à escala interanual; e (iii) a promoção de amplo entendimento sobre política energética entre Portugal e Espanha.

4. ENSINO

Na sequência da aposentação do Professor Catedrático de Hidráulica do Instituto Superior Técnico, Raul de Mendonça, no início do no letivo de 1942/43, foi aberto, em março de 1946, concurso para professor catedrático naquele domínio. Apresentaram-se a concurso os Engenheiros Civil Viriato de Noronha de Castro Cabrita e Alberto Abecasis Manzanares, tendo este último sido aprovado em primeiro lugar.

A 1 de maio de 1948, o Professor Catedrático Alberto Abecasis Manzanares iniciou, assim, uma carreira brilhante de professor do IST a qual terminou com a sua aposentação em 1985. Promoveu na Escola um ensino de alta qualidade, designadamente nas cadeiras anuais de Hidráulica Geral e de Hidráulica Aplicada, no qual incorporou resultados da investigação que realizou, em especial no âmbito dos escoamentos permanentes com superfície livre e do planeamento hidráulico.

A componente de Hidráulica Teórica da cadeira de Hidráulica Geral – Máquinas Hidráulicas, por ele lecionada dividia-se em duas partes: uma sobre Fundamentos Teóricos (em que utilizava boa fundamentação físico-matemática, a par de análise fenomenológica esclarecedora) e outra sobre Escoamentos Líquidos de diferentes tipos. O original dos textos correspondentes foi entregue pelo Professor Abecasis Manzanares à Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico (AEIST) e publicado em dois volumes de “Folhas”, em 1948 (Manzanares, 1948b). Tais volumes estiveram na base dos dois livros de autor do Professor Abecasis Manzanares, publicados pela AEIST em 1979 e 1980 (Manzanares, 1979, 1980) – Figura 3.

O programa da cadeira de Hidráulica Aplicada foi estabelecido pelo Professor Abecasis Manzanares no ano letivo de 1949/50 e compreendia Hidrologia e Hidráulica Aplicada, esta última dividida em duas partes: (i) Aproveitamentos Hidráulicos (Abastecimento de águas. Rega. Aproveitamentos hidroelétricos. Obras de captação. Obras de derivação); e (ii) e Domínio das Águas (Esgotos. Enxugo e recuperação de terrenos).

Constituiu inovação assinalável a introdução do ensino de Hidrologia e do planeamento hidráulico incluído na matéria de aproveitamentos hidroelétricos, por, então, tal ensino não estar generalizado em muitas boas escolas de prestígio.

As “Folhas” das lições de Hidráulica Aplicada foram coligidas por alunos da cadeira, com base nas lições proferidas pelo Professor Abecasis Manzanares, que as reviu, e publicadas pela AEIST no ano de 1949/50 (Manzanares, 1949/50). Revelavam, indiscutivelmente, o bom critério do Professor Abecasis Manzanares, quer para selecionar as matérias nelas incluídas, quer para dosear adequadamente a formação e informação. Em 1953 e em 1958 foram publicados adicionais às “Folhas” relativos à matéria sobre aproveitamentos hidroelétricos (Manzanares, 1953, 1958), incluindo uma descrição, bastante desenvolvida, dos diferentes tipos daqueles aproveitamentos e das obras e equipamentos, hidromecânicos e elétricos que os constituem, bem como de condicionamentos da sua exploração.

O Professor Abecasis Manzanares visava, na cadeira de Hidráulica Aplicada, não só transmitir conhecimentos, mas também incutir nos alunos uma atitude de engenheiro, traduzida pela capacidade de, ao estudar um problema, identificar e hierarquizar os parâmetros influentes e, ao analisar resultados de cálculos, proceder à sua confrontação com as ordens de grandezas obtidas mediante uma análise simplificada ou que a experiência própria faria esperar.

Pode afirmar-se com o maior rigor que o Professor Abecasis Manzanares, pelos seus conhecimentos



Figura 3. Capas, à esquerda, de *Hidráulica Geral. I – Fundamentos teóricos* e, à direita de *Hidráulica Geral. II – Escoamento líquidos* (Manzanares, 1979, 1980).

região, especialmente nos aspetos hidroagrícola e hidroelétrico, conjugados.

De acordo com a orientação do Professor Abecasis Manzanares foi realizada, de início, a inventariação dos recursos naturais da região, mediante a caracterização hidrológica, pedológica, florestal, pecuária e piscícola, e executados estudos de mercado de produtos agrícolas e de produtividade. No que respeita à ocupação humana, registase ter sido inovadora, nos antigos territórios portugueses em África, a proposta do Professor Abecasis Manzanares de prever cada exploração agrícola com dimensão para criar uma atividade rentável e geradora de desafogo económico e bem-estar entre os agricultores. Em simultâneo com a componente da aptidão agrícola da bacia do Revuè, a valorizar com a sua ocupação humana, era desenvolvida a experimentação (agrícola, silvícola, piscícola, zootécnica, sanitária e de pastagens) e o povoamento – Figura 5. A experimentação agrícola teve importância singular e incidiu sobre culturas cujo mercado estava garantido. Por seu turno, a Brigada do Revuè promoveu a construção de habitações, de sistemas de abastecimento de água e de esgotos, de estradas e de pontes.



Figura 5. Posto de experimentação de culturas de sequeiro e de regadio, no Sussundenga. Bacia hidrográfica do Revuè. Moçambique.

Iniciada em 1959, a ocupação humana na área da bacia hidrográfica do Revuè veio a ser atrasada em relação ao ritmo inicialmente previsto, pelos cortes nas dotações orçamentais da Brigada. Pela mesma razão, ficou adiada a construção da barragem de Sussundenga e da respetiva rede de rega. Mesmo assim, no fim da vigência de Segundo Plano de Fomento (1964), tinham entrado em exploração plena 52 herdades principais e 85 herdades secundárias.

Entre os estudos de planeamento que o Professor Abecasis Manzanares concebeu e orientou, um se

destaca pela natureza e volume do intenso trabalho realizado (entre 1956 e 1965), pela vastidão da área de intervenção (220 000 km²), pelas inovações introduzidas, que privilegiavam a visão integrada dos recursos disponíveis, muito para além do fator água, e pelos resultados alcançados, dotando Moçambique de um acervo valioso: o levantamento sistemático das potencialidades do Vale do Zambeze, que cobre quase 30% do território moçambicano – Figura 6. Dada a criação, em 1957, da Hidrotécnica Portuguesa, Consultores para Estudos e Projectos, Lda. (HP), foi fundamentalmente nesta firma que tal estudo se veio a desenvolver.

Bem de acordo com o pensamento do Professor Abecasis Manzanares, o estudo foi implementado em três fases: uma inicial, geral e sumária, cobrindo toda a região, a duas outras progressivamente mais pormenorizadas, incidindo sobre áreas e problemas selecionados nas fases anteriores e englobando anteprojetos de obras e planeamento dos empreendimentos anteriormente identificados como de maior interesse para o arranque do desenvolvimento do Vale do Zambeze.

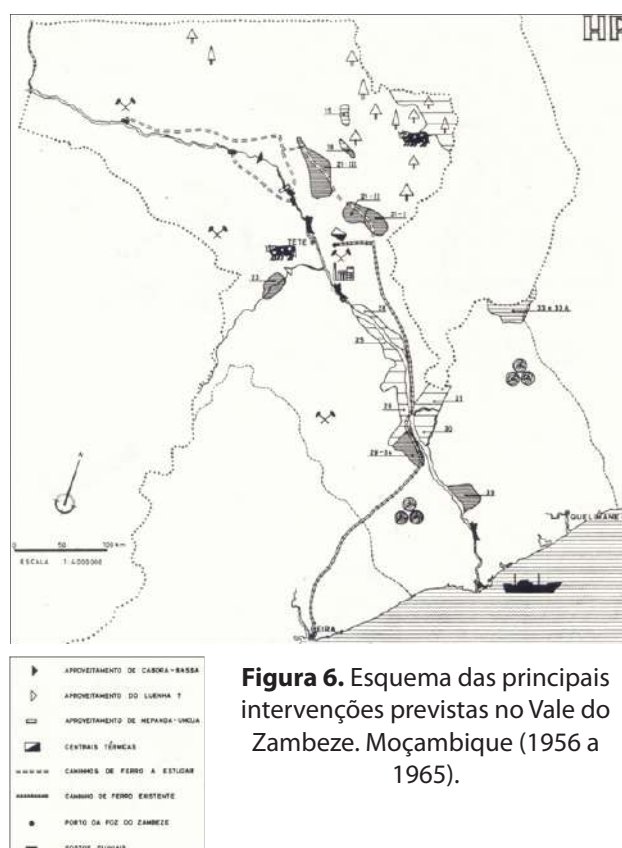


Figura 6. Esquema das principais intervenções previstas no Vale do Zambeze. Moçambique (1956 a 1965).

A dimensão dos estudos pode ser brevemente ilustrada pelos seguintes exemplos:

- Reconhecimento agrológico incidindo inicialmente sobre a área de 5,4 milhões de hectares, dos quais 2,5 milhões de hectares foram considerados aptos para o aproveitamento agrícola e cerca de 2,2 milhões, para a utilização silvo-pastoril e florestal. Por consideração de fatores climáticos, hidrológicos e associados às origens de água, a área total com possibilidade de ocupação intensiva foi fixada em 1,9 milhões de hectares, dos quais 1,5 milhões seriam aproveitáveis em regadio e apenas cerca de 300 000 ha, em sequeiro.
- Delimitação, no que respeita à ocupação florestal, das áreas ecologicamente mais aptas ao povoamento com espécies exóticas, das zonas com dominância de espécies de possível valorização e das zonas com formações vegetais mais ricas em espécies florestais de maior valor económico.
- Identificação de zonas aptas à exploração pecuária, quer pelo melhoramento de gado indígena, quer pela adaptação de gado exótico, para abate ou para produção de leite.
- Reconhecimento dos recursos mineiros do Vale do Zambeze, em face do papel perspectivado para as atividades extrativas no desenvolvimento da região. Das múltiplas mineralizações existentes refira-se o carvão, a fluorite, o ferro, o cobre e o manganés, das quais se destacavam as do carvão, pela sua importância e, em plano secundário, as de fluorite.
- Avaliação da possibilidade de produção de energia hidroelétrica no rio Zambeze e em alguns dos seus afluentes. O aproveitamento do rio Zambeze, com a produção anual garantida a ultrapassar 46 000 GWh, concretizar-se-ia pela construção de cinco escalões, caracterizados pelas seguintes potências permanentes garantidas: Cahora Bassa (1960 MW), Mepanda Uncua (1230 MW), Boroma (360 MW), Lupata (630) e o último a jusante de Lupata (1170 MW). Para além dos aproveitamentos do rio Zambeze, foram identificados nos seus afluentes 57 locais propícios à produção de energia hídrica, totalizando a potência permanente de cerca de 800 MW.
- Definição de sistemas de transportes (terrestre e fluvial) requeridos pelos recursos inventariados e pelos produtos da sua industrialização local.

Mas, à data, as intervenções de Abecasis Manzanares em África não se confinaram ao

território moçambicano. De facto, em 1956, o Ministério do Ultramar criou a Brigada de Estudos Hidráulicos da Guiné, com o objetivo de dar resposta ao agravamento do assoreamento gradual do trecho flúviomarítimo do rio Geba, na Guiné, com o conseqüente agravamento da inundação dos campos marginais e da dificuldade da navegação. A orientação técnica dessa Brigada coube ao Professor Abecasis Manzanares que foi também incumbido de desenvolver os necessários estudos e projetos. Tendo concluído que a elevação dos fundos verificada no trecho final do rio Geba – caracterizado por acentuada meandrização e marcada instabilidade – tinha causa nas aluviões transportadas, rio acima, pela maré e pelo macaréu, Abecasis Manzanares propôs a construção, junto da foz, de um açude que, além do mais, permitiria, não só manter o nível de água a montante a cota suficiente para a navegação, mas também instalar uma pequena central hidroelétrica para fornecimento parcial da energia requerida pelas estações de bombagem de enxugo. Para a proteção dos campos marginais e sua conseqüente capacitação para a agricultura preconizou a construção de diques de defesa, de coletores de encosta e de redes de enxugo das zonas defendidas. Previu, ainda, o estabelecimento de um plano integrado de ações tendentes à promoção humana, social e económica da região. De entre os empreendimentos previstos na primeira fase do plano, objeto de projetos, incluiu-se a instalação e a exploração de uma fazenda experimental, em Fá, com a área útil de 120 ha – Figura 7. Tal fazenda destinava-se à recolha de elementos de importância fundamental para os projetos das realizações das fases subseqüente do plano, quer do ponto de vista hidrológico e hidráulico (caudais de dimensionamento das redes de enxugo, das estações de bombagem e das redes de rega), quer, principalmente, como meio de investigação relativa à melhoria das condições de produção agrícola (culturas possíveis, produções, rotações, dotações e métodos de rega, utilização de mão de obra e mecanização) e, ainda, com vista à melhoria do nível alimentar das populações, de investigação sobre o fomento da piscicultura. Simultaneamente, a Fazenda Experimental de Fá constituía um centro de assistência técnica ao agricultor do Baixo Geba.

Além da execução das instalações residenciais e das infraestruturas requeridas pela Fazenda, incluindo as obras de defesa contra cheias, enxugo e rega, foram aí estabelecidos e lançados os programas de recolha e tratamento de dados meteorológicos e hidrológicos, bem como programas de ocupação e experimentação hidroagrícola, de experimentação

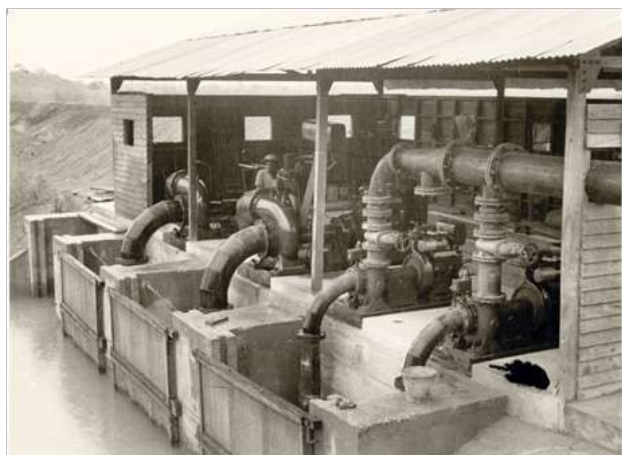


Figura 7. Fazenda experimental de Fá. Baixo Geba. Guiné. À esquerda, estação de bombagem (enxugo e rega) e, à direita, escritórios da Brigada de Estudos Hidráulicos da Guiné.

piscícola e de assistência ao agricultor local. Apesar da curta vida útil da Fazenda Experimental de Fá (que finalizou em 1963), os resultados obtidos, de ordem agrária, hidrológica e, notoriamente, de ordem social no apoio aos agricultores da zona, confirmam, em pleno, o acerto da orientação e da prioridade dada a este projeto por Alberto Abecasis Manzanares.

A finalizar a menção a intervenções de Abecasis Manzanares no planeamento em território africano e embora não respeitando a ordem cronológica adotada na apresentação, anotam-se os estudos de inventariação de recursos e de avaliação do potencial da bacia do rio Lúrio, desenvolvidos entre 1978 e 1980, por incumbência da Direção Nacional de Águas (DNA) da República de Moçambique. Os estudos de inventariação de recursos incluíram a caracterização hidrológica geral da bacia, a identificação de possíveis armazenamentos de água, a inventariação do potencial hidroenergético e a ocupação hidrológica. Os de avaliação do potencial de desenvolvimento visaram a estimativa sumária

dos recursos aquíferos subterrâneos e a obtenção de cartas de solos e da respetiva capacidade de uso e de cartas das regiões ecológicas e de recursos minerais.

Foram, assim, identificados dezassete locais com condições topográficas e geotécnicas adequadas ao abastecimento de água para rega e para a produção de energia elétrica (aproveitamentos com finalidade única ou com finalidades mistas), inventariados dois milhões de hectares com possibilidades de utilização agrícola e delimitadas zonas com capacidades de uso para a pecuária (2 500 000 ha), para a agropecuária (600 000 ha), para a silvicultura (100 000 ha) e para a atividade silvo-pastoril (10 000 ha).

De acordo com a conclusão dos estudos, as potencialidades inventariadas, sem atingir valores excepcionais, garantiriam à bacia do rio Lúrio um lugar de destaque na economia de Moçambique, desde que o planeamento do seu desenvolvimento e a passagem à fase das realizações fossem enquadrados por ações que permitissem avançar com segurança na promoção, a longo prazo, do meio físico, económico e social da região: ações visando o melhoramento da qualidade de vida das populações, um melhor conhecimento científico do território e corretas tomadas de decisão.

Entre 1971 e 1986, Abecasis Manzanares concebeu e orientou os estudos de outro grande plano geral, embora à escala de Portugal Continental: o plano geral de regularização do rio Tejo, destinado à sistematização fluvial e ao aproveitamento hidroagrícola, incluindo, na zona aluvionar, os anteprojetos sumários da defesa contra cheias, enxugo e rega de 70 000 ha e os projetos de execução necessários à beneficiação de 13 100 ha e, na zona dos terraços, os anteprojetos de rega de 135 000 há – Figura 8.

O amplo programa de estudos concebido e orientado pelo Professor Abecasis Manzanares decorria de três grandes princípios: a necessidade de ter uma visão global dos problemas da água na região, por forma a permitir corretas decisões sobre os seus usos concorrenciais e sobre as prioridades das realizações; a necessidade de os estudos se traduzirem num verdadeiro plano diretor de ordenamento hidráulico que garantisse uma perfeita integração de diferentes empreendimentos; e a necessidade de os estudos ultrapassarem os limites dos recursos hídricos e serem um contributo válido para a definição de toda a política de desenvolvimento regional.

Os estudos compreenderam ainda o anteprojetado e o projeto para concurso do aproveitamento de Almourol, de fins múltiplos, para regularização



Figura 8. Área abrangida pelo Plano Geral de Regularização do Rio Tejo (1971 a 1986).

dos caudais necessários à rega das aluviões e dos terraços do vale do Tejo, domínio da poluição e produção de energia elétrica (300 GWh em ano médio) em exploração conjugada com um sistema reversível em Castelo do Bode – Figura 9. Anota-se que, passados mais de 30 anos, o Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), lançado pelo Governo Português, em 2007, previa de igual modo um aproveitamento de Almourol para o qual não houve, contudo, candidaturas.

No plano geral de regularização do rio Tejo, foram ainda afloradas a possibilidade da construção de um outro aproveitamento de fins múltiplos no rio

Tejo, próximo da foz do Alviela, que, deslocando para jusante a captação de água no rio, reduziria os custos dos canais de adução para a rega dos terraços, e a hipótese, mais remota, de outro escalão a jusante da foz do Alviela, que permitiria, não só o aproveitamento energético total da queda disponível no rio Tejo, como também modular os caudais desmodulados pelo regime de exploração dos aproveitamentos de montante e tornar o rio navegável até Belver.

Praticamente em simultâneo com o plano geral de regularização do rio Tejo, concretamente, entre 1971 e 1988, e também sob a orientação de Abecasis Manzanares, decorreram os Planos Gerais de Política



Figura 9. Antevisão artística do aproveitamento hidroelétrico de Almourol, numa das localizações previstas. Vista de jusante, à esquerda, sem o aproveitamento e, à direita, com o aproveitamento.

da Água no Nordeste Transmontano e nas Bacias Hidrográficas do rio Tâmega e da Margem Esquerda do rio Douro – Figura 10. A área sujeita aos estudos de planeamento abrangeu a parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Douro situada a montante das confluências dos rios Tâmega e Paiva, incluindo as bacias hidrográficas destes rios.

Os estudos tiveram por objetivo caracterizar a situação de base e planear as medidas de caráter estrutural conducentes à prossecução de uma política de gestão integrada da água nas regiões mencionadas, que, apoiada na utilização racional dos recursos naturais e demais potencialidades existentes, fomentasse um desenvolvimento socioeconómico harmónico das bacias hidrográficas nelas compreendidas.

Para a conceção de tal política houve a preocupação de otimizar o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis para satisfazer as necessidades de água inerentes aos diversos setores daquele desenvolvimento e considerar, simultaneamente, a defesa contra os prejuízos que o excesso de água pode ocasionar. Entre as múltiplas finalidades de uso e controlo da água consideradas avultaram a rega, o abastecimento urbanoindustrial, a drenagem e a depuração de águas residuais para redução da poluição hídrica, a produção hidroelétrica, a sistematização fluvial e as atividades de recreio e turismo – Quadro 1.

Embora restringido ao âmbito do planeamento hidroelétrico, julga-se merecer registo o inventário de energia hídrica para Portugal Continental, executado entre 1980 e 1983, também sob a orientação direta de Abecasis Manzanares – Figura 11.

Anota-se que, já na década de quarenta, Abecasis Manzanares exprime a convicção de que o aumento da produção energética em Portugal, enquanto fator de fomento nacional e de bem-estar social, era inadiável. Em face da pobreza do País em

combustíveis sólidos e líquidos, defendia que aquele aumento teria necessariamente de apoiar-se na componente hidroelétrica para o que aponta como fundamental a avaliação da capacidade de produção de energia elétrica baseada nos recursos hídricos do País. Assim, fazendo uso de uma acuidade excepcional para perceber, por vezes, aparentemente de modo quase intuitivo, os “grandes números” com base em escassa informação, apresenta em 1952 (Manzanares, 1952) a primeira avaliação do potencial hidroelétrico teórico de Portugal Continental, que retoma e apura em trabalhos datados de 1956 (Manzanares, 1956a,b).

O inventário de energia hídrica teve por objetivo estimar os potenciais hidroelétricos teórico e efetivo, proporcionados pela totalidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas de Portugal Continental, mediante a instalação de centrais, não em termos tradicionais, de grande potência, mas de média e pequena potência, não incluídas nos planos da então Eletricidade de Portugal – EDP. Para o efeito, o inventário incidiu sobre a quase totalidade do território de Portugal Continental, tendo a realização dos trabalhos sido prevista em quatro fases: avaliação preliminar, inquérito, integração e planeamento e esquema geral de aproveitamentos

A primeira fase conduziu à avaliação dos potenciais hidroelétricos teórico e efetivo a fiodeágua e à sua distribuição por bacias hidrográficas e regiões. O potencial hidroelétrico teórico anual médio na área objeto do estudo foi estimado em cerca de 32 000 GWh, dos quais sensivelmente 21 300 GWh decorreram do estudo das curvas hidrodinâmicas e 10 700 GWh representavam a potencialidade dos grandes rios, incluindo os caudais provenientes de Espanha.

O potencial hidroelétrico efetivo anual médio correspondente ao potencial teórico obtido a partir das curvas hidrodinâmicas foi avaliado em cerca de

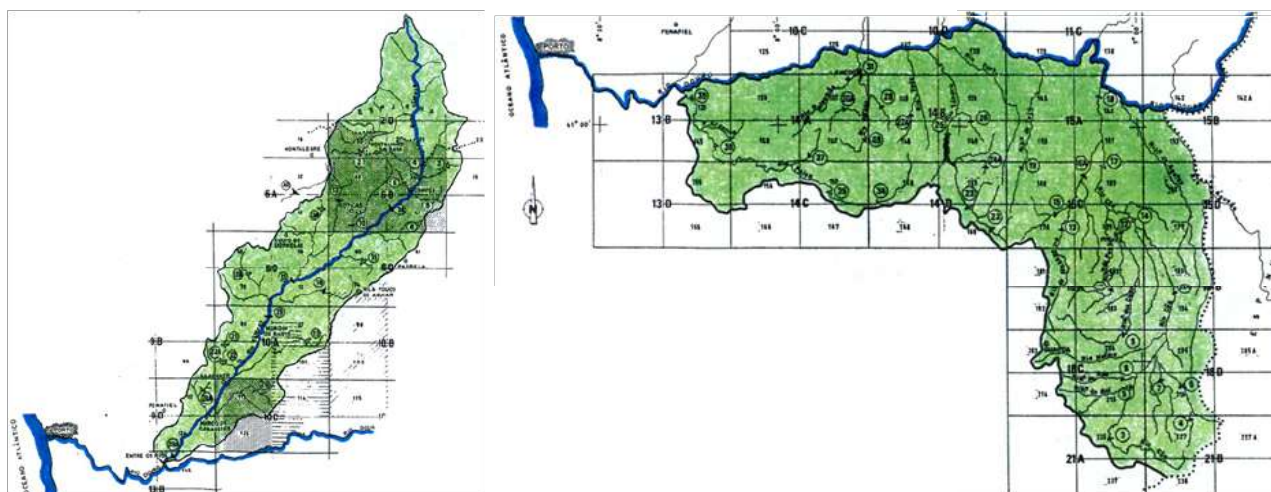


Figura 10. Bacias hidrográficas, à esquerda, do Tâmega e, à direita, da margem esquerda do rio Douro (1971 a 1988).

Quadro 1. Intervenções previstas para as hidrográficas do Tâmega e da margem esquerda do rio Douro.

	Nordeste Transmontano	Bacia hidrográfica do Tâmega	Margem esquerda do Douro
Número de aproveitamentos planeados (em geral de fins múltiplos)	55	22	31
Área a beneficiar por regadio (ha)	39 450	20 290	34 770
População a abastecer (hab.)	162 000	168 000	232 000
Energia anual média produtível (GWh)	61,1	87,9	94,5

13 900 GWh: 6 400 GWh, em pequenos e médios aproveitamentos explorados a fiodeágua, e o remanescente, em aproveitamentos da EDP.

Regista-se que a produção de energia em Portugal Continental no ano de 2001 ascendeu a cerca de 45 250 GWh repartida por cerca de 14 240, 30 770 e 240 GWh de origem, respetivamente, hídrica, térmica e eólica, o que, face aos resultados do inventário, sugere haver ainda apreciável capacidade hidroelétrica por realizar.

Na segunda fase do inventário foram identificados todos os aproveitamentos hidráulicos com componente hidroelétrica (existentes, previstos ou unicamente apontados) e registadas as características de tal componente por forma a permitir avaliar a parcela ainda disponível do potencial hidroelétrico efetivo. A terceira fase foi desenvolvida para a bacia hidrográfica do Alto Sabor a montante da confluência com o rio de Onor, considerada como modelo para avaliar as metodologias e os critérios a empregar no planeamento das possibilidades hidroenergéticas da rede hidrográfica nacional. Para tal zona, foi analisada a possibilidade de esgotamento da produção hidroelétrica, mediante a consideração de uma série de aproveitamentos, na sua generalidade, explorados a fiodeágua.

A finalizar, assinala-se que, em 1988, quando a produção de energia por setores privados foi objeto de enquadramento legal adequado (DecretoLei n.º 189/88, de 27 de Maio), os estudos de inventário da energia hídrica, associados aos de política da água em bacias hidrográficas do Continente – uns e outros dirigidos por Alberto Abecasis Manzanares – conduziram à identificação de alguns dos locais em que vieram a ser executados pequenos aproveitamentos hidroelétricos explorados a fiode-água.

6. PRINCIPAIS INTERVENÇÕES EM PLANOS E PROJETOS DE OBRAS HIDRÁULICAS

Mencionam-se, neste item, três intervenções relevantes do Professor Alberto Abecasis Manzanares que se julgam ilustrar a sua atividade para além do planeamento integrado de bacias hidrográficas ou de regiões relacionadas com o abastecimento de água à região de Lisboa e com os dois aproveitamentos hidroelétricos, o de Alvito e o de Cahora Bassa.

Na Companhia das Águas de Lisboa, CAL, Abecasis Manzanares dirigiu dois estudos importantes para o abastecimento de água a Lisboa: o Estudo

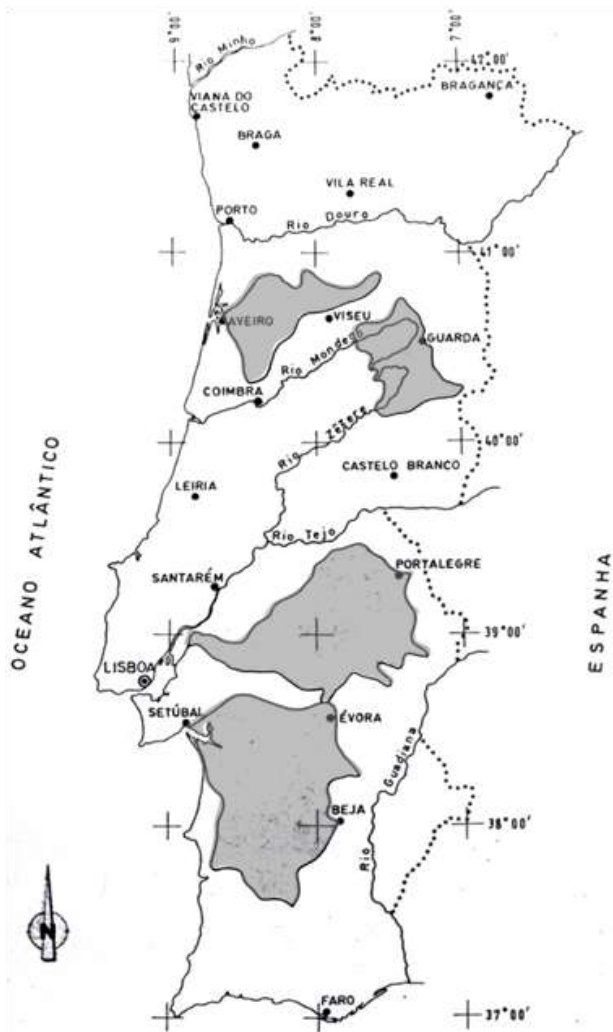


Figura 11. Inventário de energia hídrica. A sombreado identificam-se as áreas que não foram incluídas do estudo (1980 a 1983).

Prévio para a Ampliação do Abastecimento de Água à Cidade de Lisboa (1950) e o Plano Geral de Abastecimento de Água à Região de Lisboa (1962). No Estudo Prévio, depois da análise da evolução de consumos, anuais e críticos, foram estudadas soluções correspondentes a uma primeira fase que consistiria, essencialmente, no aumento da capacidade e no prolongamento do canal do Tejo e na captação de água no rio Tejo, na Boa Vista, bem como na execução de uma estação de tratamento de água, por filtração rápida. Uma vez saturada a capacidade do anterior sistema, Abecasis Manzanares previa o recurso à captação de água no Zêzere, na albufeira da Bouçã ou na do Cabril, sendo definidas quatro soluções correspondentes àquelas duas origens de água e a duas localizações da sua chegada à Lisboa. O Estudo Prévio evidencia uma clara preferência pelo recurso ao rio Zêzere relativamente à solução de captação no rio Tejo. O Plano Geral, que, tal como o Estudo Prévio,

admitia a captação de água numa daquelas duas albufeiras, compreendeu a previsão da evolução da população na região de Lisboa, o estudo, a nível de anteprojecto sumário, das infraestruturas hidráulicas necessárias (incluída a estação de tratamento de água, definida com base nos resultados obtidos numa estação piloto) e a estimativa de custos, quer das obras, quer da exploração do sistema. Era previsto o abastecimento de uma população de cerca de 2 600 000 habitantes, a atingir no ano 2000. É interessante registar que, na linha de pensamento multisectorial evidenciada por Abecasis Manzanares noutros estudos, os consumos foram previstos *“entrando em linha de conta com as necessidades da rega de hortelos e pomares anexos às habitações, da indústria caseira e do artesanato”*. O Plano Geral veio a ter prosseguimento num projeto em que Abecasis Manzanares não participou, mas cuja materialização, na década de 80, permitiu alcançar os objetivos que havia formulado.

De entre as demais intervenções de Abecasis Manzanares, merece também destaque o aproveitamento do Alvito, no rio Ocreza, objeto de estudos a nível de anteprojecto, em 1951 e 1954, e de projeto, em 1957 (Figura 12).

Em termos de componentes inovadoras, aqueles estudos concretizam, com clareza e convicção, orientações de base, presentes nas diferentes soluções preconizadas que advinham do reconhecimento, por Abecasis Manzanares: (i) da necessidade de conceber os novos centros electroprodutores integrados no planeamento a nível de conjuntos de bacias hidrográficas ou mesmo do País; (ii) do papel das albufeiras com grande capacidade útil na compensação da energia temporária dos aproveitamentos com reduzida ou inexistente capacidade de regularização; (iii) da vantagem do posicionamento daquelas albufeiras a montante de cascatas destes aproveitamentos, afetando, a estes últimos, uma energia garantida com pequeno ou nenhum acréscimo da potência instalada; e (iv) da possibilidade e da importância de utilizar energia sobranete do sistema hidroelétrico para bombar caudais para as albufeiras de regularização.

O sistema objeto do anteprojecto de 1951, quando integralmente executado, englobaria várias barragens, entre as quais a do Alvito, que criaria uma albufeira com elevada capacidade ($1\ 110 \times 10^6 \text{ m}^3$) que, entre outros aspetos, asseguraria a máxima utilização dos recursos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Ocreza e de outras bacias que com ela pudessem ser conjugadas, a compensação estival dos aproveitamentos a fiodeágua, existentes ou a prever no rio Tejo, e a compensação interanual do sistema electroprodutor nacional.

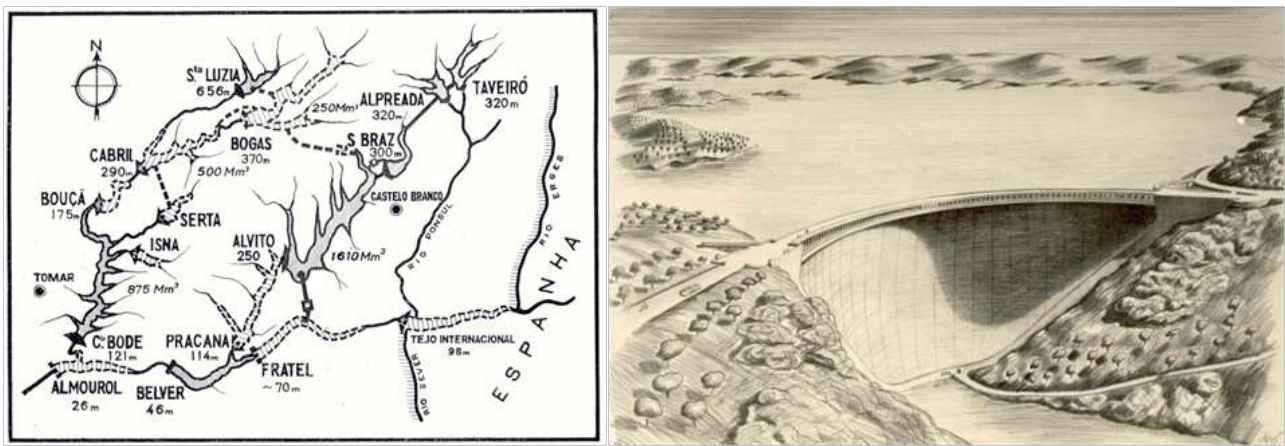


Figura 12. À esquerda, aproveitamentos direta ou indiretamente relacionados com o sistema do Alvito, de acordo com o anteprojeto de 1951, e, à direita, antevisão artística da barragem do Alvito.

No anteprojeto de 1954, Abecasis Manzanares retoma, no essencial, as características que havia anteriormente previsto, embora com o objetivo principal de tirar o maior partido possível da elevada capacidade de regularização da albufeira do Alvito, designadamente, prevendo a compensação de aproveitamentos a fiodeágua nas épocas e anos secos e a possibilidade de bombagem, para aquela albufeira e por utilização da energia sobran-te de Inverno de aproveitamentos a fiodeágua, de caudais do rio Tejo.

Regista-se que o anteprojeto de 1954 incluiu o anteprojeto da barragem de Fratel (Figura 13), concebida de modo a reduzir a obstrução à passagem de cheias no rio Tejo.



Figura 13. Antevisão artística do aproveitamento de Fratel no anteprojeto do Alvito de 1954.

Em 1956, os estudos do aproveitamento do Alvito estavam em desenvolvimento avançado, empenhando-se ativamente Alberto Abecasis Manzanares na sua defesa. Com efeito, o parecer n.º 2584 emitido pelo Conselho Superior de Obras Publicas (CSOP), em que foi dada prioridade à construção do aproveitamento do Alto Rabagão relativamente à do aproveitamento do Alvito, tem em anexo uma extensa declaração de voto do vogal Abecasis Manzanares em que, essencialmente, contesta, apresentando pormenorizada justificação, intervenções feitas nas sessões do CSOP, que classifica de tendentes a dar prioridade ao aproveitamento do Alto Rabagão, prioridade que se veio a verificar com a entrada em exploração deste aproveitamento em 1964.

O projeto de 1957 incide sobre a conceção apontada como mais vantajosa no anteprojeto de 1954, particularizando-a e adequando-a às normas, entretanto estabelecidas, pelo Repartidor Nacional de Cargas, quanto à determinação de energias marginais. Foi, assim, refeita a avaliação da produção hidroelétrica, em termos de produção marginal, considerando para o efeito a exploração coordenada de um elevado número de centrais hidroelétricas ligadas ou a ligar à rede elétrica de que a central do Alvito viria a fazer parte.

Anota-se que o Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), previa também um aproveitamento de Alvito (concessionado à EDP) o qual foi oficialmente cancelado, em consequência da reavaliação daquele Programa, em abril de 1966.

Por fim, menciona-se o aproveitamento hidroelétrico de Cahora Bassa. A contribuição muito significativa de Abecasis Manzanares para a decisão da construção desse aproveitamento teve início com o reconhecimento preliminar do Zambeze que,

por solicitação do Ministro do Ultramar, realizou, em 1956, e cujos resultados apresentou num relatório sobre as possibilidades do aproveitamento hidroelétrico – e possivelmente hidroagrícola – do rio Zambeze em Cahora Bassa – Figura 15. Concluiu o relatório existirem, na zona dos rápidos de Cahora Bassa, condições particularmente favoráveis para a construção de um então considerado mega aproveitamento hidroelétrico, que, dotado de uma albufeira de grande capacidade útil (mais tarde fixada em cerca de 52 000 milhões de m³), produziria uma energia garantida estimada em 22 000 GWh. Atendendo à escassez de elementos topográficos e hidrométricos de que Abecasis Manzanares pôde dispor, são surpreendentes as pequenas diferenças entre os valores então estimados para o caudal a garantir pela albufeira de Cahora Bassa e para a energia garantida por produção hidroelétrica e os que vieram a ser avaliados no projeto.

No seguimento do relatório citado, foi criada a Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze, destinada a promover a obtenção da informação de base necessária para a elaboração do Plano Geral do Zambeze e do aproveitamento de Cahora Bassa. A orientação técnica dessa Missão foi confiada à Hidrotécnica Portuguesa, HP, e exercida diretamente por Abecasis Manzanares, que, com o apoio de colaboradores daquela empresa, dirigiu a elaboração do programa de obtenção da informação, de natureza topográfica, hidrológica e geotécnica, necessária para os estudos do aproveitamento de Cahora Bassa.

Tais estudos compreenderam as seguintes fases: anteprojecto sumário (1961), anteprojecto (1964), projecto para concurso (1967) e projecto de execução (1970 a 1974).

Abecasis Manzanares dirigiu na HP a totalidade desses estudos, tendo nalguns casos participado na sua própria execução, designadamente quanto aos estudos hidrológico-energéticos e à concepção geral do aproveitamento.

Os estudos hidrológico-energéticos visaram essencialmente determinar o caudal de dimensionamento dos órgãos de descarga da barragem, a potência a instalar no aproveitamento e a produção de energia, garantida e temporária. Tais estudos tiveram grande desenvolvimento logo no anteprojecto de 1964. Note-se que, para a determinação do caudal de dimensionamento dos órgãos de descarga da albufeira, foi admitida a ocorrência, não de uma cheia isolada, mas de uma dada afluência anual com adequada repartição mensal.

A primeira fase do aproveitamento de Cahora Bassa foi concluída em Dezembro de 1974, apresentando a constituição seguinte:

- Barragem tipo abóbada com altura de 163,5 m, dotada de oito orifícios com a capacidade total de descarga de 13 100 m³/s, ocorrendo, no leito do rio, a dissipação da energia dos jactos descarregados – Figura 14.
- Central sul, subterrânea, equipada com cinco



Figura 14. Aproveitamento hidroelétrico de Cahora-Bassa. Vistas de jusante, à esquerda, e de montante, à direita.

grupos com a potência unitária de 400 MW (cada turbina absorvendo o caudal máximo de 452 m³/s) e alternadores trifásicos – Figura 15.

- Circuitos hidráulicos subterrâneos compreendendo, a montante das turbinas, cinco galerias forçadas, cada uma para alimentar a respetiva turbina, e, a jusante, dois sistemas de chaminé de equilíbrio e galeria de fuga, um para duas e o outro para três turbinas.
- Subestação.

Uma segunda central subterrânea foi prevista na margem oposta com quatro grupos análogos aos da primeira (anteprojecto da central norte, de 1969). Para a construção da barragem foi necessário proceder ao desvio provisório do Zambeze através de duas galerias, uma em cada margem, e utilizar duas ensecadeiras, previstas para serem galgadas por caudais elevados, sem danos.

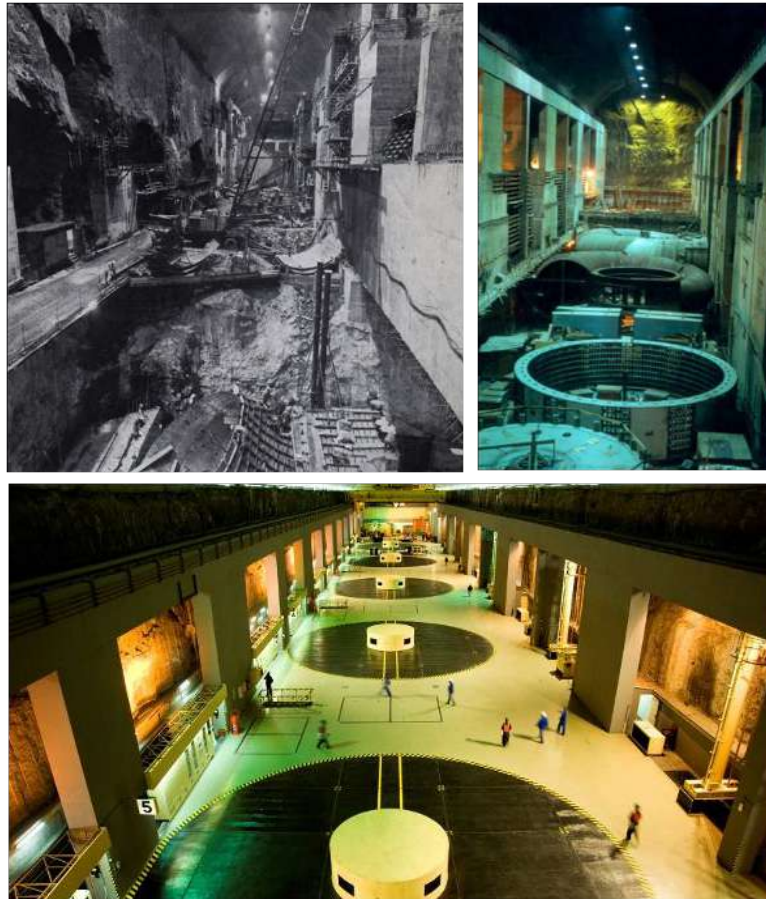


Figura 15. Aproveitamento de Cahora Bassa. Central sul, em cima, durante a construção, em baixo, visão do piso principal.

As obras subterrâneas implicaram a escavação de cavernas e de galerias de grandes dimensões, possibilitada pelas excelentes qualidades mecânicas do maciço envolvente, de gneisse granitóide.

7. DISTINÇÕES

- Prémios enquanto aluno do IST devidos às mais altas classificações obtidas: Prémio Saraiva de Carvalho, na cadeira de Física Industrial (*ex aequo*), Prémio Doutor Mira Fernandes, na cadeira de Cálculo Diferencial e Integral e das Variações e na cadeira de Mecânica Racional, e Prémio Brito Camacho, na média final de curso, em qualquer das especialidades do IST.
- Doutor Honoris Causa pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 1967 – Figura 16.
- Prémio de Investigação Manuel Rocha em 1992, por se ter distinguido de modo excepcional em atividades de investigação ligadas à Engenharia Civil (Laboratório Nacional de Engenharia Civil).
- Outorga do Grau de Grande Oficial da Ordem da Instrução Pública, em abril de 2004.

- Prémio Professor Alberto Abecasis Manzanares, instituído, em 2004, pelo Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico (primeira edição em 2004 e oitava edição em 2017).

8. CONSELHOS E COMISSÕES

Por inerência do lugar de Professor Catedrático de Hidráulica do IST ou nessa qualidade teve as seguintes participações em conselhos e organismos ou associações técnico-científicas:

- Vogal do Conselho Superior das Obras Públicas (mais tarde também dos “Transportes”), de 1955 a 1985. Ao terminar, por imperativo legal, o seu último mandato mereceu o seguinte louvor do Ministro do Equipamento Social (Engenheiro Carlos Melancia): “... é meu dever agradecer em nome do Governo ao Professor Alberto Abecasis Manzanares a colaboração com que honrou ao longo dos anos o Ministério e conferir-lhe público louvor pelo alto mérito que a caracterizou” (Diário da República, II Série – n.º 177, de 03.08.1985).
- Junta de Energia Nuclear, criada em 1954:



Figura 16 – Diploma de Doutor Honoris Causa pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 1967, de Alberto Abecasis Manzanares.

- a partir de 5 de abril de 1954, um dos dezoito vogais da referida Junta, dirigida pelo presidente e pelos vogais;
- a partir de 1958, após a reformulação da Junta, um dos vinte e um membros do Conselho Consultivo, tendo sido reconduzido por períodos trienais, a última vez conhecida em 1965;
- representante de Portugal no Grupo de Trabalho da Sociedade Europeia de Energia Atômica (espécie de clube privado, que, sem contactos com a imprensa e sem produzir publicações, reunia um representante de cada um dos países europeus com organismos de investigação relacionados com a energia atômica), com participação em onze reuniões, de 1955 a 1961;
- participante na primeira e segunda Conferências Internacionais das Nações Unidas sobre Usos Pacíficos de Energia Atômica, realizadas em 1955 e 1958, com uma comunicação a cada uma dessas conferências.
- Membro do Centro de Estudos Económicos (da Presidência do Conselho), de 1955 a 1975.
- Presidente da Secção Portuguesa da Associação Internacional de Hidrologia Científica, a partir de 1957.
- Vogal efetivo do Conselho Consultivo da Direção-Geral dos Serviços Hidráulicos, de 1961 a, pelo menos, 1974.
- Membro da Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, a partir de 1965.
- Membro da Comissão Nacional Portuguesa de Irrigação e Drenagem, a partir de 1965.

9. ASSOCIAÇÕES CIENTÍFICAS E TÉCNICAS

- Membro da Ordem dos Engenheiros.
- Sócio Correspondente Estrangeiro (Classe de Ciências Matemáticas e Naturais) da *Accademia Patavina di Scienze Lettere ed Arti* (atual *Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti in Padova*) – Figura 17.
- Associação Internacional de Investigações Hidráulicas.
- Associação Internacional Permanente dos Congressos de Navegação.

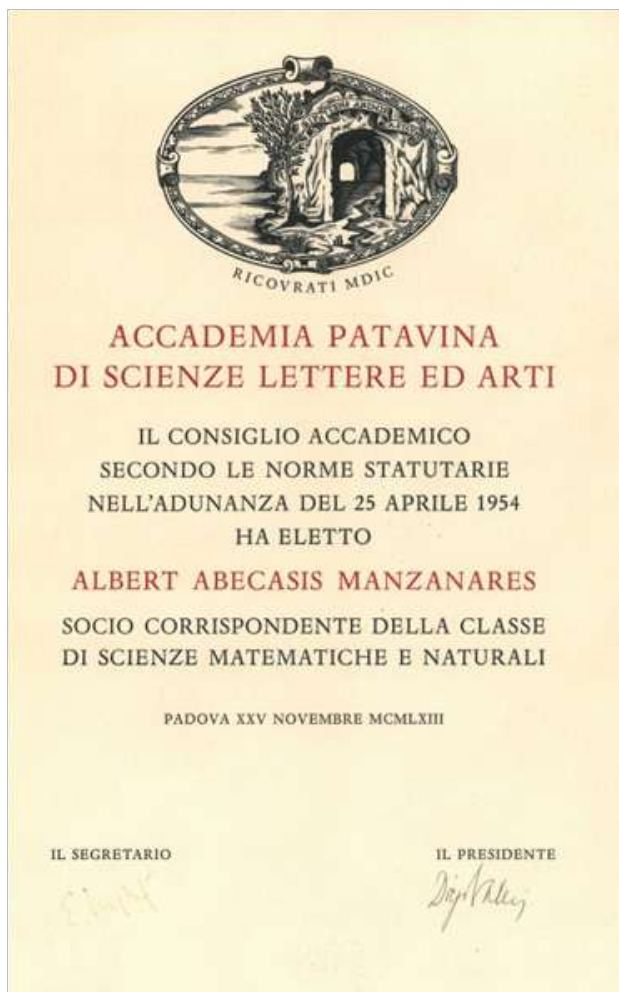


Figura 17. Documento referente à eleição de Alberto Abecasis Manzanares como Sócio Correspondente Estrangeiro (Classe de Ciências Matemáticas e Naturais) da *Academia Patavina di Scienze Lettere ed Arti*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Jaeger, C., & Manzanares, A.A., 1940. Le théorème de la simultanéité du minimum de l'énergie totale et du débit maximum dans le cas d'un écoulement plan permanent à filets courbes. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, note présentée par M. Charles Fabry, tome 210, pp. 729-731, séance du 27 mai, Paris.

Manzanares, A.A., 1941a. Contribuição ao estudo de alguns problemas hidráulicos. *Boletim da Ordem dos Engenheiros*, n.º 55, pp. 224-241, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1941b. Contribuição ao estudo de alguns problemas hidráulicos (Continuação do número anterior). *Boletim da Ordem dos Engenheiros*, n.º 56, pp. 266-270, continuação de Manzanares, A. Abecasis, 1941a, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1941c. Contribuição ao estudo de alguns problemas hidráulicos. Movimento permanente gradualmente variado. Estudo geral do regolfo (Continuação do número anterior). *Boletim da Ordem dos Engenheiros*, n.º 57, pp. 287-303, continuação de Manzanares, A. Abecasis, 1941b, Lisboa. Conferência na sede da Ordem dos Engenheiros em 19 de Março de 1941, respeitante a Manzanares, A. Abecasis, 1941a, 1941b e 1941c.

Manzanares, A.A., 1941d. Plano geral de regularização do rio Lis e afluentes (resumo). *Anuário dos Serviços Hidráulicos de 1941*, pp. 89-125, Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos e Eléctricos, Imprensa Nacional, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1948a. Elementos para o estudo duma política hidráulica em Portugal Continental. *Técnica*, n.º 186, pp. 59-76, AEIST, Lisboa. Conferência na Ordem dos Engenheiros.

Manzanares, A.A., 1948b. *Hidráulica Geral e Aplicada*. Texto das lições de Hidráulica Geral elaborado por A. A. Manzanares, Vol. 1 (Cap. I a XIV), pp. 1-279; Vol. 2 (Cap. XV a XVII), pp. 280-477, Secção de Folhas da AEIST, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1949/50. *Hidráulica Aplicada – 1ª Parte: Aproveitamentos Hidráulicos* (I–Abastecimento de águas; II–Rega; III–Aproveitamentos hidroeléctricos; IV–Obras de captação; V–Obras de derivação). *2ª parte: Domínio das Águas* (I–Esgotos; II–Enxugo e recuperação de terrenos). Texto das lições coligido por António de R. Valada Fernandes, António R. Brandão da Graça, Fausto Batista Costa, Luiz de Cunha Ferraz, Nelson de Vasconcelos Montes, 483 pp., Secção de Folhas da AEIST, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1952. Princípios orientadores do planeamento hidráulico. *Memórias da Ordem dos Engenheiros*, Vol. 1, Fasc. I, pp. 1-58, Lisboa. Quatro conferências proferidas na sede da Ordem dos Engenheiros entre 7 de Fevereiro e 21 de Novembro de 1952.

Manzanares, A.A., 1953. *Aproveitamentos Hidroeléctricos* (cadeira de Hidráulica Aplicada). Texto das lições (sem indicação de quem as coligiu), 100 pp., Secção de Folhas da AEIST, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1955. Possibilidade da industrialização. Disponibilidades de energia. *I Congresso dos Economistas Portugueses*, 40 pp., Lisboa.

Manzanares, A.A., 1956a. Power Sources and Requirements in Portugal. *Proceedings of the First UN International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*. Vol. I, P/1083, pp. 224-228, Genève.

Manzanares, A.A., 1956b. Princípios gerais a considerar nos programas de realização de novas fontes de produção de energia eléctrica. *Boletim da Ordem dos Engenheiros*. Vol. V, N° 3, Memória 135, 3 pp., Lisboa.

Manzanares, A.A., 1958. *Aproveitamentos Hidroeléctricos* (cadeira de Hidráulica Aplicada). Texto das lições coligido pelo Eng. Luís M. Ferreira de Castro, 158 pp., Lisboa.

Manzanares, A.A., 1979. *Hidráulica Geral. I – Fundamentos Teóricos*, 246 pp., AEIST, Lisboa.

Manzanares, A.A., 1980. *Hidráulica Geral. II – Escoamentos Líquidos*, 373 pp., AEIST, Lisboa.

Quintela, A.C., & Portela, M.M. (eds.), 2004a, *Alberto Abecasis Manzanares e a Engenharia Hidráulica em Portugal*, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura (IST/DECivil), 212 pp., ISBN 972 98994 1 X, Lisboa.

Quintela, A.C., & Portela, M.M. M.M., (eds.), 2004b, *Alberto Abecasis Manzanares. Colectânea de publicações fac-similadas*, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura (IST/DECivil), 630 pp., ISBN 972 98994 0 01, Lisboa.

Quintela, A.C., & Portela, M.M. 2004c, A contribuição inovadora de Alberto Abecasis Manzanares para o progresso da Hidráulica e para a valorização dos recursos hídricos em Portugal, *7º Congresso da Água*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa.

Água: a importância de um líquido improvável

Carlos C. Romão

Professor catedrático aposentado, ITQB NOVA, ccr@itqb.unl.pt

Tenho o privilégio de viver num sítio onde a janela sul me desvenda uma vastidão atlântica, mais ou menos azulada, para a qual converge a majestosa fita líquida do Tejo. Para além da beleza, nada disto é extraordinário visto que a água é a substância mais abundante no nosso planeta, cobrindo cerca de 71% da sua superfície. A sua composição química, H_2O , inclui o primeiro (hidrogénio) e o terceiro (oxigénio) elementos mais abundantes no Universo, pelo que também não é improvável que a água seja a terceira substância mais abundante no Universo.

Alguma publicidade recorda-nos que somos constituídos por 70% de água mas ninguém precisa de ser lembrado de que sem água não há vida.

Perante tanta água que sentido faz o título deste texto? Se não é pela sua raridade que a água é improvável então porque será? Yuan T. Lee, Prémio Nobel da Química em 1986, diz porquê [1]:

“A água é esquisita. É um líquido, quando deveria ser um gás; expande quando deveria contrair; e dissolve quase tudo que toca, se tiver tempo suficiente. No entanto, sem a esquisitice da água, a Terra deveria ser mais uma bola de gelo sem vida no espaço.”

Aos olhos de um esquimó, é perfeitamente provável que partindo a superfície gelada de qualquer lagoa se encontre água líquida e, com sorte, peixes a nadar. No entanto, aos olhos de um químico que preparou e estudou muitas outras substâncias líquidas, isso é perfeitamente improvável.

De facto, o arrefecimento da esmagadora maioria dos líquidos leva a que a parte solidificada seja mais densa do que o líquido e se afunde, mantendo-se a superfície no estado líquido até que eventualmente

todo o volume solidifique. Por outras palavras, os líquidos normalmente congelam de baixo para cima. Na água, tal não acontece: o gelo é menos denso do que a água líquida e mantém-se à superfície. Como é um excelente isolante térmico, impede que o frio congele as zonas mais profundas, onde o esquimó encontra o peixe vivo.

Nesta natureza diversa não é só o peixe que sobrevive ao frio, mas também toda uma variedade de seres e ovos que, após o degelo, vão repor uma vida agitada no dito lago. Por outras palavras, a vida na Terra deve a sua viabilidade a esta improvável propriedade da água sem a qual já se teria extinguido numa qualquer era glacial.

O facto de esta propriedade não parecer estranha senão aos cientistas que lidam com moléculas deve-se a que o cidadão comum nunca verá provavelmente muitos outros líquidos a solidificar.

De facto, a água é a única substância que existe na natureza nos três estados sólido, líquido e gasoso!

Os outros gases e líquidos com que normalmente lidamos solidificam e fervem a temperaturas muito baixas como se pode ver pelos pontos de fusão, p.f., e de ebulição, p.eb., apresentados na Tabela 1. Para um não químico a comparação dos valores reportados nesta tabela necessita de alguns esclarecimentos. Em primeiro lugar, importa perceber que, tanto a fusão, como a ebulição são processos que obrigam as moléculas a afastarem-se umas das outras. Quanto mais fortes forem as forças com que se atraem, mais altos serão os valores das temperaturas de fusão e ebulição. Por norma, estas forças atractivas intermoleculares, ou de coesão, aumentam com o tamanho da nuvem electrónica da molécula (volume da molécula), o qual se correlaciona, *grosso modo*, com o aumento do peso

molecular (PM). Na Tabela 1 apenas o hidrogénio (H_2) e o metano (CH_4) têm um PM mais baixo do que a água e não é de estranhar que tenham valores de p.f. e p.eb. mais baixos. Mas que dizer de todas as outras substâncias que constam da tabela? A representação gráfica – Figura 1 – dos valores da Tabela 1 põe em evidência o valor anormalmente elevado do p.f. da água ($0^\circ C$) que é praticamente $100^\circ C$ mais elevado que o de moléculas muito mais volumosas, como o álcool etílico (C_2H_5OH) ou a acetona (C_3H_6O). Olhando para os valores dos pontos de ebulição, essa anormalidade é evidente

em relação ao metano (CH_4), azoto (N_2) e oxigénio (O_2), com valores de PM próximos do da água, mas já não é tão vincada quando se compara com as moléculas mais volumosas, como os álcoois ou a acetona. Todavia, é preciso chegar ao isooctano (C_8H_{18}), o principal componente da gasolina, com um PM 6,3 vezes maior do que a água, para encontrar um p.eb. quase igual ao desta! E, mesmo nesse caso, o p.f. da água é $107,4^\circ C$ mais elevado do que o do isooctano!! É claro que tanto o p.f. de $0^\circ C$ como o p.eb. de $100^\circ C$ da água são excepcionalmente elevados, relativamente ao seu baixo PM.

Tabela 1. Pontos de fusão e de ebulição de substâncias comuns.

Substância		Peso molecular (g/mole)	Ponto de fusão, p.f. ($^\circ C$)	Ponto de ebulição, p.eb. ($^\circ C$)	Substância		Peso molecular (g/mole)	Ponto de fusão, p.f. ($^\circ C$)	Ponto de ebulição, p.eb. ($^\circ C$)
Nome	Fórmula				Nome	Fórmula			
Água	H_2O	18.02	0.00	100.00	Hidrogénio	H_2	2.02	-259.14	-252.87
Oxigénio	O_2	32.00	-218.79	-182.96	Azoto	N_2	28.01	-210.00	-195.79
Dióxido de carbono	CO_2	44.01	–	-78.50 ⁽¹⁾	Metano	CH_4	16.04	-182.50	-161.49
Álcool metílico	CH_3OH	32.04	-97.60	64.70	Propano (gás de botija)	C_3H_8	44.10	-187.70	-42.25
Álcool etílico	C_2H_5OH	46.07	-114.14	78.24	Butano (gás de botija)	C_4H_{10}	58.12	-140.00	-1.00
Acetona	C_3H_6O	58.08	-94.70	56.05	Isooctano ⁽²⁾	C_8H_{18}	114.23	-107.40	99.30

⁽¹⁾ Passa directamente de sólido a gás (sublimação).

⁽²⁾ Principal componente da gasolina.

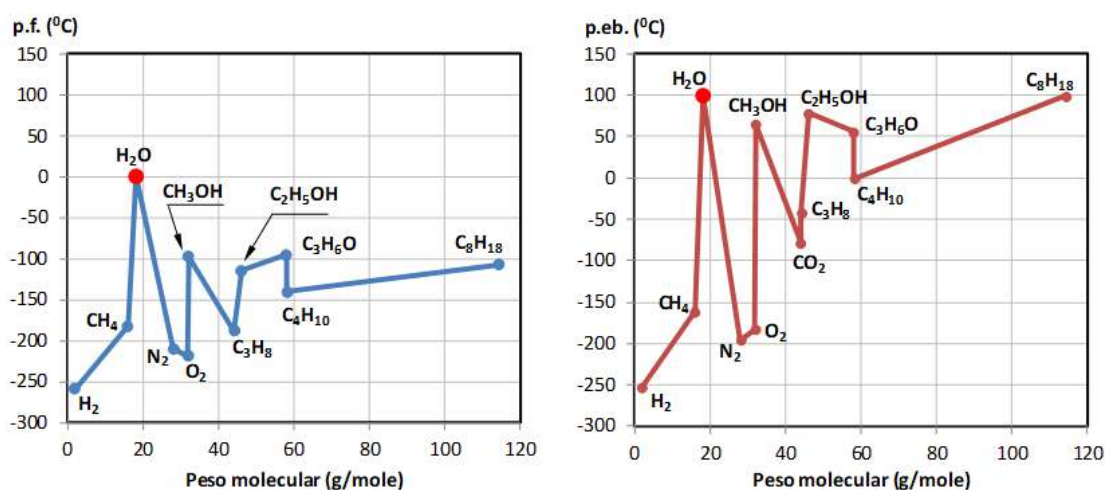


Figura 1. Pontos de fusão, p.f., e de ebulição, p.eb., dos compostos da Tabela 1, em função do peso molecular.

O mesmo tipo de padrão desviante está também patente na magnitude relativa dos valores da entalpia (calor) de vaporização (ΔH_{vap}) destas moléculas, ou seja a energia necessária para passar uma determinada quantidade de substância da fase líquida à fase gasosa que decresce na ordem $\text{H}_2\text{O} > \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} > \text{CH}_3\text{OH} > \text{C}_3\text{H}_6\text{O} > \text{C}_4\text{H}_{10} > \text{C}_3\text{H}_8 > \text{CH}_4 \gg \text{H}_2$. Como se vê, a água apresenta um valor mais elevado do que outras substâncias bastante mais volumosas.

Os pontos de fusão e de ebulição e o calor de vaporização são chamadas **propriedades coesivas**, pois a sua magnitude reflete diretamente a intensidade das forças que atraem entre si as moléculas duma substância, evitando que se afastem. Um p.eb. ou um calor de vaporização mais elevado traduz uma maior dificuldade em separar moléculas próximas entre si na fase líquida para distâncias muito maiores na fase gasosa. Para se ter uma noção dessa expansão note-se que 18 g de água (1 mole; $6,022 \times 10^{23}$ moléculas) ocupam 18 cm^3 na fase líquida e cerca de 22400 cm^3 na fase gasosa.

Os valores da Figura 1 põem em relevo a anormalmente alta coesão das moléculas de água, especialmente na fase sólida. A quantidade de energia necessária para fundir 1 kg de gelo (333.55 kJ) é a mesma que é necessária para aquecer 1 kg de água de 0°C até 80°C . Este valor é o mais elevado entre as substâncias que nos rodeiam e é responsável pela lentidão do degelo e pelo isolamento térmico que impede (ou atrasa) a solidificação total da água no lago do esquimó.

A origem destes desvios e da alta coesão das moléculas de água reside nas chamadas **ligações de hidrogénio (ligações de H)** exemplificadas graficamente na Figura 2. Nesta figura a linha sólida representa uma ligação química “normal” entre um átomo de X e um átomo de hidrogénio, H, formando uma molécula XH, e a linha tracejada, bastante mais longa, representa uma ligação de H entre a molécula XH e o átomo Y. A “bolha” à superfície de Y indica que este tem um par de electrões não partilhados, i.e., que não participam em ligações químicas normais. Os símbolos δ^+ e δ^- representam pequenas assimetrias na nvem electrónica. Como um electrão é uma carga eléctrica negativa, δ^- representa um pequeno excesso de electrões em torno de X e de Y e δ^+ uma pequena deficiência de electrões em torno de H. Esta assimetria de cargas é fundamental para a existência de ligações de H, cuja fundamentação teórica é, no entanto, muito complexa. Importante é ter em conta que estas ligações só têm importância quando X e/ou Y são oxigénio (O), azoto (N) ou flúor (F).

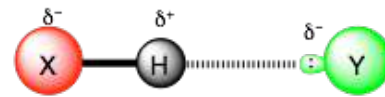


Figura 2. Representação esquemática duma ligação de hidrogénio (linha tracejada).

No caso da água, $X = Y = \text{O}$ e o valor da estabilização gerada pelas ligações de hidrogénio (O-H O) é de cerca de 21 kJ/mole. Este valor é baixo quando comparado com a energia duma ligação química “normal” como por exemplo a ligação O-H: 467 kJ/mole. No entanto, é responsável pela enorme coesão das moléculas de água e pelo seu comportamento “anormal”.

A Figura 3a) mostra a estrutura duma molécula de H_2O isolada. O átomo de O está ligado a dois átomos de H e tem à sua superfície dois pares de electrões não partilhados (“bolhas” a cinzento). Estas quatro entidades (duas ligações O-H e dois pares de electrões não partilhados) orientam-se no espaço de forma aproximadamente tetraédrica.

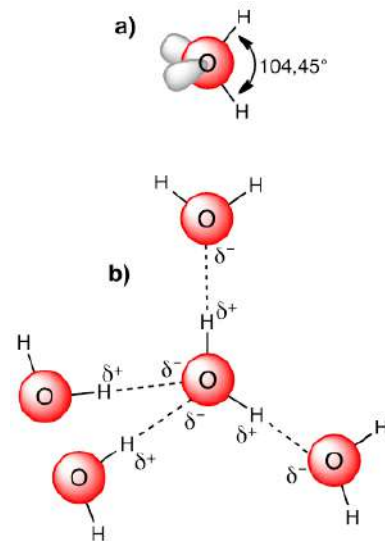


Figura 3. a) Estrutura molecular da água; b) cada molécula de H_2O suporta quatro ligações de H.

De acordo com a definição de ligação de H dada na Figura 2, é óbvio que cada molécula de H_2O pode formar quatro ligações de hidrogénio, que têm aproximadamente o dobro do comprimento das ligações O-H – Figura 3b).

Nenhuma outra molécula tem tantas ligações de H por unidade de volume e, portanto, nenhuma outra tem propriedades coesivas tão fortes como as da água.

Com este conhecimento é relativamente fácil interpretar o comportamento da água líquida a temperaturas próximas da ambiente. Na água líquida, digamos a 25°C, as moléculas têm uma dada energia, vibrando e rodando sobre si mesmas, quebrando e tornando a formar muitas das suas ligações de H quando se afastam ou se desalinham. Se a temperatura baixar os seus movimentos vão-se tornando mais lentos e elas vão-se aproximando umas das outras. A **densidade** vai aumentando com a diminuição de temperatura até ao ponto em que as moléculas se começam a repelir por estarem demasiado próximas e incapazes de otimizar as ligações de H (i. e., minimizar a energia do sistema). Assim, a partir dessa temperatura, as moléculas de água vão tender a afastar-se, para maximizarem a formação de ligações de H que obrigam a maior distância intermolecular. A essa temperatura de viragem, 4°C, a densidade atinge um máximo. Com a continuação do arrefecimento, a densidade da água continua a baixar até que solidifica deixando muito mais espaço livre entre as moléculas alinhadas por exigência da maximização das ligações de H.

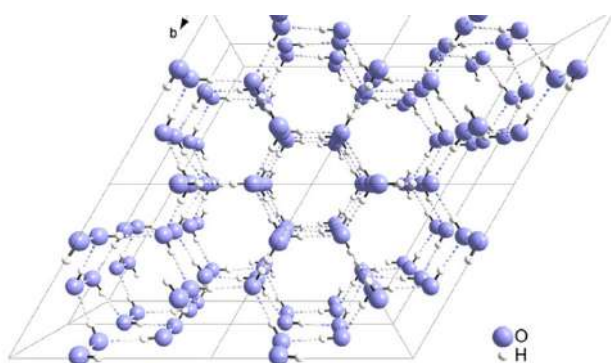


Figura 4. Estrutura do gelo I_h (hexagonal) mostrando a organização espacial das moléculas de água e as suas ligações de H no cristal [2].

O resultado é a densidade do gelo ser 9% menor do que a da água o que faz com que apenas cerca de 10% de um iceberg esteja acima da superfície do mar. Em terra, esta expansão do gelo é responsável pela fissuração e fragmentação (destruição) das superfícies rochosas, com a consequente formação do solo arável. Sem ela não havia chão para a Vida como a conhecemos.

Se agora quisermos inverter o processo, aumentando a temperatura para fundir o gelo, vamos ter de gastar uma grande quantidade de energia para quebrar toda essa teia tridimensional de ligações de H. Isso traduz-se nos anormalmente

altos ponto de fusão e calor de fusão já focados anteriormente. Quando o lago está a gelar, a água a 4°C afunda-se e por aí fica sem arrefecer impedindo que todo o lago solidifique depressa. Se o lago fosse de metano, como nalguns planetas, tudo quanto solidificasse à superfície afundar-se-ia logo e o lago solidificaria de baixo para cima.

Esta descrição do **processo de solidificação da água**, implica uma grande arrumação molecular e, portanto, comporta alguma dificuldade: há que colocar tudo no sítio certo pois a ligação de H é muito direccional, i.e., o ângulo O-H-O tem de ter $\approx 180^\circ$. Como essa arrumação é lenta, a água pura, desde que não seja agitada mecanicamente, pode ser sobre-arrefecida e manter-se líquida até -42°C . Na fase sólida, a água também continua a ser uma substância fora do normal. Ao contrário de quase todos os líquidos, que solidificam a temperaturas mais elevadas quando a pressão aumenta (são mais fáceis de solidificar porque as suas moléculas se aproximam com o aumento da pressão), a água solidifica a temperaturas mais baixas do que 0°C quando a pressão é maior do que a atmosférica. É sobre mais esta originalidade da água que se baseia a patinagem no gelo que outra coisa não é do que escorregar sobre a fina camada de água líquida que se forma entre o gelo e a lâmina dos patins, por ação do aumento da pressão exercida por esta lâmina.

Dependendo das condições de pressão e temperatura verificadas na sua formação, o gelo pode, além de três formas amorfas, adquirir dezasseis (!) estruturas cristalinas diversas, algumas das quais metaestáveis. A estrutura mais comum é a estrutura hexagonal conhecida como gelo I_h (ler: gelo um h) (Figura 4) onde estão bem patentes os grandes espaços vazios criados pelas ligações de H. Se o arrefecimento da água for feito na presença de gases, em determinadas condições de pressão, o gelo que se forma aprisiona moléculas desses gases nas suas cavidades. Estas associações supramoleculares hóspede-hospedeiro são chamadas **hidratos**. Não há qualquer ligação química entre as moléculas do gás aprisionado (p. ex., metano) e as moléculas de água que formam a gaiola de gelo que as aprisiona. Aumentando a temperatura, a estrutura do gelo (hospedeiro) colapsa, libertando as moléculas do gás (hóspede).

O hidrato de metano forma grandes depósitos, quer no fundo do mar, como aqui junto a Gibraltar, quer no *permafrost* (gelo permanente) das regiões árticas da Sibéria, Canadá etc.. As reservas de metano retido nestes depósitos são colossais, mas ainda não estão em exploração. O degelo do *permafrost*, provocado pelo aquecimento global, pode vir a ser uma catástrofe de grandes dimensões pois

originará a libertação de metano, cujo potencial de aquecimento global num horizonte de 100 anos (GWP na sigla em inglês) é 28 vezes mais elevado do que o do CO_2 , contribuindo para uma forte aceleração do aquecimento global [3].

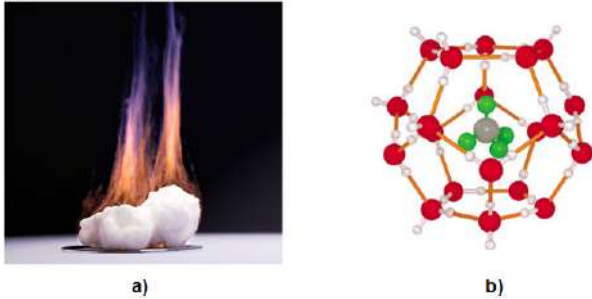


Figura 5. a) Hidrato de metano a arder; b) estrutura do hidrato de metano. A molécula de CH_4 (a verde e cinzento) está no centro dum dodecaedro formado por moléculas de H_2O (a vermelho e branco) interligadas por ligações de H (traços a laranja).

As mesmas forças de coesão explicam o elevado **calor específico da água**, i.e., a quantidade de energia que é necessária para fazer subir a temperatura de uma dada massa de água.

Um quilograma de água tem de absorver 4184 J para que a sua temperatura suba 1°C . Para fazer o mesmo ao cobre metálico bastam 385 J. Esta propriedade largamente “divulgada” pelos radiadores dos automóveis (que devido àquele elevado calor específico absorvem calor, controlando a temperatura do motor), também é fundamental para a vida, pois garante aos “peixinhos” que a temperatura do seu lago não varia muito depressa, nem num dia de calor, nem numa noite gélida. Permite também amenizar as temperaturas do ar junto às grandes massas de água, em particular aos oceanos, que contribuem decisivamente para a estabilização da temperatura no planeta. Os humanos já perceberam bem isso pois 40% vivem a menos de 100 km das costas.

A elevada **tensão superficial** da água é outra consequência das suas fortes forças coesivas intermoleculares. Como se pode ver na Figura 6a), uma molécula que se encontra no interior da massa líquida é atraída pelas moléculas que a rodeiam em todas as direções, e essas forças de atração têm uma resultante nula. Pelo contrário, as moléculas de água que se encontram à superfície são muito mais fortemente atraídas pelas moléculas de água do interior do que pelas moléculas do ar para lá da superfície. Assim, as moléculas da superfície estão sujeitas a uma força resultante, F , que as “puxa” para

dentro da fase líquida, deixando a superfície em tensão.

A força que temos de aplicar para “puxar” as moléculas da superfície para fora da fase líquida chama-se tensão superficial e pode ser medida com uma simples balança Figura 6b) [4]. Com exceção do mercúrio, a água é o líquido com maior tensão superficial.

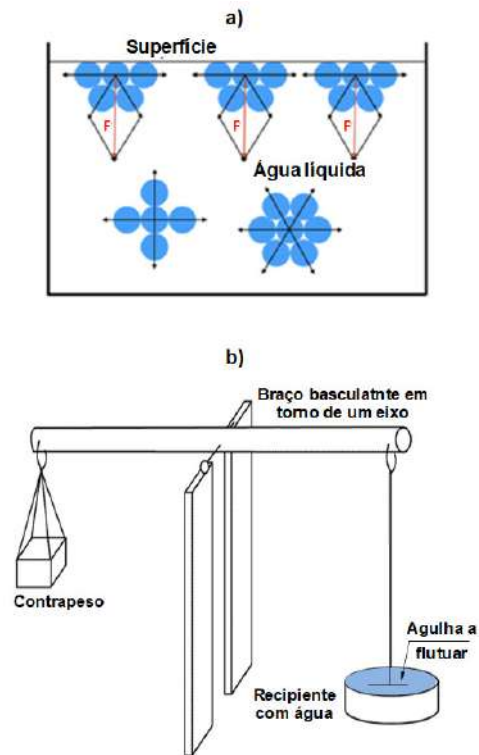


Figura 6. a) Origem da tensão superficial na água líquida; b) sua medição com uma balança [4].

Esta tensão pode manter a boiar uma agulha, um clip metálico ou até algumas moedas pequenas, mas os saltos dos alfaiates à superfície da água são porventura a sua demonstração mais curiosa (Figura 7).



Figura 7. Alfaiate pousado sobre uma superfície de água [5].

Como a tensão superficial puxa as moléculas “para dentro”, a superfície de líquido exposta ao ar é minimizada, explicando que a água forme gotas. Na ausência de gravidade, essas gotas são perfeitamente esféricas mas na Terra deformam-se, alongando-se, como nos pingos de uma torneira, ou achatando-se, sobre superfícies horizontais.

O processo de formação de gotas de água no ar também atua quando a água se dispersa num líquido em que é imiscível, como óleo ou azeite. Neste caso as moléculas de água que se encontram em contacto com o óleo agregam-se em pequenas esferas pois as forças atrativas mútuas são muito mais fortes do que entre elas e o óleo. Esta situação é descrita em termos mais ou menos humanizados, dizendo que o óleo é **hidrofóbico**, i.e., tem “medo” da água. Pelo contrário, líquidos que, como o álcool, se misturam com a água em todas as proporções são considerados “amigos” da água ou **hidrofílicos**. Este comportamento chama a atenção para as **propriedades adesivas** da água. Depois da importância que foi dada às forças de coesão entre as moléculas de água, até pode parecer estranho falar de adesão, pois esta implica forças de coesão entre moléculas de água e as substâncias a que ela adere.

Na realidade, o fenómeno não tem nada que espantar, pois na maioria dos casos a sua génese é a mesma: as ligações de H. A água adere a um enorme número de substâncias naturais porque estas têm à sua superfície uma grande abundância de grupos OH. No exemplo da celulose (Figura 8), estes grupos OH podem formar ligações de H com as moléculas de água que, assim, adere perfeitamente ao papel. Se, como no caso da celulose, os grupos OH forem muito abundantes, a água espalha-se de forma contínua sobre toda a superfície, molhando-a.

Se as superfícies não tiverem grupos OH, ou se tiverem muito poucos, a água não se espalha e forma gotas sobre a superfície. Olhando para os átomos à superfície de um plástico, como o polietileno ou o polipropileno (Figura 8), verifica-se que não há possibilidade de interação forte com a água pois as ligações C-H não formam pontes de hidrogénio. Por isso as moléculas de água agrupam-se em gotas separadas que são repelidas pela superfície. Inclinando a superfície as gotas rolam e caem, deixando-a praticamente ou totalmente seca. Este efeito, que irrita muito cidadão ao tirar as caixas de plástico da máquina de lavar loiça, é por vezes aproveitado para criar superfícies não molháveis que se limpam sozinhas (*self-cleaning*) pois as gotas de água rolam arrastando consigo as poeiras. Estas superfícies chamam-se normalmente super-hidrofóbicas e há exemplos absolutamente de

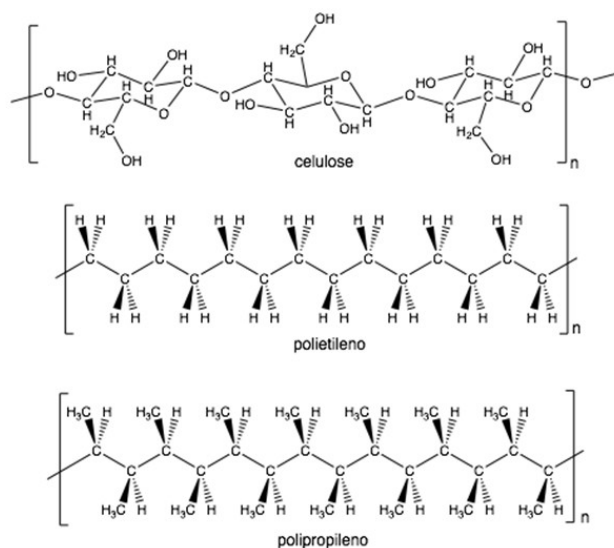


Figura 8. Estrutura hidrofílica da celulose (propensa a ligações de H) e estrutura hidrofóbica de plásticos vulgares (polietileno e polipropileno).

passar, tais como roupa insuscetível de se sujar ou totalmente repelente de água [6].

Se o plástico for “velho” então é possível que a água já não seja tão fortemente repelida pela sua superfície pois a ação prolongada da luz e do oxigénio oxida-a implantando aí grupos OH compatíveis com a água. Do lado oposto da super-hidrofobia, existe a super-hidrofilia usada provavelmente no seu automóvel ou de certeza no seu dentista. Tratando uma superfície de vidro com óxido de titânio é possível cobri-la com uma elevadíssima concentração de grupos OH, de tal modo que, quando o vidro se molha com água, esta espalha-se numa camada fina e regular sobre toda a superfície. O resultado é, por exemplo, que tal superfície não se embacia, o que é uma vantagem importantíssima num espelho retrovisor ou num para-brisas de um automóvel, ou ainda no espelho com que o seu dentista examina os seus dentes.

A mais clássica manifestação do efeito combinado da coesão e da adesão é o menisco que a água forma em tubos de vidro. No interior de um tubo de vidro estreito a água adere às paredes e vai “trepando” por elas acima, com a ajuda dos grupos OH que aí abundam. Simultaneamente, a coesão vai “puxando” outras moléculas de água por aí acima até que a força da gravidade as impeça de continuar a subir e, no equilíbrio, se forme um menisco côncavo (Figura 9).

Se o tubo for muito estreito, a subida da água é muito mais facilitada pois não tem uma massa coesa tão grande a puxá-la para baixo: é tudo só paredes cheias de grupos OH para trepar. Está-se perante

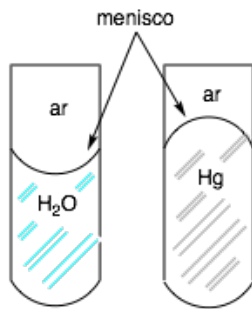


Figura 9. Menisco côncavo da água (H₂O) e convexo do mercúrio (Hg).

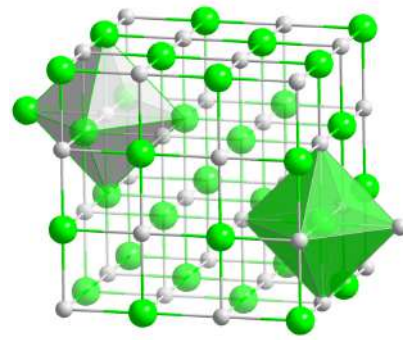


Figura 10. Estrutura do sal de cozinha, NaCl: ânions cloreto, Cl⁻ (a verde), e cátions sódio, Na⁺ (a cinzento). Cada íon Na⁺ está rodeado por seis íons Cl⁻ (octaedro cinza) e vice versa (octaedro verde) [7].

o fenómeno da **capilaridade**. A combinação entre adesão e coesão permite à água subir pelos capilares das plantas até alturas superiores a 100 m, como no caso das sequóias.

Na mesma Figura 9 apresenta-se o caso oposto: o menisco convexo do mercúrio. Esta convexidade resulta da enorme tensão superficial do mercúrio e da sua nula afinidade com os grupos OH da superfície do vidro. Assim sendo, o mercúrio foge do vidro e a superfície livre fica convexa, devido à grande tensão superficial.

Uma das mais importantes anormalidades da água é a extraordinária **capacidade de dissolução**, que ultrapassa a de qualquer outro solvente.

O princípio que regula a solubilidade é “*like dissolves like*”, ou seja, uma substância dissolve as suas semelhantes. Por outras palavras, se uma molécula de A se dissolve em B é porque as interações A-A são semelhantes às interações A-B.

Portanto, a grande capacidade dissolvente da água resulta de ser “parecida” com muitas coisas ou de estabilizar muitas moléculas no seu seio. Já foi mencionada a importância das ligações de H na interação da água com outras superfícies. Esse mesmo tipo de interações explica a facilidade com que a água dissolve moléculas biológicas, como açúcares e proteínas, cuja composição inclui grande número de grupos OH e NH₂, capazes de formar ligações de H com a água.

Pelo contrário, a ausência desse tipo de grupos explica a insolubilidade da gasolina em água. No entanto, não tendo o vulgar sal de cozinha, cloreto de sódio (NaCl), grupos OH e nem sequer formando moléculas, como é que se dissolve em água? De facto, a estrutura do cloreto de sódio é mantida por interações eletrostáticas entre os íons positivos de sódio (Na⁺) e os íons negativos de cloro, o cloreto (Cl⁻) (Figura 10).

A dissolução do sal dá-se porque a água é uma substância fortemente polar, i.e., a molécula de

água comporta-se como um pequeno dipolo eléctrico, pois é positiva (δ⁺) no lado do hidrogénio e negativa (δ⁻) no do oxigénio (vd. Figura 3).

Quando se coloca um cristal de NaCl dentro de água, as moléculas desta interatuam electrostaticamente com os íões da superfície do cristal: os átomos de O atraem os cátions Na⁺ e os átomos de H atraem os ânions Cl⁻, que, assim, vão sendo arrancados da superfície do cristal e dissolvidos no seu seio. Cada íon Na⁺ é rodeado por moléculas de água (hidratado) que lhe “mostram” o O (δ⁻) enquanto os ânions cloreto só “vêem” átomos de H (δ⁺) à sua volta (Figura 11). A energia eletrostática que se liberta pela hidratação dos íões compensa a energia eletrostática (energia da rede cristalina) que mantinha a organização iónica do cristal de NaCl e este dissolve-se.

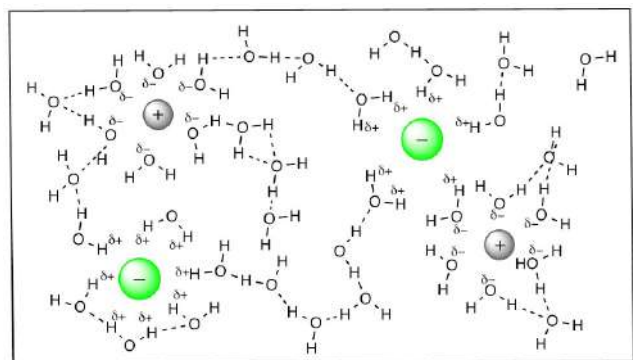


Figura 11. Íões Na⁺ e Cl⁻ hidratados.

Há casos em que a dissolução dum sal iónico provoca o arrefecimento da solução devido à absorção de calor do exterior. É o caso do sal de cozinha: se aquecermos dissolve-se mais sal e mais

depressa. Noutros casos, a hidratação é de tal ordem favorável que a dissolução ocorre com libertação de calor: se quisermos dissolver mais depressa temos de arrefecer a mistura. É o caso da cal viva (CaO) e do hidróxido de sódio ou soda cáustica (NaOH) com que, respetivamente, são caiadas as casas e desentupidas canalizações. Se tentarmos dissolver soda cáustica com água quente corremos o risco de apanharmos espirros provenientes da ebulição violenta da mistura soda/água que, além de garantidamente furarem a roupa e a pele, podem ter gravíssimas consequências se por acaso atingirem os olhos. O mesmo se aplica na preparação da cal de caiar.

Se por um lado a capacidade de a água dissolver muitos tipos de substâncias é vital na Biologia garantindo o transporte de todo o tipo de nutrientes para os seres vivos, por outro levanta graves problemas a nível da corrosão dos materiais, desde a pedra aos metais.

Na prática a água até “extrai” iões das paredes dos recipientes de vidro ou de outros materiais onde se guarda, tornando extremamente difícil a obtenção de água verdadeiramente pura. O grande poder corrosivo da água sobre os metais surge da combinação da sua capacidade de transportar iões dissolvidos, com o poder oxidante do oxigénio do ar. A oxidação “arranca” eletrões da superfície de metais (ferro, zinco, alumínio, etc.) formando iões metálicos que são removidos por dissolução em água. Deste modo, expõem-se sucessivamente à oxidação camadas de átomos do metal cada vez mais profundas, agravando o processo de corrosão. Em termos de **absorção de radiação eletromagnética**, a água é transparente em quase todo o espectro de radiação visível, pois apenas absorve uma pequena porção da radiação vermelha. Assim, a luz branca que atravessa a água emerge com um défice de radiação vermelha, pelo que a vemos ligeiramente azulada. Como este défice é muito pequeno, a cor azul só se torna perceptível quando a espessura da camada de água através da qual olhamos é muito grande. É por essa razão que o mar, algumas massas de gelo e túneis cavados em glaciares são bastante azuis (Figura 12). Fora do visível, a água absorve quase toda a radiação ultravioleta, infravermelha e de micro-ondas. Esta última capacidade tornou-se bem prática nas cozinhas modernas. Ligando o forno de micro-ondas, as moléculas de água dos alimentos são irradiadas por ondas com energia que corresponde à das suas vibrações e rotações. Absorvendo essa energia, as moléculas aumentam os seus movimentos, i.e., aquecem. Como praticamente tudo o que não é água é transparente a este tipo de radiação, a comida aquece por dentro



Figura 12. Iceberg e caverna azuis [8].

e os pratos ficam mais ou menos frios, dependendo do material de que são feitos.

NOTA FINAL

Um endereço eletrónico especializado na “normalidade” da água, apresenta 74 propriedades consideradas fora daquela “normalidade” [9].

Ao longo destas breves páginas, não foram obviamente todas consideradas, até porque algumas estão para além do olhar de um químico. Sem embargo, apresentaram-se algumas dessas propriedades que fazem parte do nosso dia-a-dia e que, não obstante as percebermos como normais, são, antes pelo contrário, manifestações da singularidade da água, essa molécula tão pequena que nos mantém vivos e que modela o nosso ambiente e a nossa vida através de improváveis propriedades únicas ou muito próximas disso.

Para quem lida com a água e a trata como um bem maior indispensável, a abordagem adotada ao nível microscópico é provavelmente uma curiosidade, que, contudo, se espera poder contribuir para reforçar a noção do valor singular da água e a urgência da sua proteção, pois não tem substituto. Para além dela...é o deserto.

REFERÊNCIAS

[1] Citado por Lynn Harris numa nota sobre o trabalho de Yuan T. Lee em 1990: <http://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/lee-water-research.html>

[2] By Solid State - own drawing, created with Diamond 3.1, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=875813>

[3] http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

[4] https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Phys_p012/physics/measuring-the-surface-tension-of-water#procedure

[5] By PD - Wikipedia english, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1095618>.

[6] <http://www.neverwet.com/applications/self-cleaning.php>

[7] By Solid State - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3837309>.

[8] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/153_-_Glacier_Perito_Moreno_-_Grotte_glaciaire_-_Janvier_2010.jpg/1200px-153_-_Glacier_Perito_Moreno_-_Grotte_glaciaire_-_Janvier_2010.jpg

[9] http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_anomalies.html#r1542



dentro da APRH

COMISSÃO DIRETIVA PARA O BIÉNIO 2018-2019

Presidente



Susana Neto

Susana Neto é licenciada em Engenharia Civil, mestre e doutorada em Planeamento Regional e Urbano pela Universidade Técnica de Lisboa. Trabalhou em planeamento e gestão integrada da água e planeamento territorial nos últimos 25 anos. É investigadora na Universidade de Lisboa, Professora Adjunta na Universidade de Western Austrália (UWA) e na Universidade de Queensland. Na Administração Pública participou ativamente em reformas institucionais no quadro das políticas da água e teve um papel de coordenação como membro da Equipa do Plano Nacional da Água e Planos de Bacia Hidrográfica entre 1997 e 2001. Foi representante nacional no Programa Operacional URBACT II entre 2007 e 2014. É Delegada da UNESCO na Bacia do Guadiana desde 2004. Em 2016, foi convidada para integrar o Grupo 'Water Governance Initiative' da OCDE.

Vice-Presidente



Manuela Moreira da Silva

Manuela Moreira da Silva é licenciada em Biologia, Mestre em Ecologia Aplicada e Doutora em Ciências e Tecnologia do Ambiente pela Universidade do Porto. Desde 1996 docente no Instituto Superior de Engenharia da UAlg, em diversas disciplinas em que se incluem Hidrologia Urbana, Saúde Pública, Ambiente e Urbanização, Tecnologias de Reutilização de Água, Ecohidrologia Urbana. É Diretora do Mestrado em Ciclo Urbano da Água, Vice-diretora do International Centre for Coastal Ecohydrology (ICCE-UNESCO) e membro da UNESCO Chair Team on Ecohydrology. Fundadora e responsável pelo Laboratório de Engenharia Sanitária da Universidade do Algarve. Desde outubro de 2015 é Presidente do Conselho Técnico-Científico do Instituto Superior de Engenharia da UAlg. É investigadora do CIMA e autora de vários capítulos de livros e de artigos científicos em revistas internacionais com peer-review.

Vice-Presidente



Pedro Teiga

Pedro Teiga é licenciado em Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (Vila Real), Mestre em Engenharia do Ambiente, Ramo Hidráulica e Recursos Hídricos, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (2003) e Doutorando em Engenharia do Ambiente, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (2011). Especialista em Reabilitação de Rios e Ribeiras, com mais de 100 km de rios intervencionados, coordenou entre 2006 e 2013 o Projeto Rios-ASPEA em Portugal. É fundador e Diretor Executivo da empresa Engenho e Rio Unipessoal Lda. Investigador do CIMAR pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto desde 2008, ocupa desde 2012 o cargo de Vice-presidente do Centro Ibérico de Restauro Fluvial (CIREF).

Vogal



Nelson Carriço

Nelson Carriço é licenciado em Engenharia dos Recursos Hídricos pela Universidade de Évora, mestre em hidráulica e recursos hídricos e doutor em engenharia civil pelo Instituto Superior Técnico. Atualmente, exerce funções como professor adjunto convidado na área de hidráulica na Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Politécnico de Setúbal. Tem participado nos órgãos do Núcleo Regional Sul desde 2012.

Vogal



Amparo Sereno

Amparo Sereno é professora na Faculdade de Direito da Universidade Autónoma de Lisboa onde leciona Direito do Urbanismo e do Ambiente. Doutorada em Direito pela Universidade Católica Portuguesa de Lisboa em 2010, com a tese sobre regiões hidrográficas internacionais – orientada pelo Prof. Diogo Freitas do Amaral e publicada em 2012 – concluiu um pós-doutoramento em matéria de proteção do meio marinho em 2015. Além da sua experiência académica como investigadora e professora, exerceu funções como jurista no gabinete do Secretário de Estado do Ambiente e nas Águas de Portugal.

ENQUADRAMENTO E APRESENTAÇÃO DA CANDIDATURA

A governança da água é hoje aceite como a única forma de englobar as diversas dimensões sociais, ambientais e económicas nas soluções de administração dos recursos de água disponíveis. A participação dos atores interessados nos processos de decisão é incontornável. Uma visão mais abrangente exige igualmente a consideração do caráter territorial dos recursos hídricos e a necessidade de considerar as escalas em que o ciclo da água tem lugar. Uma das primeiras linhas de ação a promover é a integração entre o planeamento dos usos do solo e a gestão dos usos da água nas diversas escalas geográficas e da integração dos diferentes níveis institucionais.

Consideramos que a APRH deve mobilizar todo o seu potencial de inovação para continuar a contribuir para a reflexão necessária em todas essas dimensões, considerando o caráter integrador da água e dos seus recursos e a necessidade de se desenvolverem abordagens transversais e multidisciplinares nos processos de decisão política. O Programa de Candidatura para o Biénio 2018-2019 fundamenta as suas propostas nos objetivos estatutários que orientam a APRH desde a sua fundação e visa promover ativamente o reforço da atividade da APRH de acordo com esses princípios, propondo para este mandato:

- Reforçar o papel da APRH como fórum de debate e parceiro de primeira linha na governança da água, expressando publicamente as suas visões e opiniões sobre temas relevantes para a política da água em Portugal.
- Fomentar a participação de todos os atores nos processos de reflexão conjunta para uma efetiva governança da água em Portugal, através de uma estratégia assente na informação crítica, na comunicação e no estabelecimento de parcerias colaborativas em torno do conhecimento e ação para a mudança.
- Contribuir ativamente para o reforço da capacitação nacional para uma melhor gestão e governança da água, através da promoção de conhecimento técnico-científico contextualizado e fundamentado no diagnóstico dos problemas de gestão da água e na proposta de soluções alternativas e multidisciplinares.

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS E PROPOSTAS DE AÇÃO

Pretende-se aprofundar e reforçar, neste Programa de Candidatura e com o apoio dos Associados, das Comissões Especializadas e dos Núcleos Regionais, o papel interventivo da APRH na sociedade Portuguesa. Propõe-se em primeiro plano o debate e promoção da boa governança da água em torno de alguns temas considerados críticos no contexto nacional:

- Processo de Planeamento em curso: PNA; PGRH e outros Planos Setoriais e Especiais relevantes para a política da água em Portugal;
- Processo de Revisão da Diretiva Quadro da Água na União Europeia;
- Processo de acompanhamento da Convenção de Albufeira entre Portugal e Espanha;
- Integração Territorial da Gestão da Água: articulação entre o planeamento dos usos do solo e usos da água; reabilitação e valorização social e ecológica dos cursos de água;
- Alterações climáticas e fenómenos extremos; implementação da ENAAC;
- Implementação de medidas eco hidrológicas ao nível do ciclo urbano da água;
- Gestão da água no setor agroflorestal.



notícias

Comissão Europeia quer melhorar qualidade e segurança da água potável

A legislação europeia revista apresentada a 1 de Fevereiro 2018, pela Comissão vai melhorar a qualidade e o acesso a água potável e oferecerá informações mais fiáveis aos cidadãos. O direito de aceder a serviços essenciais de qualidade, incluindo o acesso a água, é um dos princípios consagrados no Pilar Europeu dos Direitos Sociais, aprovado por unanimidade pelos Chefes de Estado e de Governo na Cimeira de Gotemburgo. Além disso, a presente proposta pretende reforçar os poderes dos consumidores garantindo que os fornecedores de água fornecem aos consumidores informações mais claras sobre o consumo de água, sobre a estrutura de custos, bem como o preço por litro que permitam uma comparação com o preço da água engarrafada. Esta proposta contribuirá para realizar objetivos ambientais de redução da utilização desnecessária de plástico e de limitação da pegada de carbono da UE, bem como para a consecução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

O Primeiro Vice-Presidente da Comissão, Frans Timmermans, declarou: «Os cidadãos fizeram ouvir a sua voz de forma determinada e clara através da Iniciativa de Cidadania Europeia, apelando à adoção de medidas que garantam o acesso a água potável. Ouvimos e tivemos em conta o seu apelo e fizemos uma análise exaustiva da legislação europeia existente. Portanto, hoje propomos modernizar a legislação da UE, a fim de melhorar a qualidade da água potável e de facilitar o acesso dos cidadãos onde este é mais importante. Juntos podemos e devemos proteger a saúde e a segurança dos nossos»

A maioria das pessoas que vivem na UE beneficia de um muito bom acesso a água potável de alta qualidade. Esta situação resulta da existência de legislação da UE de longa data que protege os europeus, assegurando que têm acesso a água potável de alta qualidade. A Comissão quer assegurar-se de que essa alta qualidade é preservada a longo prazo.

A regulamentação que a Comissão propõe atualizar contribuirá para **melhorar a qualidade**

e a segurança da água mediante o aditamento de novas substâncias à lista de critérios para determinar a segurança da água (tais como a legionela e os cloratos). Estes aditamentos têm em conta os mais recentes conhecimentos científicos e recomendações da Organização Mundial de Saúde. Segundo as novas regras, os Estados-Membros deverão **melhorar o acesso de todas as pessoas, sobretudo dos grupos vulneráveis e marginalizados**, que atualmente **têm** dificuldades de acesso a água potável. Na prática, tal implica criar equipamentos para o acesso a água potável em espaços públicos, lançar campanhas para informar os cidadãos sobre a qualidade das águas que consomem e incentivar as administrações e edifícios públicos a providenciar acesso a água potável.

Outra mudança importante na legislação permitirá ao público um acesso fácil e convívial – inclusive através da Internet – a **informações sobre a qualidade e o abastecimento de água potável** na área onde vivem, melhorando assim a confiança na água da torneira. De acordo com as estimativas, as novas medidas permitirão reduzir os potenciais riscos sanitários associados à água potável de 4 % para menos de 1 %.

Fonte: europa.eu/rapid/press-release

Plano de Ação Litoral XXI

O Governo assumiu como prioridade a gestão do Litoral através da adoção de medidas de adaptação que contrariem a crescente erosão da zona costeira e que promovam o seu planeamento, ordenamento e gestão, através de um diálogo permanente com os Municípios, as administrações regionais e a população em geral, construindo um Litoral que é de todos e para todos. Com este propósito foi elaborado o Plano de Ação Litoral XXI, que se assume como o instrumento plurianual de referência e de atuação no âmbito da gestão integrada da zona costeira de Portugal Continental, refletindo opções estratégicas e políticas, identificando e priorizando o vasto conjunto de intervenções físicas a desenvolver

pelas múltiplas entidades com atribuições e competências no litoral no período de vigência da Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira.

Estas intervenções incidem na prevenção do risco e na salvaguarda de pessoas e bens, na proteção e valorização do património natural, no desenvolvimento sustentável das atividades económicas geradoras de riqueza e na fruição das áreas dominiais em condições de segurança e qualidade, na articulação com a gestão dos recursos hídricos interiores numa ótica de gestão das bacias hidrográficas.

Do Plano de Ação do Litoral XXI, resultará um Plano Anual para o Litoral, que corresponde á operacionalização das acções programadas para esse ano face ao ciclo de planeamento e aos instrumentos financeiros disponíveis.

Fonte: www.apambiente.pt

Programa Nacional de Regadios

O ministro da Agricultura, Capoulas Santos, na apresentação do Programa Nacional de Regadios, salientou que um investimento superior a 500 milhões de euros, vai permitir o “renascimento do Alqueva” e mais “resiliência” do país “aos efeitos da seca”.

“Teremos cerca de 90 mil hectares de regadios até 2020, eventualmente 2021, a que corresponderá um investimento de 534 milhões de euros”, os quais estão já “totalmente assegurados, afirmou o ministro, em Reguengos de Monsaraz, no distrito de Évora.

Segundo Luís Capoulas Santos, este investimento, através do Programa de Desenvolvimento Rural (PDR) e de dois financiamentos já contraídos junto do Banco Europeu de Investimento e do Banco de Desenvolvimento do Conselho da Europa, vai conferir “maior competitividade” à agricultura nacional e “maiores condições de resiliência” do país “aos efeitos da seca”, pois, “haverá mais armazenagem de água”.

“Agora, o grande desafio é encontrarmos as culturas mais adequadas, quer às alterações climáticas, quer à capacidade dos solos, e, ao mesmo tempo, aquelas que sejam menos utilizadoras de água, por forma a potenciar o uso deste recurso finito e tão importante”, frisou.

No Programa Nacional de Regadios, disse Capoulas Santos, “cerca de 50%” da área corresponde à ampliação do Alqueva e “os outros 50% serão

repartidos em novos regadios desde o Algarve” até “Trás-os-Montes e na recuperação de muitos regadios, que têm 30 a 50 anos, que estão hoje a necessitar de obras de conservação e de investimento” para “o uso mais eficiente da água”.

Esta aposta vai permitir “criar condições para a fixação da população e para a criação de riqueza”, possibilitando ainda aproveitar “os melhores solos agrícolas e que estejam perto de reservas de água”, assinalou.

A construção de novas barragens é uma das vertentes deste programa nacional, disse o ministro, explicando que algumas destas “já estão definidas”, de que é exemplo a de Óbidos, que “até está em construção”, e outras ainda vão ser escolhidas.

“Iremos abrir este ano um concurso ao qual se poderão candidatar associações de agricultores e, depois, iremos fazer a opção por aquelas que revelem uma melhor relação de custo/benefício”, acrescentou.

Ainda no que respeita ao Alqueva, o empreendimento “foi concebido para regar 120 mil hectares, e essa área foi dada como definitiva, e o que nós estamos a fazer agora é uma segunda fase, aumentando em mais 50 mil hectares”, congratulou-se o governante. A ampliação do Alqueva representa um investimento de 210 milhões de euros, até 2021, para levar a água para abastecimento público a mais cinco concelhos do Alentejo e para criar mais 49.427 hectares de regadio, distribuídos por 11 novos blocos de rega, um pouco por toda a região (sete no distrito de Beja, cinco no de Évora e um no de Setúbal).

Fonte: Lusa e Ministério da Agricultura

Projeto, construção e observação de pequenas barragens de aterro

O Instituto Superior Técnico, através da sua editora, publicou a obra de referência “**Projeto, Construção e Observação de Pequenas Barragens de Aterro**” https://www.naturfun.pt/index.php?route=product/product&product_id=913, editada pelos professores e investigadores Emanuel Maranhã das Neves, Laura Caldeira e António Pinheiro. Este livro tem um assumido objectivo prático, sem deixar de abordar os conceitos básicos que suportam esta faceta aplicativa e complementam o Novo Regulamento de Segurança de Pequenas Barragens. Destina-se, sobretudo, aos técnicos envolvidos no

projeto, construção e observação das pequenas barragens de aterro, bem como a todos aqueles que, na Administração, se dediquem à apreciação dos projetos dessas obras e respetiva segurança. Dado que a IST Press é entidade parceira do portal eco social NaturFun, os interessados podem adquirir esta obra com desconto promocional através do NaturFun, com portes de envio gratuitos para endereços em Portugal e implicando uma contribuição da Naturlink à Associação CAIS por cada exemplar encomendado, aqui: https://www.naturfun.pt/index.php?route=product/product&product_id=913

Fonte: Naturlink

Proteção dos recursos hídricos pós incêndios

A APA Agência Portuguesa de Ambiente disponibiliza no seu site informação sobre medidas a implementar com vista à protecção dos recursos hídricos nas áreas ardidas.

"INTERVENÇÕES PÓS-INCÊNDIOS 2017

No seguimento das ocorrências dos incêndios verificadas de 17 a 24 de junho de 2017, a APA disponibiliza a metodologia para identificação das áreas de intervenção prioritárias para a protecção dos recursos hídricos, bem como os documentos relativos ao levantamento efetuados junto dos municípios.

Metodologia para identificação das áreas de intervenção prioritárias para a protecção dos recursos hídricos

Incêndios de 17 a 24 junho 2017

Relatório técnico com as medidas a implementar nas áreas ardidas para garantir a protecção dos recursos hídricos - Municípios de Pedrógão Grande, Figueiró dos Vinhos, Castanheira de Pêra, Góis, Pampilhosa da Serra, Penela, Sertã"

Fonte: www.apambiente.pt

Relatório de Estado do Ambiente 2017

O Relatório do Estado do Ambiente (REA) comemora este ano 30 anos de análise do estado do ambiente em Portugal – um exercício anual de reconhecimento dos progressos alcançados, mas também dos principais constrangimentos, identificando a posição do País face aos compromissos e metas assumidos

em matéria de ambiente e desenvolvimento sustentável.

O REA 2017 apresenta artigos sobre temáticas ambientais, procurando abordar alguns dos atuais desenvolvimentos da política ambiental.

O Relatório contém ainda **8 infografias**, uma para cada domínio ambiental, que resumem os valores-chave da evolução dos indicadores analisados. O documento apresenta, também, a atualização dos **cenários macroeconómicos** de possível evolução da economia portuguesa no horizonte 2050. À semelhança da edição de 2015, o REA 2017 retoma a publicação de **artigos sobre temáticas ambientais**, procurando abordar alguns dos atuais desenvolvimentos da política ambiental. Os 11 artigos, apresentados num documento separado, mas parte integrante deste relatório, contemplam temas tão diversos como a seca de 2017, o ordenamento do território, as estratégias municipais de adaptação às alterações climáticas, o Roteiro para a Neutralidade Carbónica, a Economia Circular, as guias eletrónicas de acompanhamento de resíduos, os objetivos de desenvolvimento sustentável, a conservação e gestão sustentável do oceano, o lixo marinho, a plataforma única de inspeção e fiscalização da agricultura, mar e ambiente e a Estratégia Nacional de Educação Ambiental.

Na domínio ambiental Água constata-se no REA 2017 que:

- Se mantém o excelente nível de qualidade da **água para consumo humano** (99% de água segura na torneira do consumidor em 2016) e uma também excelente qualidade das **águas balneares** monitorizadas, com níveis de conformidade muito próximos dos 100%.
- A avaliação das **disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas** permite avaliar se o ano foi húmido, médio ou seco. Analisando os dados do ano hidrológico de 2016/17, verifica-se que o armazenamento hídrico superficial (albufeiras) observado foi, de uma forma geral, inferior à média em todas as regiões do Continente. No que concerne às disponibilidades hídricas subterrâneas, verifica-se um agravamento generalizado do nível de água subterrânea ao longo do ano hidrológico.
 - Sendo a água um bem escasso, a sua gestão sustentável passa pelo licenciamento das atividades que tenham impacte significativo no estado das águas. A **utilização de recursos hídricos** é analisada em termos de requerimentos submetidos e respetivos títulos emitidos. No período 2013-2016, 78,6% do total de títulos emitidos dizem respeito a captações de água e 12,7% a rejeição de águas residuais.

O REA 2017 encontra-se disponível no Portal do Estado do Ambiente

Fonte: www.apambiente.pt

Projeto de renaturalização do rio Ceira

Rio Ceira um projeto piloto que visa, avaliar cenários prospetivos do regime hidráulico do Ceira e dos recursos hídricos da bacia, decorrente de alterações climáticas, nomeadamente com a Implementação de programa de monitorização hidrometeorológica incrementando o conhecimento do regime hidrológico do Rio Ceira e o seu contributo para a gestão de caudais de uma zona crítica de inundações do país (troço do rio Mondego entre o sistema Aguieira/ Raiva e a foz do rio Mondego).

Monitorizar o curso de água, com o aumento da fiscalização no terreno, recuperando e reformulando o conceito de proteção, de guarda aos rios (guarda rios), nomeadamente com a verificação da existência de descargas ou de captações ilegais.

Apoio aos diferentes utilizadores do curso de água, numa ótica didática e integradora da utilização da água e a proteção do ambiente, potenciando o conhecimento e a participação das populações locais, numa relação que dá mas também aproveita o conhecimento popular, integrando as tradições e a cultura local.

Reabilitar, com ações de restauração/renaturalização fluvial as situações que venham a ser identificadas, nas margens e nos leitos, recorrendo nomeadamente à instalação ou melhoria de galerias ripícolas, contendo e removendo espécies invasoras, obter uma maior resiliência a caudais elevados, numa perspetiva de melhoria ecossistémica e adaptação a fenómenos extremos, cuja frequência e periodicidade tem tendência a aumentar devido às alterações climáticas.

O projeto aponta para a Integração da população local, de faixas etárias bastante elevadas, irá promover a preservação do legado cultural e ambiental da região, através da integração da sociedade civil via associações cívicas, OS MUNICÍPIOS

Realizar o levantamento do acervo histórico das instalações de utilização hídrica existentes ao longo do rio Ceira e realização dos estudos e projetos de recuperação das mesmas por forma a permitir criar ao longo do rio núcleos museológicos com infraestruturas hídricas e 0 (zero) carbono, espaços de sensibilização e pedagogia. Portanto criar as condições necessárias para reabilitar as

infraestruturas e equipamentos identificados, como forma de, junto das populações locais, recuperar as tradições ambientalmente sustentáveis.

Com a dimensão e consequências dos incêndios rurais, **na bacia do Ceira**, é necessário **considerar** as intervenções urgentes para retenção de matéria orgânica e mineral nas áreas afetadas, bem como a retenção de materiais que possam prejudicar a qualidade da água, dos ecossistemas com a defesa ativa das linhas de água, nomeadamente construindo com materiais existentes nas áreas, de "diques" de retenção.

Fonte: Ministério do Ambiente(gabinete do Ministro do Ambiente)

Programa de Intervenções a curto prazo em Albufeiras

Devido à situação de seca que se tem verificado em todo o país, foi reforçada a execução das medidas aprovadas pela Comissão Permanente de Prevenção, Monitorização e Acompanhamento dos Efeitos da Seca. De igual forma, têm sido assegurado um acompanhamento próximo das situações mais vulneráveis, de modo a promover a articulação entre os usos existentes, garantir os usos prioritários e superar as dificuldades que venham a ser identificadas nas zonas críticas.

No âmbito das iniciativas de prevenção, monitorização e contingência para a situação de Seca, decorreu no passado dia 24 de fevereiro, na ETA do Monte da Rocha, a cerimónia de lançamento do Programa de Intervenções a curto prazo em Albufeiras pelos Ministro do Ambiente e Secretário de Estado do Ambiente.

Albufeira de Monte da Rocha, Ourique



Este programa abrange 8 albufeiras onde é necessário e oportuno proceder a intervenções para melhorar as condições para a qualidade da água armazenada em albufeiras e criar condições para o aumento da quantidade de água disponível para os diversos usos (melhores práticas de manutenção das albufeiras).

A seleção das albufeiras foi feita tendo por base os seguintes critérios:

- Batimetria da albufeira (inicial e atual);
- Avaliação do ganho expeável com a intervenção;
- Problemas de qualidade da água associados ao *pool* interno de nutrientes;
- Ausência de desmatação no período de enchimento;
- Impactes expectáveis da intervenção na qualidade da água, tendo em conta os usos em exploração;
- Interesse manifestado pelos principais utilizadores.

No âmbito destas intervenções estão previstas ações de limpeza de sedimentos, desmatação e remoção de espécies arbustivas e desbaste de árvores infestantes nas margens das albufeiras e nas linhas de água afluentes.

As entidades responsáveis pela execução das intervenções são indicadas no quadro abaixo, incluindo a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., (APA) e as empresas do Grupo Águas de Portugal. Os trabalhos serão desenvolvidos por estas entidades em estreita coordenação com os municípios e as associações de beneficiários e regantes dos aproveitamentos hidroagrícolas em causa.

Região Hidrográfica	Albufeira	Usos	Entidade Responsável
Norte	Pretarouca	Abastecimento	Águas do Norte
	Peneireiro	Abastecimento	Águas do Norte
Tejo	Açude Carvalhal*	Abastecimento Rega	Águas do Vale do Tejo
	Póvoa e Meadas	Abastecimento Energia	Águas do Vale do Tejo
	Divor	Rega	APA/ARH Tejo e Oeste
Alentejo	Monte da Rocha	Abastecimento Rega	Águas Publicas do Alentejo
	Pêgo do Altar	Rega	APA/ARH Alentejo
	Roxo	Abastecimento Rega	Águas Publicas do Alentejo

* Ligação à albufeira da Apartadura

No caso da albufeira de Pretarouca, prevê-se ainda o alteamento da barragem, que representará um aumento de capacidade de 1 hm³, com um custo estimado em 1,2 milhões de euros.

No âmbito do referido Programa serão removidas cerca de 523 mil toneladas de material, com um custo total estimado de 1,9 milhões de euros, que será em parte suportado pelo Fundo Ambiental. Refira-se a assinatura, no passado dia 15 de fevereiro, de um Protocolo entre o Exército Português, o Fundo Ambiental e a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. no valor de 1,25 milhões de euros, para a execução das intervenções previstas nas albufeiras do Pêgo do Altar e Divor. Deu-se já início à intervenção na albufeira do Pêgo Altar (Braço Norte) por parte do Regimento de Engenharia nº 1 do Exército Português.

Albufeira do Pêgo do Altar, Alcácer do Sal



Quanto às intervenções a realizar pela Águas de Portugal está previsto um apoio de 500 000 euros através do Fundo Ambiental.

Fonte: Ministério do Ambiente(gabinete do Ministro do Ambiente)

NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS

Os autores interessados em publicar artigos científico-técnicos ou discussões de artigos anteriormente publicados na revista Recursos Hídricos deverão respeitar as seguintes normas:

1. O artigo, necessariamente original e preferencialmente redigido em Português, na forma impessoal, tem de ser entregue em suporte informático. O processador de texto a utilizar deverá ser o Word (Microsoft). São também aceites artigos redigidos em Inglês.
2. O título, o nome do(s) autor(es) e o texto do artigo (incluindo quadros e figuras) devem ser compostos e guardados num ficheiro único, devidamente identificado (por exemplo, artigo.doc). Tal ficheiro tem de conter a indicação, de forma clara, das zonas onde se pretendem inserir as figuras, desenhos ou fotografias. O texto do artigo deve ser corrido a uma coluna, com espaçamento normal e com a extensão máxima de quarenta mil caracteres (incluindo espaços).
3. O título do artigo tem de ser redigido em Português e em Inglês.
4. A seguir ao título deve ser indicado o nome do(s) autor(es) e um máximo de três referências aos seus graus académicos ou cargos profissionais, assim como o número de associado, caso seja membro da APRH.
5. O corpo do artigo tem de ser antecedido do resumo, redigido em Português e em Inglês (abstract). O resumo em qualquer um dos anteriores idiomas não deve exceder dois mil e quinhentos caracteres (incluindo espaços).
6. Os elementos gráficos (figuras, desenhos e fotografias) têm também de ser fornecidos separadamente em suporte informático, num único ficheiro ou em ficheiros individuais, mas sempre devidamente identificados (por exemplo, Figuras.doc, Figura1.jpg, etc.). Não existe qualquer restrição quanto à utilização de cor naqueles elementos.
7. As referências bibliográficas no corpo do texto devem ser feitas de acordo com a norma portuguesa NP-405 de 1996, indicando o nome do autor (sem iniciais) seguido do ano de publicação entre parêntesis. No caso de mais de uma referência relativa ao mesmo autor e ao mesmo ano, devem ser usados sufixos a), b), etc.
8. Os artigos devem terminar por uma lista de referências bibliográficas organizada por ordem alfabética do nome (apelido) do primeiro autor, seguido dos nomes dos outros autores, caso os haja, do título da obra, editor, local e ano de publicação (ou referência completa da revista em que foi publicada). De tal lista só podem constar as referências bibliográficas efectivamente citadas no corpo do texto.
9. Só serão aceites discussões de artigos publicados até dois meses após a publicação do número da revista onde esse artigo se insere. As discussões serão enviadas ao autor do artigo, o qual poderá responder sob a forma de réplica. Discussões e réplica, caso exista, serão, tanto quanto possível, publicados conjuntamente.
10. O título das discussões e da réplica por elas originada é o mesmo do artigo original acrescido da indicação Discussão ou Réplica. Seguidamente, deve constar o nome do autor da discussão ou da réplica de acordo com o indicado no ponto 4.
11. À publicação de discussões e de réplicas aplicam-se as normas antes explicitadas para a publicação de artigos
12. Os artigos e as discussões devem ser enviados por correio electrónico para o endereço da APRH (aprh@aprh.pt). O assunto desse correio electrónico deve elucidar sobre o respectivo conteúdo (por exemplo, submissão de artigo ou discussão de artigo). No corpo do correio, o autor ou os autores têm ainda de sugerir três revisores que considerem adequados, face ao teor científico técnico e ao idioma do respectivo artigo.

Secretariado da APRH
A/c LNEC – Av. do Brasil, 101
1700-066 Lisboa
Portugal

