

Recursos Hídricos

Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

REABILITAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA

MAIO 2011

{vol.32#01}



Proprietário

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

Director

José Simão Antunes do Carmo

Subdirectora

Maria Manuela Portela

Conselho de Direcção

António Betâmio de Almeida

António de Carvalho Quintela

Luís Veiga da Cunha

Editores Científicos Associados

António Nascimento Pinheiro, IST, Portugal

João Paulo Lobo Ferreira, LNEC, Lisboa

João Soromenho Rocha, LNEC, Lisboa

José Manuel Pereira Vieira, UM, Portugal

Maria Manuela Portela, IST, Lisboa

Teresa Ferreira Cardoso, ISA, Portugal

Secretariado

Ana Estêvão

André Cardoso

Conceição Martins

Ana Carneiro

Redacção 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

Design

Flatland Design

Publicação Subsidiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia

Registo de imprensa nº 106936

Depósito legal nº 5838/84

ISSN 0870-1741

ERRATA REFERENTE AO VOLUME 30#2

“DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PISCÍCOLA PARA OS RIOS DE PORTUGAL CONTINENTAL”, PAULA MATONO ET AL. PÁGINA 82.

Tabela 3 - Síntese da informação relevante relativa às diversas configurações do índice piscícola nos tipos em que este é aplicável: métricas, percentis para cálculo dos valores do índice, medianas das referências e fronteiras. Resposta à degradação: ↑ significa que o valor da métrica aumenta com a elevação da pressão; ↓ significa que o valor da métrica diminui com a elevação da pressão.

Grupo	Tipos	Métricas	Resposta à degradação	Percentis 50 referências	Percentis 5 não-referên.	Percentis 95 não-referên.	Mediana referências	Fronteiras do índice
NORTE > 100 km ²	N1 > 100 km ² N2	Espec. Endémicas (%)	↓	75.0	33.3	100	76	EB: 0.91
		Indiv. Pelágicos (%)	↓	40.2	0	95.2		BR: 0.68
		Indiv. Limnofílicos (%)	↑	28.3	0	94.5		RM: 0.46
		Espec. Tolerantes (%)	↑	33.3	0	80.0		Mm: 0.23
		P. duriense (ind./100 m ²)	↓	0.6	0	5.8		
SUL MISTO	N4						100	EB: 0.96
								BR: 0.72
	S1 < 100 km ² S2	Indiv. Limnofílicos (%)	↑	6.5	0	100	80	RM: 0.48
		Indiv. Generalistas (%)	↓	83.1	0	99.0		EB: 0.93
		Indiv. Litofílicos nativos (%)	↓	99.5	0	100		BR: 0.70
		Espec. Tolerantes (%)	↑	50.0	0	100		RM: 0.46
		S. pyrenaicus (ind./100 m ²)	↓	0.8	0	9.0		Mm: 0.23
	S3						53.1	EB: 0.82
								BR: 0.62
								RM: 0.41
	SUL > 100 km ² S1 > 100 km ²	Densidade (ind./100 m ²)	↓	25.5	0.6	97.3	90.8	Mm: 0.21
		Espec. Endémicas (%)	↓	66.7	0.04	100		EB: 0.94
		Indiv. Limnofílicos (%)	↑	17.0	0	100		BR: 0.71
		Indiv. Generalistas (%)	↓	59.4	0	94.6		RM: 0.47
		Indiv.Litofílicos nativos (%)	↓	90.3	0	100		Mm: 0.24
		Espec. Tolerantes (%)	↑	50.0	25.4	100		

Fronteiras: E – Excelente, B – Bom, R – Razoável, M – Medíocre, m – Mau

RECURSOS HÍDRICOS

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

MAIO 2011

vol. 32#01

3

EDITORIAL

José Simão Antunes do Carmo

5

O SISTEMA DE INFORMAÇÃO E APOIO À DECISÃO [SI.ADD] DA ARH DO NORTE, I.P: objectivos e desenvolvimento

Joaquim Alonso // Pedro Castro // Jorge Ribeiro // Ivone Martins // João Mamede // Arnaldo Machado // António Brito

13

PLATAFORMA WEB DE SUPORTE AO SISTEMA DE MODELAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA DA BACIA DO RIO AVE

José L. S. Pinho // José M. P. Vieira // Rui P. Pinho // José M. Araújo

29

UMA NOVA FERRAMENTA DE RESTAURO: APLICAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO DA EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO RIPÍCOLA EM FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

Rui Rivaes // Patricia Rodríguez-González // António Albuquerque // Teresa Ferreira // António Pinheiro

43

TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

M. M. Portela // A. C. Quintela // J. F. Santos // C. Vaz // C. Martins

61

REQUALIFICAÇÃO DE RIBEIRAS COSTEIRAS NO ÂMBITO DE UMA ESTRATÉGIA PARA A PROTECÇÃO E VALORIZAÇÃO DO LITORAL NA ÁREA DE JURISDIÇÃO DA ARH DO TEJO, I.P.

Maria Helena Alves // Francisco Reis // Gabriela Moniz // Maria Teresa Álvares

Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

Discussões relativas a artigos publicados neste número deverão ser enviadas à APRH até 30 de Novembro de 2011.

NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS

Os autores interessados em publicar artigos técnico-científicos ou discussões de artigos anteriormente publicados na revista «Recursos Hídricos» deverão respeitar as seguintes normas:

1. Deve ser apresentado um original em papel A4 e em suporte informático do artigo redigido em língua portuguesa, utilizando a forma impessoal. O processador de texto a utilizar deverá ser Word (Microsoft). O título, o nome do(s) autor(es) e o texto do artigo devem ser guardados num ficheiro único e devidamente identificado (por exemplo, artigo.doc). As imagens devem ser entregues em separado (TIF ou GIF) com qualidade para impressão offset (300 dpi). O texto deve conter a indicação acerca da inserção das imagens. Os gráficos, esquemas e tabelas devem ser também apresentados em separado e editáveis, ou quando possível, no caso dos gráficos, devem ser apresentadas as tabelas numéricas que lhes deram origem. De preferência deve também ser apresentado um PDF do artigo completo de forma a esclarecer dúvidas face aos documentos recebidos.
2. O texto deve ser corrido a uma coluna, com espaçamento normal, e ter uma extensão máxima de 20 mil caracteres.
3. O título do artigo não deve exceder os 76 caracteres, devendo ser apresentado também em inglês.
4. A seguir ao título deve ser indicado o nome do(s) autor(es) e um máximo de 3 referências aos seus graus académicos ou cargos profissionais, assim como o número de associado, caso seja membro da APRH.
5. O artigo deverá ser antecedido de resumos em português e inglês (abstract) que não deverão exceder mil caracteres cada.
6. Devem ser indicados, de forma clara, os locais onde se pretendem inserir as figuras (desenhos ou fotografias, de preferência a cores). Os desenhos devem, de preferência, ser fornecidos em suporte magnético, em ficheiros individuais devidamente identificados (por exemplo, Figura1.doc, etc.) e numa cópia em papel A4. As fotografias devem ser enviadas no papel original ou em diapositivos, devidamente identificados.
7. As referências bibliográficas no meio 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).
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 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. As normas para publicação de discussões e réplicas são as mesmas do que para a publicação de artigos.
12. Os artigos e as discussões (texto, disquete e ilustrações respectivas) devem ser enviados para a sede da APRH

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

EDITORIAL

Os conturbados tempos que vivemos, em resultado das intensas alterações nas dinâmicas sociais decorrentes da facilidade de acesso às novas tecnologias de comunicação e informação, tendem a contribuir para minar os alicerces dos tradicionais meios de transmissão do conhecimento e de divulgação dos resultados da investigação produzida pela comunidade científica.

É, por um lado, a *sede* da notícia transmitida em tempo real, normalmente incompatível com morosidades, mas frequentemente actualizada e/ou retificada, e por outro a busca de informação e conhecimento, normalmente não validado, capaz de distorcer a veracidade dos factos.

Embora se reconheçam fragilidades em tais fontes, as facilidades e rapidez de acesso e consulta que oferecem acabam por ser determinantes num contexto de análise menos rigorosa, em que quantidade e qualidade não são necessariamente aliados. Fontes de pesquisa comuns como o Google, o Altavista e o Terraviva, entre muitas outras, constituem hoje em dia verdadeiros monopólios de acesso rápido mas com informações e conteúdos muito duvidosos.

É sem dúvida de saudar a grande inovação a que assistimos na última década e meia no domínio das tecnologias de informação e transferência do conhecimento; contudo, importará não ser cético ao ponto de julgar arcaicos outros meios com uma imbatível capacidade de divulgação do conhecimento cientificamente validado.

Assistimos à conversão das tradicionais revistas científicas de qualidade aos novos conceitos de publicação (*online*), e assistimos também ao proliferar de muitas outras revistas de qualidade duvidosa, com fins fundamentalmente comerciais, procurando tirar partido do menor custo que estas soluções proporcionam.

Naturalmente que será necessário *separar o trigo do joio*, e isso acabará por acontecer; como é próprio de períodos caracterizados por profundas alterações sociais, como o que atravessamos, as revistas de menor qualidade perderão procura e

deixarão de ter mercado num mundo global que se tornará sucessivamente mais exigente.

No caso particular das revistas científicas publicadas em língua portuguesa, o panorama actual é ainda mais desolador, em consequência de uma política devastadora que se iniciou, e tem vindo a ser paulatinamente implementada, na última meia dúzia de anos. Com efeito, a aposta num sistema de avaliação dos docentes do ensino Universitário que desvaloriza, ou simplesmente despreza, as publicações em língua portuguesa, conduzindo ao desaparecimento de livros e revistas científicas com um passado comprovadamente muito rico, mas sem procura na actual conjuntura, não augura tempos promissores para as revistas de carácter científico publicadas em língua portuguesa.

Os cinco artigos publicados no presente número da *Recursos Hídricos* são representativos das 29 comunicações submetidas e aceites para apresentação no 2º Seminário sobre Gestão de Bacias Hidrográficas "Reabilitação e Utilização da Rede Hidrográfica".

No primeiro artigo são definidas as prioridades relativas ao desenvolvimento do um Sistema de Informação e Apoio à Decisão (SI.ADD da ARH do Norte, I.P.) para apoio à elaboração e implementação do PGRH-Norte, em estreita colaboração com os utilizadores internos e externos. Sustentam os autores que o SIG em desenvolvimento assume um carácter modular e colaborativo com aplicações transversais ao quadro orgânico e à missão e funções da instituição, nomeadamente o planeamento, a gestão e a cooperação institucional.

No segundo artigo são apresentadas as principais características de uma plataforma tecnológica vocacionada para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão para a gestão da água na bacia do rio Ave. Como principais componentes, esta plataforma inclui um sistema de informação, nomeadamente georreferenciada, um sistema de modelação, com possibilidades de operação remota, e um sistema de análise do

funcionamento dos meios hídricos em diferentes cenários ambientais.

O artigo seguinte apresenta um modelo dinâmico de habitats de vegetação ripária que permite, segundo os autores, ultrapassar as limitações patentes nas abordagens de modelação convencionais. Ainda de acordo com os autores, o modelo apresentado consegue potenciar a sua utilização com a visão espaço-temporal da dinâmica fluvial e consequente relação com a vegetação ripária, bem como conciliar a visão a longo prazo com a escala temporal das tomadas de decisão do gestor.

O quarto trabalho apresenta uma descrição sumária de diversos estudos efectuados com o objectivo de identificar e analisar tendências em séries temporais longas, designadamente de precipitação, numa perspectiva de que as mesmas poderiam conter indícios de mudanças climáticas. Apresenta ainda os modelos aplicados para o efeito e alguns dos resultados alcançados.

No quinto e último artigo são apresentadas as linhas de acções em curso para a requalificação das ribeiras costeiras afluentes a zonas balneares no contexto da Estratégia para a Protecção e Valorização do Litoral da ARH do Tejo, I.P. São complementarmente descritos os estudos necessários para a caracterização das ribeiras e respectivas bacias hidrográficas, e ainda as características-tipo dos projectos a realizar no sentido de garantir o bom estado ecológico das massas de água.

A *Revista Recursos Hídricos* continuará interessada na publicação de artigos que constituam referências de qualidade nos domínios da Hidráulica, dos Recursos Hídricos e do Ambiente, obtidos pela comunidade científica nesta matéria e que sejam úteis para as Administrações de Regiões Hidrográficas.

O Director da *Recursos Hídricos*

José Simão Antunes do Carmo

O SISTEMA DE INFORMAÇÃO E APOIO À DECISÃO [SI.ADD] DA ARH DO NORTE, I.P.: objectivos e desenvolvimento

SPATIAL INFORMATION SYSTEM OF WATER RESOURCES (NORTH OF PORTUGAL - SI.ADD): objectives and development

Joaquim ALONSO

Doutorando em Sistemas de Informação Geográfica /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// malonso@esa.ipvc.pt

Pedro CASTRO

Doutor em Ciências Engenharia /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// pmc@destg.ipvc.pt

Jorge RIBEIRO

Doutor em Tecnologias da Informação /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// jribeiro@destg.ipvc.pt

Ivone MARTINS

Licenciada em Engenharia do Ambiente /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// ivonemartins@esa.ipvc.pt

João MAMEDE

Licenciado em Engenharia Zootécnica /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// joao.mamede@arhnorte.pt

Arnaldo MACHADO

Licenciado em Engenharia Civil /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// arnaldo.machado@arhnorte.pt

António BRITO

Doutor em Engenharia Biológica /// Instituto Politécnico de Viana do Castelo /// agbrito@arhnorte.pt; agbrito@deb.uminho.pt

RESUMO: A ARH do Norte, I.P. em estreita colaboração com os utilizadores internos e externos concebeu, implementou e pretende manter vários módulos de um WEBSIG, a integrar funcionalmente no SI corporativo da ARH do Norte, I.P., o SI.ADD. Este sistema assume um carácter modular, evolutivo e colaborativo com aplicações transversais ao quadro orgânico, à missão e funções desta instituição, desde o planeamento de recursos hídricos, à gestão e à cooperação institucional. No final, pretende-se que o SI.ADD seja um elemento de gestão e eficiência interna, mas também promotor da proposta, da capacidade de resposta e imagem externa da instituição. Como apoio ao Plano de Gestão das Regiões Hidrográficas do Norte (PGRH-Norte) recolheu-se um conjunto alargado de bases de dados geográficas, iniciaram-se os trabalhos de documentação e avaliação da qualidade das mesmas assim como, prepararam-se as operações de apoio ao PGRH-Norte na sua base tecnológica e processual.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica, Directiva Quadro da Água, Water Information System for Europe (WISE), Planos de Gestão de Região Hidrográfica.

ABSTRACT: The water resources planning and management administration of North Portugal, Administração da Região Hidrográfica do Norte, I. P. (ARH-N I. P.) in cooperation with internal and external users conceived, implemented and intends to keep different WEBGIS modules to integrate the institutional and corporate information system, the SI.ADD. This system assumes a modular, evolutionary and collaborative vision with transversal applications to the organizational structure, its mission and functions, from the water resources planning to the institutional capacity building development. The SI.ADD contributes to internal management and efficiency, facilitates effective and opportune institutional responses and proposals, promote e-government actions and knowledge network development. A widened set of spatial databases was collected, documented and evaluated as technologies and procedural basis were implemented in order to support the North of Portugal River Basin Management Plan (PGRH-North).

Keywords: Geographic Information System, Water Framework Directive, Water Information System for Europe (WISE), River Basin Management Plan.

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

A importância ambiental, social e económica dos recursos hídricos justifica o reforço das políticas e programas, do quadro institucional e legal, assim como do investimento nos instrumentos de planeamento e gestão, em particular dos sistemas de informação (SI) como base para o apoio à decisão técnico-política, cooperação institucional e participação pública. A Administração da Região Hidrográfica do Norte, I. P. (ARH do Norte, I. P.) é um instituto público periférico integrado na administração indirecta do Estado, sob a tutela do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, que tem por principal missão proteger e valorizar as componentes ambientais das águas, bem como proceder à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito da respectiva circunscrição territorial de actuação (Dec. Lei nº 208/2007, de 29 de Maio). *Na missão e atribuições da ARH do Norte, I.P., refere-se, entre outros: o planeamento e a execução do planeamento de recursos hídricos; emitir e fiscalizar os títulos de utilização dos recursos hídricos; aplicar o regime económico e financeiro; caracterização territorial e requalificação dos recursos hídricos e a sistematização fluvial; estabelecer a rede, elaborar e aplicar os programas de monitorização da qualidade da água.* A dimensão e a complexidade destes trabalhos requerem “capacidade de liderança institucional focada na excelência, para a qual deve contribuir o esforço de modernização da Administração Pública, patente na procura de melhores metodologias para a organização das instituições e para a gestão dos recursos humanos, reconhecendo-se o mérito da instituição e do indivíduo enquanto sua parte essencial. Importa salientar, ainda, a capacidade de inovação tecnológica e a qualificação profissional como vectores estratégicos para que o conjunto de responsabilidades das ARH, I. P., possam ser cumpridas num desígnio de criação de valor, no sentido último de, por essa via, melhor servir os cidadãos e o País. ...importa notar que as ARH, I. P., se desenvolvem por via de novas arquitecturas organizacionais e que procuraram transpor para a gestão de recursos hídricos um enfoque tecnológico inovador” (Dec. Lei nº 208/2007, de 29 de Maio).

Os Sistemas de Informação (Geográfica) (SI(G)) incluem os recursos humanos, as tecnologias e as aplicações informáticas, as normas e os procedimentos que garantam a produção, a organização, a análise e a edição de um conjunto alargado de bases de dados (geográficas) no apoio aos processos técnicos e administrativos. As Ciências e as Tecnologias de Informação Geográfica

(C&TIG), ao explorar a dimensão espacial e temporal, permitem relacionar informação de natureza multidimensional e multidisciplinar, aumentando a capacidade de processamento e de mobilidade da informação com reflexos na comunicação, decisão e acção. Ao longo das diferentes fases de desenvolvimento, os SIG reúnem e tratam informação com uma qualidade espacial e temática crescente, favorecendo a articulação gradual e evolução do apoio ao planeamento para a gestão operacional. Estes processos reforçam o interesse para a eficiência interna das entidades responsáveis, assim como, a possibilidade da administração efectivar produtos e serviços de governança-digital (Alonso *et al.*, 2007).

Na produção e uso de informação geográfica, as diversas aplicações e modelos permitem integrar os processos de planeamento, monitorização e gestão de recursos hídricos (Hannerz *et al.*, 2005); carecendo, no entanto, de informação com elevada e crescente qualidade espacial, temática e territorial (Craglia *et al.*, 2010). A ARH do Norte, I.P., encontra-se a desenvolver um Sistema de Informação e Apoio à Decisão (SI.ADD da ARH do Norte, I.P.) para o âmbito espacial da sua jurisdição que possibilite sob uma coordenação e gestão de projecto interno, o desenvolvimento de diversos projectos e módulos que incluem: a organização de processos, a produção de bases de dados, o desenvolvimento e instalação de estruturas informáticas, aplicações de gestão e comunicação e a capacitação individual e institucional do quadro técnico e utilizadores.

Neste sentido importa: identificar e caracterizar os aspectos estruturantes dos processos, nomeadamente no que diz respeito ao diagnóstico e ao planeamento dos investimentos a realizar; conceber a arquitectura, a organização e as funcionalidades do sistema; desenvolver, organizar, disponibilizar e gerir os acessos às bases de dados; capacitar os técnicos e a instituição para a melhor utilização. Neste trabalho definiram-se prioridades, nomeadamente no que se refere ao desenvolvimento do SI.ADD de apoio à elaboração e implementação do PGRH-Norte.

Na continuação do desenvolvimento com recurso a elementos espaciais e terrestres de monitorização, a instalação, a operacionalização de equipamentos e aplicações, assim como a implementação de procedimentos ágeis, podemos capturar, analisar e comunicar grandes quantidades de dados que sejam suficientes para acompanhar e intervir na gestão de recursos hídricos em tempo oportuno na sua relação com a realidade e complexidade biofísica e humana. A ARH do Norte, I.P. em estreita colaboração com os

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Janeiro de 2011, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Fevereiro de 2011. Este artigo é parte integrante da **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 32, Nº 1, 5-12, Maio de 2011.
© APRH, ISSN 0870-1741

utilizadores internos e externos concebeu e pretende implementar e manter vários módulos de um SIG, a integrar funcionalmente no SI corporativo da ARH do Norte, I.P.. Este SIG assume um carácter modular e colaborativo com aplicações transversais ao quadro orgânico, à missão e funções desta instituição, desde o planeamento, à gestão e à cooperação institucional. No final, pretende-se que o SI.ADD seja um elemento de gestão e eficiência interna, mas também promotor da proposta, da capacidade de resposta e imagem externa da instituição.

2. AS COMPONENTES E O DESENVOLVIMENTO DO SI.ADD DA ARH DO NORTE, I.P.

Na sociedade de informação, a mobilidade dos dados entre o conjunto de entidades públicas e privadas, deve ser regulada no sentido de promover o acesso e uso igualitário e democrático. O crescimento e a utilidade dos Sistemas de Informação (SI) relacionam-se com o reconhecimento crescente de que a dimensão espacial da informação aumenta o valor e as possibilidades da respectiva utilização no quadro dos Sistemas de Informação Geográfica – SI(G). Neste contexto, verifica-se uma expansão das áreas de aplicação dos SIG, muito em particular, para o planeamento e a gestão dos recursos hídricos (European Commission, 2009a). A instalação das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e adopção dos SI(G) na Administração permite ganhos de eficácia e eficiência interna, uma melhor resposta à sociedade e comunidades com impactes directos sobre as dinâmicas de desenvolvimento territorial, nomeadamente na promoção de economias do conhecimento. O recurso às Tecnologias de Informação Geográfica - TI(G) permite explorar a dimensão espacial e digital dos dados, com contribuições claras para a formação de espaços geográficos virtuais, numa evidente aproximação física e temporal entre produtores e utilizadores de informação, favorecendo a integração e coesão social, bem como a equidade de acesso a bens e serviços (European Commission, 2009b e 2009c).

2.1. O SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

O SI.ADD da ARH do Norte, I.P. deve responder às missões e funções da instituição, à orgânica e às relações com o contexto político, social, económico e institucional. No seu desenvolvimento atende-se: i) à situação e aos recursos actualmente afectos à ARH do Norte, I.P.; ii) à possibilidade de integrar as acções de diversos projectos da responsabilidade ou em que ARH do Norte, I.P. participa; iii) à evolução natural e programada da organização e dos requisitos de acção

desta instituição. O SI.ADD da ARH do Norte, I.P. apresenta, por princípio, as seguintes características:

- i) **uma natureza modular**; torna-se possível identificar os diferentes módulos que podem ser apresentados com âmbito e resultados concretos, sem colocar em causa a coerência do conjunto, ao serem desenvolvidos sob uma matriz e coordenação comum;
- ii) **um desenvolvimento evolutivo e escalar**; é um sistema escalável e tendencialmente universal, na medida em que segue normas e especificações europeias e internacionais, quer ao nível da sua conceptualização e codificação da informação, quer ao nível da disponibilização dessa informação através de diversos formatos padrão, que permitam a visualização e análise dos temas a diversos níveis hierárquicos por exercícios de (des)agregação temática e espacial;
- iii) **uma organização e postura colaborativa**; o sistema deve valorizar uma visão de desenvolvimento e funcionamento onde se identifiquem o quadro de parcerias institucionais potencialmente participantes na partilha de conhecimentos, metodologias, aplicações e experiências entre as entidades e projectos; este aspecto é da máxima importância para evitar redundâncias de acção e competências, gerar economias, valorizar os produtos finais e diminuir o período de execução do projecto;
- iv) **multidimensional e multidisciplinar**; resulta da participação de um conjunto alargado de entidades que visam a instalação e inovação tecnológica, sem descurar o envolvimento e a intervenção sobre o indivíduo e a organização no quadro institucional e territorial;
- v) **visão sistémica e intervenção integrada**; as acções devem integrar intervenções paralelas e concertadas dos diversos actores e projectos nas diversas componentes do SI (tecnologias de informação, o quadro humano e organizacional, elaboração e incorporação de procedimentos inerentes à definição de normas e políticas).

2.2. As componentes e a arquitectura do SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

Ao nível da arquitectura e modelo de organização pretendeu-se manter uma visão abrangente e integrada do SI da ARH do Norte, I.P., do enquadramento do SI.ADD e da respectiva relação entre módulos, aplicações, produtos e utilizações futuras, incluídos no presente projecto e respectivas fases de desenvolvimento.

A arquitectura geral e lógica do SI.ADD (Figura 1) definiu-se em três camadas: i) de acesso aos dados; ii) de lógica ou aplicações de gestão; iii) e camada de apresentação, com vantagens na funcionalidade e desenvolvimento do sistema. No conjunto considera-se a camada dos dados e os metadados, a formação, o desenvolvimento e interligação dos serviços, as aplicações internas e o acesso externo às mesmas em geoportal assim como, a disponibilização e acesso condicionado por autenticação única dos diversos utilizadores às componentes do sistema (Figura 2). A visão para o SI.ADD da ARH

do Norte, I.P. complementa-se com a definição de uma estratégia de proximidade entre a recolha e a organização da informação com as diversas equipas temáticas de desenvolvimento do Plano de Gestão das Regiões Hidrográficas do Norte (PGRH-Norte). No processo de construção do SI.ADD da ARH do Norte, I.P., consideram-se diversas fases:

- i) o diagnóstico e análise de requisitos;
- ii) a concepção e o desenvolvimento;
- iii) e a operacionalização e a manutenção.

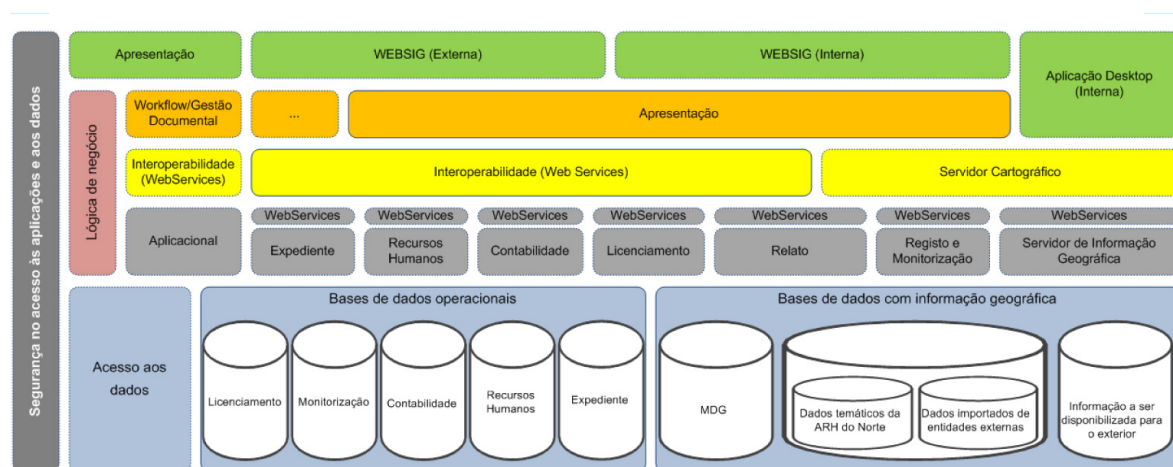


Figura 1 - A arquitectura lógica do SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

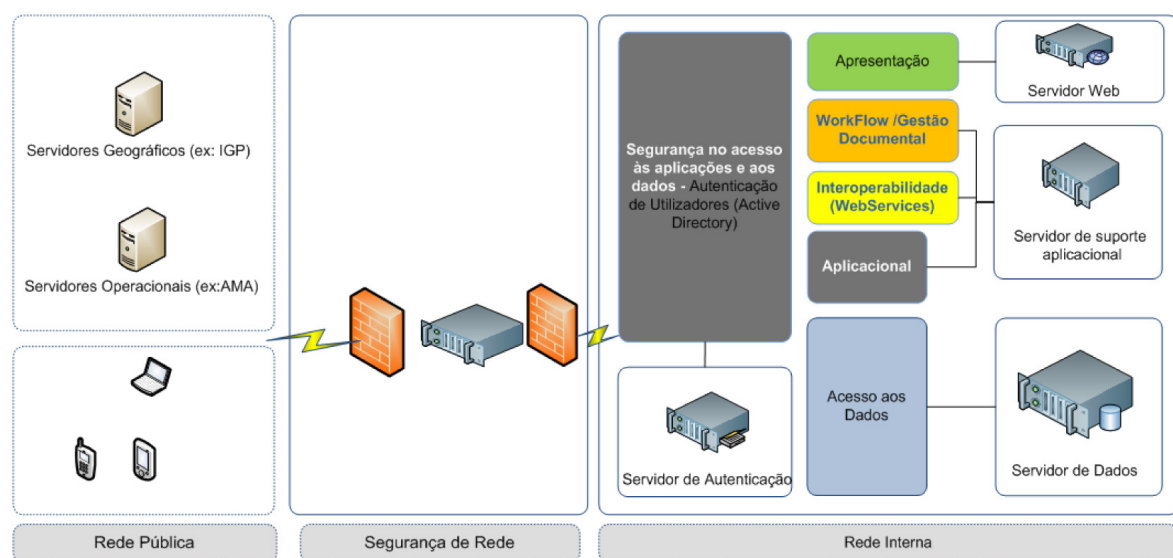


Figura 2 - A arquitectura física do SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

2.3. Os módulos, as actividades e os actores do SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

A necessidade e a importância do desenvolvimento do SI.ADD resultaram da iniciativa da Presidência da ARH do Norte, I.P., na sua articulação com o Conselho de Região Hidrográfica (CRH) no quadro da instalação e planeamento das actividades institucionais. Desde a fase inicial de concepção, o SI.ADD centrou-se no Departamento de Planeamento, Informação e Comunicação da ARH do Norte, I.P.. Este Departamento geriu os recursos necessários para o desenvolvimento dos trabalhos envolvendo de forma activa e contínua a participação dos decisores e diversos técnicos do próprio Departamento e dos Departamentos de Recursos Hídricos do Litoral, de Recursos Hídricos Interiores e Financeiro, Administrativo e Jurídico. Este interesse resultou na proposta e aprovação de uma candidatura ao programa de financiamento Programa Operacional da Região Norte (ON2) – Eixo Prioritário III – Acção de Valorização e Qualificação Ambiental e Territorial que suportou os encargos económico-financeiros do conjunto dos módulos.

Na relação entre a Presidência e os diversos Departamentos criou-se uma **Comissão de Coordenação e Acompanhamento** com assessoria de especialistas em gestão de projecto e em Sistemas de Informação Geográfica. Esta equipa de coordenação e apoio técnico do SI.ADD da ARH do Norte, I.P. apresenta e valida o desenvolvimento do objecto, objectivos, resultados, metodologias de intervenção, programação e afectação de recursos de cada projecto/módulo. Em simultâneo assume: i) conduzir e participar activamente na concepção, discussão e aprovação de um **plano de sustentabilidade, de gestão e expansão do sistema** para os períodos seguintes às acções das fases actuais; ii) coordenar e participar em todas as actividades de natureza transversal e responsabilizar-se pela reunião dos elementos associados aos relatórios de auto-avaliação, assim como a integração dos relatórios de progresso em relatórios finais.

Estas actividades de **natureza transversal** implicam a colaboração de todas as entidades sob orientação da Comissão de Coordenação e Acompanhamento e com responsabilidade directa aos **Coordenadores Temáticos** de cada módulo relativamente:

- i) **ao diagnóstico, concepção e avaliação do projecto**; participação em acções de preparação conjunta, para a definição do modelo de avaliação, assim como, na recolha e tratamento dos elementos associados;
- ii) **à documentação, comunicação e divulgação**; preparação de documentação que vise a explicitação das actividades e acções por

processo, de acordo com os sistemas de gestão de projecto; elaborar relatórios técnicos de progresso, um relatório técnico e um relatório conjunto final; participação na preparação e na realização de acções de divulgação internas ao projecto e à ARH do Norte, I.P.; preparação e implementação de uma estratégia conjunta, colectiva e colaborativa de realização do projecto, de apresentação dos resultados e do desenvolvimento de um plano de sustentabilidade;

- iii) **à utilização de normas gráficas comuns** estabelecidas pelo promotor e a aplicar sobre todos os produtos do projecto;
- iv) **à promoção da participação**, no desenvolvimento de **acções de formação** com vista à **capacitação individual e autonomia institucional**; colaboração em acções que promovam a participação e adaptação institucional, com recurso a meios de divulgação internos e na elaboração de acções para todos os possíveis utilizadores internos do sistema.

Desta forma, embora o âmbito específico dos diversos módulos, estes ganham coerência de acção ao aproveitarem um conjunto de **pressupostos e acções comuns** associadas à realização de:

- i) **reuniões mensais ordinárias, plenárias e presenciais** de projecto com os representantes de todas as equipas;
- ii) a realização de **reuniões específicas presenciais e em vídeo-conferência** de acordo com a evolução das necessidades;
- iii) acções de formação e comunicação permanentes;
- iv) **apresentação pública** do projecto em diversos âmbitos que permitam a melhor comunicação interna e externa dos propósitos, avanços e resultados do projecto.

A gestão da dimensão e complexidade dos objectos e objectivos iniciais definiu a decisão de dividir o SI.ADD em diversos **módulos de natureza horizontal e específica**. Estes apresentam âmbitos, programas de trabalho, processos e resultados esperados próprios e coerentes definindo responsabilidades específicas atribuídas e contratualizadas com diversas entidades da Academia (Instituto Politécnico de Viana do Castelo), empresas (ESRI Portugal, CHIMP e SIG2000) e outros órgãos da Administração (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). Cada módulo apresenta actividades de natureza transversal que se relacionam com a **avaliação, documentação, comunicação, divulgação, capacitação individual e institucional**.

De forma indirecta, envolveram-se activamente **outros actores no projecto**:

- i) um conjunto de entidades parceiras e colaboradores da **Administração Central, Regional e Local** através de protocolos de partilha de dados e serviços informáticos;
- ii) **empresas** associadas à gestão de recursos naturais como colaboradores na partilha de dados, na especificação do sistema com vista à melhor interoperabilidade dos sistemas de informação mútuos;
- iii) outras **instituições académicas e centros de investigação** envolvidas em trabalhos simultâneos de planeamento e avaliação de recursos hídricos;
- iv) em particular as **entidades individuais ou colectivas, públicas ou privadas utilizadoras dos recursos hídricos** e neste sentido, utilizadores externos do SI.ADD.

Em simultâneo, o SI.ADD da ARH do Norte, I.P. resulta da integração de diferentes **projectos de natureza vertical e específica**, como sejam:

- i) **apoio técnico ao desenvolvimento do SI.ADD da ARH do Norte, I.P. e organização de bases de dados de referência e temáticas**; avaliação e propostas para o Sistema de Informação actual, apoio técnico ao desenvolvimento do Sistema de Informação (Geográfica) da ARH do Norte, I.P., produção e organização de bases geográficas de referência e temáticas em particular para a elaboração do PGRH do Norte (artigo 29º da Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro) (Figura 3);
- ii) **concepção e instalação da base tecnológica do sistema**; levantamento de requisitos, desenho técnico da arquitectura, instalação da infra-estrutura, formação dos administradores, dos técnicos e utilizadores de sistema;
- iii) **modelos de dados do sistema e aplicações de relato de estado dos recursos hídricos**; conceptualização e implementação dos modelos de dados geográficos; desenvolvimento da aplicação de suporte a relatórios internos periódicos da qualidade dos recursos hídricos e da aplicação de partilha para o sistema WISE;
- iv) **base de dados e aplicação para inventário/cadastro de infra-estruturas e utilizações dos recursos hídricos**; migração de dados existentes internamente; desenho e criação de base de dados do inventário/cadastro e desenvolvimento de aplicações de interface e gestão de cadastro;
- v) **desenvolvimento e instalação de aplicações informáticas de licenciamento e fiscalização de**

recursos hídricos; desenvolvimento e instalação de aplicações de gestão com módulos; de Gestão de Processos de Licenciamento; de Gestão do Auto-controlo no âmbito dos títulos de utilização do Domínio Hídrico; de Cálculo da Taxa de Recursos Hídricos; e de Fiscalização (Figura 4);

- vi) **modelos informáticos de simulação para apoio à gestão de recursos hídricos**; experimentação e desenvolvimento de um plano estratégico para a identificação, análise e instalação de modelos de simulação da quantidade e qualidade de recursos hídricos no âmbito de apoio à decisão na ARH do Norte, I.P. (Figura 5);

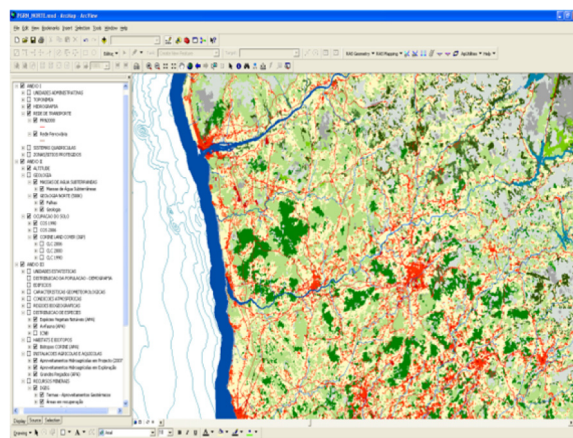


Figura 3 - As bases de dados de referência e temáticas de apoio ao PGRH do Norte.

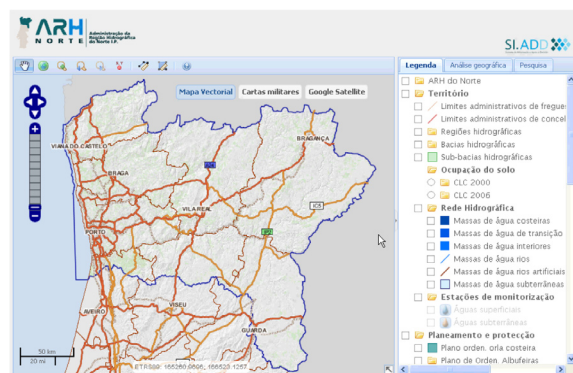


Figura 4 - O geovisualizador do SI.ADD da ARH do Norte, I.P.

vii) **concepção, desenvolvimento e operacionalização de um geoportal;** instalação de um (geo)portal/plataforma WEBSIG corporativo que permita a integração, a gestão, a edição multiutilizador *on-line*, o acesso a produtos e serviços associados a dados e aplicações de suporte à gestão interna, à cooperação institucional e aos processos de comunicação, sensibilização, participação e avaliação pública de acordo com as atribuições e actividades da ARH do Norte, I.P..

Este WEBSIG assume um carácter modular e colaborativo com aplicações transversais ao quadro orgânico, à missão e funções desta instituição, desde o planeamento, à gestão e à cooperação institucional.

3. CONCLUSÕES

A concepção, o desenvolvimento mas, acima de tudo, a adopção do sistema de informação, englobam desafios consideráveis de natureza multidimensional seja do

ponto de vista legal, financeiro e tecnológico que se reflectem na dimensão organizacional e processual interna. A inovação tecnológica apresenta muitas vezes dificuldades de ajustar a inovação organizacional e este a reflectir-se em valor para a instituição e objectos dos sistemas de informação. As dificuldades sentidas na Coordenação resultam da consideração simultânea e equilíbrio entre os objectivos e as diversas componentes do SI.ADD (dados, tecnologias, recursos e normas internas) no quadro e respeito pelas políticas e normativos (inter)nacionais, opções e recursos económico-financeiros disponíveis.

No conjunto destacam-se a identificação de diversas condicionantes e factores críticos de sucesso, verificados, assumidos e geridos ao longo do projecto:

- i) a dispersão de fontes, formatos e organização das bases de dados utilizados e necessários; além da dispersão por diversas instituições, encontravam-se muitas vezes em formato analógico, sem referenciação espacial ou em diversos sistemas de referenciação, além

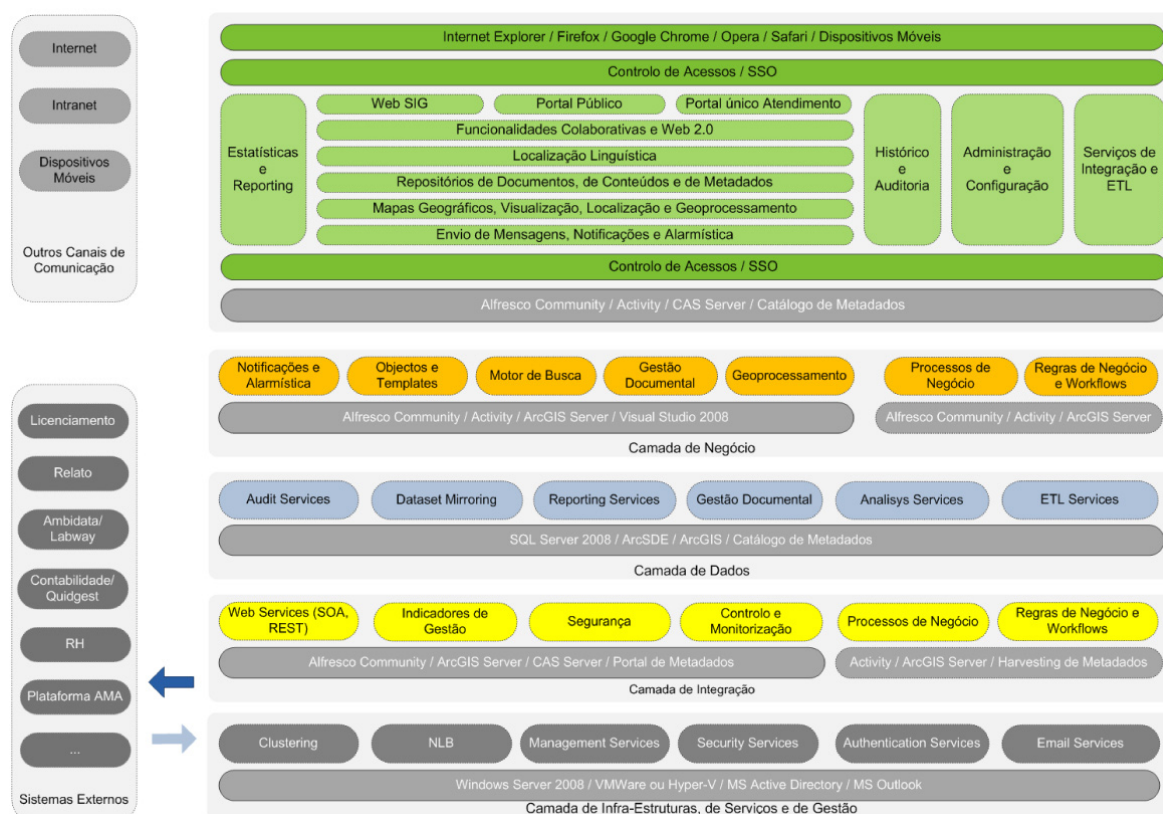


Figura 5 – As especificações do geoportal/plataforma WEBSIG.

- de que o trabalho de campo implicou uma distribuição extensível a toda a Região Norte;
- ii) as tecnologias de informação e comunicação existentes eram claramente limitadoras das opções tecnológicas mais interessantes o que obrigou a um significativo esforço e investimento nestas componentes;
 - iii) a formação, a adaptação dos recursos humanos e adopção das inovações tecnológicas e organizacionais; os actuais custos de adaptação e inovação internos resultantes da introdução da inovação tecnológica e metodológica e da respectiva adequação à (re)organização institucional;
 - iv) a coordenação de diversos agentes envolvidos e o nível de colaboração com as entidades (in) directamente envolvidas, assim como com outras instituições com informação de base e responsabilidade sobre o território, pertinente para a missão e competências da ARH do Norte, I.P., em particular com o INAG, na recolha de informação geográfica;
 - v) as limitações orçamentais que obrigam a articular temporal e funcionalmente um número alargado de participantes e módulo paralelos, o que dificulta a gestão de um quadro organizacional de suporte a esta complexidade;
 - vi) a capacidade de comunicação interna e externa do projecto e de garantia de continuidade, da utilidade dos produtos e da aplicação das experiências formadas;
 - vii) a adaptação das tecnologias ao quadro institucional legal do planeamento e gestão de recursos hídricos mas também aos referenciais de interoperabilidade de dados, software e serviços de informação;
 - viii) a gestão de objectivos estratégicos que remetem para este projecto como um processo de desenvolvimento institucional, sem descurar a disponibilização de produtos e serviços no imediato para responder às necessidades dos utilizadores, esta tarefa é determinante para a estruturação do sistema mas também para a manutenção de motivação e envolvimento dos decisores e técnicos envolvidos.

No que se refere à avaliação do sistema, os trabalhos encontram-se em fase final de desenvolvimento; terminou-se a fase de diagnóstico e concepção do sistema de informação geográfica; identificaram-se e recolheram-se um conjunto alargado de bases de dados geográficas; iniciaram-se os trabalhos de documentação e avaliação da qualidade das mesmas assim como, se preparam na sua base tecnológica e

processual as operações de apoio ao PGRH-Norte. Em resumo, pretende-se que este SI(G) corporativo, o SI.ADD da ARH do Norte, I.P.: i) assuma a sua dimensão territorial e temática, numa postura de partilha de produtos e experiências e de formação de redes promotoras de escalas e economias; e ii) respeite as orientações e dinâmicas comunitárias (ex. *INSPIRE*, *SEIS* e *WISE*, ...) e nacionais (SNIG, SNIT e SNIRH, InterSIG, INSAAR, ...). A nível interno, para a ARH do Norte, I.P., este prevê: a produção, a acumulação, a reposição, a integração e análise de dados; a modelação e a simulação de cenários para apoio ao planeamento e à gestão; a comunicação e decisão interna, a divulgação externa e a promoção da participação.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Joaquim; Rey, Juan; Castro, Pedro & Guerra, Carlos (2007). *GIS based land use planning and watershed monitoring as tools for sustainable development*. Ecosystems and Sustainable Development VI, Tiezzi, E., Marques, J., Brebbia, C. & Jorgensen, S., Editors, WIT Press, 205-214 pp.
- Craglia, Max; Goodchild, Michael F.; Annoni, Alessandro.; Camara, Gilberto.; Gould, Michael.; Kuhn, Werner.; Mark, David.; Masser, Ian.; Maguire, David.; Liang, Steve.; Parsons, Ed (2010). *Next-Generation Digital Earth A position paper from the Vespucci Initiative for the Advancement of Geographic Information Science*; International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, 2008, Vol. 3, 146-167 pp..
- European Commission (2009a). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Policy Summary to Guidance document No. 9 – Implementing the Geographical Information System Elements (GIS) of the Water Framework Directive*, Luxembourg.
- European Commission (2009b). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Guidance document No. 9 Implementing the Geographical Information System Elements (GIS) of the Water Framework Directive*, ISBN 92-894-5129-7, Luxembourg.
- European Commission (2009c). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Guidance document No. 22 Updated Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy*, Technical Report, ISBN 978-92-79-11373-4, Luxembourg.
- Hannerz, F.; Destouni, V.; Cvtkovic, B.; Frostell, B. & Hultman, B. (2005). *A flowchart for sustainable integrated water management following the EU Water Framework Directive*, *European Water Management Online*; Official Publication of the European Water Association (EWA).

PLATAFORMA WEB DE SUPORTE AO SISTEMA DE MODELAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA DA BACIA DO RIO AVE

WEB BASED TECHNOLOGICAL PLATFORM TO SUPPORT RIVER AVE BASIN MODELLING SYSTEM

José L. S. Pinho

Professor Auxiliar /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga /// jpinho@civil.uminho.pt

José M. P. Vieira

Professor Catedrático /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga /// jvieira@civil.uminho.pt

Rui P. Pinho

Engenheiro Informático /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga /// rppinho@civil.uminho.pt

José M. Araújo

Engenheiro Civil /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga /// jmaraujo@civil.uminho.pt

RESUMO: A hidroinformática tem sofrido desenvolvimentos apreciáveis nos últimos anos. O aumento das capacidades computacionais tem permitido a criação de modelos de simulação da hidrodinâmica e da qualidade da água em meios hídricos com elevadas resoluções espaciais e temporais. Desta forma, torna-se possível a implementação de modelos operacionais que constituem ferramentas de enorme potencial para a gestão da água. As tecnologias baseadas em ambiente Web constituem uma solução eficaz para a operação remota de modelos hidrodinâmicos e de qualidade de água e para a consulta e actualização da informação de Sistemas de Informação Geográfica.

Neste artigo apresentam-se as principais características de uma plataforma tecnológica vocacionada para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão para a gestão da água na bacia do rio Ave (Sistema de Modelação ODeAVE). Apresentam-se detalhes dos modelos construídos e resultados ilustrativos obtidos para a hidrodinâmica e qualidade da água no rio Ave.

Palavras-chave: hidroinformática, modelação matemática, rio Ave.

ABSTRACT: *Hydroinformatics has experienced considerable developments in the last years. The increase in computational capabilities has enabled the implementation of hydrodynamics and water quality simulation models to analyze water resources problems with high spatial and temporal resolutions. Thus, it becomes possible to implement operational models that constitute tools of great potential for water management. Web-based technological environments reveal to be an efficient way to implement solutions for remote operation of hydrodynamic and water quality models and to query and update databases in Geographic Information Systems.*

This paper presents the main characteristics of a technological web-based platform devoted to the development of decision support systems for water management in the river Ave basin (ODeAVE Modeling System). Details about the hydrodynamics and water quality model are synthesized and some illustrative results for the river Ave water quantity and quality are presented.

Keywords: *hydroinformatics, mathematical modeling, river Ave.*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido feito um esforço considerável no desenvolvimento de ferramentas adequadas ao apoio à decisão na gestão de recursos hídricos. A Directiva Quadro da Água (DQA), estabelece claramente que essas ferramentas devem ser utilizadas para ajudar a fazer o diagnóstico do estado da qualidade das massas de água e antecipar o impacto das medidas a serem implementadas a fim de alcançar um bom estado ecológico até 2015 (UE, 2000).

O aumento das capacidades de computação, por um lado, e a necessidade de abordagens integradas para a gestão de recursos hídricos, por outro, exige, actualmente, o desenvolvimento de plataformas computacionais que permitam a utilização de diferentes tipos de modelos para a obtenção de simulações dos diferentes processos envolvidos no ciclo hidrológico de forma eficiente e, simultaneamente, a integração de informação proveniente de estações de monitorização automática.

A modelação matemática tem vindo a adquirir uma importância crescente como método de estudo e como ferramenta de previsão dos processos envolvidos no ciclo hidrológico. A elevada complexidade deste ciclo conduziu, nos últimos anos, a uma abordagem especializada no desenvolvimento das diferentes ferramentas de modelação. Desta forma, as soluções a adoptar para as plataformas tecnológicas de modelação, têm necessariamente que considerar a inclusão de diferentes tipos de modelos: modelos hidrológicos, modelos hidrodinâmicos e modelos de qualidade da água. Estes modelos utilizam diferentes tipos de software seleccionados após uma avaliação criteriosa das diferentes opções disponíveis.

De modo a permitir a utilização das ferramentas de modelação pelos actores envolvidos no processo de gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, essas ferramentas devem ser simples, amigáveis e robustas. Borowski e Hare (2007) afirmam que os responsáveis pela gestão da água mostram forte interesse na utilização de ferramentas integradas de modelação no desenvolvimento das suas actividades. Salientam, no entanto, que a falta de tempo para formação sobre o uso de sistemas complexos e os custos de *software* e *hardware* constituem obstáculos que dificultam a implementação e utilização destas ferramentas nas instituições responsáveis pela gestão da água. Encontram-se em fase de desenvolvimento e implementação diferentes soluções tecnológicas,

decorrentes do desenvolvimento e integração de diferentes pacotes de software utilizando diferentes tecnologias de integração [De Kok et al, 2009].

Neste artigo apresentam-se as principais características de uma plataforma tecnológica vocacionada para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão para a gestão da água na bacia do rio Ave (Sistema de Modelação ODeAVE). A plataforma desenvolvida apresenta três componentes principais: (i) o sistema de informação com capacidade de apresentação de informação georreferenciada; (ii) o sistema de modelação com possibilidades de operação remota de modelos hidrológicos, hidrodinâmicos e de qualidade da água e visualização de resultados de simulações on-line por diferentes utilizadores; e (iii) o sistema de análise constituído por interfaces específicas dedicadas à análise do funcionamento dos meios hídricos (rios e albufeiras) em diferentes cenários ambientais e do impacto de medidas de gestão. Apresentam-se detalhes dos modelos construídos e resultados ilustrativos obtidos para a hidrodinâmica e qualidade da água.

2. CARACTERÍSTICAS DA PLATAFORMA TECNOLÓGICA

A plataforma tecnológica desenvolvida baseia-se num sistema integrado de bases de dados, aplicações computacionais, modelos hidrológicos, hidrodinâmicos e de qualidade da água e de páginas *Web* que comunicam entre si através de um conjunto organizado de fluxos de dados. Nesta plataforma são disponibilizadas funcionalidades de gestão de documentos de trabalho, informação sobre as linhas de água (sistema de informação), modelos hidrodinâmicos e de qualidade da água (sistema de modelação) e ferramentas de análise de resultados (sistema de análise). A plataforma é ainda provida pelos seguintes serviços complementares: gestão de utilizadores; gestão de documentos; e gestão de dados de monitorização. O serviço de gestão de utilizadores permite condicionar o acesso a diferentes conteúdos temáticos, assim como as permissões para execução ou consulta de resultados de simulações. Com o serviço de gestão de documentos permite-se a execução de tarefas simples de publicação, e ao mesmo tempo realizar *upload* e *download* de documentos de trabalho. O serviço de gestão de dados de monitorização disponibiliza funcionalidades de recolha de dados provenientes

de estações hidrométricas e de qualidade da água automáticas ou convencionais instaladas na bacia hidrográfica, permitindo a sua análise e validação, integrando-os, posteriormente, em bases de dados projectadas especificamente para o efeito.

O *site* que permite a interacção do sistema com os seus utilizadores está dividido em quatro secções principais que permitem o acesso às funcionalidades anteriormente referidas: Projecto, Informação, Modelação e Análise. Estas secções compõem o menu principal de navegação do *site* (Figura 1).

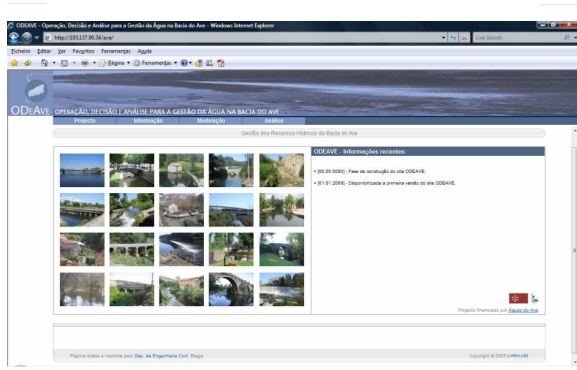


Figura 1 – Vista da janela principal do Sistema de Modelação ODeAve resultante da implementação da plataforma desenvolvida à bacia hidrográfica do rio Cávado.

No esquema da Figura 2 apresenta-se uma síntese com as tecnologias que servem de base ao sistema implementado e a sua interligação.

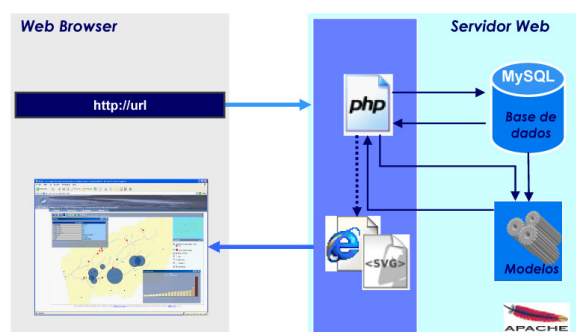


Figura 2 – Tecnologias utilizadas na plataforma desenvolvida para suporte à decisão na gestão de bacias hidrográficas.

Este sistema é suportado por um *Servidor Web* que disponibiliza as várias páginas Web que fazem parte da interface. A tarefa básica deste *Servidor Web* é

receber pedidos HTTP e produzir respostas HTTP, que são na sua maioria documentos HTML (páginas Web), considerando-se ainda outras possibilidades, como imagens, documentos PDF, imagens vectoriais SVG e texto simples. O servidor utilizado neste caso é o Apache (bastante popular devido à sua portabilidade e ao vasto leque de funcionalidades disponíveis, além de ser gratuito e de código aberto).

Grande parte da informação disponibilizada pelo *Servidor Web* encontra-se armazenada num *Servidor de Base de Dados* – neste caso, o MySQL, líder entre os Sistemas de Gestão de Bases de Dados Relacionais de código-aberto. O MySQL, além de oferecer vários recursos não existentes noutros sistemas tem a vantagem de ser totalmente gratuito para uso comercial ou privado. É um sistema rápido e robusto que permite lidar com um número ilimitado de utilizadores e de registos. Como características principais deste sistema destacam-se: a portabilidade (suporte para praticamente qualquer plataforma actual); a compatibilidade (existem *drivers* e módulos de interface para diversas linguagens de programação); o excelente desempenho e estabilidade; a facilidade de uso; a pouca exigência em termos de recursos de *hardware*.

Foram integradas aplicações externas, por exemplo, para a execução dos modelos matemáticos (hidrodinâmicos e de qualidade da água), como é o caso do *software* Sobek (WL, 2005). Este *software* é aplicável a problemas de modelação hidrodinâmica e de qualidade da água em rios, sendo constituído por sete módulos: hidrologia, hidrodinâmica em canais, hidrodinâmica em rios, redes de águas residuais, controlo em tempo real, qualidade da água e previsão de áreas inundáveis. O seu desenvolvimento integrado permite a simulação de problemas envolvendo diferentes módulos em simultâneo. É baseado num método numérico bastante robusto que permite a obtenção de soluções mesmo para simulações de elevada complexidade.

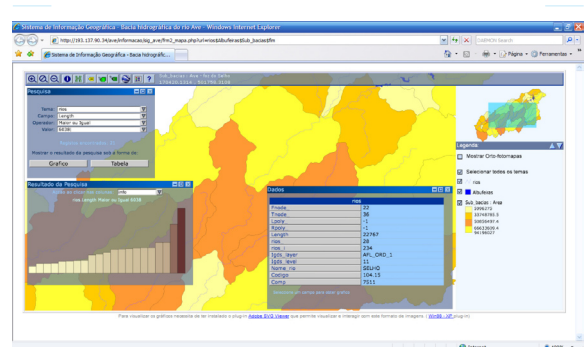
3. PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DA PLATAFORMA

3.1. Sistema de informação

A plataforma desenvolvida possui um servidor de mapas em ambiente *Web* que foi desenvolvido a partir da aplicação de base GeoClient (Rogers e Rosyada, 2001). Esta aplicação foi melhorada, tendo sido introduzidas e desenvolvidas várias funcionalidades. Destaca-se a tradução para português de todos os menus e a inclusão da possibilidade de exportação automática de temas para a aplicação GoogleEarth.

A screenshot of the Google Earth desktop application interface. The map displays a topographic view of a mountainous region with yellowish-green terrain. Several blue lines with arrows point from external labels to specific interface elements: 'Etiquetas' points to the top toolbar; 'Exportação GoogleEarth' points to the 'Export' menu; 'Opções de visualização' points to the 'View' menu; 'Mini-mapa' points to the small inset map in the top right; 'Zoom' points to the zoom controls in the bottom left; 'Informação' points to the 'Info' window; 'Pesquisa' points to the search bar; and 'Legenda' points to the 'Layers' panel on the right side of the interface.

Permite-se ainda consultar toda a informação alfanumérica associada a cada uma das entidades e visualizar fotografias, sempre que estas estejam disponíveis. Tal como na aplicação desenvolvida para disponibilização do serviço Web-SIG, também neste caso, as operações de gestão da informação são realizadas sobre a base de dados. A edição, alteração, adição ou eliminação de informação é realizada com ferramentas adequadas de gestão de bases de dados. Os ortofotomapas são armazenados exteriormente à base de dados em ficheiro autónomo, constando da base apenas as suas propriedades.



The screenshot shows the Google Earth desktop application. The main map area displays a topographic view of a coastal region with a blue line tracing a path or boundary. A pop-up information window for 'Etne - Nima' is centered on the map. The window contains the following details:

- Etne - Nima**
- Nome do sítio: São Roque
- Featuring: 3
- Area: 72011083
- Postal code: 44163
- Phone: 00212 20 602 77
- Country: 00212
- Location: 00212 20 602 77
- Location: 00212 20 602 77

The interface includes a search bar at the top left, a list of places on the left side, and a list of layers at the bottom left. The map is credited to Google.

Na Figura 6 apresentam-se, a título ilustrativo algumas vistas relativas à informação detalhada dum rio da bacia hidrográfica do rio Ave.

Os dados meteorológicos, hidrométricos e de qualidade da água são disponibilizados na plataforma desenvolvida após a sua organização numa base de dados específica para este tipo de informação. Esta base de dados contém os registos históricos das variáveis monitorizadas em cada um dos tipos de estações activas das redes de monitorização na bacia hidrográfica. Estes dados constituem a informação fulcral necessária à elaboração de diagnósticos do estado da qualidade da água e à definição de cenários de modelação para previsão da evolução da qualidade da água.

A consulta dos dados é realizada a partir de uma aplicação Web desenvolvida para o efeito. O serviço disponibilizado pela aplicação contempla as seguintes funcionalidades: selecção da estação através de mapa ou de listagem das estações; visualização em gráfico da

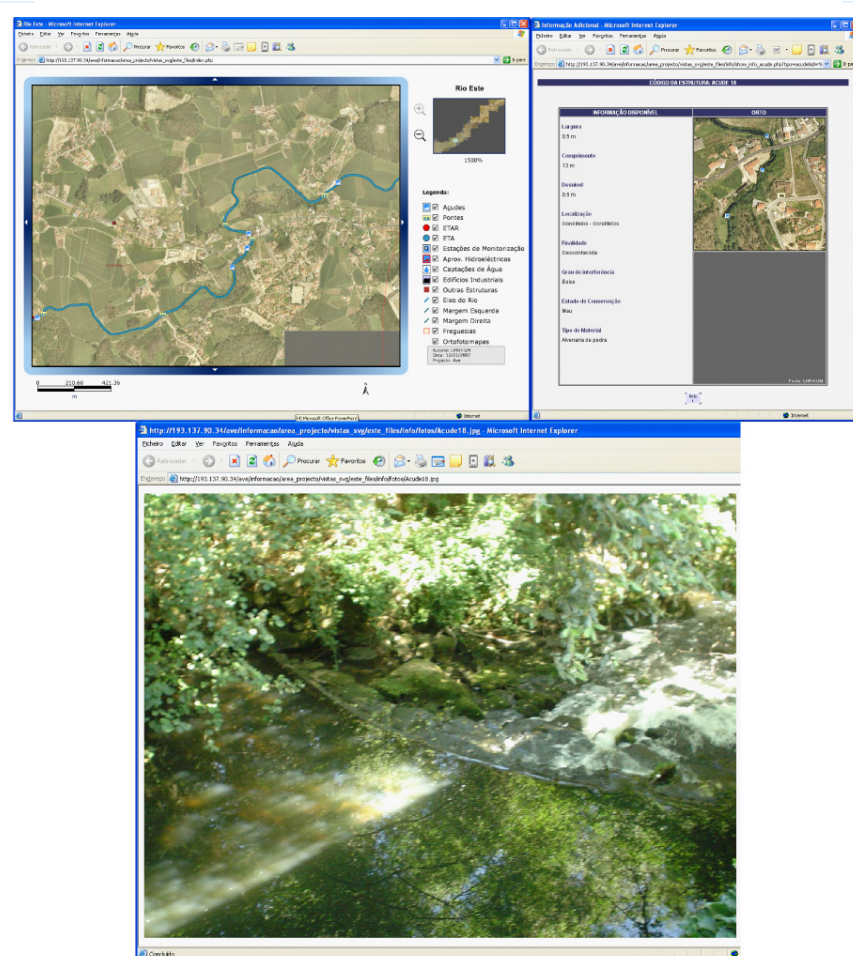


Figura 6 – Consulta de informação detalhada das linhas de água disponibilizada por aplicação desenvolvida para o efeito.

série de dados disponível para o parâmetro seleccionado para uma determinada estação; visualização dos dados em tabela e possibilidade de exportação para ficheiro compatível com a aplicação MSExcel. São ainda disponibilizados uma função que permite o cálculo de parâmetros estatísticos da série de dados activa e a geração automática de um relatório sobre a série de dados.

Após a selecção de um determinado parâmetro é visualizada sob a forma de gráfico ou tabela a série de dados que consta da base de dados (Figura 7). As variáveis estatísticas relativas à série de dados calculadas são as seguintes: número de valores da série, valores máximo e mínimo, média, desvio padrão e percentis 1%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90% e 99%.

3.2. Sistema de modelação

O sistema de modelação é constituído pelos modelos matemáticos relativos às massas de água superficiais que permitem simular os fluxos de água (hidrodinâmica) e o transporte de substâncias ou propriedades que serão utilizadas como indicadores do seu estado de qualidade. Na Figura 8 apresenta-se a rede fluvial correspondente ao modelo criado para a bacia hidrográfica do rio Ave. O modelo unidimensional criado compreende o rio Ave e os seus principais afluentes: rio Bugio, rio Castelões, rio Este, rio Ferro, rio Macieira, rio Pele, rio Pelhe, rio Pequeno M.D., rio Pequeno M.E., rio Póvoa, rio Sanguinhedo, rio Selho, rio Tabuaças, ribeira da Trofa, rio Vilar Chão e rio Vizela. As secções transversais dos canais fluviais consideradas nos modelos foram definidas a partir de informação batimétrica e topográfica disponível para as respectivas bacias hidrográficas.

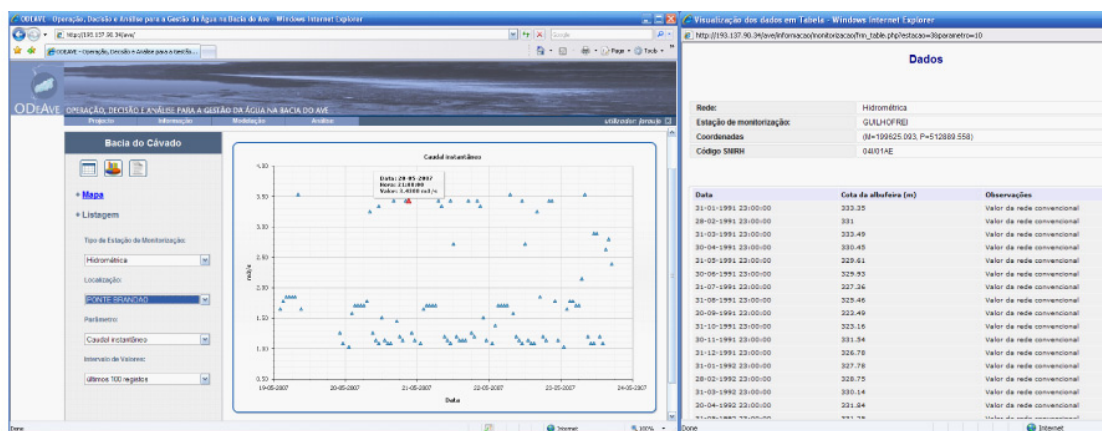


Figura 7 – Apresentação em ambiente Web de dados de monitorização.



Figura 8 – Rede fluvial objecto de modelação na bacia hidrográfica do rio Ave.

Para a operação dos modelos foram desenvolvidas interfaces *Web*. Trata-se de ferramentas especificamente desenvolvidas com o objectivo de permitirem não só a visualização dos resultados de simulações em ambiente *Web* mas também interagir com o modelo instalado num servidor remoto, definindo-se e accionando-se a execução remota de novas simulações. Ao cliente são disponibilizadas ferramentas que permitem alterar as condições de abertura de comportas, turbinas de aproveitamentos hidroeléctricos, valores dos caudais dos principais afluentes dos rios e características das fontes tóxicas de poluição.

Na Figura 9 apresenta-se a vista principal da interface desenvolvida para os modelos, onde estão disponíveis diversas funcionalidades (visualização gráfica em perfil, planta, tabelas, gráficos e animações). Esta interface permite não só fornecer os dados necessários para a execução do modelo, como também a visualização

dos resultados finais. A janela principal da interface correspondente à visualização gráfica do perfil (Figura 10), tem uma série de ícones que permitem visualizar os resultados em diferentes formatos (tabelas, gráficos ou animação, por exemplo). Além disso, alguns dos ícones permitem especificar dados de entrada do modelo que o utilizador remoto poderá alterar.

Cada uma destas funcionalidades tem um ou mais módulos PHP a ela associados. Por exemplo, no caso da visualização da informação sob a forma de tabela, existem dois módulos PHP utilizados para disponibilizar esta funcionalidade. Um é responsável pela geração da janela *pop-up* que mostra uma tabela com os valores verificados e outro é responsável pela exportação desses dados para Excel. Como já foi referido, a interface desenvolvida permite, simultaneamente, definir os dados de entrada para o modelo e, ao mesmo tempo, a visualização dos resultados finais. Um dos

conjuntos de dados que é possível alterar é o que engloba os parâmetros da simulação. Para tal, utiliza-se o ícone associado ao texto “Definição dos parâmetros de simulação” (ver Figura 10). Este disponibiliza uma janela *pop-up* onde é possível definir esses parâmetros (Figura 11 à esquerda).

A *script* utilizada para esta janela é responsável pela definição da data inicial da simulação (dia, mês, ano, hora e minuto) e da duração da simulação (dias, horas e minutos). O formulário apresentado permite a definição dos valores de caudais nas cabeceiras de montante das linhas de água. É possível optar por um valor constante durante o período de simulação ou por uma lei variável ao longo daquele período. A imagem da barragem no formulário dá acesso à janela de definição de leis de abertura de comportas e orifícios (Figura 11 à direita). Após a selecção da barragem ou açude em que a estrutura se encontra instalada é possível proceder à definição individualizada da lei de abertura de cada órgão hidráulico. Concluídos os passos anteriores, o utilizador poderá executar o modelo com os parâmetros definidos através do botão “Executar” que se encontra na zona inferior da janela principal (Figura 9).

3.3. Sistema de análise

O objectivo último de um sistema do tipo desenvolvido no âmbito deste trabalho pretende ser o apoio ao processo de decisão em problemas complexos de gestão da água através da estruturação de informação

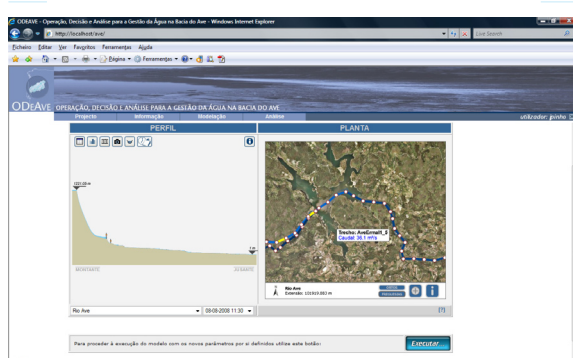


Figura 9 – Interface Web para modelos hidrodinâmicos.

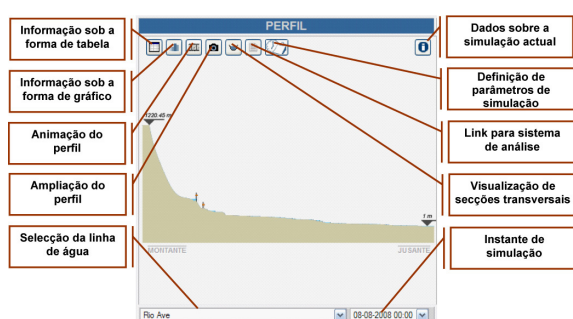


Figura 10 – Principais funcionalidades da interface Web dos modelos hidrodinâmicos: perfil.

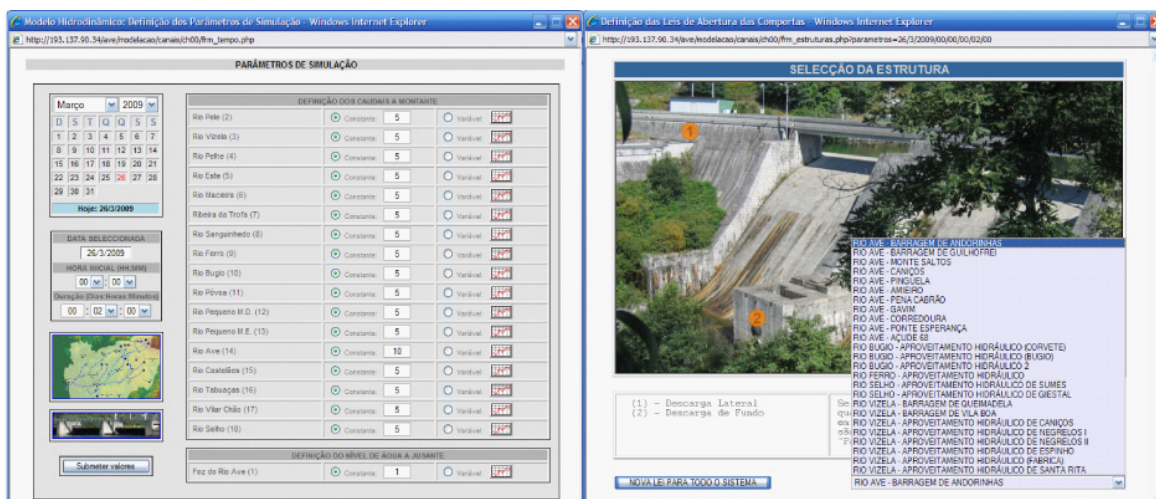


Figura 11 – Janela de definição dos parâmetros de simulação e condições de fronteira.

e da análise e avaliação dos impactos de diferentes medidas alternativas. A complexidade dos problemas a equacionar em sistemas ambientais está relacionada com a incerteza do comportamento do sistema causada pela falta de informação essencial para descrever os fenómenos naturais relevantes e pela imperfeição da sua representação por modelos matemáticos. Esta complexidade é geralmente agravada pelo facto de existirem, na região em estudo, diversos actores com responsabilidades repartidas na solução dos problemas existentes e onde a cooperação nem sempre é efectiva.

No desenho do sistema de análise da plataforma desenvolvida procurou-se integrar as diferentes escalas envolvidas de uma forma simples e intuitiva, passando-se da escala da bacia para a escala das estruturas hidráulicas dentro da mesma aplicação. A análise de medidas de gestão em diferentes cenários ambientais resulta num conjunto de simulações que podem ser armazenadas pelo gestor da plataforma desenvolvida à medida que forem implementadas pelos diferentes utilizadores do sistema de modelação.

Através duma interface específica (Figura 12) é possível gerir (armazenar, consultar e eliminar) as diferentes simulações geradas no sistema de modelação. A consulta está organizada por linhas de água e a análise é realizada através de relatórios disponibilizados *on-line*. Foram consideradas duas aplicações distintas para o sistema de análise: uma dedicada unicamente à exploração e análise de resultados de simulações hidrodinâmicas e a segunda vocacionada para a análise e exploração de resultados de qualidade da água. O aspecto gráfico e as funcionalidades incluídas nas duas interfaces são idênticos, diferindo apenas no tipo de resultados disponibilizados. Esta divisão justifica-se pela expectável utilização por dois grupos distintos de utilizadores (um grupo que se pode centrar em análises quantitativas e outro mais interessado em análises qualitativas).

A janela principal exibe uma *Listbox* com as simulações disponíveis para análise de resultados, apresenta uma área com indicação de eventuais simulações disponíveis para armazenamento (se o utilizador tiver permissão para tal) e uma área com informação adicional sobre a linha seleccionada e dados da simulação. Após a selecção da linha de água objecto de análise, é disponibilizada a planta em que são representadas as estruturas hidráulicas e os nós e trechos de cálculo dos modelos (hidrodinâmico e de qualidade) (Figura 13).

Na planta, para além do ortofotomapa, são representados os limites e designações das freguesias e as designações das linhas de água que constituem informação auxiliar para a localização dos elementos dos modelos (nós, trechos e estruturas hidráulicas). Com base nestes elementos é possível

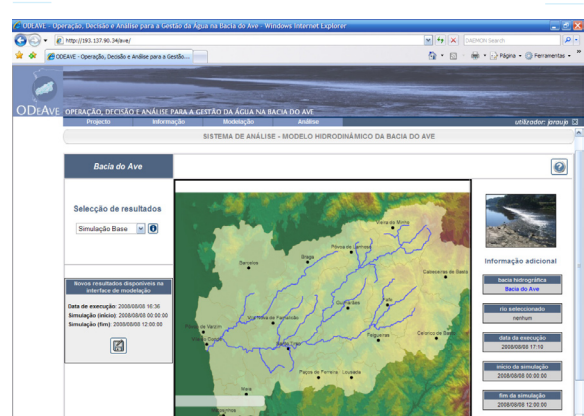


Figura 12 – Interface principal do sistema de análise.

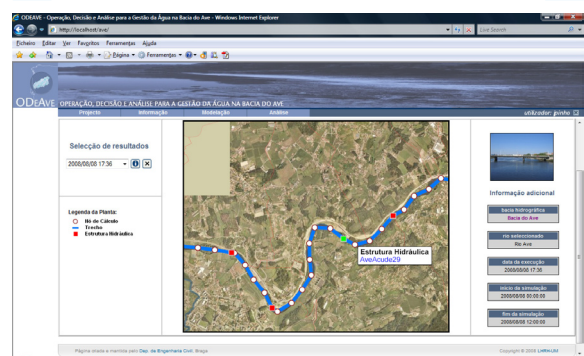


Figura 13 – Planta de selecção de objectos no sistema de análise.

gerar automaticamente um relatório de análise dos resultados da simulação seleccionada. O relatório é constituído pelos seguintes elementos: informação geral sobre a simulação e informação sobre o nó, trecho ou estrutura hidráulica; planta e perfil de localização do elemento seleccionado; representação do perfil no instante inicial, num instante intermédio e no instante final da simulação; tabela de resultados para o elemento activo; gráfico de resultados para todas as variáveis associadas ao elemento seleccionado; e uma análise estatística sumária da variável ao longo do período de simulação.

4. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

O escoamento é modelado recorrendo-se a formulações unidimensionais do escoamento com

superfície livre baseadas nas equações de continuidade e de conservação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (2)$$

em que,

Q , é o caudal [m^3/s]

t , é o tempo [s]

x , é a coordenada unidimensional [m]

A_f , é a área da secção molhada [m^2]

g , é a aceleração da gravidade [m/s^2]

h , é a altura do escoamento [m]

C , é o coeficiente de Chézy [$m^{1/2}/s$]

R , é o raio hidráulico [m]

W_f , é a largura superficial da linha de água [m]

q_{lat} , é o caudal lateral unitário [$m^3/(sm)$]

τ_{wi} , é a tensão tangencial devida ao vento [N/m^2]

ρ_w , é a massa volúmica da água [kg/m^3]

Para além destas equações são ainda utilizadas na construção de modelos unidimensionais, expressões adequadas ao cálculo das características de escoamento em estruturas como: pontes, passagens hidráulicas, sifões invertidos, orifícios, bombas, sifões e descarregadores. Nestas estruturas o escoamento depende dos níveis a montante e a jusante da estrutura, das suas dimensões e de um conjunto de parâmetros específicos de cada uma delas.

$$\frac{\partial (A_f C)}{\partial t} = - \frac{\partial (QC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D A_f \frac{\partial C}{\partial x} \right) + S A_f \quad (3)$$

O modelo de qualidade da água é baseado na equação de transporte unidimensional.

em que,

C , é a concentração de constituinte [kg/m^3];

D , é o coeficiente de dispersão turbulenta [m^2/s];

S , é a fonte ou sumidouro devido a entradas ou saídas no sistema e a produção ou decaimento por reacções [$kg/m^3/s$].

O último termo da Eq. 3 refere-se às fontes de poluentes e à dependência em relação aos processos que ocorrem na coluna de água. São consideradas

tantas equações quantas as variáveis envolvidas no processo de qualidade da água a simular. Os diferentes processos biogeoquímicos com interesse para o estudo de problemas de qualidade da água apresentam uma diversidade muito grande, tendo-se optado por definir um quadro, o mais abrangente possível e que engloba quer processos simples (como por exemplo a modelação de descargas acidentais de poluentes conservativos), quer processos de maior complexidade, como é o caso da degradação de matéria orgânica.

Nos processos envolvendo substâncias conservativas considera-se apenas o transporte da substância no meio hídrico através dos processos de advecção e de difusão. A avaliação das extensões e durações de descargas acidentais poderá ser efectuada recorrendo-se a um modelo em que a descarga acidental é modelada por uma substância conservativa. Para além das situações de descargas acidentais, estes modelos simples têm também interesse prático para a quantificação dos tempos de residência e para a análise do efeito de diferentes condições hidrodinâmicas nas condições de mistura.

A generalidade dos elementos e substâncias nos meios aquáticos apresentam reacções com outros elementos e/ou substâncias, resultando na sua transformação (diminuição ou aumento de concentração). A contaminação bacteriana resultante de descargas de águas residuais domésticas ou de origem difusa, por exemplo, poderá ser modelada adoptando-se um decaimento de 1ª ordem. O comportamento de muitas outras substâncias (ou espécies) pode ser aproximado através da consideração de decaimentos ou crescimentos de 1ª ordem, tais como: carência bioquímica de oxigénio (CBO), algas, etc. Os coeficientes das leis de 1ª ordem deverão ser estabelecidos preferencialmente a partir dos dados de campo disponíveis ou de análises laboratoriais. O oxigénio dissolvido (OD) é um dos parâmetros ambientais mais utilizado para caracterizar a qualidade da água em sistemas hídricos. A análise do impacto provocado por descargas com elevada concentração de matéria orgânica poderá ser efectuada quantificando-se os efeitos, em termos das variações das concentrações de oxigénio dissolvido na coluna de água, devidos à decomposição da matéria orgânica contida nos efluentes rejeitados.

O modelo da rede fluvial da bacia hidrográfica do rio Ave foi discretizado através de uma rede unidimensional com 1902 nós de cálculo, 18 fronteiras abertas e 34 descargas controladas (Figura 14). Foram ainda considerados 255 estruturas hidráulicas não controladas (Figura 15). A geometria foi introduzida considerando-se 1936 secções transversais. Foram consideradas 128 localizações com possibilidade de introdução de descargas com origem em fontes tóxicas de poluição.

Foram consideradas as principais estruturas hidráulicas com influência nos regimes fluviais dos rios: açudes e aproveitamentos hidroeléctricos.

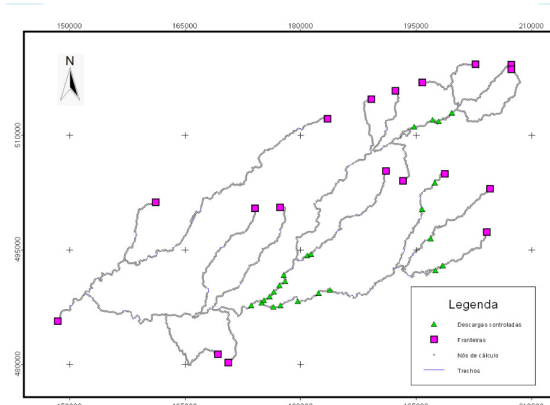


Figura 14 – Fronteiras abertas e estruturas hidráulicas controladas.

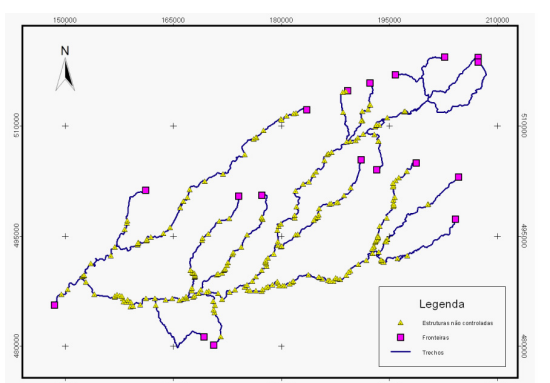


Figura 15 – Estruturas hidráulicas não controladas.

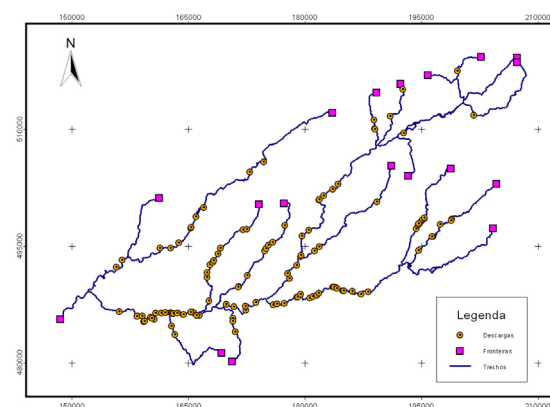


Figura 16 – Descargas poluentes.

5. RESULTADOS

5.1. Hidrodinâmica

O comportamento hidrodinâmico dos rios que constituem a bacia hidrográfica do rio Ave é influenciado essencialmente pela pluviosidade da região e pelos regimes de exploração dos respectivos aproveitamentos hidroeléctricos. A caracterização de cada um dos cenários simulados envolve a definição de valores em 41 variáveis do modelo hidrodinâmico (estruturas hidráulicas e caudais dos afluentes). Para ilustrar a aplicação do sistema foram considerados treze cenários que compreendem a escoamentos com caudais médios estimados mensais e o caudal médio estimado para o período de monitorização disponibilizado no sistema (dados existentes até 2007). Nas barragens foram consideradas em funcionamento as turbinas em função do caudal efluente médio de cada aproveitamento. Por se tratar de valores médios, não foram consideradas variações horárias de caudal turbinado. Considerou-se ainda todas as comportas dos descarregadores de fundo e de cheia fechadas em todas as barragens. Por ausência de informação considerou-se, na barragem da Queimadela, o caudal efluente igual ao afluente.

Nos aproveitamentos de menor dimensão como o do rio Selho, Bugio e Ferro optou-se por considerar uma abertura fixa das comportas. Por último, na fronteira oceânica do modelo não foram consideradas nas simulações as variações de maré, tendo sido adoptado um valor constante para o nível ao longo das simulações. Todas as simulações realizadas apresentam uma duração de 7 dias e um intervalo de tempo de cálculo de 15 minutos.

Na Figura 17 apresenta-se uma comparação entre o valor estimado e o valor simulado em diferentes trechos dos rios Vizela e Ave para a simulação correspondente ao escoamento médio verificado no período de monitorização. Os valores simulados apresentados referem-se exclusivamente ao último instante da simulação.

Da observação da Figura 17 é possível constatar uma grande aproximação entre os valores estimados e simulados. Apenas no trecho do rio Vizela identificado com o número 11 (entre a Foz do rio Ferro e o rio Ave), é possível verificar uma diferença de 0,5 m³/s entre os valores estimado e simulado. A diferença resulta da adição do caudal correspondente à contribuição da sub-bacia do rio Ave localizada entre a Foz do rio Vizela e Foz do rio Sanguinhedo, à fronteira do rio Ferro. Nas restantes simulações é notória a aproximação entre os valores simulados e os valores registados, em concordância com os resultados do cenário apresentado na Figura 17. Em alguns casos, existem pequenas diferenças entre os valores estimado e simulado, resultantes de variações de nível nas albufeiras e que implicam, uma vez que a abertura das comportas é constante, variações no caudal descarregado.

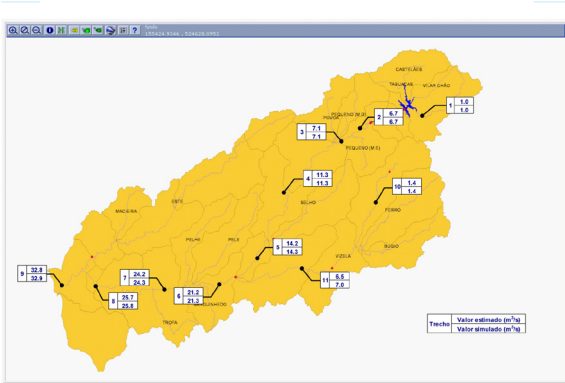


Figura 17 - Caudais médios estimados e simulados para um dos cenários simulados (correspondente à adopção de valores médios anuais do período analisado).

5.2. Qualidade da água

As simulações relacionadas com a qualidade da água são baseadas nas simulações da hidrodinâmica anteriormente apresentadas e resultaram da adopção

de diferentes características para as descargas consideradas no modelo criado: ETAR, indústrias e outras contribuições associadas aos diferentes afluentes, através da consideração de cargas poluentes nas respectivas cabeceiras. O estabelecimento de diferentes valores para as variáveis indicadas resulta em cenários de simulação distintos.

O modelo operacional permite criar um número ilimitado de simulações, considerando diferentes condições hidrodinâmicas nas linhas de água e diferentes condições para as descargas. Com o objectivo de ilustrar as potencialidades do sistema de modelação desenvolvido foram definidos cenários de descarga em situação de escoamento médio anual e mensal das linhas de água e considerando a eficiência espectável para as ETAR em conformidade com o respectivo tipo de tratamento. Foram ainda simulados para um dos meses mais húmidos (Janeiro) e um dos meses mais secos (Agosto) os efeitos das descargas das ETAR, adoptando valores extremos de eficiências referidas na bibliografia. Finalmente, foram considerados três cenários em que se considera a rotura de cada uma das três principais ETAR: Agra, Rabada e Serzedelo (Quadro 1).

Quadro 1 – Cenários de modelação da qualidade da água.

Cenário	Escoamento médio	Eficiência - ETAR
1	Anual	Média
2	Janeiro	Média
3	Fevereiro	Média
4	Março	Média
5	Abril	Média
6	Maio	Média
7	Junho	Média
8	Julho	Média
9	Agosto	Média
10	Setembro	Média
11	Outubro	Média
12	Novembro	Média
13	Dezembro	Média
14	Janeiro	Máxima
15	Agosto	Máxima
16	Janeiro	Mínima
17	Agosto	Mínima
18	Anual	Rotura em Agra, outras ETAR média
19	Anual	Rotura em Rabada, outras ETAR média
20	Anual	Rotura em Serzedelo, outras ETAR média

As características qualitativas das descargas das ETAR foram estimadas para os seguintes parâmetros: carência bioquímica de oxigénio, oxigénio dissolvido, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais. Nas cabeceiras de cada uma das linhas de água optou-se por considerar as características de uma água sem qualquer poluição, ou seja, com valores nulos de concentrações de CB05 e das variáveis bacteriológicas. Em relação a oxigénio dissolvido, considerou-se um valor próximo da concentração de saturação (10 mg/L). Os resultados foram obtidos para as vinte simulações consideradas, abrangendo um tempo de simulação de sete dias em cada um dos cenários.

No primeiro cenário simulado foram consideradas situações de escoamento médias e descargas e eficiências das ETAR resultantes da adopção do valor intermédio no respectivo intervalo de variação referido na bibliografia. Nestas circunstâncias procede-se a uma comparação entre os resultados de simulação obtidos para o último instante de simulação e os valores médios monitorizados ao longo de todo o período de monitorização (Quadro 2).

Constata-se que nos rios Ave e Vizela o perfil de qualidade da água resultante da descarga de matéria orgânica, inferido dos resultados de concentrações de CB05, apresenta-se com valores praticamente uniformes (em torno de 1mg/L), existindo no entanto, uma diferença expressiva entre os valores monitorizados e simulados principalmente em Ponte da Trofa, Santo Tirso e Riba D'Ave (Figura 18). Nesta zona existem diversas ETAR, principalmente privadas, consideradas no modelo mas em que as descargas foram consideradas nulas por falta de informação para as quantificar. A existência destas descargas de águas residuais situadas na zona compreendida entre as estações de Riba D'Ave e Ponte da Trofa poderá justificar as diferenças entre os valores monitorizados e os valores simulados.

No que se refere aos resultados das variáveis bacteriológicas as diferenças entre os valores simulados e os valores observados são, no cenário 1, bastante significativas nos trechos analisados (Figura 18). Na estação da Cabeceira do Ave, os valores resultantes da simulação são mais aproximados dos monitorizados.

Quadro 2 – Resultados do modelo de qualidade da água na proximidade das estações de monitorização para o cenário 1.

Estação	Designação	Oxigénio dissolvido (mg/L)	Carência Bioquímica de Oxigénio (5 dias) (mg/L)	Temperatura (°C)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)	Estreptococos Fecais (NMP/100mL)
1	Ponte Trofa	7.8	4.3	16.4	161899	34846	2529
	Ave21_6	8.1	0.7	12.0	971	485	49
2	Santo Tirso	8.0	3.6	16.3	119040	27270	1615
	Ave30_1	8.1	0.7	12.3	377	188	19
3	Riba D'Ave	8.4	5.0	16.0	628903	109617	7891
	Ave32_2	8.0	0.9	12.5	161	80	8
4	Taipas	9.5	1.3	14.9	6459	928	412
	10_s5	8.1	1.3	12.8	284	142	14
5	Cabeceira do Ave	10.0	0.9	12.9	5108	2785	152
	CAve1_96	10.0	0.2	10.0	3466	1733	173
6	Vizela Sto. Adrião	10.5	1.4	14.2	25346	3317	2799
	8 148	8.1	0.2	10.8	2	1	0
7	Golães	9.7	1.0	13.7	3608	674	635
	67_4	8.1	0.8	12.1	0	0	0

As diferenças encontradas resultam essencialmente da incerteza associada à quantificação das cargas bacteriológicas (foram realizadas análises de sensibilidade aos parâmetros de calibração, tendo-se concluído que estes parâmetros não permitem justificar as diferenças encontradas). Os valores utilizados na estimação destas cargas (valores médios de cargas bacteriológicas) são muito variáveis, podendo justificar o comportamento simulado (subestimação das cargas bacteriológicas). Tal como no caso da carência bioquímica de oxigénio, também nas variáveis bacteriológicas a adopção de valores nulos para um conjunto de descargas de ETAR no cenário 1, poderá explicar as diferenças encontradas.

Com base nos resultados deste cenário poderemos afirmar que a poluição bacteriológica a partir da estação de Riba D'Ave tem sido uma realidade que as soluções utilizadas na recolha e tratamento de águas residuais ainda não tinham conseguido resolver (até ao final do ano de 2007) de modo eficaz nesta bacia. A poluição bacteriológica ocorre também durante a época de estiagem, o que diminui a probabilidade desta contaminação ter origem difusa.

Adoptando as mesmas condições de descargas poluentes do cenário 1 mas passando a considerar-se o escoamento médio mensal nas linhas de água, foram simulados os cenários 2 a 13 que permitem avaliar a influência da variação dos caudais no comportamento da qualidade da água. Na Figura 19 apresentam-se os resultados obtidos nos referidos cenários num trecho do rio Ave localizado em Santo Tirso.

Os resultados apresentados revelam uma forte influência da variação do regime de caudais ao longo do ano nos resultados obtidos para as variáveis de qualidade da água. As variações entre os valores mínimos e máximos atingem valores da ordem de 45% dos valores da concentração no mês mais húmido no caso das variáveis bacteriológicas e de cerca de 25% no caso da CB05.

Com os cenários 14 a 17 procura-se ilustrar as potencialidades do Sistema desenvolvido na avaliação do desempenho das ETAR (consideração de diferentes eficiências de tratamento) em diferentes situações de escoamento (Janeiro e Agosto). Na Figura 20 sintetizam-se os resultados obtidos nos referidos cenários no trecho do rio Ave localizado em Santo Tirso.

Os resultados revelam a maior sensibilidade dos meios receptores de águas residuais na época de estiagem, relativamente às descargas de águas residuais para todas as variáveis simuladas. Embora as eficiências de tratamento das ETAR consideradas em cada um dos cenários tenham sido definidas a partir de valores constantes da bibliografia, regista-se a grande

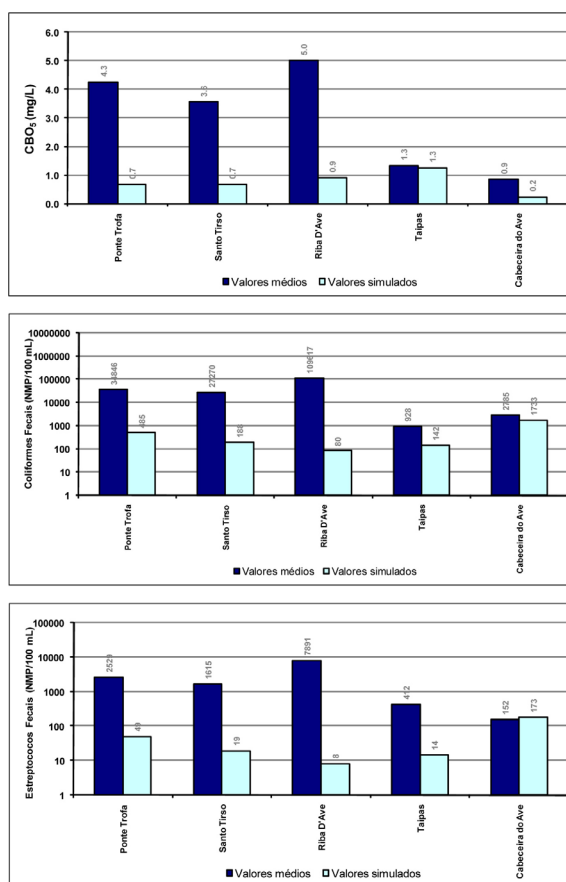


Figura 18 – Comparação entre resultados de médias registadas e concentrações simuladas de CB05, coliformes fecais e estreptococos fecais [Cenário 1].

variabilidade de concentrações no meio receptor, sobretudo para as variáveis bacteriológicas. Para o local a que se referem os resultados apresentados, a concentração das variáveis bacteriológicas, para as ETAR a funcionarem com eficiências mínimas, é aproximadamente dez vezes superior à concentração que resulta de descargas das ETAR a funcionarem com eficiências máximas.

Este tipo de resultados simulados com o Sistema desenvolvido constitui uma grande valia para a avaliação de alternativas de investimento em estruturas de recolha e tratamento de águas residuais uma vez que permite, de uma forma simples, antecipar os efeitos dessas estruturas na melhoria da qualidade da água dos meios receptores.

Finalmente, apresenta-se na Figura 21 os resultados obtidos em cenário de rotura de funcionamento da

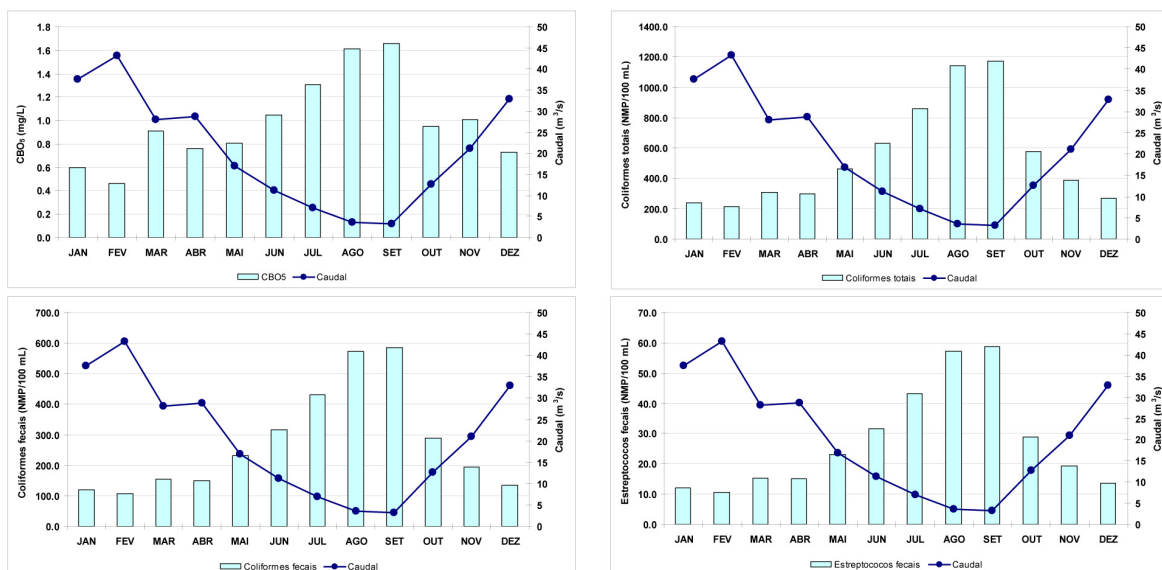


Figura 19 – Resultados de concentrações de CBO5, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais para os cenários 2 a 13, no trecho do rio Ave localizado em Santo Tirso.

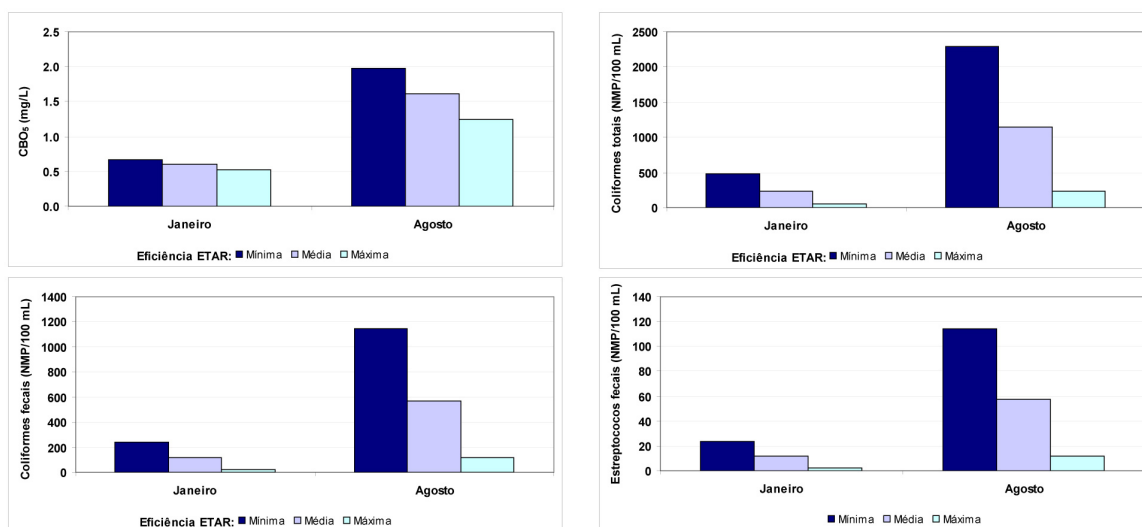


Figura 20 – Resultados de concentrações de CBO5, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais para os cenários 14 a 17 no trecho do rio Ave em Santo Tirso.

ETAR de Agra (cenário 18). As roturas são simuladas em situação de escoamento médio, pelo que não traduzem a situação mais desfavorável em termos de impacto na qualidade da água, neste cenário de funcionamento excepcional. Os resultados apresentados referem-se a duas localizações distintas: uma na proximidade da descarga (imediatamente a jusante) e a outra num trecho relativamente afastado. Com base neste tipo de resultados é possível planear medidas de protecção a outros usos da água instalados na bacia, minimizando-se assim os efeitos de situações acidentais.

Salienta-se, uma vez mais, que os resultados apresentados não são exaustivos. Todas as simulações apresentadas estão disponíveis com a instalação do Sistema ODeAve, podendo ser consultados na plataforma Web desenvolvida. Com os exemplos aqui trabalhados pretendeu-se, acima de tudo, demonstrar as potencialidades das ferramentas informáticas desenvolvidas na abordagem e tratamento de alguns dos mais importantes aspectos de qualidade de água do rio Ave.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho procedeu-se à apresentação de uma plataforma tecnológica vocacionada para o suporte à decisão na gestão de recursos hídricos à escala da

bacia hidrográfica do rio Ave. Os resultados obtidos com a sua aplicação nesta bacia hidrográfica permitem antecipar que a ferramenta desenvolvida terá muito interesse e será efectiva para se alcançarem os objectivos de gestão da água à escala da bacia: a avaliação e controlo da qualidade da água superficial e o controlo de níveis e caudais de água em albufeiras e rios. A utilização de todas as potencialidades da plataforma com aplicação prática em situações de gestão diferenciadas constituirá, definitivamente, a melhor prova de aferição da eficácia da ferramenta desenvolvida. Por outro lado, as entidades responsáveis pela gestão da água passam a dispor de novas capacidades de informação e modelação, reforçando as suas competências tecnológicas na sustentação das políticas de gestão da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, à Águas do Ave, SA e à Águas do Cávado, SA o apoio financeiro concedido para o desenvolvimento de soluções informáticas inovadoras e úteis para o suporte à decisão nas actividades de planeamento e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas portuguesas.

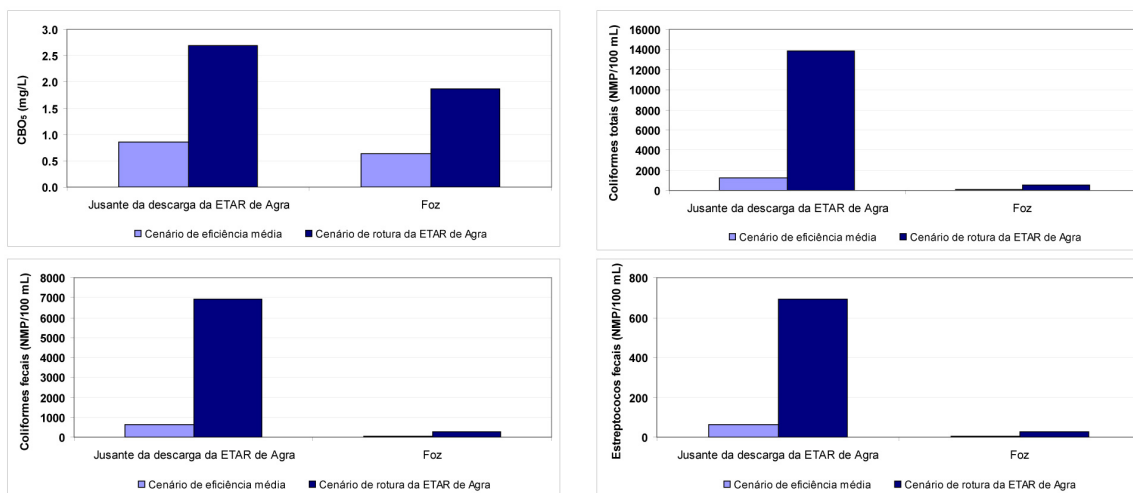


Figura 21 – Resultados de concentrações de CBOD₅, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais para o cenário 18 (rotura da ETAR de Agra) em dois locais distintos.

BIBLIOGRAFIA

- Borowski, I. e Hare, M. (2007). Exploring the gap between water managers and researchers. Difficulties of model-based tools to support practical water management. *Water Resources Management* 21 (7), 1049-1074
- De Kok, J.L., S. Kofalk, J. Berlekamp, B.M. Hahn e H. Wind (2008). From Design to Application of a Decision-support System for Integrated River-basin Management, *Water Resources Management*, (23), 1781-1811.
- Rogers e Rosyada (2001). "GeoClient Project".
- UE (2000). "Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política da Água", *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L327, 22.12.2000, pp. 1-73.
- WL (2005). "SOBEK - Reference Manual". Delft Hydraulics, Netherlands.
<http://www.mycgiserver.com/~amri/geoclient.cocoon.xml>.

UMA NOVA FERRAMENTA DE RESTAURO: APLICAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO DA EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO RIPÍCOLA EM FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

A NEW RESTORATION TOOL: A RIPARIAN VEGETATION PREDICTIVE MODEL APPLIED TO HYDROLOGIC CHANGES

Rui RIVAES

Eng. Florestal /// Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa /// Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa /// ruirivaes@isa.utl.pt

Patricia RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ

Eng. Florestal /// Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa /// Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa /// patri@isa.utl.pt

António ALBUQUERQUE

Eng. Florestal /// Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa /// Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa /// aalbuquerque@isa.utl.pt

Teresa FERREIRA

Professora associada com agregação /// Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa /// Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa /// terferreira@isa.utl.pt

António PINHEIRO

Professor Catedrático /// Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa /// Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa /// apinheiro@civil.ist.utl.pt

RESUMO: O sucesso dos projectos de restauro depende da visão espaço-temporal da dinâmica fluvial e suas comunidades. A vegetação ripária, constituindo um sistema de transição semiterrestre influenciado regularmente por água doce, apresenta-se como um bioindicador das alterações hidrológicas. Sendo possível quantificar a sua reacção ao regime hídrico, torna-se possível prever, através de modelação, a sua resposta baseada na dinâmica fluvial histórica. Apresenta-se um modelo de vegetação ripária aplicável a diferentes climas da Europa, em desenvolvimento no Instituto Superior de Agronomia e com parceria de entidades em Espanha e Áustria, cuja abordagem permite ultrapassar limitações até agora patentes nas abordagens de modelação convencionais. Propusemo-nos a analisar a precisão do modelo através de calibração, assim como, as potencialidades desta ferramenta em projectos de restauro fluvial. O modelo apresentou uma concordância com a realidade considerada boa, ou substancial, representando de forma adequada os efeitos da dinâmica fluvial na vegetação ripária.

Palavras-chave: dinâmica fluvial, modelação, regime hídrico, sucessão ecológica, vegetação ripária

ABSTRACT: *The success of restoration projects depends on the spatial-temporal vision of river dynamics and their communities. The riparian vegetation is a semiterrestrial transition system regularly influenced by freshwater and is considered as a bioindicator of hydrological changes. Being possible to quantify its response to water regime, it becomes achievable to predict its response, based on historical river dynamics, by modeling. It is presented a riparian vegetation model useful for the different climates of Europe, being developed in the Higher Institute of Agronomy in partnership with entities in Spain and Austria. This model approach aims to overcome limitations until now reflected in conventional modeling approaches. We set out to exhibit the model accuracy obtained through calibration, as well as the potential of this tool in river restoration projects. The classification accuracy of the model was considered good, or substantial, representing adequately the effects of river dynamics on riparian vegetation.*

Keywords: *ecologic succession, flow regime, fluvial dynamics, modeling, riparian vegetation*

1. INTRODUÇÃO

O restauro dos ecossistemas ripários apresenta-se como uma importante tarefa da sociedade actual (Stromberg, 2001). Os projectos de restauro fluvial aumentam a par com a generalizada degradação dos sistemas ribeirinhos.

Um factor crítico a ter em conta no restauro destes ecossistemas é a visão espaço-temporal da dinâmica fluvial e suas comunidades. De facto, a escala espacial dos projectos de restauro mostra-se de extrema importância para o seu sucesso e as hipóteses de bons resultados aumentam notavelmente em projectos de larga escala (Lake *et al.*, 2007). A previsibilidade no restauro fluvial é potenciada com o progresso do conhecimento sobre os processos pelos quais os ecossistemas ripários se desenvolvem e são mantidos (Lake *et al.*, 2007), permitindo a construção de uma necessária visão de longo prazo para a avaliação das necessidades de conservação, cuja escala temporal é por vezes difícil de conciliar com a das tomadas de decisão do gestor (Stromberg *et al.*, 2010). Esta visão de longo prazo permite criar cenários alvo que validem e corroborem as acções e objectivos dos projectos de restauro. Se estes projectos não abordarem a caracterização da condição de referência e não apresentarem um cenário alvo baseado na avaliação da situação actual, tanto os factores que os influenciam como as oportunidades que apresentem não poderão ser consideradas viáveis (Arizpe *et al.*, 2008).

A vegetação ripária acompanha os cursos de água e apresenta-se como um sistema transicional entre as massas de água e os ecossistemas terrestres (Naiman e Décamps, 1997). A sua estrutura encontra-se fortemente relacionada com o regime de caudais, o factor mais importante na construção do mosaico de habitats desta comunidade (Hughes, 1997; Poff *et al.*, 1997; Richter *et al.*, 1997; Ward, 1998; Walker *et al.*, 2006), embora beneficie também largamente com uma correcta gestão realizada ao nível da bacia hidrográfica (Naiman *et al.*, 2005). Desta forma, a sua directa relação com o regime hidrológico potencia-lhes a capacidade de espelhar o estado das massas de água que delimitam, proporcionando uma medida de avaliação da qualidade ecológica destas (Poff *et al.*, 1997; Poff e Zimmerman, 2010).

Podendo determinar-se quantitativamente a reacção da vegetação ripária ao regime hidrológico, torna-se possível a construção de modelos de vegetação que prevêem a resposta desta comunidade baseada nas

séries históricas de caudais. Assim sendo, a criação de uma ferramenta que permita ao gestor vislumbrar o resultado das suas decisões num futuro próximo apresenta-se como uma realidade.

A maior parte dos modelos de vegetação ripária desenvolvidos até à data tratam apenas de uma ou poucas espécies e, embora tenham uma utilização efectiva a casos de estudo aplicados localmente, não podem ser directamente transpostos para outros rios ou regiões (Merritt *et al.*, 2010) devido à sua especificidade.

O estudo que se apresenta, inseriu-se num projecto ERA-NET IWRM (European Research Area-NET, Regional or National research programmes network on Integrated Water Resource Management) denominado "RIPFLOW - Riparian vegetation modelling for the assessment of environmental flow regimes and climate change impacts within the WFD", contou com parceiros em Espanha e Áustria e teve como objectivo principal a criação de um modelo dinâmico de habitats de vegetação ripária. O projecto contempla casos de estudo nos três países, permitindo a aplicação do modelo em sistemas lóticos de diferentes regiões.

Em Portugal, o modelo encontra-se aplicado a um caso de estudo, tendo como objectivo a sua calibração e a previsão da evolução temporal e espacial dos núcleos habitacionais de vegetação pela alteração do regime hidrológico, resultante da acção antrópica directa ou de alterações climáticas, de forma a possibilitar a sua implementação na avaliação do impacto do regime hidrológico na vegetação ripária, bem como, na definição de boas práticas na gestão da água conducentes à recuperação e melhoria do estado ecológico deste ecossistema.

O modelo utilizado neste projecto, presentemente ainda em desenvolvimento, assenta a sua modelação em guildas etárias, permitindo com esta abordagem ultrapassar muitas das limitações das convencionais abordagens de modelação (Merritt *et al.*, 2010). Simultaneamente, o modelo referido apresenta a capacidade de criar uma representação bidimensional dos polígonos de vegetação, não se limitando apenas a fornecer valores numéricos.

Neste contexto, o trabalho que se expõe apresenta como objectivos analisar o nível de precisão do modelo calibrado na previsão de cenários de vegetação, assim como, analisar as potencialidades desta ferramenta no planeamento e execução de programas e projectos de restauro fluvial.

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Janeiro de 2011, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Abril de 2011. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, Nº 1, 29-41, Maio de 2011.
© APRH, ISSN 0870-1741

2. METODOLOGIA

No presente capítulo apresenta-se a descrição da metodologia adoptada, simplificada no esquema metodológico presente na Figura 1, com o intuito de facilitar o acompanhamento da explicação efectuada. A selecção do local de estudo não foi considerada no presente esquema pela razão de que os factores que a determinam estão dependentes dos objectivos da modelação propostos.

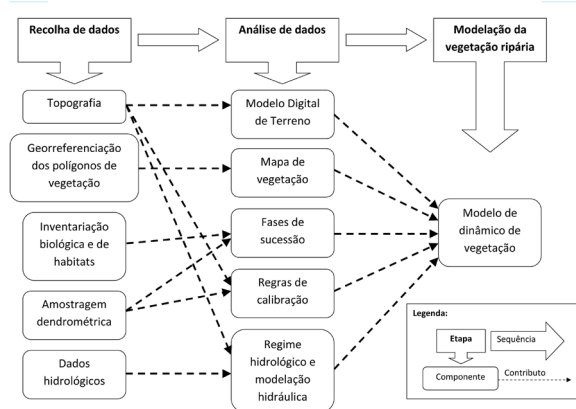


Figura 1 – Esquema metodológico para a aplicação do modelo dinâmico de vegetação.

2.1. Selecção do local de estudo

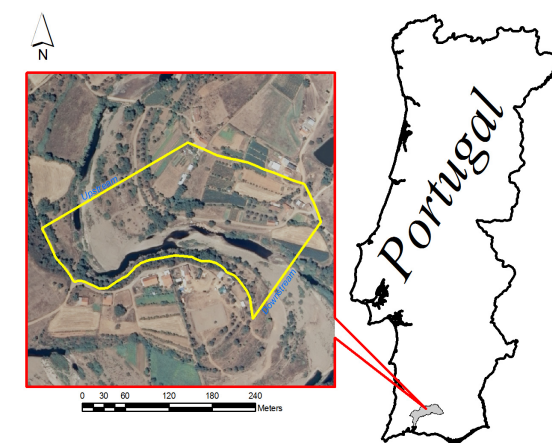
Para a selecção do local de estudo, foram usados três critérios fundamentais: apresentar ausência de regularização de caudais e a menor evidência possível de outras pressões humanas, presença de vegetação ripária em condições naturais e a existência de dados hidrométricos para o troço de rio em questão. Através de informação disponível para as bacias dos rios do Sul de Portugal relativa a uso do solo, regime hidrológico, flora e vegetação ripária, e com base nos reconhecimentos de campo realizados, escolheu-se um local na bacia da ribeira de Odelouca.

A bacia hidrográfica da ribeira de Odelouca está situada a Sul de Portugal, região do Algarve (entre as coordenadas 37°10'49"N, 8°29'54"W e 37°26'33"N, 8°12'16"W) apresenta uma área de 511km² e 93km de comprimento do curso principal, aproximadamente (Figura 2).

A precipitação média anual ronda os 750 mm, principalmente concentrada num período húmido de Outubro a Março, contrastando com um período muito seco nos meses remanescentes. Estes períodos muito diferenciados caracterizam o típico regime hídrico

mediterrânico, com cheias de Inverno e períodos estivais muito secos, que conduzem frequentemente à interrupção do escoamento superficial.

Oleito do rio desenvolve-se em formações sedimentares e metamórficas, nomeadamente arenitos, xistos e grauwagues. Por toda a bacia, a vegetação ripária é composta na generalidade por formações de freixos (*Fraxinus angustifolia* Vahl), salgueiros (*Salix salviifolia* Brot), tamargueiras (*Tamarix africana* Poir) e amieiros (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner), estes últimos vegetando unicamente nos troços mais a jusante do rio, com maior disponibilidade hídrica. As florestas exteriores à mata ripária são dominadas por sobreiros (*Quercus suber* L.) e azinheiras (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota*).



Aerial foto source: Portuguese Geographic Institute (IGP)

Figura 2 – Enquadramento geográfico do local de estudo e da bacia de drenagem da ribeira de Odelouca em Portugal Continental.

2.2. Recolha de dados

A amostragem de campo foi realizada no Verão de 2009, incluindo o levantamento topográfico do trecho de estudo, a georreferenciação dos polígonos homogéneos de vegetação e a sua inventariação biológica e de habitats. O levantamento topográfico procurou registar todas as variações de cota superiores a 20 cm, de forma a captar todas as modificações na geomorfologia do canal possíveis de influenciar o mosaico de vegetação existente. Cada polígono foi georreferenciado e delimitado, recorrendo a um GPS com correcção diferencial e precisão submétrica, caminhando ao longo do seu contorno. A inventariação biológica da vegetação e de habitats foi realizada por polígonos homogéneos de vegetação, cada um correspondendo a uma fase de sucessão.

As cinco fases de sucessão consideradas foram: inicial (IP), pioneira (PP), bosque sucessional jovem (YSWP), floresta estabelecida (EFP) e floresta madura (MFP). A fase inicial foi atribuída a todos os polígonos dominados por bancos de areia e cascalho escavados (menos de 50% de cobertura), ausentes de recrutamento de espécies arbóreas (Figura 3A). Os polígonos dominados por regeneração de espécies lenhosas, com uma cobertura máxima de 35% foram incluídos na classificação de fase pioneira (Figura 3B). A categoria de bosque sucessional jovem foi atribuída a polígonos com moderada biomassa em pé (menos de 35% de solo descoberto) dominados por microfanerófitos (tais como salgueiros e tamargueiras) (Figura 3C). Os polígonos que apresentaram grande cobertura de copado (menos de 20% de solo descoberto) e dominados por macrofanerófitos, como por exemplo o freixo, foram considerados de floresta estabelecida (Figura 3D). A fase de floresta madura foi considerada

em polígonos com a presença simultânea de sobreiros ou azinheiras, espécies arbóreas terrestres típicas da vegetação climática mediterrânica do local de estudo. A inventariação biológica da vegetação de cada polígono incluiu a identificação de espécies e sua abundância, por estratos de vegetação e classe de dominância. Na estratificação dos polígonos de vegetação foram considerados os estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo. Já na classificação de dominância, consideraram-se como indicadoras as espécies lenhosas dominantes representando a generalidade do polígono, outras espécies também com dominância no polígono mas representadas em menor proporção que as anteriores foram classificadas de co-dominantes e as espécies presentes com representatividade no polígono de uma forma dominada ou no sub-coberto foram classificadas de espécies companheiras. A inventariação de habitats realizada em campo avaliou, por polígono, a classificação de solo descoberto,



Figura 3 – Fases de sucessão consideradas na avaliação de vegetação e habitats. A – Fase inicial (IP), B – Fase Pioneira (IP), C – Fase de bosque sucessional jovem (YSWP), D – Fase de floresta estabelecida (EFP).

avaliada como a percentagem de solo no polígono sem cobertura aérea de vegetação e também a avaliação do substrato. Esta avaliação foi realizada a nível percentual (rocha, blocos, pedras, cascalho e gravilha, areia, vaza e solo) tendo sido visualmente estimadas e reunidas por tipos de classes dominantes, resultando em 13 tipos, dos quais foram retiradas amostras para análises de textura e matéria orgânica. As análises de solo permitiram a sua denominação pela classificação de textura definida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1993).

A amostragem dendrométrica dos polígonos de vegetação contou com a medição de diâmetros de caules, alturas e avaliação de idades. O diâmetro do caule foi obtido a partir dos três a quatro indivíduos mais grossos em cada polígono, medidos com uma suta e calculando a média dos diâmetros cruzados de cada indivíduo. A medição foi realizada ao nível do peito (DAP 1.3m) para exemplares com alturas superiores a 2m e perto do chão para exemplares inferiores. Os indivíduos multicaules foram medidos no caule de maior diâmetro. A medição de alturas foi realizada nos mesmos indivíduos através de um hipsómetro Blume-Leiss.

A datação dos polígonos foi realizada através de métodos de dendrocronologia. Foram verrumados três a quatro dos maiores indivíduos em cada polígono com uma verruma padrão de 5mm, realizando duas (três quando necessário) verrumadas perpendiculares, à altura de 1.3m em árvores adultas (Mäkinen e Vanninen, 1999). Dos indivíduos com um DAP inferior a 5cm, recolheram-se discos para calcular a idade e para indivíduos multicaules as amostras (verrumadas ou discos) foram retiradas do caule de maior diâmetro. A idade foi atribuída directamente a todos os exemplares onde era visível a medula. No caso contrário, foi feita a estimativa considerando o diâmetro da amostra, a largura média da casca e a largura do anel médio para os 10 primeiros anos de vida de cada espécie (obtido a partir da medição dos incrementos de anéis em amostras apresentando medula) (Rodríguez-González *et al.*, 2010).

Já em gabinete, realizou-se a recolha dos dados hidrológicos de base diária, obtidos a partir da estação hidrométrica de Monte dos Pachecos localizada na ribeira de Odelouca (SNIRH, 2010).

2.3. Análise de dados

O levantamento de campo realizado permitiu a recolha dos dados necessários para a análise das diferentes variáveis essenciais às modelações hidrodinâmica e de vegetação ripária. Os dados topográficos obtidos foram usados para criar o Modelo Digital de Terreno (MDT) do local de estudo em ambiente ArcGis, através

da criação de uma rede de triângulos irregulares (TIN). O registo e georreferenciação dos polígonos homogéneos de vegetação permitiram a criação do mapa de fases de sucessão de referência para 2009, fases essas que foram caracterizadas com tipos de vegetação e habitats específicos, evidentes nos dados da inventariação biológica e de habitats realizada.

Uma vez que o modelo de vegetação ripária utilizado reproduz a dinâmica fluvial exercida na vegetação ripária através da sua relação com variáveis de habitat pré-definidas, foi inicialmente efectuada uma análise exploratória no intuito de avaliar quais as variáveis que apresentavam maior explicação de variabilidade na diferenciação dos polígonos, por fase de sucessão, no local de estudo. Para o efeito, as principais características dos polígonos foram resumidas usando uma análise de componentes principais (PCA), de onde se considerou a altitude, altura em relação ao nível freático, idade e diâmetro médio das espécies indicadoras do polígono, como as variáveis mais significativas na sua diferenciação.

As variáveis área do polígono, altura em relação ao nível freático, idade e diâmetro médio, bem como, as classificações de textura e matéria orgânica obtidas, foram testadas por intermédio de uma análise de variância (ANOVA) no programa Statistica 7.0 (StatSoft, 2004), de modo a testar a existência de diferenças significativas entre as fases de sucessão para um nível de significância de $\alpha=0.05$.

Da informação hidrométrica da estação de Monte dos Pachecos, foram seleccionadas as cheias máximas anuais e determinado os períodos de retorno, com base na lei de Pearson III (melhor adaptação de três curvas testadas), verificada pelo teste χ^2 ($\alpha=0.05$). Os períodos de retornos das cheias permitiram determinar as zonas fluviais de talude e inundação, utilizadas como *input* no modelo de vegetação ripária e delimitadas pelas áreas inundadas pelas cheias ordinária (1.5 anos) e com período de retorno de 100 anos, respectivamente. Considerando os registos da estação de Monte dos Pachecos, calcularam-se os caudais (Q) que ocorreram no local de estudo, ponderando a relação existente entre a área (A) e a precipitação média anual (P) das bacias hidrográficas do local de estudo (Q_0) e da estação de Monte dos Pachecos (Q_H), de acordo com a equação 1.

$$Q_0 = Q_H \times \frac{A_0}{A_H} \times \frac{P_0}{P_H} \quad (1)$$

Procedeu-se, seguidamente, à modelação hidrodinâmica dos caudais de cheia, recorrendo a modelos específicos, uma vez que o modelo

de vegetação utilizado não incorpora um modelo hidrodinâmico específico, necessitando por isso que essa informação lhe seja fornecida. A determinação dos parâmetros hidráulicos a carregar no modelo dinâmico de vegetação (força de arrastamento e alturas do nível freático) foi realizada com recurso ao software River2D (Steffler *et al.*, 2006), um modelo hidrodinâmico bidimensional de elementos finitos, com aplicação em várias áreas da ecohidráulica. Este modelo necessita da altura do escoamento inicial na secção de jusante, para cada caudal, tendo-se recorrido por isso, para a estimação prévia deste valor, ao modelo unidimensional HEC-RAS 4.0 (Brunner, 2008).

A escolha de utilização do modelo River2D deve-se ao facto de os modelos dinâmicos bidimensionais permitirem determinar as velocidades médias de escoamento e as alturas de escoamento em cada ponto da malha de elementos finitos no trecho de curso de água em análise, tendo em consideração a heterogeneidade morfológica e de substrato do leito. Consequentemente, este tipo de modelos pode também ser utilizado na simulação de fenómenos de escoamento complexos resultantes de ilhas ou meandros, fornecendo resultados muito mais credíveis do que os modelos unidimensionais (Ghanem *et al.*, 1996). Para além das referidas vantagens, o River2D permite ainda a adequada visualização dos parâmetros hidráulicos, não só no resultado final, mas também durante todo o processo de modelação. Outra vantagem deste software é a possibilidade de exportar os *outputs* para utilização por outros softwares, como foi o caso exemplo da exportação para ArcGis™ 9.2 da ESRI®, para posterior utilização pelo modelo dinâmico de vegetação ripária.

2.4. Modelação da vegetação ripária

A modelação da vegetação foi realizada recorrendo a um modelo dinâmico de vegetação ripária (Benjankar, 2009), um instrumento preditivo que se foca nos processos físicos ocorridos na zona de inundação dos cursos de água para determinar os seus efeitos no desenvolvimento na vegetação ripária. Funcionando como uma ferramenta em ambiente ArcGis™, o modelo apresenta-se consolidado em três grandes etapas de modelação (módulos): módulo de condição inicial, módulo dinâmico e módulo de visualização de *outputs* (Figura 4).

O módulo de condição inicial recria a paisagem de vegetação de acordo com a topografia e a altura da vegetação acima do nível freático, para utilização nos módulos seguintes. Este é um módulo estático, pois não considera as forças hidrodinâmicas de

arrastamento exercidas sobre a vegetação e apenas define a localização possível das fases de sucessão da vegetação recorrendo à topografia. Necessita de calibração para as distâncias verticais ao nível freático e para as idades das fases de sucessão. O módulo dinâmico reproduz os processos físicos que influenciam a sobrevivência e o recrutamento da vegetação ripária, resultando numa representação espacial dos polígonos de vegetação com actualização de base temporal anual. Para a reprodução dos processos físicos relativos à dinâmica fluvial, o módulo dinâmico considera a topografia, a altura em relação ao nível freático, a força de arrastamento induzida pelo escoamento e sua duração. As forças de arrastamento exercidas sobre a vegetação são modeladas por zonas (zona aquática, talude e inundação), cada uma com diferentes parâmetros de calibração previamente definidos no modelo. A zona aquática é definida como a área inundada pelo caudal de base anual, i.e., a zona que se encontra permanentemente submersa. No caso em estudo, o rio apresenta períodos de caudal nulo no Verão, pelo que a zona aquática foi atribuída aos pegos remanescentes no momento em que o caudal se anula. As zonas de talude e inundação foram definidas através das áreas inundadas pelas cheias com período de retorno de 1.5 e 100 anos, respectivamente. O modelo dinâmico é calibrado com a informação de calibração do modelo anterior, bem como com a informação da resistência de cada fase de sucessão à força de arrastamento devida ao escoamento (calibrado a partir da adaptação a Fisher e Dawson, 2003; Boavida, 2007; Wu e Mao, 2007) e ao efeito da duração da cheia (Egger *et al.*, 2009) para as zonas consideradas. Por fim, o módulo de visualização de *outputs* permite obter a série temporal desejada de mapas das fases de sucessão da vegetação com uma legenda pré-definida e comum a todos os mapas, para facilitar a análise dos resultados.

A modelação da vegetação teve como objectivo a calibração o modelo, com base na informação das séries de caudais médios diários para o período de 1999 a 2009, parâmetros hidráulicos modelados (alturas de escoamento e velocidade média em cada ponto da malha) e parâmetros de calibração relativos às fases de sucessão. Os resultados da modelação obtidos para 2009 foram comparados com o levantamento de campo realizado no mesmo ano e a exactidão da classificação foi avaliada pela comparação dos pixéis observados *versus* os modelados, em termos percentuais e com o coeficiente de concordância Kappa (Cohen, 1960) da matriz de confusão obtida.

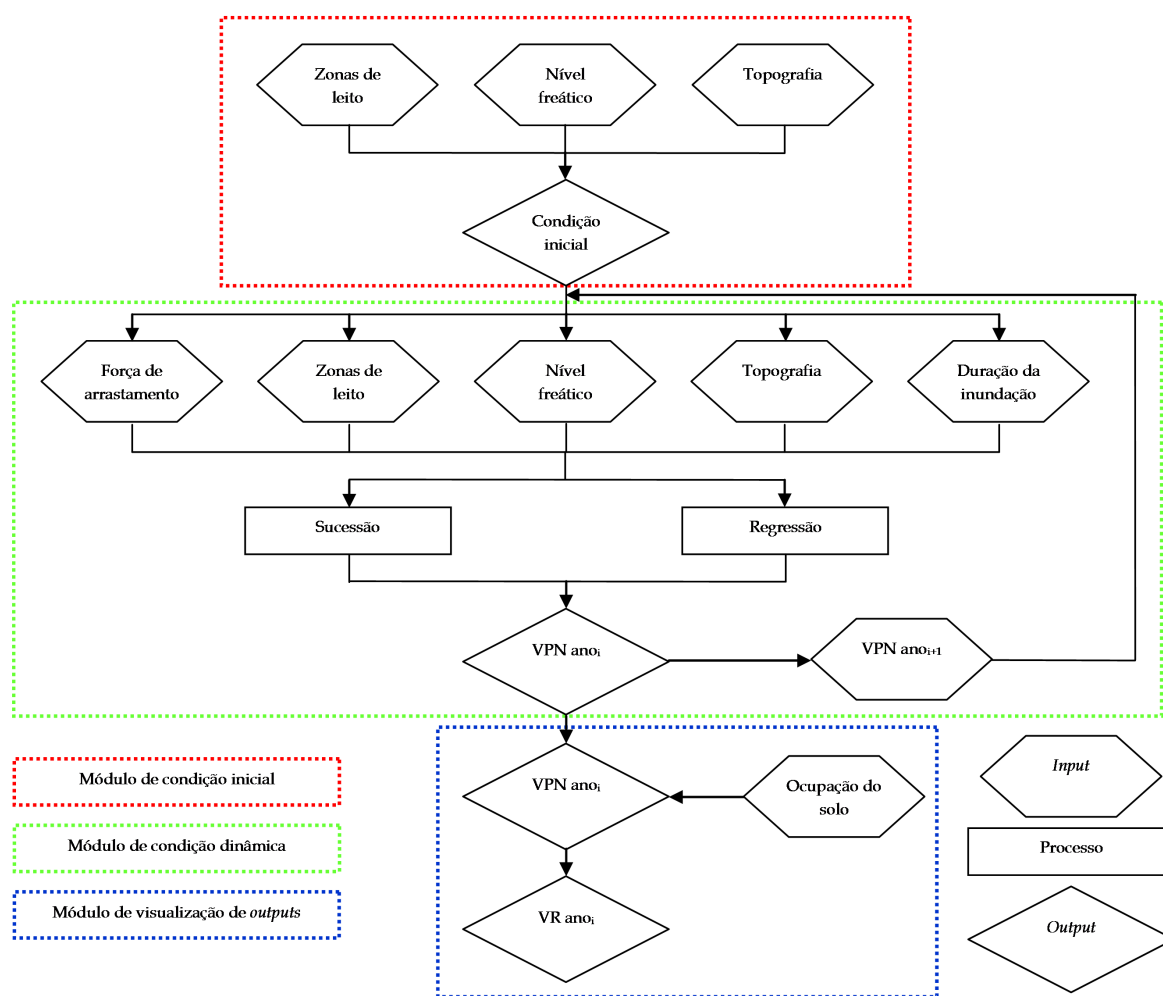


Figura 4 – Estrutura do modelo dinâmico de vegetação ripária utilizado (adaptado de Benjankar, 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Análise de dados

Foi possível encontrar uma sequência na disposição das fases de sucessão da vegetação num gradiente transversal ao rio, desde a zona de talvegue em direcção à vegetação terrestre exterior à mata ripária, correspondendo a cada fase diferentes espécies indicadoras, co-dominantes e companheiras.

A fase inicial de sucessão é caracterizada pela ausência de espécies lenhosas e, desta forma, sem qualquer espécie indicadora. A espécie co-dominante nesta fase foi a *Rumex induratus* (Boiss et Reut.). Para as fases PP e YSWP, as espécies indicadoras foram a tamargueira e o salgueiro, apresentando ainda nestas fases diversas

herbáceas definidas como espécies co-dominantes e companheiras. O freixo foi a espécie indicadora das fases EFP e MFP, nesta última, juntamente com o sobreiro e a azinheira. Estas duas fases de sucessão mais afastadas do rio apresentaram como espécies co-dominantes a tamargueira e a oliveira.

As análises de solo revelaram a presença de dois principais tipos estruturais, apresentando as fases EFP e MFP uma textura significativamente diferente das restantes mais jovens, relativamente à percentagem de substrato fino (ANOVA $F_{4,73}=5.4$, $p=0.00077$). Os polígonos situados na zona de talude foram caracterizados por um substrato composto maioritariamente por elementos grosseiros, enquanto os polígonos na zona de inundação apresentaram uma

textura mais fina, já com a presença de um horizonte de solo.

Os parâmetros altitude, altura em relação ao nível freático, idade e diâmetro médio do caule das espécies indicadoras resultaram da PCA como os factores mais importantes na distinção das fases de sucessão ($loadings > |0.75|$), com 70% da variação total explicada nos dois primeiros eixos. Este resultado corrobora a escolha da utilização das variáveis, idade e altura em relação ao nível freático, para a caracterização e distinção entre fases de sucessão por parte do modelo dinâmico de vegetação.

A área média dos polígonos na fase EFP foi significativamente diferente da MFP e essas duas significativamente diferentes das fases PP e YSWP (ANOVA $F_{4,79}=57.3$, $p<0.0001$), com áreas maiores para as fases menos perturbadas hidrologicamente. Da mesma forma, as fases de sucessão foram significativamente diferentes para as alturas em relação ao nível freático (ANOVA $F_{4,105800}=35.2$, $p<0.0001$), embora a fase inicial tenha apresentado uma gama de alturas ao nível freático sobreposta com as fases PP e YSWP (Figura 5). Esta sobreposição pode ser atribuída à perturbação fluvial a que as fases PP e YSWP estão sujeitas no canal, com

zonas mais expostas, onde o mosaico de vegetação é claramente moldado pela força de arrastamento dos caudais de cheia, que não permitem a evolução da fase inicial para as fases IP e YSWP que seriam de esperar considerando a altura em relação ao nível freático.

A fase EFP mostrou uma diferença significativa de idade relativamente às fases PP e YSWP (ANOVA $F_{4,59}=9.1$, $p=0.00001$). Apesar de não haver diferença de idades significativa entre as fases de sucessão PP e YSWP, pelo menos 75% dos polígonos de cada fase da sucessão apresentaram diferentes idades, i. e., os três primeiros quartis de idades dos polígonos da fase PP apresentaram idade inferior a 4 anos e os três últimos quartis dos polígonos da fase YSWP apresentaram mais de 5 anos de idade (Figura 6).

A clara distinção, observável nas figuras anteriores, entre fases de sucessão relativamente à altura em relação ao nível freático e idade dos polígonos permitiu a utilização dos limiares do primeiro e terceiro quartis como, respectivamente, limites mínimos e máximos nas regras de calibração do modelo dinâmico de vegetação utilizado.

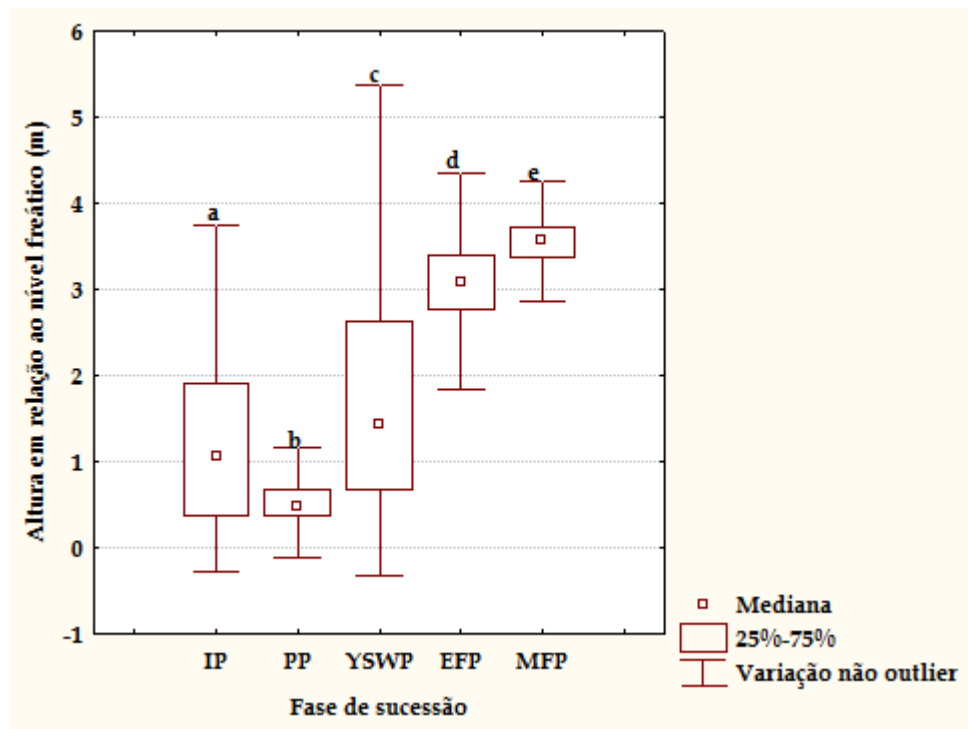


Figura 5 – Altura em relação ao nível freático dos polígonos observados por fase de sucessão (IP – Fase Inicial, PP – Fase Pioneira, YSWP – Fase de Bosque Sucessional Jovem, EFP – Fase de Floresta Estabelecida e MFP – Fase de Floresta Madura. As vogais representam grupos significativamente diferentes).

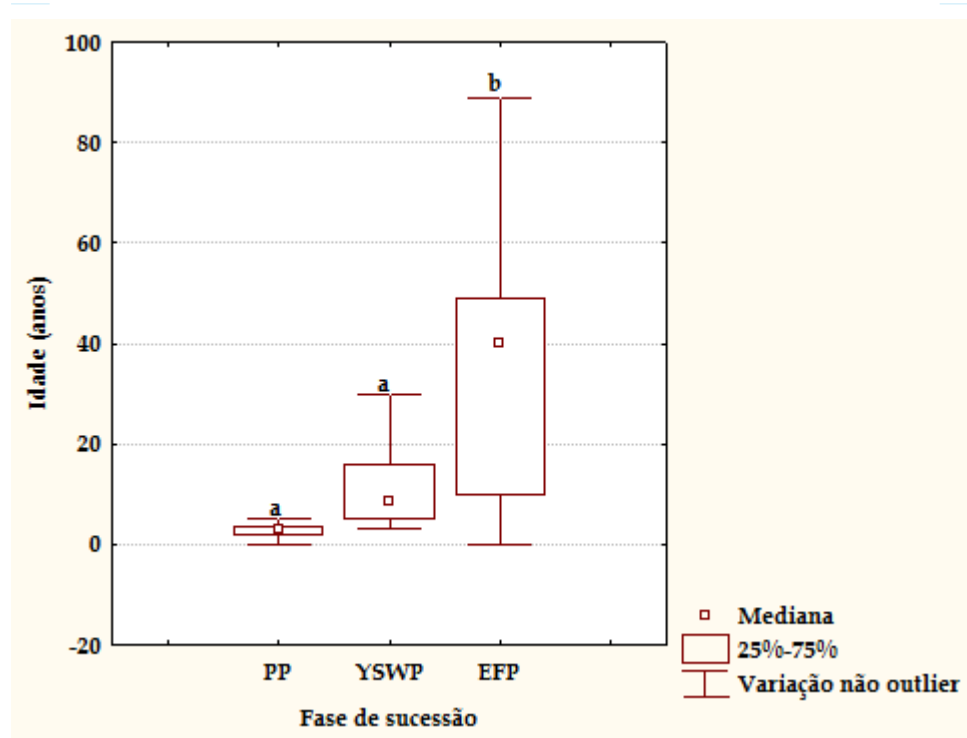


Figura 6 – Idade dos polígonos observados por fase de sucessão (IP – Fase Inicial, PP – Fase Pioneira, YSWP – Fase de Bosque Sucessional Jovem, EFP – Fase de Floresta Estabelecida e MFP – Fase de Floresta Madura. As vogais representam grupos significativamente diferentes).

3.2. Modelação da vegetação ripária

Confrontando os mapas de sucessão calibrado modelado com o observado verifica-se uma igualdade, ao nível do pixel, de aproximadamente 60%, ou seja, verificando pixel a pixel, mais de metade dos pixéis simulados foram confirmados com o levantamento realizado, tanto a nível de sucessão como na localização geográfica (Figura 7). Examinando as diferentes zonas fluviais consideradas pelo modelo, pode verificar-se que a zona de inundação apresenta na generalidade apenas uma fase de sucessão, a de Floresta Estabelecida, originada pela menor perturbação fluvial, com polígonos de vegetação maiores e mais velhos, ocupados por espécies com maior resistência ao stress hídrico que conseguem vegetar em áreas com maior distância ao nível freático. Da mesma forma, o modelo prevê também, para a quase totalidade da zona de inundação, a presença da fase de sucessão de Floresta Estabelecida, devido aos factores anteriormente anunciados.

A grande diferença visível entre o modelado e o observado nesta zona fluvial prende-se com o facto de o modelo prever a presença de uma área de fase

Pioneira e de Bosque Sucessional Jovem, na zona mais a montante da margem esquerda da ribeira, ao contrário do que foi observado. De facto, esta previsão resulta de uma alteração da topografia nesse local, originada pelo desvio dos caudais de cheia causado por um açude abandonado existente a montante da área de estudo. Esta perturbação origina o desvio periódico de parte do caudal escoado para fora do canal, correndo pela zona de inundação e provocando o arrastamento de sedimentos, com consequente rebaixamento da topografia nesse local, que, aliado à passagem frequente de veículos verificada nesse local, não permite a evolução da sucessão das séries de vegetação. Aquando do levantamento de campo, pela sua pouca expressão e por ser uma zona de perturbação antrópica, esta área foi incluída dentro de um polígono maior de fase de Floresta Estabelecida. Contudo, uma vez que a modelação hidráulica ignorou esta perturbação a montante, a par com o facto de o modelo ponderar as cotas existentes e desconsiderar as perturbações antrópicas presentes, faz com que sejam atribuídas nesta zona fases de sucessão diferentes da fase de sucessão envolvente.

No que respeita à zona de talude, a grande perturbação fluvial a que estes polígonos estão sujeitos dificulta largamente a sua modelação, reduzindo a qualidade dos resultados obtidos. Deste modo, apesar de, na generalidade o modelo recriar as faixas de vegetação existentes ao longo do curso do rio de forma correcta, o modelo sobrestima a presença de bosque sucessional jovem onde foi observada a existência de fase inicial. Este facto pode ser atribuído a factores de stress hídrico atenuados pelas considerações tomadas no delineamento do processo de modelação. Na verdade, uma vez que esta versão de software requer a existência de uma zona aquática para utilizar o algoritmo de cálculo, esta foi considerada através dos pegos obtidos para caudal nulo. No entanto, observou-se que, posteriormente ao levantamento de campo, muitos dos pegos existentes secaram, evidenciando um decréscimo ainda mais acentuado do nível freático para valores inferiores aos tolerados pelas espécies que caracterizam esta fase de sucessão, e que não foi considerado pelo modelo. Mesmo assim, a comparação entre as áreas ocupadas pelas fases de sucessão observadas no terreno e as modeladas, que originou a matriz de confusão presente na Tabela 1, obteve um valor de coeficiente de concordância Kappa, ponderado quadraticamente, de 0.61. Para este valor de Kappa considera-se que o modelo apresenta uma robustez de concordância boa [Altman, 1991] ou substancial [Landis e Koch, 1977].

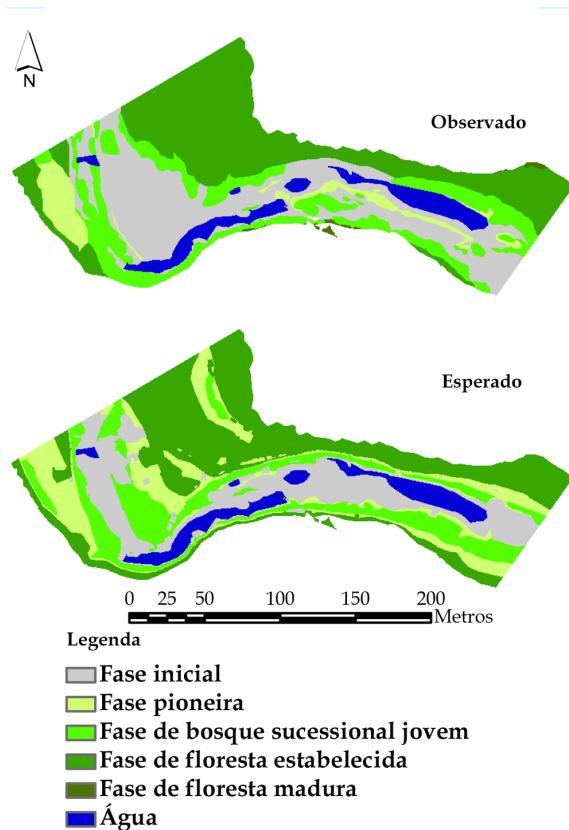


Figura 7 – Comparação do resultado do modelo calibrado com a realidade.

Tabela 1 – Matriz de confusão resultante da comparação entre as fases de sucessão modeladas para 2009 e as encontradas no terreno na mesma data. A intersecção das linhas com as colunas da matriz apresenta o número de pixéis que respeitam a condição de classificação das fases de sucessão observadas e modeladas. A negrito encontram-se os casos onde houve concordância em ambas as classificações.

		Modelado					
Observado	Fase de sucessão	Inicial	Pioneira	Bosque sucessional jovem	Floresta estabelecida	Floresta madura	Total observado
	Inicial	14731	5625	10786	2134	0	33276
	Pioneira	2441	3750	498	574	0	7263
	Bosque sucessional jovem	6788	4619	8372	4233	0	24012
	Floresta estabelecida	376	5683	1569	33030	0	40658
	Floresta madura	0	29	1	562	0	592
	Total modelado	24336	19706	21226	40533	0	105801

Uma vez que as etapas de sucessão se encontram numa linha condutora contínua, sem salto de etapas e fronteiras difusas, o erro de modelação nos pixéis não concordantes tem que ser ponderado ao nível da sua magnitude, i. e., para um dado pixel observado de fase pioneira (PP), obter um pixel modelado de floresta madura (MFP) é muito mais preocupante do que obter um pixel modelado de fase de bosque sucessional jovem (YSWP). De facto, os pixéis modelados, não confirmados pelo observado e de erro superior a uma etapa de sucessão, representaram apenas cerca de 25% do total de pixéis modelados. Quando se compara apenas a zona de inundação, esse valor diminui ainda mais, nomeadamente, cerca de 5.8 e 20%, para o erro total e na zona de inundação, respectivamente (Figura 8).

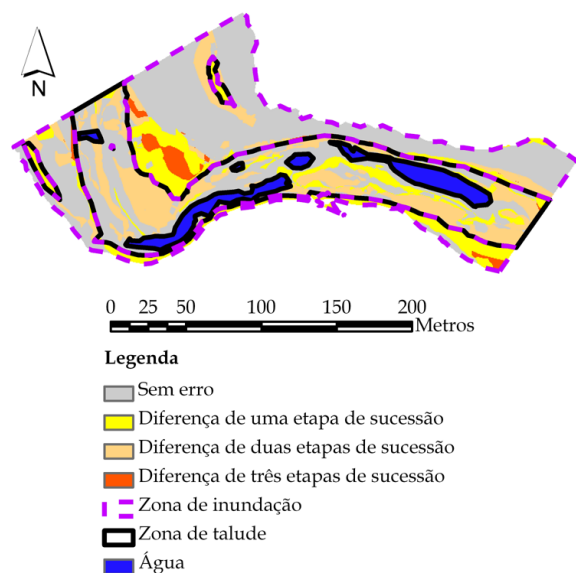


Figura 8 – Magnitude do erro entre modelado e observado.

4. DISCUSSÃO

As espécies ripárias nativas encontraram-se dispostas numa sequência de sucessões onde foi possível o seu mapeamento e consequente ajustamento ao regime de caudais (Vadas e Sanger, 1997; Naiman *et al.*, 2005; Willms *et al.*, 2006). Este mapeamento permite a calibração e utilização do modelo dinâmico de vegetação utilizado, uma vez que as fases de sucessão

ripárias mapeadas provaram ser significativamente distintas entre si, apresentando diferentes posições relativas à altura em relação ao nível freático bem como diferentes idades.

O zonamento encontrado pode ser relacionado com as características biológicas das referidas espécies e agregadas em guildas etárias, ultrapassando restrições até agora impostas pela abordagem convencional de modelação, como é o caso da, agora possível, aplicação abrangente a diferentes bacias hidrográficas.

A calibração do modelo obteve uma classificação de concordância considerada boa, ou substancial, comprovando as suas potencialidades no que respeita à correcta modelação da evolução dos núcleos de vegetação ripária através do regime hídrico.

A possibilidade de prever a configuração dos polígonos de vegetação por resposta ao regime hídrico configura uma dimensão importante para efeitos de gestão, incluindo a previsão de cenários de vegetação futuros ou passados, directrizes ambientais para a definição de regimes de caudais ambientais a jusante de barragens, planos de restauro fluvial ou avaliações de qualidade ecológica (Figura 9).

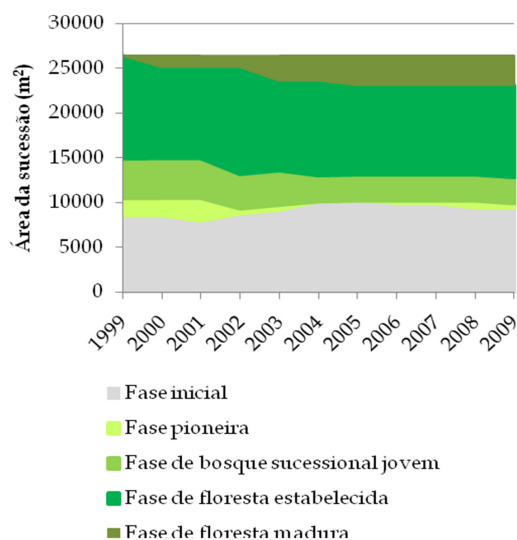


Figura 9 – Exemplo da modelação da resposta da vegetação ripária, em área, a um cenário de alteração hidrológica (neste caso trata-se da regularização de caudal para um valor constante anual de 20m³/s).

Primeiramente, o modelo poderá facultar ao gestor a informação relativa à disposição natural da vegetação ripária potencial, com a noção detalhada por tipos de vegetação e faixas etárias. Posteriormente, com incorporação do regime hídrico a considerar, o gestor poderá visualizar *a priori* a evolução espaço-temporal de certa espécie, grupo de espécies ou tipo de vegetação, em determinado lugar, segundo esse regime hidrológico, adquirindo a noção de locais prioritários de restauro, técnicas mais apropriadas ou localizações específicas para determinados tipos de vegetação.

O modelo que se apresentou consegue fornecer uma visão espaço-temporal da dinâmica fluvial e consequente relação com a vegetação ripária, possibilitando aumentar o sucesso dos projectos de requalificação por redução da incerteza que lhe está associada, conciliar a visão a longo prazo com a escala temporal das tomadas de decisão do gestor e, por fim, validar e corroborar as acções e os objectivos dos projectos a implementar.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado sob o patrocínio do projecto europeu RIPFLOW – “Riparian vegetation modelling for the assessment of environmental flow regimes and climate change impacts within the WFD”, financiado pelo programa GIRH ERA-NET. Patricia Rodríguez-González beneficiou de uma bolsa de pós-doutoramento da Fundação para a Ciência e Tecnologia, SFRH/BPD/47140/2008.

Os ortofotomapas apresentados foram gratuitamente cedidos pelo IGP – Instituto Geográfico Português, no âmbito do programa FIGEE.

O trabalho de campo foi logisticamente apoiado pelo Eng. Mário Tavares, pertencente ao Instituto Nacional dos Recursos Biológicos.

BIBLIOGRAFIA

Altman, D. G. (1991). *Practical Statistics for Medical Research*. London, UK: Chapman & Hall.

Arizpe, D.; Mendes, A.; Rabaça, J. E.; Döring, M.; Tockner, K.; Yuste, J. A. F.; Santa-Maria, C. M.; Cortes, R. M.; Dimopoulos, P.; Zogaris, S.; Bermeier, E.; Sanz, D. B.; Jálón-Lastra, D. B.; Almansa, J. C. L.; Marchamalo, M.; Matínez, P. V.; Godinho, F. N.; Sousa, P. S.; Roché, J.; Frochot, B.; Mira, A.; Décamps, H.; Naiman, R. J.; McClain, M. M.; Pinto-Correia, T.; Zogaris, S.; Bjorkland, R.; Bjorkland, R. H.; Chatzinikolaou, Y.; Giakoumi, S.; Economou, A. N.; Saraiva, M. G.; Sousa, A. M. O.; Johansen, G.; Godinho, C.; Leal, G.; Mota, A. C.; Moreira, I.; Curiel, P. B.; Freitas, C.; Morgado,

K.; Sangalli, P.; Sanz, D. B.; Monteiro, A.; Fabião, A.; Fabião, A. D.; Faria, C.; Ribeiro, A.; Peixoto, R.; Ferreira, M. T.; Almeida, M. H.; Espírito-Santo, D.; Hipólito, R.; Ferreirinha, J. C.; Nunes, V.; Céu, J. R.; Pais, F.; Zogaris, S.; Hatzirvassanis, V.; Loi, I.; Vlamis-Gardikas, A.; Catita, D. e Ilhéu, A. (2008), *Sustainable riparian zones - a management guide*. Alpiarça, PRT: Câmara Municipal de Alpiarça.

Benjankar, R. (2009). *Quantification of reservoir operation-based losses to floodplain physical processes and impact on the floodplain vegetation at the Kootenai river, USA*. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy with a Major in Civil Engineering. University of Idaho, Moscow, USA. 288 pp

Boavida, I. (2007). *Análise bidimensional na determinação dos caudais ecológicos - aplicação do modelo River2D*. Thesis submitted for the degree of Master in hydraulic and hydric resources. Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Lisbon. 177 pp

Brunner, G. W. (2008). *HEC-RAS, River Analysis System 4.0.0*. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, HYDRAULIC ENGINEERING CENTER, Davis CA, USA, www.hec.usace.army.mil

Cohen, J. (1960). “A coefficient of agreement for nominal scales”, *Educational and Psychological Measurement*, XX, 37-46. doi 10.1177/001316446002000104

Egger, G.; Exner, A.; Jorde, K. e Benjankar, R. (2009). *Impacts of reservoir operations on succession and habitat dynamics: calibration of a dynamic floodplain vegetation model for the kootenai river, USA*. 7th ISE & 8th HIC. Chile

Fisher, K. e Dawson, H. (2003). *Reducing uncertainty in river flood conveyance - roughness review*. Lincoln, UK: Department for Environment, Food & Rural Affairs, Environment Agency.

Ghanem, A.; Steffler, P.; Hicks, F. e Katopodis, C. (1996). “Two-dimensional hydraulic simulation of physical habitat conditions in flowing streams”, *Regulated Rivers: Research & Management*, 12, 185-200.

Hughes, F. M. R. (1997). “Floodplain biogeomorphology”, *Progress in physical geography*, 21, 501-529.

Lake, P. S.; Bond, N. e Reich, P. (2007). “Linking ecological theory with stream restoration”, *Freshwater Biology*, 52, 597-615.

Landis, J. R. e Koch, G. G. (1977). “The measurement of observer agreement for categorical data”, *Biometrics*, 33, 159-174.

Mäkinen, H. e Vanninen, P. (1999). “Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series”, *Forest Ecology and Management*, 113, 83-89.

Merriitt, D. M.; Scott, M. L.; Poff, L. N.; Auble, G. T. e

- Lytle, D. A. (2010). "Theory, methods and tools for determining environmental flows for riparian vegetation: riparian vegetation-flow response guilds.", *Freshwater Biology*, 55, 206-225. doi 10.1111/j.1365-2427.2009.02206.x
- Naiman, R. J. e Décamps, H. (1997). "The ecology of interfaces: Riparian zones", *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 28, 621-658.
- Naiman, R. J.; Décamps, H. e McClain, M. E. (2005). *Riparia - Ecology, conservation and management of streamside communities*. Elsevier academic press.
- Poff, L. N.; Allan, J. D.; Bain, M. B.; Karr, J. R.; Prestegard, K. L.; Richter, B. D.; Sparks, R. E. e Stromberg, J. C. (1997). "The natural flow regime", *Bioscience*, 47, 769-784.
- Poff, L. N. e Zimmerman, J. K. H. (2010). "Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows", *Freshwater Biology*, 55, 11.
- Richter, B. D.; Baumgartner, J. V. e Wigington, R. (1997). "How much water does a river need?", *Freshwater Biology*, 37, 231-249.
- Rodríguez-González, P. M.; Stella, J. C.; Campelo, F.; Ferreira, M. T. e Albuquerque, A. (2010). "Subsidy or stress? Tree structure and growth in wetland forests along a hydrological gradient in Southern Europe", *Forest Ecology and Management*, 259, 2015-2025. doi 10.1016/j.foreco.2010.02.012
- StatSoft (2004). *Statistica 7*. www.statsoft.com
- Steffler, P.; Ghanem, A.; Blackburn, J. e Yang, Z. (2006). *River2D* University of Alberta, Alberta, CANADA,
- Stromberg, J. C. (2001). "Restoration of riparian vegetation in the south-western United States: importance of flow regimes and fluvial dynamism", *Journal of Arid Environments*, 49, 17.
- Stromberg, J. C.; Tluczek, M. G. F.; Hazelton, A. F. e Ajami, H. (2010). "A century of riparian forest expansion following extreme disturbance: Spatio-temporal change in Populus/Salix/Tamarix forests along the Upper San Pedro River, Arizona, USA", *Forest Ecology and Management*, 5 January 2010, 8.
- USDA, S. S. D. S. (1993). *Soil survey manual*. Washington, US: U. S. Department of Agriculture, U.S. Gov. Print.
- Vadas, R. L. e Sanger, J. E. (1997). "Lateral zonation of trees along a small Ohio stream", *Ohio J. Sci.*, 97, 107-112.
- Walker, K. F.; Sheldon, F. e Puckridge, J. T. (2006). "A perspective on dryland river ecosystems", *Regulated Rivers: Research & Management*, 11, 85-104.
- Ward, J. V. (1998). "Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation", *Biological Conservation*, 83, 269-278.
- Willms, C. R.; Pearce, D. W. e Rood, S. B. (2006). "Growth of riparian cottonwoods: a developmental pattern and the influence of geomorphic context", *Trees*, 20, 8.
- Wu, R. e Mao, C. (2007). "The assessment of river ecology and habitat using a two-dimensional hydrodynamic and habitat model", *Journal of Marine Science and Technology*, 15, 322-330.

TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

TRENDS IN HYDROLOGIC TIME SERIES

M. M. Portela

Professora auxiliar /// DECivil, IST /// Av. Rovisco Pais, 1094-001, Lisboa /// mps@civil.ist.utl.pt

A. C. Quintela

Professor catedrático jubilado /// DECivil, IST /// Av. Rovisco Pais, 1094-001, Lisboa

J. F. Santos

ESTIG /// Portugal /// joaof.santos@estig.ipbeja.pt

C. Vaz

Mestre em Engenharia Civil, Consultora

C. Martins

Mestre em Engenharia Civil, Consultor

RESUMO: No decurso da história da Terra ocorreram numerosas mudanças climáticas, algumas com padrões bem identificados. A maior parte dessas mudanças decorreu em períodos de centenas, milhares ou mesmo milhões de anos em resultado de causas naturais. Contudo, nas últimas décadas a comunidade científica tem progressivamente aceite que as emissões para a atmosfera de gases com efeito de estufa têm sido responsáveis pelas mudanças climáticas que aparentam estar a ocorrer no decurso do último século, especialmente, nos últimos 50 anos. Se ocorreram mudanças do clima num período de tempo recente e tão bem definido, espera-se que tais mudanças estejam patentes – através de tendências ou de quebras de homogeneidade – nas séries temporais das variáveis climáticas mais directamente relacionadas com o clima, como sejam as séries temporais de temperatura e de precipitação. No anterior entendimento, foram efectuados, nos últimos anos, numerosos estudos com o objectivo de identificar tendências em séries temporais longas, designadamente de precipitação, e de analisar tais tendências na perspectiva de que as mesmas constituíam indícios de mudança climática. O presente artigo contém a descrição sumária dos estudos efectuados e dos modelos para o efeito aplicados, bem como de alguns dos resultados alcançados. Tais resultados indicam que a generalidade das séries temporais de variáveis hidrológicas analisadas não evidenciam alterações de comportamentos que, inequivocamente, indiquem os efeitos atribuídos à mudança climática.

Palavras-chave: mudança climática, séries hidrológicas temporais, detecção de tendências, média móvel, modelos estatísticos.

ABSTRACT: During the history of the Earth several climate changes have occurred, some of them with a well defined pattern. The majority of such changes happened in periods of hundreds, thousands or even millions of years and as results of natural causes. However, recently, it has been progressively accepted by the scientific community that the emissions of greenhouse effect gases to the atmosphere are responsible for the climate changes that seems to be occurring during the last century and especially during the last 50 years. If there were changes in such a recent and well defined period they should be presented – by means of trends or non-homogeneities – in the time series of those variable more directly related with the climate, as the rainfall or the temperature. In the previous scope several studies have been developed in the last years aiming at identifying trends in long hydrological time series and at trying to understand those trends from a climate change perspective. The models applied for that purpose, as well as some of the results achieved are briefly summarized. In general, the studies showed that for the time being most of the hydrologic time series do not exhibit the behavior that is generally pointed out as denoting the effects of the climate change.

Keywords: climate change, hydrologic time series, trend detection, moving average, statistical model.

1. ENQUADRAMENTO

Actualmente existe consenso de que um aumento da temperatura atmosfera resultará numa intensificação do ciclo hidrológico, com consequente aumento da magnitude de alguns dos fenómenos hidrológicos extremos, bem como alteração nos padrões temporais e espaciais da maior parte das variáveis hidrológicas. Espera-se, assim, que algumas regiões, com ênfase para as localizadas a latitudes mais elevadas, se tornem mais húmidas enquanto outras regiões, como as inseridas na bacia mediterrânica, se deverão tornar mais secas (IPCC, 2007, Bates *et al.*, 2008). Para algumas inserções geográficas, em que se inclui o território de Portugal Continental, é frequentemente referido que se espera um aumento da frequência e da magnitude os acontecimentos hidrológicos extremos, nomeadamente, cheias e secas. As anteriores expectativas decorrem, por regra, de modelos de circulação geral da atmosfera (GCM) tendo por base diferentes cenários de concentração na atmosfera de gases com efeitos de estufa.

Não obstante ser normalmente destacada a diminuição da precipitação anual em Portugal Continental, os diferentes cenários climáticos conduzem a resultados substancialmente distintos entre si, provavelmente em consequência da considerável incerteza relativamente às projecções dos quantitativos de precipitação (Santos e Miranda, 2006). No que respeita ao escoamento superficial, os modelos têm menor capacidade para projectar tendências embora sugiram alterações no padrão intra anual, com redução relativa das disponibilidades na Primavera, Verão e Outono (Santos e Miranda, 2006). Admite-se, ainda, que se possa acentuar a assimetria espacial das disponibilidades hídricas superficiais na medida em que se espera um decréscimo dessas disponibilidades mais demarcado ao progredir-se de Norte para Sul (Santos e Miranda, 2006). Tais estudos deixam normalmente escapar uma menor clareza ou mesmo ausência de reflexão no que respeita à diferenciação entre a redução das disponibilidades hídricas que é susceptível de ser atribuída às mudanças climáticas e a escassez de recursos hídricos que se avizinharia mesmo que tais mudanças não ocorressem, devido à crescente e incorrecta utilização daqueles recursos por parte da sociedade moderna.

Ainda no que respeita a Portugal Continental, a par com os autores que se focam na utilizam de GCM para modelar os efeitos das mudanças climáticas, existem outros que sustentam a sua análise no estudo de séries longas de variáveis hidrológicas. É este o caso

da investigação, com mais de 10 anos, subjacente ao presente artigo que, beneficiando de uma base de dados hidrológicos compreendendo algumas centenas de pontos de medição e possuindo séries particularmente longas, utilizou a detecção de tendências nessas séries e a interpretação dessas tendências à luz dos efeitos atribuídos às mudanças climáticas (Portela *et al.*, 2010).

Os primeiros estudos (Portela e Quintela, 1998, 2001) focaram-se em registos mensais, trimestrais e anuais em escassos onze postos udométricos tendo incidido sobre a detecção de tendências através da análise estatística por meio, quer da técnica das médias móveis, quer de técnicas especificamente desenvolvidas para o efeito, baseadas na comparação estatística entre médias de sub séries de uma dada série. Posteriormente, o conjunto de postos objecto de estudo do regime de precipitações foi consideravelmente alargado, tendo passado a incluir 144 postos udométricos (Santos e Portela, 2008) enquanto que, em simultâneo, se diversificavam as séries hidrológicas objecto da detecção de tendências, através da análise do desempenho de albufeiras de regularização sujeitas a diferentes constrangimentos, em termos, quer dos volumes a elas efluentes, quer dos pedidos a satisfazer a partir das mesmas (Portela *et al.*, 2006, Santos, 2008). Mais recentemente, a pesquisa passou a incluir a detecção de tendências em precipitações diárias e nos correspondentes máximos (Vaz, 2008) e a identificação de alterações no padrão intra anual da precipitação (Martins, 2010).

O artigo que se apresenta contém a menção breve aos modelos aplicados nos anteriores estudos, bem como a exemplificação de alguns dos resultados mais relevantes neles alcançados. Globalmente, tais estudos evidenciaram que, por enquanto, a generalidade das séries hidrológicas analisadas não exhibe sinais que possam ser inequivocamente atribuídos às mudanças climáticas, sugerindo que as variáveis que as compõem são muito mais resilientes do que a percepção humana dos fenómenos por elas descritos.

2. MODELOS APLICADOS

No presente item mencionam-se, de modo breve, os modelos utilizados nos diferentes estudos efectuados com o objectivo de detectar tendências em séries de variáveis hidrológicas que, de algum modo, sugerissem os efeitos da mudança climática, sendo que a identificação de tais estudos, bem como a apresentação de alguns dos resultados a que conduziram são objecto do item seguinte.

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Janeiro de 2011, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Abril de 2011. Este artigo é parte integrante da **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 32, Nº 1, 43-60, Maio de 2011.
© APRH, ISSN 0870-1741

A detecção de tendências incidiu, no essencial, sobre séries longas de precipitação – anual, sazonal, mensal e diária, incluindo, máxima diária – sendo que os modelos para o efeito aplicados tiveram natureza basicamente estatística. A análise do desempenho de albufeiras requereu ainda séries longas de evapotranspirações potenciais e de escoamentos, para o que houve que dispor de registos de variáveis climáticas para além da precipitação e que recorrer à aplicação de modelos, quer de transformação da precipitação em escoamentos, quer de simulação de albufeiras.

A técnica das médias móveis aritméticas (Kenney e Keeping, 1962) foi, sem dúvida, a abordagem mais amplamente aplicada. Trata-se de uma técnica vulgarmente utilizada, tanto para atenuar as flutuações espúrias de curto período numa dada série, como para evidenciar as tendências ou os ciclos longos existentes em tal série.

Para uma série anual com dimensão N , a média móvel com dimensão n é formada pelas médias dos sucessivos $N-n+1$ subconjuntos de n anos consecutivos nos quais a série original é repartida (com $N > n$) – Figura 1.

A dimensão n tem de ser suficientemente grande para assegurar que as sucessivas médias representam estatisticamente os subconjuntos a que respeitam. Como regra prática n não deve ser inferior a 15 anos. A adopção de uma dimensão maior resulta na

diminuição do número de subconjuntos sobre os quais recai a análise de tendências. Nas utilizações objecto de menção no presente artigo a fixação da dimensão dos subconjuntos utilizou a comparação de resultados associados a diferentes valores de n .

Um outro procedimento aplicado às séries de precipitação com o objectivo de detectar quebras de homogeneidade indicativas de tendências utilizou a constituição de sucessivas duas sub séries, temporalmente contíguas a que foram atribuídas as designações de sub série anterior e posterior e cujas médias são comparadas. A primeira sub série anterior é formada pelos primeiros n elementos da série original e a sub série posterior que lhe corresponde pelos $N-n$ elementos remanescentes. De um grupo de duas sub séries para o grupo que se lhe segue a dimensão da sub série anterior é aumentada de um ano e, conseqüentemente, a da sub série posterior reduzida de um ano, sendo o processo de constituição das sucessivas sub séries emparelhadas repetido até que se atinja a dimensão mínima de n anos para a última sub série posterior – Figura 2. Para uma amostra com dimensão N o número de grupos de duas sub séries sobre os quais recai a comparação de médias é de $(N-2n+1)$, conforme se esquematizou na Figura 2.

A pesquisa de quebras de homogeneidades utilizou a comparação, em termos estatísticos, das médias

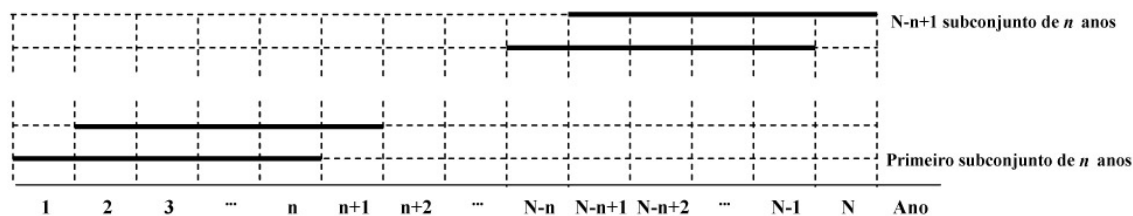


Figura 1 – Representação esquemática dos $N-n+1$ subconjuntos de n anos hidrológicos consecutivos utilizados na determinação das médias móveis com dimensão n .

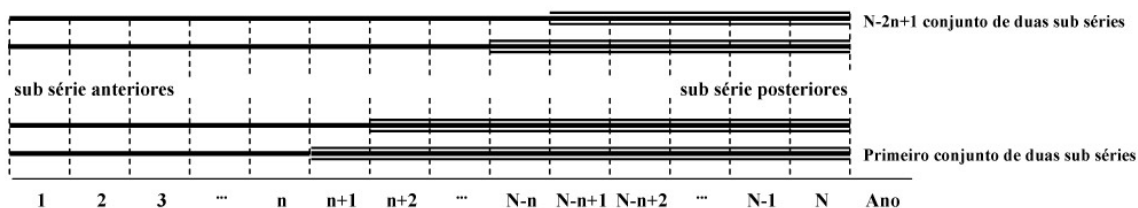


Figura 2 – $N-2n+1$ conjuntos de duas sub séries – uma anterior e outras posterior – temporalmente contíguas utilizadas para detectar quebras de homogeneidade.

de cada duas sub séries anterior e posterior por meio do teste paramétrico de Student e do teste não paramétrico de Mann-Whitney para o que foi aplicado o formalismo apresentado em Yevjevich, 1972, e em Siegel, 1975, respectivamente, também explicitado em Portela e Quintela, 1998, 2001. Considerou-se ocorrer uma quebra de homogeneidade nas médias de duas sub séries emparelhadas sempre que pelo menos um dos anteriores testes assim indicasse.

Mediante análise dos resultados obtidos concluiu-se existirem dois tipos de quebras de homogeneidades: as esporádicas, referentes a curtos períodos de tempo com precipitação anômala (períodos excepcionalmente húmidos ou excepcionalmente secos) e as quebras persistindo ao longo do tempo, referentes a sub séries anteriores e posteriores com médias consistentemente diferentes entre si e indicativas de uma tendência no sentido da diminuição ou do aumento continuados da precipitação. Somente estas últimas quebras de homogeneidade indicam tendências efectivas.

A par com os anteriores procedimentos de detecção de tendências e de quebras de homogeneidade, recorreu-se ainda à aplicação extensiva a séries de precipitações mensais e anuais do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1975), com descrição incluída em ampla bibliografia e também explicitada em Santos; Portela, 2008.

Apesar de o teste de Mann-Kendall permitir detectar tendências estatisticamente significativas não fornece estimativas das magnitudes dessas tendências. Por tal motivo, a sua aplicação foi complementada por um estimador estatístico da tendência, designadamente, o estimador de declive de Sen, inicialmente proposto por Sen, 1968, e descrito, de acordo com Hirsch *et al.*, 1982, in Lettenmaier *et al.*, 1993, por:

$$D_{ij} = \left[\frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \right] \quad \text{para } i > j \text{ e } X_i \neq X_j \quad (1)$$

em que Y_i representa a variável em estudo e X_i , o ano em que ocorre a observação de ordem i . Para estimar a magnitude de uma tendência identificada pelo teste de Mann-Kendall é adoptada a mediana de todos os valores do declive D_{ij} relativo à série Y_i . Alguns autores, como Hirsch *et al.*, 1982, concluíram que a anterior estimativa da magnitude de tendências é robusta mesmo quando na série Y_i ocorrem valores discordantes ou *outliers*. O eventual efeito da sazonalidade também é eliminado desde que se esteja em presença de uma série temporal univariada, como seja a série constituída pela precipitação num dado mês do calendário.

O nível de significância adoptado na aplicação dos três testes mencionados – Student, Mann-Whitney e Mann-Kendall – foi de $\alpha=5\%$, correspondendo-lhe uma probabilidade de não excedência de $1-\alpha/2=0.975$ no pressuposto de testes bilaterias.

No que respeita à detecção de tendências em precipitações extremas, optou-se por apenas incluir no presente artigo menção aos resultados obtidos por ajustamento da lei de Gumbel (Raynali e Salas, 1986, Reiss e Thomas, 2001) separadamente a cada um dos $N-n+1$ subconjuntos com dimensão n constituídos em conformidade com a técnica das médias móveis aplicada a séries de precipitações diárias máximas anuais, Pdma, com dimensão genérica N . Tal ajustamento utilizou o método dos momentos com cálculo da probabilidade empírica de não-excedência por meio de fórmula de Weibull (Cunnane, 1978). Importa anotar que a lei de Gumbel é reconhecida como a lei estatística que melhor caracteriza o fenómeno da precipitação intensa em Portugal Continental (Pereira, 1995, p. 132).

Por fim, os resultados apresentados referentes à detecção de tendências no padrão intra anual da precipitação, bem como nos períodos de ocorrência de precipitações máximas resultaram também da aplicação da técnica das médias móveis, complementada pela comparação entre médias por aplicação dos testes de Student e de Mann-Whitney.

A par com os anteriores estudos procedeu-se ainda à análise do que se designou por desempenho de albufeiras destinadas à satisfação volumes de água para rega. Por “desempenho” de uma albufeira de um aproveitamento hidráulico entende-se a fiabilidade/garantia com que, ao longo do período de vida útil do aproveitamento, é assegurado o pedido para o qual foi estimada, na fase de projecto do aproveitamento, a capacidade útil da albufeira. Representa, portanto, a fiabilidade do fornecimento. Os modelos para o efeito aplicados foram mais amplos e complexos na medida em estava em causa a detecção de tendências, tanto nos volumes afluentes a albufeiras, como nos volumes de água para rega a satisfazer a partir das mesmas. Como as séries de escoamento disponíveis têm, por regra, dimensão francamente inferior às séries de precipitações e, especialmente, insuficiente para sustentar a detecção de tendências, houve que estender a informação hidrométrica disponível para o que foram aplicados modelos de transformação, à escala mensal, de precipitações em escoamentos, designadamente a técnica do balanço hídrico (Thorntwaite, 1948, Lencastre e Franco, 1984, Varenne, 1972-1973) e o modelo de Temez (Temez, 1977, Monreal, 1993). Para analisar as tendências eventualmente exibidas pelos volumes de água requeridos pela rega

estabeleceram-se séries longas de evapotranspirações potenciais mediante utilização das fórmulas de Thornthwaite (Lencastre e Franco, 1973, Quintela, 1967) e de Penman-Montheith (Pereira *et al.*, 2000, Pereira, 2004). O estudo considerou diferentes constrangimentos em termos de volumes de água necessários e de garantias associadas ao fornecimento desses volumes mediante modelos computacionais de simulação da exploração de albufeiras baseados na equação da continuidade (McMahon e Mein, 1978, McMahon e Adeleye, 2005, Portela e Quintela, 2000).

3. RESULTADOS

3.1. Tendências e quebras de homogeneidade em séries de precipitações anuais, mensais e trimestrais em 11 postos udométricos

Os primeiros estudos de detecção de tendências, incluindo a identificação de quebras persistentes de

homogeneidade, incidiram sobre séries de precipitações anuais, mensais e em períodos específicos do ano nos postos udométricos com números de ordem de 1 a 11 esquematicamente localizados na Figura 3 e objecto do Quadro 1. A dimensão n de cálculo das médias móveis e mínima das sub séries anterior e posterior foi fixada em 15 anos com base na verificação de que dimensões superiores não alteravam as conclusões passíveis de serem extraídas dos resultados então alcançados, sendo que dimensões inferiores evidenciavam por demais a ocorrência de anos com características extremas (anos muito húmidos ou muito secos) sem que, contudo, tais anos implicassem alteração das condições médias de precipitação (Portela e Quintela, 1998, 2001).

Os resultados obtidos estão exemplificados nas Figuras 4 e 5 referentes aos postos de Évora e de Torre de Moncorvo, com os números 7 e 10, respectivamente, e com 95 e 117 anos de registos de precipitação mensal.

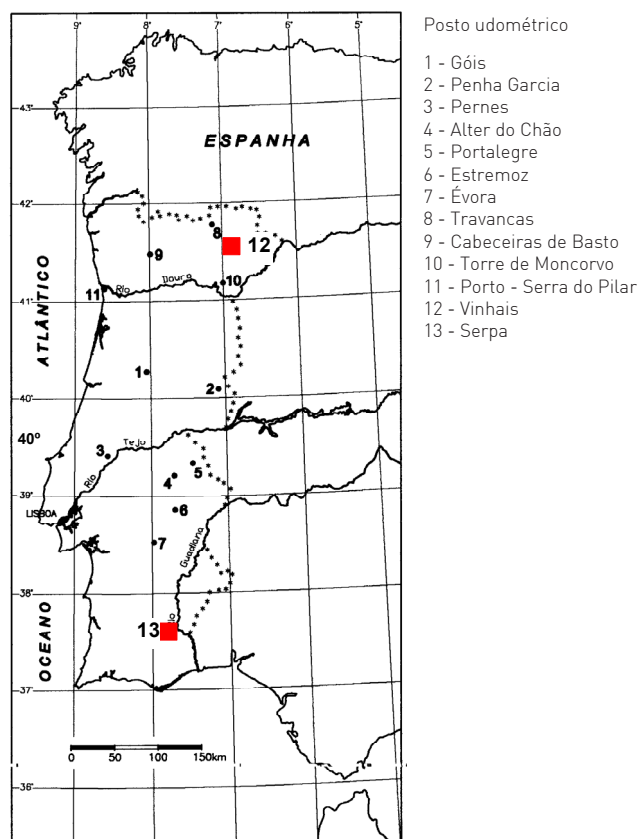


Figura 3 - Localização de alguns dos postos udométricos sobre os quais incidiu a detecção de tendências.

O primeiro gráfico – identificado por a) – de cada uma das anteriores figuras contém a representação das médias móveis das precipitações anuais, no primeiro e no segundo trimestres do ano (de Outubro a Dezembro e de Janeiro a Março, respectivamente) e no mês de Março, sendo que as médias das sucessivas sub séries anteriores e posteriores das precipitações em cada um daqueles intervalos de tempo estão representadas nos gráficos identificados por c1) a c4). Tanto no caso dos gráficos a), como no dos gráficos c1) a c4), as médias móveis foram tornadas adimensionais por divisão pelas médias das precipitações nos correspondentes períodos globais de registos (95 e 117 anos, como antes explicitado). Cada média móvel foi atribuída ao ano de início do respectivo subconjunto de $n=15$ anos consecutivos, sendo que, nos gráficos b) e c1) a c4), as médias de cada duas sub séries anterior e posterior foram atribuídas ao último ano da correspondente sub série anterior. Cada um dos anos destacado nos gráficos b) é tal que, de acordo com pelo menos um dos testes de Student e de Mann-Whitney, a média da sub série anterior que finaliza nesse ano é significativamente diferente da média da sub série posterior que se inicia no ano imediatamente seguinte. Para simplificar a representação de resultados, optou-se por identificar os anos hidrológicos pelos anos civis em que se iniciam.

As Figuras 4 e 5 evidenciam o facto de nos dois postos udométricos aí representados a precipitação em Março exibir uma nítida tendência de decréscimo a qual explica o decréscimo também evidenciado pela precipitação no segundo trimestre do ano hidrológico. Os gráficos b) reforçam os anteriores resultados indicando que apenas no caso do mês de Março e do segundo trimestre do ano hidrológico ocorrem quebras de homogeneidade persistentes, indicativas de tendências que, de acordo com os demais gráficos, se conclui apontarem no sentido da diminuição das correspondentes precipitações.

Para cada um dos 11 postos udométricos sobre os quais recaiu o estudo de Portela e Quintela, 1998, 2001, indicam-se, no Quadro 1, as médias das precipitações nos correspondentes períodos de registos. Tal informação é complementada pelas médias daquelas precipitações nos últimos períodos de 15 anos então analisados, para o que tais médias foram expressas em termos adimensionais por divisão pelas médias nos correspondentes períodos de registos.

O quadro anterior evidencia, mais uma vez, o decréscimo acentuado da precipitação em Março e, embora menos acentuado, no trimestre de Janeiro a Março em todos os postos analisados. No que respeita à precipitação anual, verifica-se que, exceptuando o posto de Alter do Chão, nos demais postos os últimos 15 anos analisados apresentaram precipitações

ligeiramente abaixo das correspondentes médias. Contudo, os testes aplicados indicaram que tal facto não consubstancia quebras de homogeneidade sendo explicado pela variabilidade natural da precipitação anual.

3.2. Tendências em séries de precipitações mensais e anuais em 144 postos udométricos

A aplicação do teste de Mann-Kendall e do estimador de declive de Sen incidiu sobre séries anuais e mensais de precipitação no período de 94 anos hidrológicos, entre 1910/11 e 2004/05 em 144 postos udométricos tão dispersos quanto possível pelo território nacional (Santos e Portela, 2008). Algumas das séries originais de precipitação apresentavam falhas esporádicas que foram preenchidas por análise de regressão linear simples (Yevjevich, 1972), especialmente adequada quando existem registos em postos próximos da cada posto objecto de preenchimento de falhas de registo. Dado que o preenchimento de falhas que permitiu dispor de séries longas se reveste de alguma relevância quando está em causa a detecção de tendências, refere-se, seguidamente, embora de modo breve, o procedimento para o efeito adoptado, que, para tanto, foi implementado extensivamente por meio de cálculo computacional.

Seja P1 um posto que exibe uma falha no mês m_i de um dado ano, e P1.k, os k postos geograficamente mais próximos de P1 e tais que possuem os registos no mês e ano em que P1 tem falha. Para cada um destes postos são identificados os anos com registos da precipitação no mês m_i , tanto em P1.k, como em P1 – período comum com registos de precipitação no mês em causa. O preenchimento da falha de registo no posto P1 baseou-se, de entre os k postos P1.k, naquele que conduz à mais elevada correlação entre precipitações no mês m_i no período comum. Identificado o posto P1.k, segue-se o preenchimento propriamente dito, efectuado por aplicação às séries de precipitação no mês m_i nos postos P1 e P1.k do modelo de regressão linear simples sem termo aleatório.

De acordo com tal modelo, a estimativa, Y'_t , da precipitação no mês m_i em falta no posto P1 no ano t ($1 \leq t \leq N$) a partir da precipitação conhecida, para aquele ano e mês, em P1.k, W_p , obtém-se por meio de:

$$Y'_t = \bar{Y} + b (W_t - \bar{W}) + \delta \theta \sqrt{1-r^2} s_y \varepsilon_t \quad (2)$$

em que $\bar{W}$ e $\bar{Y}$ representam as médias de W e de Y e s_x e s_y , os respectivos desvios-padrão (com correcção do viés). As estimativas de b e de r são dadas por:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i (W_i - \bar{W})}{\sum_{i=1}^N (W_i - \bar{W})^2} \quad (3)$$

$$r = b s_x / s_y$$

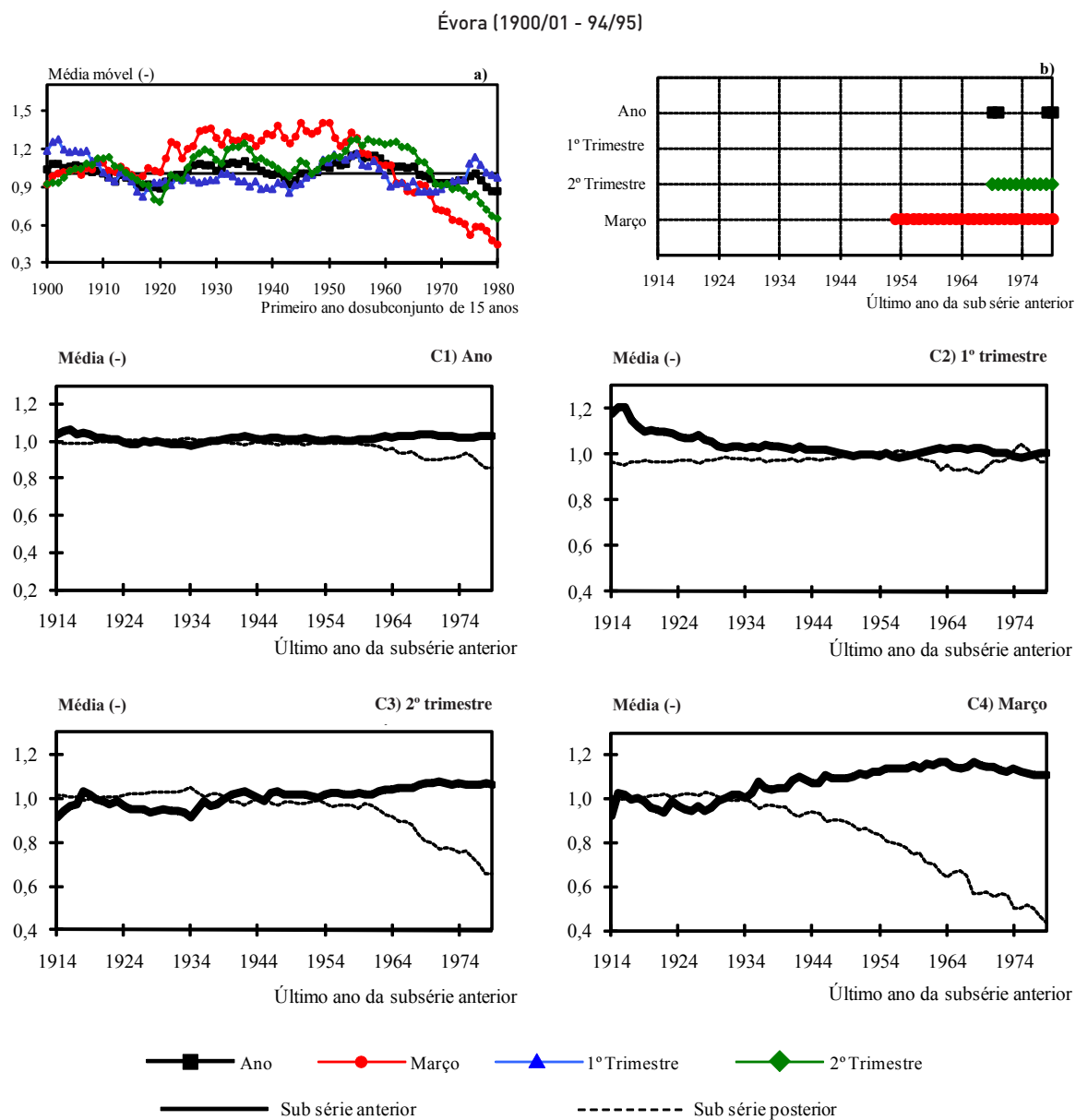


Figura 4 – Posto udométrico de Évora. Outubro de 1901 a Setembro de 1994 [$N=95$ anos hidrológicos]: a) médias móveis adimensionais em subconjuntos de $n=15$ anos; b) anos com ocorrência de quebras de homogeneidade; e c1) a c4) médias adimensionais dos sucessivos conjuntos de duas sub séries, uma anterior e outra posterior.

Torre de Moncorvo (1878/79 - 1994/95)

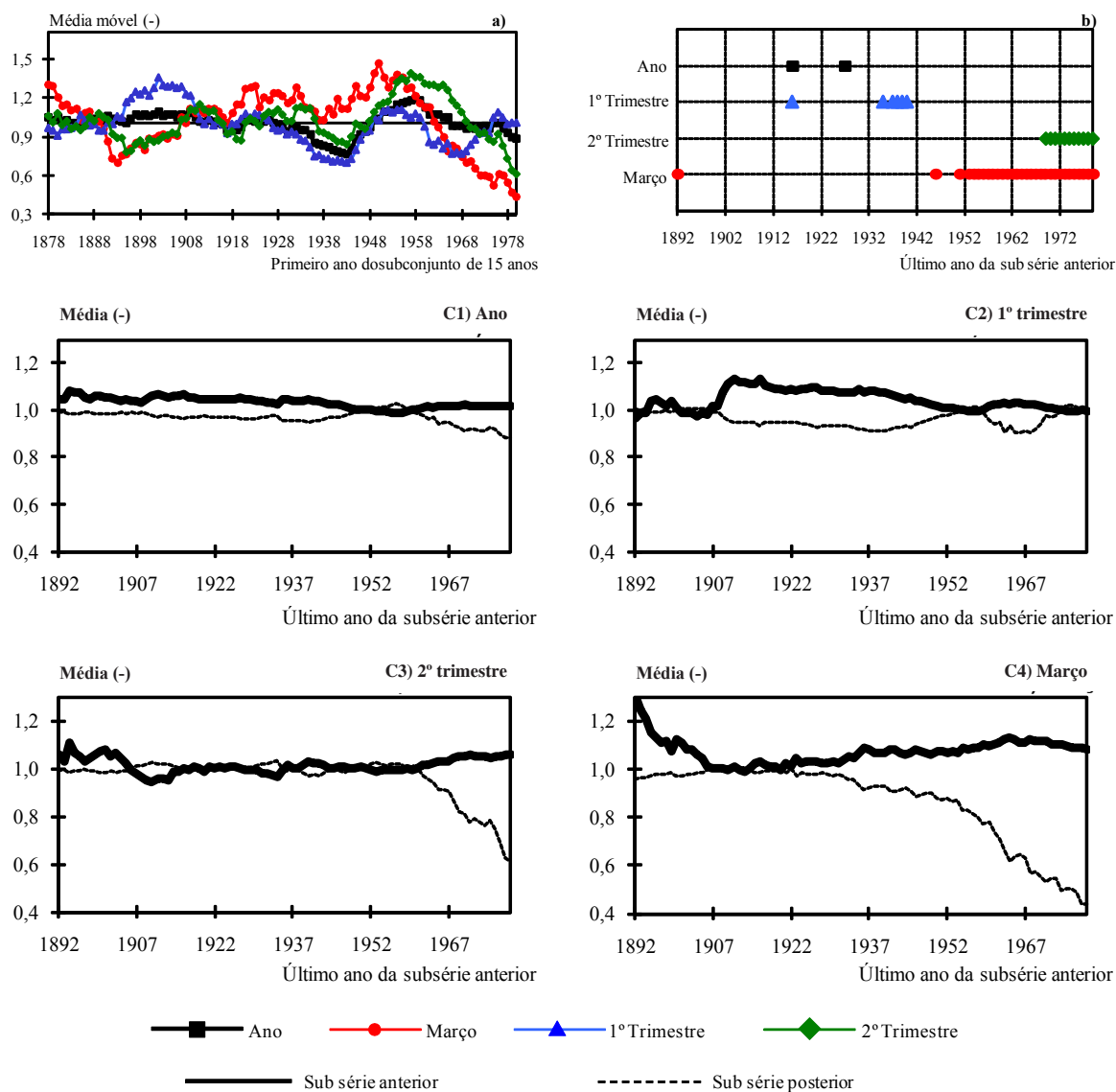


Figura 5 – Posto udométrico de Torre de Moncorvo. Outubro de 1878 a Setembro de 1995 ($N=117$ anos hidrológicos): a) médias móveis adimensionais em subconjuntos de $n=15$ anos; b) anos com ocorrência de quebras de homogeneidade; e c1) a c4) médias adimensionais dos sucessivos conjuntos de duas sub séries, uma anterior e outra posterior.

Quadro 1 – Postos udométricos 1 a 11 da Figura 3. Médias das precipitações anuais, nos primeiros e nos segundos trimestres e nos meses de Março nos períodos de registos e adimensionais, nos últimos conjuntos de 15 anos analisados.

Posto udométrico	Período de registo					Últimos 15 anos				
	Período (de Outubro a Setembro)	Precipitação média				Período (de Outubro a Setembro)	Precipitação média adimensional			
		Ano (mm)	1º trimestre (mm)	2º trimestre (mm)	Março (mm)		Ano (-)	1º trimestre (-)	2º trimestre (-)	Março (-)
Góis	1917- 1999	1162	404	441	132	1985 - 1999	0.927	1.040	0.755	0.439
Penha Garcia	1910 - 1999	803	306	289	89	1985 - 1999	0.976	1.123	0.800	0.368
Pernes	1915 - 1995	834	310	323	100	1981 - 1995	0.784	0.922	0.589	0.376
Alter do Chão	1911 - 1999	625	224	236	72	1985 - 1999	1.028	1.212	0.820	0.436
Portalegre	1910 - 1997	854	312	325	101	1983 - 1997	0.975	1.105	0.762	0.436
Estremoz	1911 - 1995	658	243	248	82	1981 - 1995	0.878	1.022	0.651	0.434
Évora	1900 - 1996	640	239	240	76	1982 - 1996	0.924	1.049	0.724	0.418
Travancas	1913 - 1999	993	345	336	101	1985 - 1999	0.935	1.061	0.727	0.451
Cabeceiras Basto	1913 - 1999	1505	527	562	166	1985 - 1999	0.982	1.173	0.775	0.394
Torre Moncorvo	1878 - 1995	563	204	173	54	1981 - 1995	0.882	1.012	0.614	0.442
Porto-Serra Pilar	1900 - 1994	1187	440	415	127	1980 - 1994	0.985	1.075	0.796	0.651

O termo ε representa uma variável aleatória normal com média nula e variância unitária e o parâmetro θ traduz a possibilidade de incluir ($\theta = 1$) ou não ($\theta = 0$) tal termo aleatório. O parâmetro δ destina-se a eliminar o viés na estimativa da variância de Y , sendo dado por, Matalas e Jacobs, 1964:

$$\delta = \sqrt{\frac{N1(N-4)(N-1)}{(N1-1)(N-3)(N-2)}} \quad [4]$$

em que $(N1+N)$ representa a dimensão da sequência preenchida.

Na aplicação do anterior modelo, cada valor da precipitação em falta foi preenchido a partir dos $k=30$ postos udométricos que, sendo geograficamente mais próximos, dispõem de registos no mês m , não se tendo considerado a aplicação do termo aleatório ($\theta = 0$). Menciona-se, ainda, que o período comum com registos em cada mês objecto de preenchimento tem de ser suficientemente longo de modo a que a equação de regressão linear possa “reproduzir”, com o menor erro de amostragem possível, a variável em causa.

No que respeita aos resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall, concluiu-se que a maior parte das tendências exibidas pelas 144 amostras analisadas de precipitações mensais e anuais não tinha significado estatístico, sendo explicada pela variabilidade natural das precipitações. Sempre que o teste de Mann-Kendall indicava uma tendência estatisticamente significativa a nível da precipitação, quer anual, quer num dado mês procedeu-se à aplicação do estimador de declive de Sen, com quantificação da magnitude dessa tendência.

Os resultados obtidos foram inseridos num sistema de informação geográfica de modo a produzir mapas com a variação espacial do estimador de declive de Sen. A interpolação espacial utilizou a técnica de Kriging. Tais resultados são apresentados na Figura 6 que inclui a representação esquemática, por meio de pontos, da localização dos 144 postos udométricos utilizados no estudo.

Um dado valor num dos mapas da Figura 6 representa a variação anual (no sentido do aumento ou da diminuição, consoante o sinal de que está afectada seja positivo ou negativo) da precipitação no intervalo de tempo em causa, expressa em percentagem da correspondente precipitação média no período analisado de 94 anos.

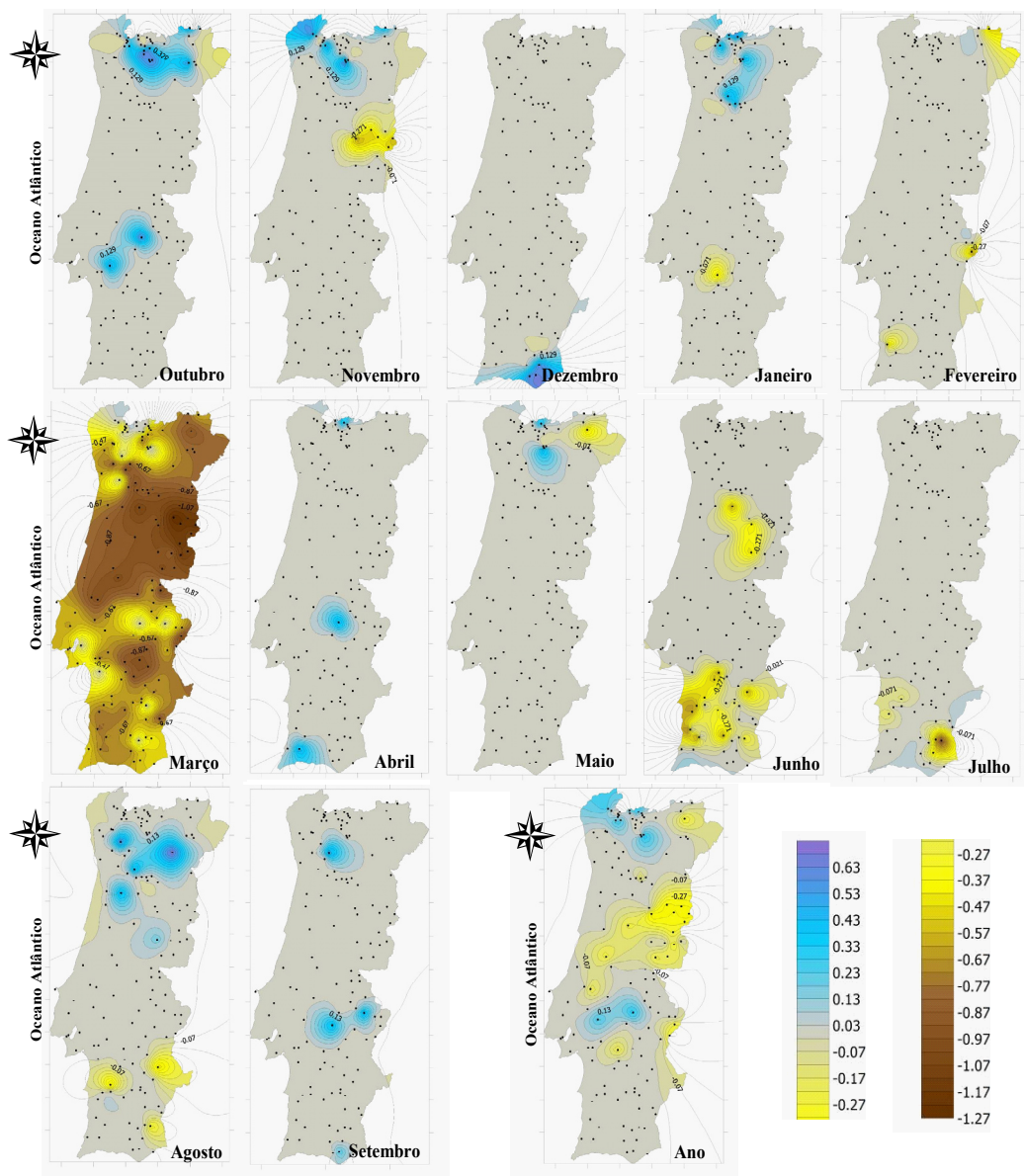


Figura 6 – Tendências em séries de precipitação mensal e anual nos 144 postos udométricos esquematicamente localizados por meio de pontos. Para cada intervalo de tempo (dado mês ou ano) a escala representa a variação anual (azul para aumento e amarelo/castanho para diminuição) da precipitação expressa em percentagem da correspondente precipitação média.

A anterior figura evidencia que as variações de precipitação são espacialmente muito circunscritas e com valores percentuais praticamente negligenciáveis. Apenas a precipitação em Março exibe uma tendência de decréscimo generalizada. Contudo, importa anotar que exceptuando uma reduzida área do Noroeste do Continental, a precipitação em Março é por regra inferior a 150 mm o que significa que um decréscimo máximo, de acordo com o estimador de Sen, de cerca de 1.3% representa um decréscimo absoluto de apenas cerca de 2 mm.

3.3. Tendências em séries de precipitações diárias máximas anuais em 24 postos udométricos

Mencionam-se seguidamente alguns dos resultados obtidos por Vaz, 2008. Importa anotar que apesar de esse estudo ter também compreendido a análise de precipitações diárias e dos números de dias com precipitação, optou-se por restringir a apresentação de resultados aos referentes a precipitações diárias máximas anuais, Pdma.

Para analisar o efeito da consideração de diferentes períodos de tempo nas estimativas das Pdma fornecidas pela lei de Gumbel procedeu-se ao estudo das amostras dessas precipitações nos 24 postos udométricos identificados no Quadro 2 que contém ainda a identificação das bacias hidrográficas em que os postos se situam e dos períodos de registos adoptados no estudo.

Em cada um dos anteriores 24 postos udométricos

constituíram-se, de acordo com a técnica das médias móveis, os sucessivos subconjuntos de n anos consecutivos, com ajuste da lei da Gumbel a cada um desses subconjuntos. Na medida em estava em causa o ajuste de uma lei estatística, considerou-se adequado aumentar, comparativamente a estudos antecedentes, a dimensão n dos sucessivos subconjuntos de 15 para 25 anos. De acordo com as dimensões mínima (70 anos) e máxima (92 anos) das séries disponíveis de Pdma resultaram, assim, entre 46 e 69 subconjuntos de 25 anos consecutivos cada.

A Figura 7 contém os resultados obtidos em três postos do Quadro 3, adoptados como exemplificativos da generalidade dos resultados do estudo, designadamente nos postos de Pernes, Vinhais e Serpa (com os números 3, 12 e 13 na Figura 3).

Na Figura 7 esquematizam-se as funções de distribuição da lei de Gumbel tendo por base os primeiros cinco subconjuntos de 25 anos consecutivos (curvas referenciadas por I) e os últimos subconjuntos de 25 anos consecutivos (curvas referenciadas por II). As curvas foram representadas sobre papel de probabilidade da lei normal. O eixo vertical de cada gráfico foi tornado adimensional por divisão das estimativas das precipitações diárias máximas anuais pela respectiva média da precipitação diária máxima anual no correspondente período de registos (Pdma_{média}). No eixo horizontal F representa a probabilidade de não excedência, tendo a probabilidade de F=0.99 sido realçada por meio de um segmento de recta vertical, representado a tracejado.

Quadro 2 – Identificação dos postos udométricos com séries de precipitações diárias máximas anuais analisadas por Vaz, 2008.

Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Período de registos (n.º de anos)	Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Período de registos (n.º de anos)
Viatodos	Ave	1932/33-2001/02 [70]	Pragança	Rib. Oeste	1928/29-2001/02 [74]
Alfândega da Fé	Douro	1913/14-2004/05 [92]	Alcafozes	Tejo	1911/12-1982/83 [72]
Castro D'aire		1916/17-2000/01 [85]	Alvaiázere		1931/32-2001/02 [71]
Chacim		1932/33-2001/02 [70]	Chouto		1911/12-2001/02 [91]
Gestosa		1932/33-2002/03 [71]	Gavião		1931/32-2002/03 [72]
Moimenta da Raia		1932/33-2001/02 [70]	Muge		1932/33-2002/03 [71]
Penafiel		1912/13-1996/97 [85]	Pavia		1911/12-2003/04 [93]
Travancas		1932/33-2001/02 [70]	Penha Garcia		1910/11-1995/96 [86]
Vinhais		1913/14-2000/01 [88]	Pernes		1914/15-2001/02 [88]
Fajão	Mondego	1931/32-2004/05 [74]	V.Nogueira de Azeitão		1931/32-2000/01 [70]
Góis		1917/18-1995/96 [79]	Relíquias	Mira	1932/33-2001/02 [70]
Santa Comba Dão		1932/33-2001/02 [70]	Serpa	Guadiana	1932/33-2001/02 [70]

A Figura 7 permite concluir que no posto de Vinhais, localizado no Norte de Portugal, as estimativas da precipitação diária máxima anual baseadas no ajuste da lei da Gumbel a registos de Pdma mais antigos são inferiores às obtidas a partir dos registos mais recentes, sendo que no posto udométrico de Serpa (no Sul de Portugal) a situação é inversa e no posto de Pernes (no Centro do País) as estimativas baseadas nos diferentes períodos em causa são muito próximas. Julga-se que, independentemente da grandeza relativa das diferentes estimativas da Pdma, as anteriores observações conduzem à conclusão incontornável de que a estimação de precipitações diárias máximas anuais para um dado posto udométrico deve considerar diferentes períodos de registo, sendo que os valores a adoptar como critério de projecto têm de resultar da comparação das estimativas assim obtidas. Concretamente e atendendo a que o estudo das precipitações extremas visa normalmente estudos subsequentes de análise de cheias, admite-se que se a consideração de períodos de registos mais recentes indicar estimativas mais elevadas, tais estimativas devem ser as adoptadas. Em circunstância alguma se recomenda a adopção de períodos de registos mais recentes se tais períodos conduzirem a menores estimativas das precipitações diárias máximas anuais. Nestas circunstâncias admite-se que sejam de adoptar as estimativas obtidas mediante a consideração de todos os registos disponíveis. Uma outra conclusão do estudo prende-se com a constatação de que o comportamento das precipitações extremas em Portugal Continental pode negar – caso do posto de Vinhais e, de certa forma, também de Pernes – ou confirmar – caso do posto de Serpa – a tendência de aumento de tais precipitações

que se espera ocorrer em Portugal Continental em consequência das mudanças climáticas.

No conjunto das 24 séries de Pdma analisadas o estudo efectuado mostrou não ser possível identificar inequivocamente tendências ou padrões globais de variação das precipitações intensas que indicassem ou que contradissem os efeitos atribuídos à alteração climática. Em conformidade com a bibliografia consultada, tais efeitos deveriam apontar no sentido da intensificação dos fenómenos pluviosos extremos (mais dias com precipitações mais excepcionais), embora com redução dos dias com precipitação. Com efeito, as amostras analisadas exibem comportamentos individualizados, como tal, insusceptíveis de serem generalizados.

3.4. Alterações dos padrões temporais da precipitação em 31 postos udométricos

No último estudo focando precipitações objecto de menção no presente artigo (Martins, 2010) foram aplicados quatro procedimentos diferentes mediante recurso à técnica das médias móveis complementada pela aplicação dos testes de Student e de Mann-Whitney. Dois procedimentos incidiram sobre a análise de máximos de precipitação e visaram a identificar eventuais alterações: nas séries correspondentes à contribuição, para o total anual, dos três meses, em cada ano, com mais elevada precipitação (procedimento 1); e no período do ano em que mais frequentemente ocorre a precipitação máxima mensal (procedimento 2). Os restantes dois procedimentos incidiram sobre a distribuição intra-anual da precipitação, tendo sido analisados: os meses em que, em média, a precipitação

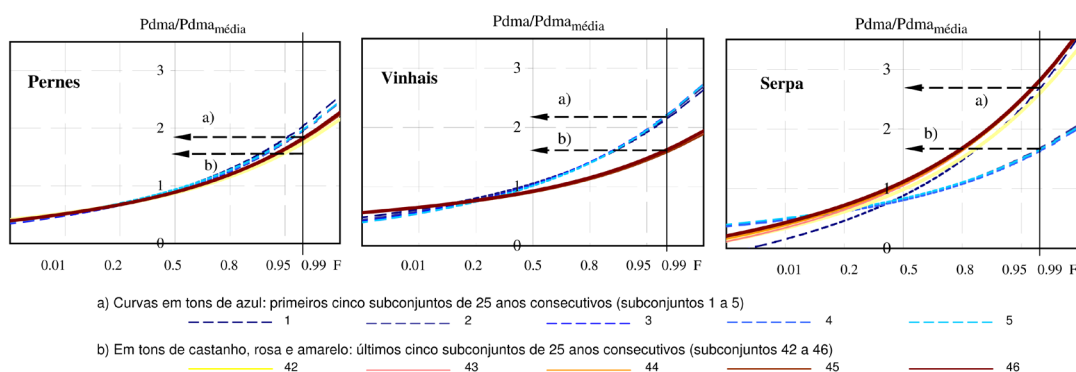


Figura 7 – Postos udométricos de Pernes, Vinhais e Serpa. Aplicação da lei de Gumbel a diferentes períodos de 25 anos consecutivos.

totaliza 20, 40, 60 e 80% da correspondente precipitação anual (procedimento 3); e ainda a contribuição, expressa em termos adimensionais por referência a um trimestre médio de um período de 25 anos, de cada um dos trimestres do ano hidrológico para a precipitação anual (procedimento 4).

Os resultados da pesquisa de alterações nas características das diferentes séries temporais consideradas foram analisados, quer graficamente (apreciação subjectiva), para o que, previamente, se estabeleceram critérios que se admitiu traduzirem os efeitos atribuíveis à mudança climática, quer por aplicação de testes de homogeneidade (apreciação objectiva) que incidiram sobre a significância da diferença entre médias, designadamente, os testes de Student e de Mann-Whitney.

Na definição dos critérios que sustentaram a apreciação subjectiva, atendeu-se a que a mudança climática a ocorrer deve resultar: (i) numa maior frequência, em especial ao longo das últimas décadas, dos fenómenos extremos, designadamente dos episódios de precipitação mais elevada, sobretudo nas latitudes médias e altas, e de secas, nas latitudes médias (Santos e Miranda, 2006); (ii) numa transferência de precipitação entre períodos do ano hidrológico ou numa alteração significativa dos valores médios característicos de um determinado período do ano hidrológico.

Assim, no que se refere à contribuição, para a precipitação em cada ano, dos três meses com maior precipitação (objecto do procedimento 1), considerou-se ocorrer uma alteração indicativa de mudança climática se tal contribuição denotasse uma maior concentração da precipitação (em média, uma maior fracção da precipitação a ocorrer nos meses mais chuvosos).

No que respeita ao período do ano em que mais frequentemente ocorre a máxima precipitação mensal (objecto do procedimento 2), considerou-se que uma mudança no padrão climático deveria corresponder a uma mudança efectiva daquele período ou, mantendo-se o período, a um aumento da frequência de ocorrência da máxima precipitação mensal no mesmo.

Relativamente ao mês em que, em média, a precipitação totaliza 20, 40, 60 e 80% da precipitação anual (procedimento 3), entendeu-se ocorrer uma alteração conforme com as expectativas associadas à mudança climática se os resultados indicassem a progressiva concentração da precipitação nos meses iniciais do ano hidrológico.

Por fim, no que respeita à contribuição adimensional da precipitação em cada um dos trimestres dos sucessivos anos hidrológicos (procedimento 4)

considerou-se que uma mudança no padrão climático corresponderia a uma alteração do trimestre mais contributivo, ou, mantendo-se esse trimestre, a uma alteração significativa da contribuição do mesmo para a precipitação anual.

O estudo utilizou registos de precipitações mensais no período de 94 anos entre 1910/11 to 2003/04 nos 31 postos udométricos de Portugal Continental identificados no Quadro 3, escolhidos de entre os 144 postos estudados por Santos e Portela, 2008, por serem representativos da gama das precipitações em Portugal Continental e por estarem geograficamente dispersos pelo território nacional.

A generalidade dos indícios detectados como sendo susceptíveis de serem associados aos efeitos esperados da mudança climática revelou não ter significado estatístico estando, portanto, compreendida na variabilidade temporal natural da precipitação.

Houve, contudo, um indício de alteração do padrão intra-anual da precipitação comum a quase todos os postos analisados, com significado estatístico, que, de algum modo, pode ser considerado indicativo do efeito da mudança climática e que respeita ao facto de o 2º trimestre do ano hidrológico (Janeiro a Março) aparentar estar a ser “substituído” pelo 1º trimestre desse ano (Outubro a Dezembro) que passou a constituir o período mais frequente de ocorrência da precipitação mensal máxima, bem como o período mais contributivo para o total anual de precipitação.

Tal circunstância é de certa forma consequência e, como tal, consistente com a acentuada redução da precipitação no mês de Março ao longo das últimas três décadas, detectada por numerosos autores, tais como Mendes e Coelho, 1993, Corte-Real *et al.*, 1998, Portela e Quintela, 1998, 2001, Santos e Portela, 2008. As Figuras 8 e 9 contêm resultados da detecção de tendências em conformidade com os procedimentos 2 e 4 e que exemplificam de modo muito claro a “substituição” do 2º trimestre pelo 1º trimestre ao progredir-se no sentido dos registos mais recente de precipitação. Importa anotar que, para a generalidade dos postos analisados, os testes de Student e de Mann-Whitney conferiram significado estatístico a tal substituição.

Quadro 3 – Identificação dos postos udométricos com séries de precipitações mensais no período de 94 anos, entre 1910/11 e 2003/04 analisadas por Martins, 2010.

Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Posto udométrico	Bacia hidrográfica
Cabana Maior	Lima	Vale de Espinho	Douro	Sobral de Monte Agraço	Rib. Oeste
Leonte	Cávado/Rib. costeiras	Porto Taveiro	Mondego	Moinhola	Sado
S. Bento da Porta Aberta		Penhas Douradas	Tejo	Caia	Guadiana
Moimenta da Raia	Douro	Ladoeiro		Amieira	
Firvidas		Castelo Branco		Azinheira Barros	
Lixa do Alvão		Vila Velha de Ródão		Algodôr	
Bornes		Pernes		Castro Verde	
Sobrado de Paiva		Monte Camões		Giões	
Escalhão		Alcochete		Monchique	Arade
Ariz		Caneças		Loulé	Rib. Algarve
Pega					

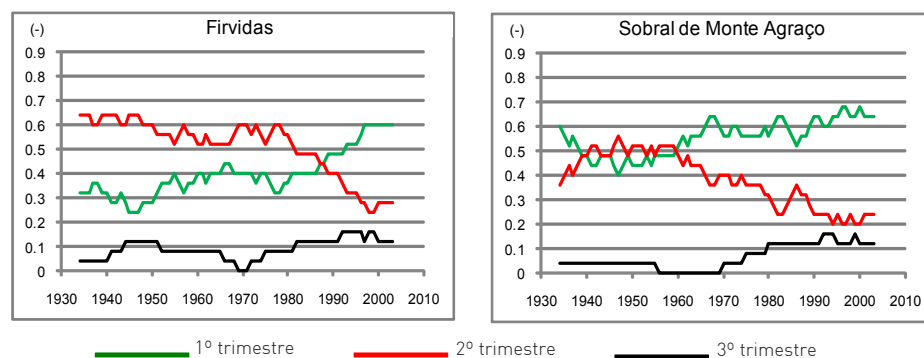


Figura 8 – Postos udométricos de Firvidas e de Sobral de Monte Agraço (bacias hidrográficas do rio Douro e das ribeiras do Oeste, respectivamente). Procedimento 2: análise da frequência relativa da ocorrência do mês com mais elevada precipitação no 1º e 2º trimestres e no 2º semestre do ano hidrológico, em sucessivos períodos de 25 anos.

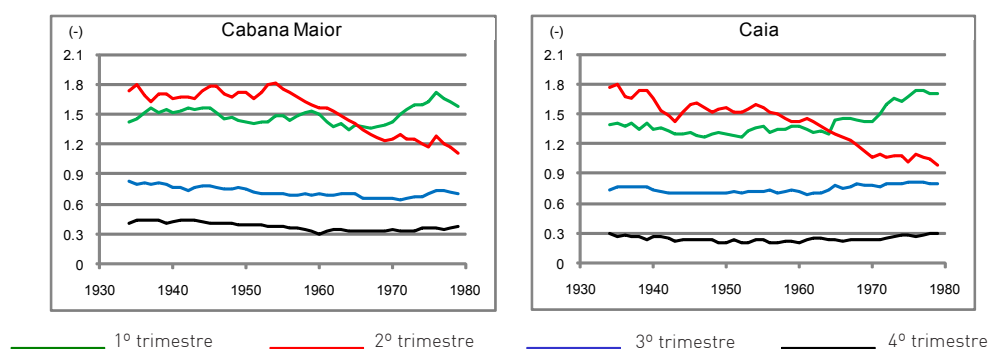


Figura 9 – Postos udométricos de Cabana Maior e de Caia (bacias hidrográficas dos rios Lima e Guadiana, respectivamente). Procedimento 4: análise por médias móveis de 25 anos da contribuição adimensional de cada trimestre para a precipitação anual.

3.5. Tendências em séries de escoamento e no desempenho de albufeiras

A par com a análise de séries longas de precipitação, desenvolveram-se estudos destinados a averiguar tendências em séries de escoamento e em indicadores de desempenho de albufeiras de regularização destinadas ao abastecimento de água para rega (Portela *et al.*, 2006, Santos, 2008).

Com efeito, a variabilidade temporal e espacial intrínseca do regime hidrológico em Portugal Continental conduz à necessidade de dispor de albufeiras para satisfazer muitos dos usos e utilizações de água, sendo que um número significativo dessas albufeiras é criado por barragens construídas há algumas dezenas de anos. Surgiu, assim, a hipótese de, em consequência dos efeitos atribuídos às mudanças climáticas, tais reservatórios já não serem capazes de assegurar os fornecimentos para os quais foram dimensionados com as garantias previstas nos respectivos projectos. A anterior hipótese afigurou-se particularmente pertinente no caso de albufeiras destinadas ao fornecimento de água para rega em que os efeitos atribuídos às mudanças climáticas interagem numa dupla vertente, pois espera-se que resultem numa redução das disponibilidades hídricas de superfície e num aumento das necessidades de água para rega.

Como especificado no item 2, por “desempenho” de uma albufeira de um aproveitamento hidráulico entendeu-se a fiabilidade/garantia com que, ao longo do período de vida do aproveitamento, é assegurado o pedido para o qual foi originalmente estimada a capacidade útil a dispor na albufeira.

A análise da anterior questão utilizou os dez hipotéticos reservatórios coincidentes com as estações hidrométricas especificadas na Figura 10. Em cada uma das anteriores estações a respectiva série de escoamentos mensais foi completada e prolongada para o período de 94 anos, entre 1910/11 e 2003/04 para o que foram ensaiados dois modelos de transformação, à escala mensal, da precipitação em escoamento, designadamente os modelos do balanço hídrico e de Temez, tendo-se optado por este último modelo.

A cada hipotética origem de água foram atribuídos diferentes pedidos de água, para o que tais pedidos foram expressos em percentagem da afluência anual média a essa origem. Apenas se consideraram pedidos sazonais, concretamente, concentrados no período de cinco meses entre Maio e Setembro tendo-lhes sido atribuído um padrão de variação inter e intra anual, que, de algum modo, mimetizasse o padrão mensal da evapotranspiração. Para tanto, adoptou-se a evapotranspiração potencial de Thornthwaite, cujos

valores foram especificados para o período adoptado nos estudos (1910/11 a 2003/04). Dado que o padrão de variação temporal do pedido assim estabelecido atende apenas a factores climáticos, procedeu-se à sua combinação com uma sequência de coeficientes culturais que traduzisse o ciclo vegetativo das culturas a regar. Resultou, assim, o padrão temporal do pedido expresso pela seguinte equação:

$$Pe_{i,j} = Pe_j \times \frac{kc_i \times EVP_{i,j}}{\sum_{i=8}^{12} (kc_i \times EVP_{i,j})} \quad [5]$$

em que $Pe_{i,j}$ (hm³) representa o volume de água a fornecer no mês i (com $i=8, \dots, 12$, em correspondência com o número de ordem, no ano hidrológico, dos cinco meses de rega, entre Maio – $i=8$ – e Setembro – $i=12$) do ano hidrológico j (com $j=1, 2, \dots, n$, sendo $n=94$) Pe_j ; (hm³) o volume de água total a fornecer nesse mesmo ano j ; $EVP_{i,j}$ (mm) a evapotranspiração potencial mensal no mês i do ano j ; e kc_i , o coeficiente cultural no mês i , (com os valores de 0.84, 1.11, 1.25, 1.25 e 1.10 respectivamente para os sucessivos meses entre Maio e Setembro).

Como mencionado, a análise do desempenho de cada uma das hipotéticas albufeiras recorreu a modelos computacionais de simulação da exploração mensal baseados na equação da continuidade, no pressuposto de fornecimento de diferentes volumes de rega com diferentes garantias. Para cada par de valores do volume a fornecer e da garantia avaliaram-se as capacidades úteis da albufeira que, ao longo do tempo, asseguram esse fornecimento com essa garantia. Para tanto, a garantia foi entendida como a percentagem do número total de períodos, de um intervalo de tempo, compreendendo numerosos anos, em que o volume de água solicitado é integralmente assegurado. Nos restantes períodos ocorrerão, portanto, restrições parciais ou totais ao fornecimento (McMahon e Mein, 1978, Grigg, 1996, Lanna, 1993).

Os resultados obtidos em termos das tendências exibidas pelos volumes afluentes e pelas capacidades úteis necessárias para assegurar diferentes pedidos estão sistematizados na Figura 10 para o que se adoptou uma representação esquemática. A figura tem subjacente pedidos de água variáveis entre 30 e 70% das respectivas afluências anuais médias combinados com garantias de fornecimento de 80 e de 90%. Dado o estudo ter sido efectuado à escala mensal, a garantia representa a percentagem do número de meses em que houve satisfação integral do pedido.

As setas a vermelho de algum modo apontam no sentido da confirmação dos efeitos mais frequentemente

Estação hidrométrica/ hipotética albufeira	Tendência exibida pelos escoamentos anuais	Tendência exibida pela capacidade útil de cada albufeira em função do pedido e da garantia do fornecimento desse pedido					
		Pedido de água para rega expresso em percentagem da afluência anual média					
		30%	50%	70%	30%	50%	70%
		Garantia do fornecimento					
		80%			90%		
Norte de Portugal	Vinhais-Qta da Ranca	↗	↘	↘	↘	↗	↘
	Castro Daire	↘	↗	↗	↗	↗	↗
	Cabriz	↘	↗	↗	↗	↗	↗
	Vale Giestoso	↗	↘	↘	↘	↘	↘
	Cunhas	↘	↗	↗	↗	↗	↗
Centro de Portugal	Couto de Andreiros	↘	↗	↗	↗	↗	↗
	Torrão do Alentejo	↘	↗	↗	↗	↗	↗
Sul de Portugal	Albernoa	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	Monte da Ponte	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	Vascão	↗	↘	↘	↘	↘	↗

Figura 10 – Análise do desempenho de reservatórios de regularização destinados ao abastecimento de água para rega. Tendências exibidas pelos volumes afluentes e pelas capacidade úteis.

atribuídos às mudanças climáticas, identificando as situações com agravamento nos constrangimentos associados ao fornecimento de água para rega a partir de albufeiras de regularização devido à diminuição, ao longo do tempo, dos volumes afluentes a essas albufeiras e/ou ao facto de em anos mais recentes ser necessário dispor de maiores capacidades para assegurar um mesmo pedido com uma mesma garantia (pior desempenho da origem de água).

As setas a verde contrariam, por assim dizer, os efeitos atribuídos às mudanças climáticas, identificando as situações em que se registaram aumentos nos volumes afluentes e/ou diminuições nas capacidades úteis de que é necessário dispor em albufeiras para assegurar um mesmo pedido com uma dada garantia (melhor desempenho da origem de água).

A figura mostra que na maior parte dos casos de estudos – com especial ênfase para os localizados no Centro e Sul de Portugal – houve uma perda de fiabilidade pois no presente haveria que dispor de

maior capacidade de regularização para assegurar um dado pedido com uma dada garantia. Em alguns dos casos de estudo (estações hidrométricas de Albernoa e Monte da Ponte) tal perda de fiabilidade ocorre não obstante a tendência de aumento registada nos volumes afluentes.

Importa, contudo, esclarecer que em todos os casos de estudo estão em causa variações negligenciáveis, sem qualquer significado estatístico.

4. COMENTÁRIO FINAL

O presente artigo teve por objectivo divulgar alguns estudos inseridos no âmbito da detecção de tendências em séries longas de variáveis hidrológicas que, de algum modo, pudessem constituir indícios dos efeitos mais frequentemente atribuídos às mudanças climáticas. Pretendeu-se, desse modo, lançar desafios que possam suscitar outras contribuições nessa matéria, a nível, quer dos modelos susceptíveis de serem aplicados, quer

de resultados já disponíveis para Portugal Continental. A experiência adquirida através dos mencionados estudos aponta no sentido de ser incontornável o facto de a precipitação em Março ter diminuído em anos recentes e de aparentemente ter ocorrido uma mudança no padrão intra anual da precipitação – para o que, certamente contribuiu a mencionada diminuição da precipitação – e que se traduz pela “substituição” do 2º trimestre do ano hidrológico pelo 1º trimestre desse ano que passou a constituir o período mais frequente de ocorrência da precipitação mensal máxima, bem como o período mais contributivo para o total anual de precipitação.

Não obstante as anteriores anomalias, que, contudo, carecem de confirmação mediante a incorporação dos registos mais recentes, julga-se válido concluir que os estudos efectuados indicam que as séries temporais de algumas variáveis hidrológicas são, por assim dizer, muito mais “resilientes” do que o que a percepção humana deixaria antever sendo, por enquanto, difícil identificar em tais séries sinais inequívocos de mudança climática. Tais circunstâncias sugerem a necessidade de prosseguir com os estudos e com as avaliações científicas pois, de algum modo, parece existir um hiato entre as ocorrências que, actualmente, se consideram consubstanciar os efeitos das mudanças climáticas e o comportamento efectivamente denotado por algumas das séries de variáveis hidrológicas.

Mas será que tal significa que o pressuposto de estacionaridade em que assentam muitos dos modelos hidrológicos deixa de ser válido? Será que, a muito curto prazo, o futuro se revelará estatisticamente diferente do passado e, se assim for, como pode essa “dissemelhança” ser introduzida nos modelos hidrológicos e nos critérios de projecto? Embora por enquanto tais questões ainda careçam de respostas, apontam no sentido do aparecimento de uma engenharia da mudança climática capaz de inserir nos parâmetros de projecto as condições climáticas e ambientais esperadas para o futuro. Esta revisão dos critérios de projecto e de dimensionamento, mas também de equacionamento do risco, deverá permear a academia, o meio técnico-profissional e o meio empresarial nos próximos anos, resultando numa necessária evolução da engenharia associada aos recursos hídricos em todo o mundo.

Os critérios de projecto e de dimensionamento a propor têm de ser robustos, em oposição aos critérios de projecto tradicionais que, em certa medida, eram entendidos como “os certos”. Por critério de projecto robusto entende-se um critério capaz de assegurar bons desempenhos sob um leque alargado de possíveis cenários, pelo que tem de conter em si a incerteza associada ao projecto e aos seus constrangimentos.

Regista-se, por fim, um breve comentário referente às

disponibilidades de água doce: julga-se ser fundamental distinguir a redução – em termos tanto quantitativos, como resultantes da degradação da qualidade – dessas disponibilidades efectivamente imputáveis às mudanças climáticas das que decorrem da utilização excessiva e frequentemente imprópria que a sociedade moderna faz das mesmas. Enquanto a comunidade científico-técnica desenvolve esforços no sentido de atender e de lidar com as mudanças climáticas, quer elas venham a ter ou não os efeitos por ora antevistos, a água torna-se um bem progressivamente mais escasso sem que tal aparente constituir em si mesmo um problema transversal à humanidade, como urge considerar.

BIBLIOGRAFIA

- Bates, B.C.; Z.W. Kundzewicz; S. Wu; J.P. Palutikof, Eds. (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Corte-Real, J.; B. QIAN; H. XU (1998). “Regional climate change in Portugal. Precipitation variability associate with large-scale atmospheric circulation”, *International Journal of Climatology*, 18, p. 619-635.
- Cunnane, C. (1978). ‘Unbiased plotting positions - a review’, *Journal of Hydrology* (37), 205-222.
- Grigg, N.S. (1996). *Water resources management. Principles, regulations and cases*. McGraw Hill, New York, p. 169.
- Hirsch, R.M., J.R. Slack; R.A. Smith (1982). “Techniques of trend analysis for monthly water quality data”, *Water Resources Research*, 18, 107-121
- IPCC (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th ed., Charles Griffin: London.
- Kenney, J. F. e E.S. Keeping (1962). “Moving Averages.” §14.2 in *Mathematics of Statistics*, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, 221-223.
- Lanna, A.E. (1993). “Regularização de vazões em reservatórios”, *Hidrologia. Ciência e aplicação*. Organizador Carlos E. M. Tucci. Editora da Universidade/UFRGS, p. 703-725.
- Lencastre, A. e F.M. Franco (1984). *Lições de hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lettenmaier, D.P., E.F. Wood; J.R. Wallis (1993). “Hydro-climatological trends in the Continental United States”, 1948-88. *Journal of Climate*, Volume 7. American Meteorological Society, 586 – 607.
- Matalas, N.C.; B. Jacobs, B. (1964). “A correlation procedure for augmenting hydrologic data”. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.*, 434-E.

- McMahon, T. e A. Adeloye (2005). *Water resources yield*. Colorado: Water Resources Publication.
- McMahon, T. A. e R.G. Mein (1978). *Reservoir Capacity and Yield*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Mann, H. B. (1945). "Non-parametric test against trend", *Econometrica*, 13, 245-259.
- Martins, C.M.C. (2010). *Alterações no padrão intra-anual da precipitação como indício de mudança climática*, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Mendes, J.C. e M.F.E.S. Coelho (1993). Variabilidade climática em Portugal Continental. Quantidade de precipitação. Índice regional de anomalia; tendência; variabilidade por decénios e trinténios, INMG, Monografia de Meteorologia e Geofísica nº 43, Lisboa.
- Monreal, T.E. (1993). Curso internacional de hidrologia general y aplicada. Área de hidrologia superficial. Tomo I, II, III, IV, V e VI CEDEX, Madrid.
- Pereira, C.B. (1995). *Análise de precipitações intensas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Pereira, L.S. (2004). *Necessidades de água e métodos de rega*. Coleção Euroagro, Publicações Europa América, Mem Martins.
- Pereira, L.S., R.G. Allen; D. Raes; M. Smith (2000). *Fao Irrigation and Drainage Paper nº 56 "Crop Evapotranspiration"*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome.
- Portela, M.M. e A. C. Quintela (1998). "Indícios de mudança climática em séries de precipitação em Portugal Continental", *Recursos Hídricos*, Vol. 19 (2 e 3), pp. 41-74, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), ISSN 0870-1741, Lisboa.
- Portela, M.M. e A.C. Quintela (2000). "Estudo regional de volumes de água garantidos por albufeiras em rios portugueses", *Recursos Hídricos*, Vol. 21 (3), pp. 97-106, Edição comemorativa do 5º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), ISSN 0870 1741, Lisboa.
- Portela, M. M e A.C. Quintela (2001). "A diminuição da precipitação em épocas do ano como indício de mudança climática. Casos estudados em Portugal Continental". *Ingeniería del Agua*, Vol. 8(1), pp. 79-92, ISSN 1134-2196, Espanha.
- Portela, M. M.; J. Santos; M.F.E.S. Coelho (2006). "Alterações em séries de variáveis hidrológicas: seus efeitos nos volumes de água a fornecer para rega e na fiabilidade do fornecimento desses volumes a partir de albufeiras". *8º Congresso da Água*, 19 p., Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Figueira da Foz.
- Portela, M.M.; J.F. Santos; A.C. Quintela; C. Vaz; C. Martins (2010). "About the trend detection in Portuguese long hydrologic time series and the climate change". *Regional Rainfall 2010, Regional Expert Meeting on Rainfall-Runoff analysis and Climate Change at the Balkans*, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade. Serbia and Montenegro.
- Quintela, A.C. (1967). *Recursos de águas superficiais em Portugal Continental*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Raynali, J.A. e J.D. Salas (1986). "Estimation procedures for the type-1 extreme value distribution", *Journal of Hydrology*(87), 315-336.
- Reiss, R.D. e M. Thomas (2001). *Statistical analysis of extreme values*, Birkhauser Verlag
- Santos, J. F. (2008). *Alterações em séries de variáveis hidro-climatológicas: seus efeitos nos volumes de água a fornecer para rega e na fiabilidade do fornecimento desses volumes a partir de albufeiras*, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Santos, F. D; P. M. Miranda (eds.) (2006). *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Projecto SIAM, Gradiva, Lisboa.
- Santos, J. F. e Portela, M. M. (2008). "Quantificação de tendências em séries de precipitação mensal e anual em Portugal Continental", *VIII Seminário Ibero Americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano*, SEREA 2008, IST, Lisbon, Portugal.
- Sen, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau", *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379-1389.
- Siegel, S. (1975). *Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento*, McGraw-Hill, Brasil.
- Thorntwaite, C.W., 1948. "An approach toward a rational classification of climate", *Geographical Review*, n. 38, 55-94.
- Temez, J.R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL .
- Vaz, C. M. (2008). *Análise de tendências em séries de precipitação diária máxima anual*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal
- Varenne e Mendonça, P. (1972-1973). *Excerto das Lições de Hidráulica Geral e Agrícola*. Instituto Superior de Agronomia 4ª edição ciclostilada, Lisboa.
- Yevjevich, V. (1972). *Probability and statistics in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.

REQUALIFICAÇÃO DE RIBEIRAS COSTEIRAS NO ÂMBITO DE UMA ESTRATÉGIA PARA A PROTECÇÃO E VALORIZAÇÃO DO LITORAL NA ÁREA DE JURISDIÇÃO DA ARH DO TEJO, I.P.

*COASTAL RIVERS REHABILITATION IN CONNECTION WITH THE
STRATEGY FOR THE PROTECTION AND RECOVERY OF THE COASTAL
AREA UNDER THE JURISDICTION OF THE TAGUS RIVER BASIN
DISTRICT ADMINISTRATION*

Maria Helena ALVES

Lic. Engenharia do Ambiente, MSc Hidráulica e Recursos Hídricos /// Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. /// Av. Braamcamp, 7, Lisboa, Portugal, +351.211554800/1 /// helena.alves@arhtejo.pt

Francisco REIS

Lic. Arquitectura Paisagista /// Gabinete Coordenador do Programa Polis /// Rua do Século, nº 51-3º, Lisboa, +351.213231591 /// francisco.reis@polis.maot.gov.pt (anteriormente na Administração de Região Hidrográfica do Tejo, I.P.)

Gabriela MONIZ

Lic. Arquitectura Paisagista /// Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. /// Av. Braamcamp, 7, Lisboa, Portugal, +351.211554800/1 /// gabriela.moniz@arhtejo.pt

Maria Teresa ÁLVARES

Lic. em Engenharia Biofísica, MSc Hidráulica e Recursos Hídricos /// Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. /// Av. Braamcamp, 7, Lisboa, Portugal, +351.211554800/1 /// teresa.alvares@arhtejo.pt

RESUMO: A Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. (ARH do Tejo, I.P.), é o organismo responsável pela protecção e valorização das componentes ambientais das águas e gestão sustentável dos recursos hídricos na área da região hidrográfica do Tejo, de acordo com o disposto no art.º 9 da Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água). A área sob jurisdição da ARH do Tejo, I.P. abrange uma frente litoral de cerca de 290 km, com 131 zonas balneares. Este território apresenta forte atractividade e tem vindo a ser sujeito a pressões de ocupação muito significativas, cujas consequências são visíveis na generalidade da zona costeira, incluindo aqui, também, as ribeiras costeiras afluentes a zonas balneares.

Neste contexto a ARH do Tejo, I.P. está a implementar uma Estratégia para a Protecção e Valorização do Litoral na sua área de jurisdição que, em articulação com os 13 municípios envolvidos e demais entidades com competências no litoral, se traduz na concretização de um conjunto de acções que contribuam de forma efectiva para a gestão integrada das zonas costeiras.

Entre as linhas dessa estratégia inclui-se a requalificação de todas as ribeiras costeiras afluentes às praias de uso balnear classificadas pelos Planos de Ordenamento da Orla Costeira, tendo presente que o estado de conservação dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, a qualidade das águas balneares e do areal das praias, nos quais os cursos de água vêm a desaguar, é o reflexo do estado da bacia hidrográfica e das intervenções nela efectuadas.

As acções a realizar pautam-se pela necessidade de garantir o bom estado ecológico dessas massas de água, tal como este está definido na Lei da Água, mas também pela necessidade de garantir as funções hidráulica, biofísica, paisagística e sociocultural da linha de água, numa perspectiva de aproximação ao conceito de “corredores verdes” e em articulação com os projectos de requalificação da orla costeira e rede de percursos pedonais e cicláveis.

No presente artigo apresentam-se as linhas de acções em curso para a requalificação das ribeiras costeiras

afluentem as zonas balneares no contexto da Estratégia para a Protecção e Valorização do Litoral da ARH do Tejo, I.P., descrevem-se os estudos necessários para a caracterização das ribeiras e respectivas bacias hidrográficas, e as características-tipo dos projectos a realizar no sentido de garantir a prossecução dos objectivos atrás mencionados.

Palavras Chave: Planos de Ordenamento de Orla Costeira, Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira, Estratégia para a Protecção e Valorização do Litoral, Ribeiras Costeiras, Requalificação de Linhas de Água, Estado Ecológico.

ABSTRACT: The Tagus River Basin District Administration (ARH do Tejo, IP) is the governmental agency for the protection, enhancement and sustainable management of water resources in the Tagus river basin and Oeste coastal river basins, in accordance with art. 9 of Law 58/2005 of 29 December (Water Law).

The area under the jurisdiction of the ARH do Tejo, IP covers a coastline of about 290 km, with 131 bathing areas. This territory has a strong attraction and has been subjected to very significant human pressures, which consequences are visible in most of the coastal area, including the coastal rivers draining for the bathing areas.

In this context the ARH do Tejo, IP, is implementing a Strategy for the Protection and Enhancement of the Coastal Area in its jurisdiction area, together with the 13 municipalities and other entities with responsibilities on its management. This Strategy includes a set of actions that is effectively contributing to an integrated and sustainable management of the coastal zone.

The goals of that Strategy include the rehabilitation of all coastal rivers draining to the bathing beaches classified by Coastal Zone Management Plans, mindful that the conservation status of aquatic and riparian communities, the quality of bathing waters and sandy beaches at the mouth of the rivers, reflects the land use and other human pressures in the watershed.

The defined set of actions are guided by the need to ensure the good ecological status of such water bodies, as it is set in the Water Law, but also by the need to ensure the hydraulic, biophysical, socio-cultural and landscape functions of the river, in order to approach the concept of "green corridors" in conjunction with the coastline regeneration projects and network of footpaths and cycling.

Keywords: Plans for Coastal Planning, Integrated Coastal Zone Management, Strategy for Protection and Enhancement of Coastal, coastal rivers, rivers rehabilitation, Ecological State.

1. INTRODUÇÃO

Os Planos de Ordenamento de Orla Costeira (POOC) constituem os principais instrumentos de ordenamento, planeamento e gestão da orla costeira.

Em 1993, com a decisão de elaboração dos POOC alargou-se a responsabilidade do ordenamento da orla costeira para além da faixa terrestre incluída no domínio hídrico (correspondente à margem das águas do mar - 50 metros) a uma faixa terrestre de protecção que se estende até aos 500 m da linha limite da margem das águas do mar e numa faixa marítima de protecção definida pela batimétrica - 30 m.

Os principais objectivos destes instrumentos de gestão territorial (IGT) prendem-se por um lado com o ordenamento e compatibilização dos diferentes usos da orla costeira, incluindo o uso balnear com a correspondente valorização das praias com interesse estratégico e por outro, com a preservação dos valores naturais em presença, nomeadamente dos ecossistemas associados às águas costeiras e ribeiras costeiras a elas afluentes e a prevenção dos riscos naturais.

À presente data a totalidade da costa continental portuguesa encontra-se sujeita à disciplina de ocupação do solo estabelecida nos 9 POOC aprovados (O primeiro, o POOC Cidadela/Forte de S. Julião da Barra, em Outubro de 1998 e o último, o POOC Vilamoura/Vila Real de St.º António em Outubro de 2005).

Tendo presente a Recomendação n.º 2002/413/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de Maio, que identifica os princípios gerais para a adopção de uma estratégia de gestão integrada de zonas costeiras na Europa, os Estados Membros ficaram responsáveis pelo desenvolvimento das respectivas estratégias nacionais, de forma a garantir a protecção e valorização do litoral, o seu desenvolvimento económico e social, e a coordenação de políticas com incidência na orla costeira, dando cumprimento à Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE, 23 de Outubro, do Parlamento Europeu e do Conselho), já transposta para o regime jurídico Português pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água).

O Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional (MAOTDR) apresentou publicamente em 2006 as bases de uma estratégia que visava sustentar uma política de ordenamento, planeamento e gestão da zona costeira portuguesa, nas suas vertentes terrestres e marinha, a qual assumiu um novo conceito territorial de intervenção, que não se esgota na faixa regulamentada pelos POOC, mas se prolonga por uma largura tipicamente de ordem quilométrica de forma a permitir uma abordagem integrada e integradora dos diferentes problemas presentes no litoral.

A Estratégia Nacional de Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC), publicada através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009, de 8 de Setembro, veio consagrar as zonas costeiras como tendo "importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, pelo que o aproveitamento das suas potencialidades e a resolução dos seus problemas exigem uma política de desenvolvimento sustentável apoiada numa gestão integrada e coordenada dessas áreas", congregando "os objectivos fundamentais e as opções estratégicas que deverão presidir a uma política de ordenamento, planeamento e gestão desta zona e servir de referência à actuação das entidades públicas e privadas, da comunidade científica e dos cidadãos". Neste contexto, a ENGIZC estabelece entre os seus objectivos temáticos: conservar e valorizar os recursos e o património natural, paisagístico e cultural; antecipar, prevenir situação de risco e de impacte de natureza ambiental, social e económica; promover o desenvolvimento sustentável e a valorização dos recursos da zona costeira.

Já enquadrada pela ENGIZC e de forma a apoiar o processo de implementação dos POOC na sua área de jurisdição, a Administração da Hidrográfica do Tejo, I.P. (ARH do Tejo, I.P.), na qualidade de coordenadora regional da implementação dos POOC Alcobaça-Mafra, Cidadela-Forte de São Julião da Barra e Sintra-Sado e ainda pela operacionalização de um conjunto de medidas que visam a implementação do POOC Ovar-Marinha Grande (Parte do concelho da Marinha Grande - desde a Foz do Liz até ao limite Sul do Plano) (Fig.1) desenvolveu a "Estratégia para Protecção e Valorização do Litoral da Região Hidrográfica do Tejo e das Ribeiras do Oeste", programa plurianual, publicado em 2009, que se traduziu no desenvolvimento de estratégias concelhias, reforçando e promovendo a articulação institucional e a participação dos municípios (ARH do Tejo, I.P., 2009).

Cada uma das estratégias concelhias traduz-se na definição e concretização de um conjunto de acções que contribuem de forma efectiva para a gestão integradas das zonas costeiras e onde a requalificação das ribeiras costeiras afluentes às zonas balneares surge como um elemento fundamental a considerar na requalificação do litoral. Com efeito, importa ter presente que a qualidade das águas balneares e do areal, assim como o estado das massas de água costeiras, reflectem o estado das ribeiras costeiras afluentes às praias, que por sua vez traduzem a ocupação das respectivas bacias hidrográficas e as intervenções nela efectuadas.

Esta abordagem à escala da bacia hidrográfica enquadra-se na Lei da Água, onde se estabelece que



Figura 1 – Área de jurisdição da ARH do Tejo, I.P.

o planeamento e gestão dos recursos hídricos e do território passa a ser considerado numa perspectiva integrada por bacia hidrográfica, em que são consideradas as águas costeiras e de transição, as albufeiras e os rios.

A Lei da Água, no seu art.º45, relativo aos objectivos ambientais, estabelece que todas as massas de água devem atingir até 2015, o bom estado,

enquadrando-se a requalificação das ribeiras costeiras no conjunto de medidas a implementar para atingir esse objectivo, dado que se pretende a implementação de medidas de conservação e reabilitação da rede hidrográfica e respectivas zonas ribeirinhas (art.º33).

Por outro lado, a Directiva 2006/7/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Fevereiro, relativa à gestão da qualidade das águas balneares, transposta

para o direito português através do Decreto-Lei n.º 135/2009, de 3 de Junho, que substituiu a Directiva 76/160/CEE, de 8 de Dezembro de 1975, transposta para o direito português através do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, introduziu dois conceitos inovadores em relação à legislação anterior, o conceito de prevenção e gestão da qualidade da água balnear (abordagem pró-activa) e a informação e participação do público. Assim, esta Directiva obriga à elaboração de Perfis de Águas Balneares que, entre outros aspectos, envolve a identificação e a avaliação das causas de poluição que possam eventualmente afectar a qualidade das águas balneares, a avaliação do risco de ocorrência de eventos de poluição de curta duração e as medidas de gestão a tomar para a resolução dos problemas de qualidade identificados, sabendo-se desde já que os problemas de qualidade estão, na generalidade das vezes, associados aos problemas de qualidade das ribeiras costeiras, reflexo da ocupação do solo e das acções antrópicas na respectiva bacia hidrográfica.

A requalificação das ribeiras costeiras que desagüam em praias enquadra-se nos documentos e legislação acima referidos, na medida em que no contexto de uma abordagem integrada à escala da bacia hidrográfica, se pretende garantir o bom estado das massas de água costeiras e das ribeiras a ela afluentes, a salvaguarda da natureza, nomeadamente dos ecossistemas costeiros e dulciaquícolas, a protecção dos recursos litorais, a conservação património natural e paisagístico, assim como garantir a qualidade da água para a prática balnear, contribuindo para a protecção e valorização da frente de mar.

Neste contexto, faz todo sentido uma abordagem integrada da requalificação dos troços da costa onde existem águas balneares identificadas, ou a identificar, em que se considere a valorização e a salvaguarda dos ecossistemas naturais associados ao meio marinho, praia emersa e submersa, duna, arriba e ribeiras costeiras afluentes à praia, associados à criação e manutenção de corredores ecológicos ao longo dos cursos de água, que assegurem a articulação dos sistemas fluviais com um corredor ecológico estruturante ao longo dos sistemas litorais.

Nesta abordagem é, também, inquestionável a importância da criação de condições de fruição pública através da infra-estruturação do meio, nomeadamente através da criação de uma rede de percursos pedonáveis e cicláveis, por forma a dar resposta de forma adequada à procura para uso balnear e recreativo destes espaços.

2. METODOLOGIA

No âmbito de cada estratégia concelhia para a protecção e valorização do litoral, seleccionou-se, de

forma conjunta com a respectiva autarquia, uma ribeira costeira considerada prioritária para o concelho, cuja requalificação constituísse um Projecto-Piloto, que viesse a nortear futuras intervenções noutras ribeiras costeiras do concelho.

O conjunto de intervenções é desenvolvido em articulação com outras intervenções previstas no POOC para o troço final desta ribeira, nomeadamente no Plano de Praia da praia a que esta ribeira é afluente.

O desenvolvimento de cada Projecto envolve numa 1ª fase a caracterização hidráulica, biofísica e paisagística do curso de água, da qualidade e estado da massa de água fluvial, assim como dos aspectos sociais, culturais e patrimoniais associados à ribeira costeira, numa perspectiva integrada considerando a sua bacia hidrográfica. Esta caracterização envolve os seguintes aspectos (Saraiva, 1999; INAG, 2001, ARH do Tejo, I.P., 2009):

- a) Área da bacia hidrográfica e perfil longitudinal do curso de água;....
- b) Identificação e delimitação das grandes manchas de ocupação do solo rural e urbano na área da bacia hidrográfica;
- c) Características do leito e das margens e respectivo grau de naturalização e artificialização; zonas de deposição e erosão; levantamento de perfis transversais em secções representativas do troço seleccionado e em secções críticas (de erosão acentuada ou de forte acumulação de sedimentos);
- d) Conectividade do curso de água, procedendo à identificação de obstáculos e estrangulamentos;
- e) Avaliação da capacidade de vazão do curso de água, e identificação no campo da "trashline", altura a se pode encontrar no campo pontos de acumulação de folhas, troncos e lixo, devido à ocorrência de cheias.
- f) Presença de vegetação no leito (natural e invasiva);
- g) Caracterização da extensão, estrutura e estado da galeria ripícola: presença de estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo;
- h) Identificação das principais espécies faunísticas presentes;
- i) Identificação das fontes de poluição que descarregam directamente para o curso de água: ETAR's, indústria, fossas, colectores de águas pluviais, etc.. Caracterização desses efluentes em termos de caudais e qualidade;
- j) Identificação das massas de água no troço de intervenção. Proceder à caracterização do seu estado com base na informação disponível no SNIRH e/ou disponibilizada pela ARH;
- l) Em situações em que se considere que não existem

problemas associados a fontes de poluição pontual, deverá então proceder-se à avaliação do estado da massa de água, recorrendo a amostragens dos elementos de qualidade que caracterizam o estado ecológico e o estado químico (este último, apenas no caso de haver o risco de serem descarregados poluentes no meio hídrico);

- m) Com base na informação anterior e nos dados de monitorização da qualidade das águas balneares, nomeadamente o seu historial, proceder à identificação dos problemas de poluição cuja resolução é pertinente no sentido de garantir a qualidade das águas balneares, assegurando a sua utilização;
- n) Avaliação da qualidade da areia das praias e sua relação com os problemas de qualidade da água do curso de água;
- o) Caracterização do uso do solo e das actividades desenvolvidas na área adjacente às margens, no sentido de avaliar as condições para integração do traçado de circuitos pedonais e/ou cicláveis ao longo das ribeiras e de identificar o património construído a valorizar e a integrar nos percursos a efectuar.

Com base nesta caracterização será realizado o diagnóstico, procedendo-se à identificação dos problemas e das suas causas, que potencialmente ocorrerão ao nível do estado e qualidade da água, da capacidade de escoamento, do estado de conservação dos ecossistemas aquático e ribeirinho, assim como das potencialidades do curso de água em termos de fruição pública associada ao recreio e lazer.

Neste diagnóstico, é fundamental que seja também considerada a delimitação do domínio hídrico e a propriedade dos terrenos marginais, aspecto determinante para a implementação de medidas nos leitos e margens do curso de água.

O projecto a desenvolver incluirá medidas, quer ao nível do curso de água, quer ao nível da bacia hidrográfica, para garantir as seguintes funções do curso de água:

- i. Hidráulica – escoamento dos caudais líquidos e sólidos em condições hidrológicas médias e de cheia através do alargamento/aprofundamento das secções hidráulicas que constituem constrangimentos ao escoamento, da limpeza e estabilização das margens e leito, implementação de medidas de correcção, estabilização e controlo de erosão, criação de condições para a desocupação dos leitos de cheia, de eventuais intervenções na embocadura;
- ii. Biofísica – enquanto garante dos sistemas ecológicos aquáticos e ribeirinhos, através da implementação de medidas de controlo de poluição, melhoria de habitats aquáticos,

estabilização das margens e leito recorrendo a técnicas de engenharia biofísica e à reabilitação da galeria/vegetação ribeirinha através da plantação de espécimes vegetais autóctones arbóreas e arbustivas e controlo de infestantes/exóticas, renaturalização das margens artificializadas em particular fora de perímetros urbanos, reabilitação da planície aluvial. As medidas a implementar deverão garantir o bom estado das massas de água, assim como a qualidade adequada das águas costeiras para a prática balnear.

- iii. Paisagística - constituindo o elemento valorizador estético da paisagem, a atingir através de medidas de reabilitação da galeria/vegetação ribeirinha.
- iv. Sócio-cultural - através de medidas que permitam que o curso de água constitua um espaço com aptidão para fornecimento de bens e serviços ao nível do lazer, de recreio e de educação ambiental, dentro dos limites impostos pela capacidade de carga do meio e dos limiares da sustentabilidade. Essas medidas incluem a criação de corredores verdes, percursos pedonais e cicláveis e de zonas de estadia que liguem a ribeira costeira à praia e à orla costeira.

A implementação de cada Projecto deve incluir uma componente de sensibilização e de envolvimento das populações ao longo de todo o processo, nomeadamente ao nível da concepção do projecto, assim como da sua implementação e monitorização.

3. CASOS DE ESTUDO

3.1. Rio Grande, afluente à Praia Areia Sul

O rio Grande, afluente à Praia Areia Sul, no concelho da Lourinhã, abrangida pelo POOC de Alcobaça-Mafra, foi a ribeira costeira seleccionada como Projecto-Piloto para o concelho da Lourinhã, tendo sido alvo de uma candidatura ao Fundo de Protecção dos Recursos Hídricos e ao QREN já em 2011.

A praia da Areia Sul é uma praia não urbana de uso intensivo (Tipo II de acordo com o POOC), identificada de acordo Decreto-Lei nº135/2009, de 3 de Junho, e para a qual está prevista um Plano de Praia. No que refere a este Plano, foram já elaborados os Termos de Referência (Fig.2), estando em elaboração o Projecto de Execução. Os Termos de Referência prevêem as seguintes intervenções no troço terminal do rio Grande : limpeza das espécies infestantes e invasoras (nomeadamente canas e silvas), plantação de espécies edafo-climaticamente adaptadas ao local, avaliação da estabilidade das margens e a sua consolidação, se necessário, de preferência recorrendo à vegetação. O Plano prevê, também, que a ocupação balnear tenha em conta o comportamento da ribeira, respeitando o



- Limite de Intervenção
- Áreas a recuperar e renaturalizar de acordo com o ecossistema local
- Áreas de duna consolidada a preservar
- Recuperação e estabilização das margens da linha de água
- Áreas de estacionamento a requalificar
- Demolições
- Requalificação do apolo de praia existente, prevendo a sua relocação e a recuperação
- Desativação da pista de aviação e renaturalização de acordo com o ecossistema local
- Areal de Uso Balnear - Zona Viglada
- Polígono de Implantação para o Apolos / Equipamento
- AC - Apolo Completo
- AS - Apolo Simples
- Acesso Viário
- Acesso Viário Condicionado (veículos prioritários e limpeza do areal)
- Ciclovia
- Acessos Pedonais Permanentes
- Acessos Pedonais Temporários (época balnear)
- Trilho sobre a duna a preservar

Figura 2 – Área de intervenção do Plano de Praia da praia Areia Sul.

seu percurso ao longo do ano, devendo a ocupação do areal durante a época balnear ser adaptada anualmente às condições existentes nessa altura do ano.

Em termos de acessos, o Plano prevê a criação de acessos pedonais, nomeadamente um acesso sobreelevado de ligação à praia da Areia Branca, a Norte da Praia Areia Sul, articulando com o atravessamento pedonal existente sobre o rio Grande, e uma ciclovia a articular com a já existente na Praia da Areia Branca, o que implicará um novo atravessamento sobre o rio Grande.

O Projecto de Requalificação do rio Grande será desenvolvido em articulação com as intervenções previstas no Plano de Praia, quer no que se refere às intervenções no curso de água, quer com os percursos pedonais e cicláveis nele estabelecidos.

Assim, pretende-se que as intervenções no rio Grande permitam a sua requalificação em termos das suas funções hidráulica, biofísica e paisagística, prevenindo-se a realização das seguintes acções: alargamento e/ou aprofundamento de secções hidráulicas que constituam constrangimentos ao escoamento, limpeza e estabilização de margens e leito, recorrendo a técnicas de engenharia biofísica, renaturalização das margens fora de perímetros urbanos, reabilitação da vegetação ribeirinha, melhoria dos habitats aquáticos para as espécies piscícolas, melhoria da qualidade da água a fim de garantir o bom estado das massas de água e a prática balnear.

No que se refere à componente sócio-económica pretende-se estabelecer pistas pedonais e cicláveis ao longo da ribeira, com zonas de estadia, em articulação com os percursos de ligação à praia e com os que se desenvolvem ao longo da orla costeira, previstos no âmbito do Plano de Praia.

As pistas ao longo do curso de água estarão associadas a um percurso interpretativo com referência ao património natural e cultural da região.

Pretende-se também que no âmbito do Projecto de Requalificação se desenvolva uma componente de educação ambiental que envolva a população do concelho na implementação do Projecto e na sua monitorização, nomeadamente através do desenvolvimento de uma componente de monitorização das populações de passeriformes associadas à galeria/vegetação ripária ("birdwatching") na medida em que esta constitui um bom indicador do seu estado de conservação, e o apoio à implementação do Projecto "Rios"¹ ao nível das escolas do concelho (<http://www.projectorios.org>).

1 - O Projecto Rios visa a adopção e monitorização de um troço de rio por parte da comunidade civil, nomeadamente escolas ou outras organizações e associações, de modo a promover a sensibilização da sociedade civil para os problemas e para a necessidade de protecção e valorização dos sistemas ribeirinhos.

A monitorização dos projectos implementados ficará a cargo das autarquias, contando com o apoio técnico da ARH do Tejo, I.P., cabendo também a estas a manutenção dos espaços e infra-estruturas criados.

3.2. Rio Alcoa, afluente à praia da Nazaré

O rio Alcoa, afluente a uma praia de uso não balnear a Sul da praia da Nazaré, constitui a ribeira costeira seleccionada como Estudo-Piloto para os concelhos de Alcobaça e Nazaré, tendo sido já apresentada no final de 2010 uma candidatura ao Fundo de Protecção dos Recursos Hídricos e ao QREN já em 2011 (Fig.3).

As linhas gerais da intervenção a efectuar no rio Alcoa, visam a sua requalificação em termos das funções atrás descritas. Assim, no que se refere às funções hidráulica, biofísica e paisagística, estas envolverão essencialmente: a limpeza e estabilização de margens e leito de secções hidráulicas que constituam constrangimentos ao escoamento, recorrendo a técnicas de engenharia biofísica; renaturalização e valorização das margens fora de perímetros urbanos; reabilitação da planície aluvial na parte terminal do rio Alcoa com elevado potencial do vista de conservação da natureza; reabilitação da vegetação ribeirinha; melhoria dos habitats aquáticos para as espécies piscícolas e melhoria da qualidade da água a fim de garantir o bom estado das massas de água e a prática balnear.

O rio Alcoa tem uma forte componente patrimonial associada ao Património Hidráulico Cisterciense e ao uso da água, pelo que a requalificação do rio Alcoa será desenvolvida em estreita articulação com os projectos em curso da Câmara Municipal de Alcobaça relativos a estas componentes, como sejam os sistemas de rega e de abastecimento doméstico ao Mosteiro, outros projectos já candidatados ao LEADER+, nomeadamente a reconstrução do Moinho do Canal, Açude Cisterciense e Levada (Chiqueda de Baixo) e do Moinho do Parente (Chiqueda de Baixo), e ainda o Aproveitamento Hidroeléctrico de Fervença. Assim, no que se refere à função sócio-cultural, serão criadas pistas pedonais e cicláveis, com zonas de estadia, que ligarão a ribeira costeira à praia e à orla costeira, associados a percursos interpretativos com referência ao património natural e cultural dos dois concelhos, em particular o que se prende com o uso da água.

À semelhança do Projecto de Requalificação do rio Grande, pretende-se que a monitorização do Projecto, seja desenvolvida paralelamente a um projecto de educação ambiental, que envolva a população dos dois concelhos, através de um conjunto de acções que incluirão uma componente de monitorização das populações de passeriformes associadas à galeria/vegetação ribeirinha - "birdwatching" e o



Figura 3 – O Rio Alcoa, da Nascente à Foz.

apoio à implementação do Projecto “Rios” ² ao nível das escolas dos concelhos de Alcobaça e Nazaré (<http://www.projectorios.org>).

A monitorização dos projectos implementados ficará a cargo das autarquias, contando com o apoio técnico da ARH do Tejo, I.P., cabendo também a estas a manutenção dos espaços e infra-estruturas construídas.

4. CONCLUSÕES

O litoral português tem vindo a assumir uma importância estratégica crescente, em termos ambientais, económicos, sociais e culturais, o que tem motivado uma crescente procura e ocupação do mesmo, tendo todo este processo originado situações de desequilíbrio com impactos negativos sobre o território e, em casos extremos, na qualidade de vida das populações.

A resolução dos seus problemas, revela-se prioritária no âmbito de uma política de desenvolvimento sustentável,

implicando que se procure a interacção e o equilíbrio indispensáveis entre a conservação dos recursos naturais, a protecção da natureza e o desenvolvimento socio-económico de cada região, importando ter presente a necessidade de promover o ordenamento, planeamento e gestão da zona costeira portuguesa, dentro de um novo conceito territorial de intervenção, que não se esgota na faixa regulamentada pelos POOC de forma a permitir uma abordagem integrada e integradora dos diferentes problemas presentes no litoral.

Esta abordagem, à escala da bacia hidrográfica, enquadra-se na Lei da Água, onde se estabelece que o planeamento e gestão dos recursos hídricos e do território devem ser considerados numa perspectiva integrada por bacia hidrográfica, importando ter presente, a título de exemplo, que a qualidade das águas balneares e do areal, assim como o estado das massas de água costeiras, reflectem o estado das ribeiras costeiras afluentes às praias, que por sua vez traduzem a ocupação das respectivas bacias hidrográficas e as intervenções nela efectuadas.

A complexidade de interesses, competências e valores em causa na zona costeira portuguesa tem levado à procura

² - Ver nota 1

de soluções de gestão integrada eficazes que permitam assegurar um efectivo desenvolvimento sustentável e equilibrado deste território. Foi precisamente neste contexto que a ARH do Tejo I.P. desenvolveu a Estratégia para Protecção e Valorização do Litoral a qual, conforme já referido, se traduz numa abordagem multidisciplinar do território, e se ancora nos IGT em vigor para o território em causa e nos documentos estratégicos desenvolvidos para o litoral português, nomeadamente e entre outros, nos Planos de Ordenamento de Orla Costeira, na Estratégia Nacional de Gestão Integrada da Zona Costeira, e nas prioridades definidas no Plano de Acção do Litoral 2007-2013.

As intervenções que têm vindo a ser concretizadas no âmbito da implementação da referida estratégia, pretende-se que tenham um carácter exemplar e demonstrativo, associando as componentes ambiente e ordenamento do território e integrando uma vertente correctora e pedagógica relativamente a erros cometidos no passado, sendo que o seu alcance muito dependerá da qualidade dos estudos, planos e projectos previstos e a sua eficácia estará condicionada ao um desenvolvimento em tempo útil e de forma articulada dos mesmos.

A requalificação das ribeiras costeiras que desaguam em praias enquadra-se nos documentos e legislação anteriormente referidos na medida em que, no contexto de uma abordagem integrada à escala da bacia hidrográfica, se pretende garantir o bom estado das massas de água costeiras e das ribeiras a ela afluentes, a salvaguarda da natureza, nomeadamente dos ecossistemas costeiros e dulciaquícolas, a protecção dos recursos litorais, a conservação do património natural e paisagístico, assim como garantir a qualidade da água para a prática balnear.

De facto, faz todo sentido uma abordagem integrada da requalificação dos troços da costa onde existem águas balneares identificadas, ou a identificar, em que se considera a valorização e a salvaguarda dos ecossistemas

naturais associados ao meio marinho, praia emersa e submersa, duna, arriba e ribeiras costeiras afluentes à praia, associados à criação e manutenção de corredores ecológicos ao longo dos cursos de água, que assegurem a articulação dos sistemas fluviais com um corredor ecológico estruturante ao longo dos sistemas litorais, sendo também de inquestionável importância a criação de condições de fruição pública através da infra-estruturação do meio, nomeadamente através da criação de uma rede de percursos pedonais e cicláveis, por forma a dar resposta de forma adequada à procura para uso balnear e recreativo destes espaços.

Neste contexto, os projectos em curso para o rio Grande no Concelho da Lourinhã, e para o rio Alcoa nos concelhos de Alcobaça e Nazaré, da responsabilidade da ARH do Tejo, I.P., serão desenvolvidos no contexto anteriormente referido, num quadro de estreita colaboração com as autarquias.

Estes projectos, pelo seu carácter exemplar e demonstrativo, permitirão nortear a requalificação de outras ribeiras costeiras nos concelhos envolvidos, já da responsabilidade das autarquias, mas sempre com o apoio da ARH do Tejo, I.P.

BIBLIOGRAFIA

- ARH do Tejo, I.P. (2009). Estratégia para a Protecção e Valorização do Litoral. Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste. Tágides, nº2. Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P..141 pp.
- INAG (2001). Guia de Requalificação e Limpeza de Linhas de Água. Direcções de Serviços e Utilizações do Domínio Hídrico. Instituto da Água, I.P. 24 pp.
- Resolução do Concelho de Ministros nº82/2009, de 8 de Setembro. Estratégia Nacional de Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC).
- SARAIVA, M.G. (1999). O Rio como Paisagem. Fundação Calouste Gulbenkian. 512 pp.



ASSOCIAÇÃO
PORTUGUESA
DOS RECURSOS HÍDRICOS

Avenida do Brasil, 101
1700-066 Lisboa /// Portugal
Tel.: +351 21 844 34 28 /// Fax: +351 21 844 30 17
E-Mail: aprh@aprh.pt /// Web: www.aprh.pt