TÁGIDES

APLICAÇÕES DE MODELOS MATEMÁTICOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO TEJO E DAS RIBEIRAS DO OESTE

António Carmona Rodrigues

ARH TEJO
Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

ARH TEJO
Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

TÁGIDES

APLICAÇÕES DE MODELOS MATEMÁTICOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO TEJO E DAS RIBEIRAS DO OESTE

António Carmona Rodrigues

APRESENTAÇÃO

Tradicionalmente, as actividades de licenciamento constituem uma das áreas que geram mais reclamações contra a Administração por parte dos utilizadores, sobretudo devido aos atrasos na resolução dos processos e, por vezes, à dificuldade em obter informação sobre o seu estado. Também para a avaliação de algumas situações, como sejam, a determinação de tendências de evolução do estado das águas e dos impactos causados pelas actividades humanas, a gestão de situações de seca e de escassez ou de cheias, bem como a simples avaliação de recursos hídricos, a ARH do Tejo, I.P. não dispõe, ainda, dos instrumentos de análise necessários para uma resposta atempada e de qualidade.

Os modelos matemáticos e, mais recentemente, os sistemas de apoio à decisão, vieram proporcionar uma capacidade de análise e de suporte à tomada de decisão imprescindíveis a uma gestão moderna, pró-activa e participada, que é, cada vez mais, uma exigência dos dias de hoje em todas as organizações públicas e privadas que, como a Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. (ARH do Tejo, I.P.), têm a missão de promover a gestão dos recursos hídricos.

Os modelos matemáticos constituem uma aproximação à realidade e a sua implementação deve normalmente considerar, previamente à fase de simulação, uma fase de calibração em que se verifica a adequação ou o ajustamento dos resultados do modelo a situações observadas. Por outro lado, os modelos matemáticos devidamente calibrados, que se coloquem "em produção", devem estar em monitorização permanente, uma vez que a realidade se pode alterar e que os próprios modelos vão sendo melhorados com o passar dos anos, com novas aproximações conceptuais, algoritmos de cálculo mais potentes, interfaces mais amigáveis e, ainda, com recurso a sistemas de informação geográfica que os potenciam. A modelação dos sistemas hídricos está, assim, indissociavelmente ligada à monitorização dos recursos hídricos e à disponibilidade de sistemas de informação que promovam a aquisição, validação e armazenamento de dados e disponibilização de informação.

Ao fazer estas breves e simples reflexões sobre modelação e a sua importância para a gestão dos recursos hídricos, vêm-me à memória inúmeras conversas mantidas com o Professor António Carmona Rodrigues, já há alguns anos. Tivemos, então, a oportunidade de falar sobre modelos de simulação de qualidade da água, em rios e albufeiras, modelos de poluição difusa, modelos contínuos de simulação hidrológica e modelos de previsão de cheias, incluindo em tempo real. Curiosamente, e não esquecendo que na altura

nos encontrávamos noutras funções, as conversas mantidas e o trabalho realizado pelo Professor Carmona Rodrigues andou quase sempre à volta da bacia hidrográfica do rio Tejo.

Muito recentemente, já em funções na ARH do Tejo, I.P., voltei a contactar a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por idênticos motivos. Sendo necessário desenvolver um modelo de qualidade da água para a albufeira de S. Domingos, em Peniche, contou-se novamente com a colaboração do Professor Carmona Rodrigues.

Com este sexto volume da colecção Tágides, intitulado "Aplicações de Modelos Matemáticos nas Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste", da autoria do Professor António Carmona Rodrigues, a ARH do Tejo, I.P. pretende deixar memória do extenso trabalho de excelência realizado ao longo de mais de vinte anos, que compreende a elaboração de 17 trabalhos de modelação matemática, desenvolvidos para as bacias do rio Tejo e das ribeiras do Oeste.

Sobre o Professor Carmona Rodrigues, é com enorme satisfação que deixo o nosso testemunho de reconhecimento de um excelente professor e de um engenheiro competente, rigoroso e exigente (como o próprio costuma afirmar… "se é para fazer, que seja bem feito!"), sempre disponível e de trato amigo e generoso. Acresce que, tendo colaborado várias vezes e em diversas situações do lado da Administração, sempre com grande disponibilidade e empenho, tem um entendimento profundo das nossas fragilidades e necessidades, mas também da importância da nossa actividade. Académico respeitado, engenheiro competente e conhecedor da Administração, tem sido um privilégio poder contar com a sua colaboração e amizade.

Manuel Lacerda

(Presidente da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P.)

Rio Tejo no troço superior em território nacional, junto a Belver.

011 NOTA INTRODUTÓRIA

017 SECÇÃO I
HyperTejo, PGIRH-Tejo, 1986
Gestão da Qualidade da Água

027 SECÇÃO II
Modelo de Radionuclídeos, GPSN, 1987
Avaliação do Risco de Contaminação Radioactiva

035 SECÇÃO III
Modelo de Qualidade da Água do rio Trancão, PGIRH-Tejo, 1988
Gestão da Qualidade da Água

045 SECÇÃO IV
Modelo de Qualidade da Água do rio Alviela, PGIRH-Tejo, 1990
Gestão da Qualidade da Água

053 SECÇÃO V
Albufeira do Cabril, INAG, I.P., 1992
Gestão da Qualidade da Água

061 SECÇÃO VI
HQUAL, INAG, I.P., 1995
Gestão da Qualidade da Água

071 SECÇÃO VII
Falua, INAG, I.P., 1997
Avaliação e Gestão do Risco de Cheias

081 SECÇÃO VIII
Central Termoeléctrica do Carregado, PROET/EDP, 1998
Avaliação do Impacte de Descargas Térmicas

093 SECÇÃO IX
Aplicação do modelo QUAL-2E ao Rio Tejo, INAG, I.P., 2000
Gestão da Qualidade da Água

105 SECÇÃO X
Aplicação do modelo WQRRS à albufeira de Castelo do Bode, INAG, I.P., 2001
Gestão da Qualidade da Água

ÍNDICE

115 SECÇÃO XI
Revisão do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode, INAG, I.P., 2003
Ordenamento do Território

125 SECÇÃO XII
Identificação de Zonas Vulneráveis, INAG, I.P., 2004
Legislação Ambiental

135 SECÇÃO XIII
Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode Estudos Complementares, INAG, I.P., 2004
Ordenamento do Território e Gestão da Qualidade da Água

143 SECÇÃO XIV
Modelação e Avaliação da Concentração de Compostos Orgânicos Voláteis e Compostos Orgânicos Semi-Voláteis na Albufeira de Castelo do Bode, INAG, I.P., 2005 e 2006
Gestão da Qualidade da Água

153 SECÇÃO XV
Efeito dos Fogos Florestais na Qualidade da Água Albufeira de Castelo do Bode, INAG, I.P., 2007 e 2008
Impacte Ambiental

161 SECÇÃO XVI
Avaliação das Concentrações de Fósforo em albufeiras, Trabalho de Investigação, 2008
Gestão da Qualidade da Água

171 SECÇÃO XVII
Modelação da Qualidade da Água da Albufeira de São Domingos ARH do Tejo, I.P., 2009
Gestão da Qualidade da Água

NOTA INTRODUTÓRIA

De entre todos os rios que estruturam o território português, o Tejo ocupa um lugar central, não apenas de um ponto de vista geográfico, mas também no plano do nosso imaginário colectivo. O Tejo é o elo que liga um norte montanhoso e húmido a um sul mais plano e seco, confluindo as suas águas num estuário de grande valor ambiental e económico, além de indissociável da nossa história como nação. Mas o Tejo sempre foi, também, um elo entre as duas nações ibéricas, tanto mais que Madrid e Lisboa estão ambas localizadas na sua bacia hidrográfica e são, portanto, banhadas pelas mesmas águas.

A história dos rios e da sua gestão em Portugal é muito rica, quase se confundindo com a história da ocupação do território. Assim, não pode deixar de acontecer o mesmo com o Tejo. Mas essa história não é só feita de relatos dos tempos antigos. É também a história da modernidade e da utilização de novas e sofisticadas tecnologias. O Tejo e o seu estuário têm constituído uma espécie de "laboratório" em que se utilizaram pela primeira vez em Portugal algumas abordagens e se ousaram novas soluções.

Este novo volume da colecção Tágides, da autoria do Professor António Carmona Rodrigues, publicado pela Administração dos Recursos Hídricos do Tejo, I.P., é um testemunho eloquente dessa "história" de modernidade e da aplicação pioneira de novas abordagens visando dar resposta aos problemas cada vez mais complexos que a gestão integrada dos recursos hídricos suscita.

Sob o título "Aplicações de Modelos Matemáticos nas Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste", o autor apresenta-nos sucintamente 17 estudos em que esteve envolvido, realizados ao longo de mais de duas décadas (de 1986 a 2009), relativos a matérias muito diversas, desde a modelação da qualidade da água, até aos efeitos dos fogos florestais, ou desde a avaliação e gestão do risco de cheias até ao contributo para a elaboração de planos de ordenamento.

Existem, contudo, fios condutores comuns a todos estes estudos. Um deles consiste na utilização de modelos matemáticos sofisticados para caracterizar as componentes do ciclo hidrológico no contexto específico das bacia hidrográficas em análise e, sobretudo, para prever a resposta a alterações induzidas pelo homem. Trata-se portanto de modelos computacionais utilizados claramente num quadro de apoio à decisão.

Um outro fio condutor dos estudos apresentados consiste no facto de estar sempre presente a temática da qualidade da água e das medidas a tomar para a sua protecção e melhoria, apenas com a eventual excepção de um estudo dedicado à avaliação e gestão do risco de cheias (modelo Falua, 1997). Sejam os problemas mais comuns de poluição hídrica, sejam temas muito específicos como a poluição térmica ou a propagação de radionuclídeos, são claramente as questões da qualidade da água que estão presentes. Mesmo em trabalhos nas áreas do ordenamento do território ou da legislação ambiental, o cerne dos estudos consiste na utilização de modelos para analisar as consequências de diversas opções relativas ao uso do solo na qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode (2003) ou na utilização desse tipo de modelos para apoiar a designação de zonas vulneráveis (2004).

Importa ainda sublinhar que para além do rigor da abordagem e da qualidade dos resultados obtidos, alguns dos modelos utilizados mostram preocupações que, à data, podiam ser consideradas pioneiras, nomeadamente a importância dada a interfaces amigáveis de utilização e a preocupação em organizar e sistematizar a informação de forma apropriada para diferentes perfis de utilizador. É o caso, por exemplo, do Hypertejo (1986) que apresenta interfaces distintos para técnicos especializados, para agentes do poder local e para decisores políticos a nível de governo central. Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento e a disseminação das tecnologias de informação, bem como a adopção crescente de abordagens participativas para a gestão dos recursos hídricos, trouxeram este tipo de abordagem para a ordem do dia, que, contudo, era claramente inovadora nos anos oitenta. O Professor António Carmona Rodrigues, para além de uma excelente formação como hidráulico e engenheiro, e do rigor e qualidade que sempre põe naquilo a que se dedica, foi um pioneiro neste tipo de abordagem que concilia o rigor técnico com a capacidade de interagir de forma amigável com diferentes tipos de utilizadores. Este livro é também um testemunho da complementaridade dessas duas vertentes.

Com a publicação desta obra, dá-se um contributo significativo, e tecnicamente muito interessante, para a história da gestão da água em Portugal. Não para uma história antiga, também tão rica, dos primórdios da gestão e regularização do Tejo, mas para uma "história" bem mais recente associada à utilização dos modelos matemáticos e das tecnologias da informação. É gratificante constatar que a ARH do Tejo, I.P. e o autor assumem por inteiro esse património e mostram empenho e gosto em o divulgar.

Francisco Nunes Correia
(Professor Catedrático de Ambiente e Recursos Hídricos do IST)

Rio Tejo. Vista parcial do estuário.

Troço superior do rio Tejo junto do Rodão.

SECÇÃO I

HYPER TEJO, PGIRH-TEJO, 1986 Gestão da Qualidade da Água

HYPERTEJO, PGIRH-TEJO, 1986 Gestão da Qualidade da Água

Em 1985 foi celebrado um contrato entre o Projecto de Gestão Integrada da Região Hidrográfica do Tejo (PGIRH-Tejo) e o Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA) do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista ao desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão relativo à qualidade da água do estuário do rio Tejo. Denominado HyperTejo, este sistema de apoio à decisão baseava-se num encadeamento de bases de dados, de modelos de dispersão e de ferramentas de gestão da qualidade da água. Devido a que, na época, a complexidade destes modelos implicava um grande tempo de cálculo computacional, o HyperTejo foi concebido como uma síntese das bases de dados e dos modelos interligados entre si.

Esta sínteses era obtida aplicando, por um lado, estatística descritiva e, por outro, funções de transferência. O sistema, desenvolvido em HyperCard, possibilitava respostas colocadas por três níveis de utilizadores: membro do governo, autarca e gestor técnico.

O desenvolvimento e a aplicação HyperTejo ao estuário do rio Tejo representou na altura uma abordagem inovadora na resolução de problemas de gestão da qualidade da água em sistemas semelhantes, tendo dado origem a várias comunicações e publicações científicas.

Estuário do Tejo. Imagem multi-espectral (MSS 4-5-7) em cores falsas colhida em 14 de Julho de 1975 pelo Satélite Landsat-2 (em cima) e Vista Panorâmica da margem sul (em baixo).

Estuário do Tejo. Flamingos cor-de-rosa (em cima)
e Navegação de Recreio (em baixo).

SOLVAY PORTUGAL

Estuário do Tejo. Actividade Industrial e Agrícola.

Estuário do Tejo. Linha de água afluente muito poluída (em cima)
e salinas da margem sul (em baixo).

Estuário do Tejo. Estação de tratamento de águas residuais domésticas (em cima)
e zona de nidificação (em baixo).

SECÇÃO II

MODELO DE RADIONUCLÍDEOS, GPSN, 1987
Avaliação do Risco de Contaminação Radioactiva

MODELO DE RADIONUCLÍDEOS, GPSN, 1987
Avaliação do Risco de Contaminação Radioactiva

Em 1985 foi celebrado um contrato entre o Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear (GPSN) do Ministério da Indústria e Energia, e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista à avaliação das consequências ambientais em território nacional decorrentes de eventuais descargas acidentais na central nuclear espanhola de Almaraz.

No âmbito deste estudo foi desenvolvido um modelo matemático de simulação do transporte de radionuclídeos no rio Tejo, no troço compreendido entre a fronteira e Valada do Ribatejo, onde se localiza uma importante estrutura de tomada de água para abastecimento à região de Lisboa.

A central nuclear de Almaraz encontra-se junto a um afluente da margem direita do rio Tejo, a ribeira de Arrocampo, e a montante da albufeira da barragem de Torrejón, a cerca de 100 km da fronteira de Portugal. Até entrarem em território nacional, as águas do rio Tejo passam ainda, e sucessivamente, pelas albufeiras das barragens de Alcântara e de Cedilho.

Embora seja pouco provável, face aos dispositivos de segurança existentes, que qualquer acidente na central possa provocar concentrações significativas de isótopos radioactivos em território nacional, entendeu-se que seria oportuno dispor de um modelo que permitisse, sob certos limites de confiança, simular o comportamento do transporte de radionuclídeos no rio Tejo. Aliás, os dados de monitorização radiológica apontavam, invariavelmente, para uma situação normal dos níveis de radioactividade, perfeitamente explicáveis no quadro da radioactividade de fundo natural e do “fall-out” consequente de ensaios nucleares.

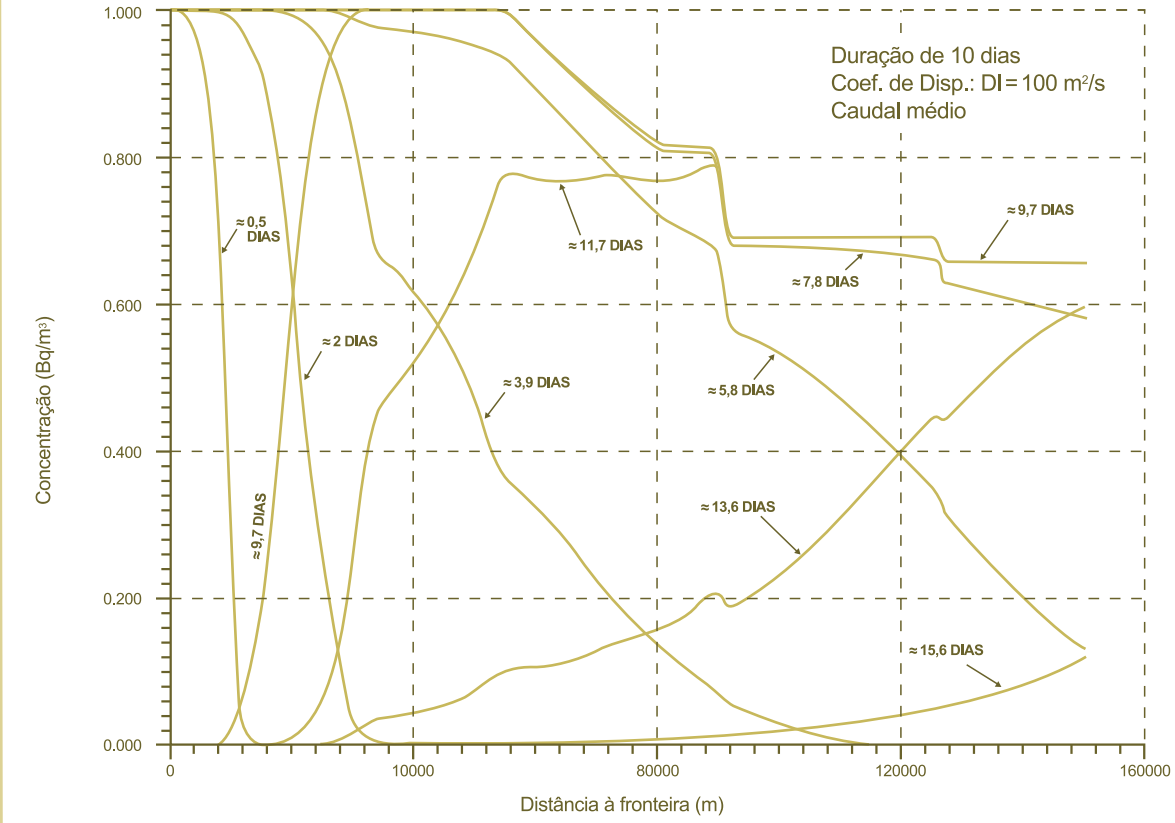


FIGURA 1 - Variação temporal da concentração de radioactividade ao longo do rio Tejo. Caudal médio.

Os radionuclídeos considerados no estudo dizem respeito às famílias de isótopos radioactivos de maior incidência ecológica, i.e. àqueles que pelas suas propriedades físico-químicas poderão mais facilmente vir a contaminar o Homem. Foram então considerados o Trítio (H-3), o Iodo (I-131), os Césios (Cs-134, Cs-136 e Cs-137) e os Estrôncios (Sr-89 e Sr-90).

O modelo matemático utilizado para a simulação do transporte de radionuclídeos no rio Tejo foi especialmente desenvolvido para o efeito. Trata-se de um modelo unidimensional baseado na equação de advecção-dispersão, assente num algoritmo de diferenças finitas.

O modelo é basicamente constituído por dois sub-modelos, o hidrodinâmico e o de transporte. O sub-modelo hidrodinâmico calcula em cada ponto do rio as características hidráulicas do escoamento que alimentam por sua vez o sub-modelo de transporte. O sub-modelo hidrodinâmico baseia-se nas equações de Saint-Venant, assumindo como hipóteses de base que o escoamento é unidireccional, que a distribuição de velocidades é uniforme em cada secção transversal, que as acelerações verticais são nulas, que a perda de carga do escoamento por unidade de percurso é bem aproximada pela equação correspondente ao regime uniforme e que a variação das condições do escoamento é lenta e gradual. Face aos cenários típicos de escoamento

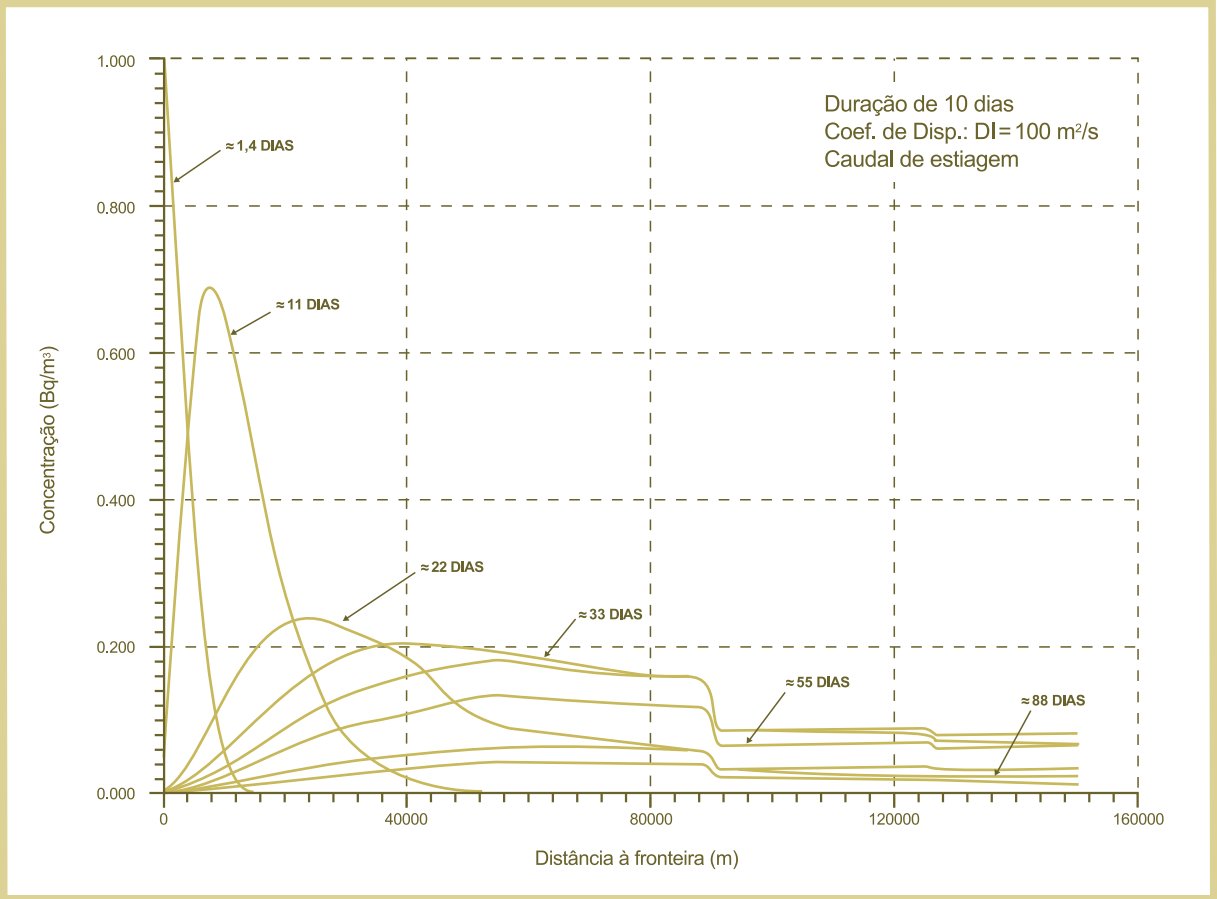


FIGURA 2 - Variação temporal da concentração de radioactividade ao longo do rio Tejo. Caudal de estiagem.

seleccionados para o estudo, o sub-modelo hidrodinâmico considerou apenas situações de regime permanente.

A metodologia utilizada para a resolução da equação de transporte seguiu o processo conhecido por "fractional step-method", que provou ser robusta do ponto de vista computacional e adequada ao problema em estudo. Segundo esta metodologia, a concentração de um dado radionuclídeo em cada ponto do rio é calculada em dois tempos. Em primeiro lugar calcula-se uma concentração fictícia devida à componente advectiva, por um método proposto por Holly e Preissmann, sendo posteriormente calculado o valor final da concentração, adicionando a componente dispersiva, estimada por um algoritmo de Crank-Nicholson proposto por Verboom.

Os dados de base utilizados pelo sub-modelo hidrodinâmico contemplavam essencialmente os caudais medidos nas estações hidrométricas do rio Tejo, os perfis transversais e longitudinal do rio, as curvas de vazão e as características das barragens de Fratel e Belver.

Para o sub-modelo de transporte tomaram-se diversos valores do coeficiente de dispersão em função das características hidrodinâmicas dos escoamentos, foram considerados coeficientes de decaimento associados

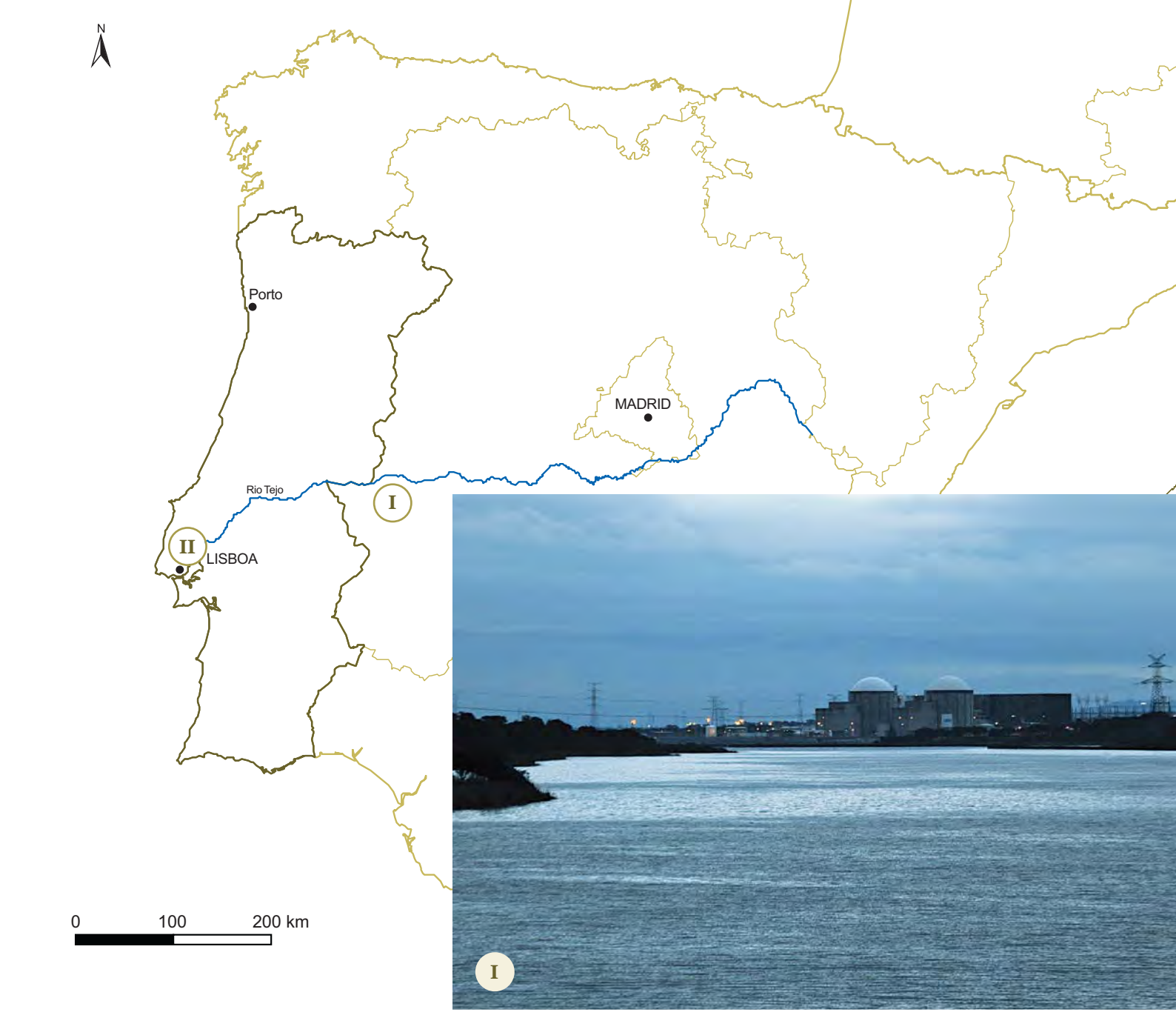
Cidade de Lisboa. Uma das principais origens de água para abastecimento é em Valada do Ribatejo.

aos tempos de semi-vida de cada radionuclídeo e incluiu-se a interacção dos sedimentos com os constituintes radiológicos presentes na água.

Os cenários de escoamento considerados mais ilustrativos das situações a analisar foram os correspondentes ao caudal médio e ao caudal de estiagem. Para a fronteira de montante do modelo estimaram-se valores de concentração dos radionuclídeos com base em balanços de massa decorrentes de situações de acidente no tanque de vigilância da central.

Para a obtenção dos dados que permitiram a definição destes cenários, em particular os que dizem respeito à Central de Almaraz, foi fundamental o papel do Eng. João Mimoso Loureiro que, com os seus conhecimentos, prestou um ajuda inestimável.

Os resultados de exploração do modelo matemático foram apresentados sob a forma de gráficos, por se ter entendido ser esta a maneira mais adequada para a compreensão e visualização global do fenómeno em estudo. Muitos dos resultados foram apresentados sob a forma de perfil longitudinal, evidenciando a distribuição espacial e temporal das concentrações de radionuclídeos ao longo do rio. Em certas secções, previamente seleccionadas, foi também privilegiada a representação da distribuição temporal das concentrações para os vários cenários simulados.



Rio Tejo. Central Nuclear de Almaraz (I)
e Captação em Valada do Ribatejo (II).

SECÇÃO III

MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TRANCÃO, PGIRH-Tejo, 1988

Gestão da Qualidade da Água

MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TRANCÃO, PGIRH-Tejo, 1988
Gestão da Qualidade da Água

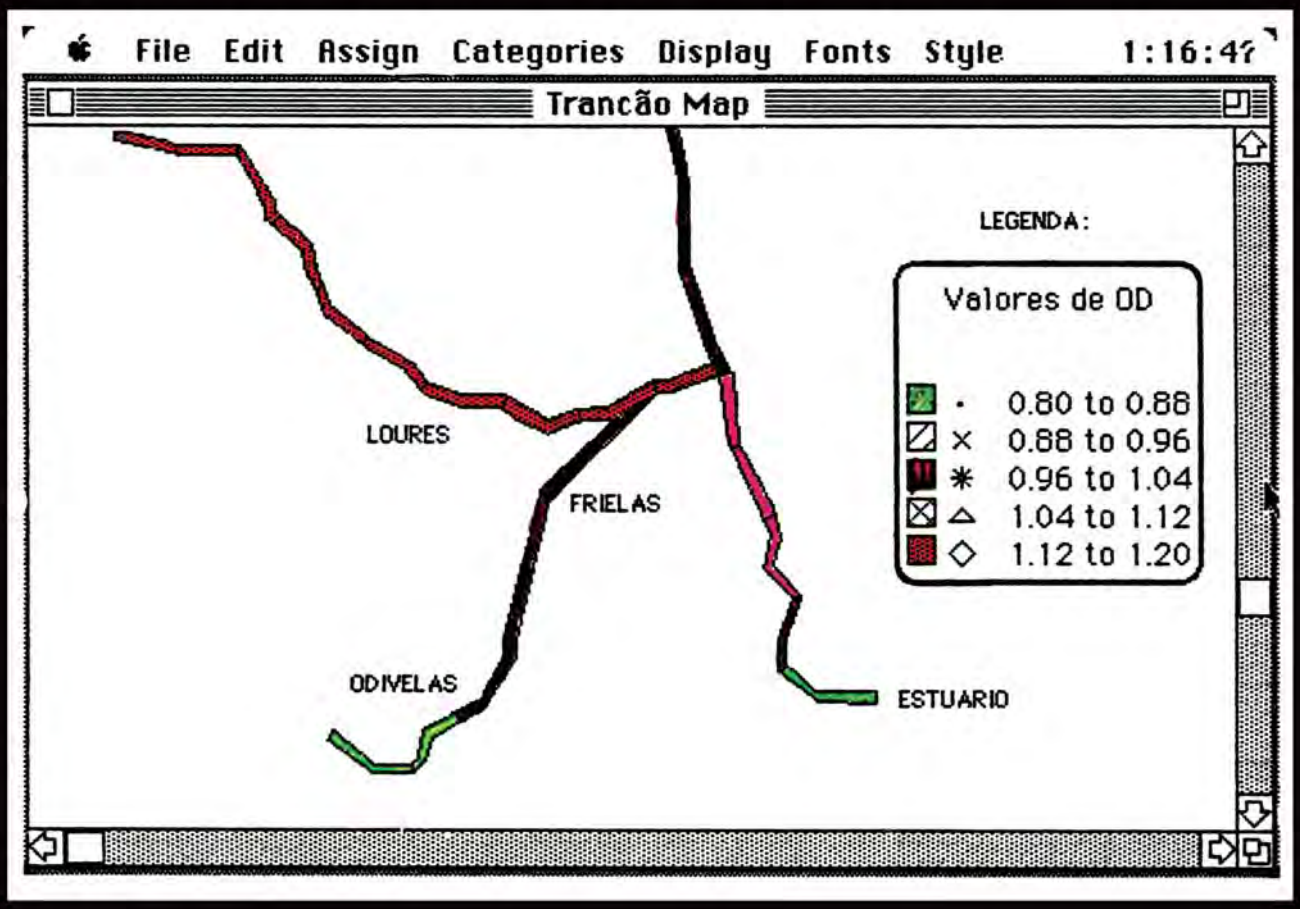
Em 1988 foi celebrado um contrato entre o Projecto de Gestão Integrada da Região Hidrográfica do Tejo (PGIRH-Tejo) e o Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA) do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista ao desenvolvimento de um sistema de simulação da qualidade da água no rio Trancão.

Na altura ainda não estava construída a nova estação de tratamento de águas residuais de Frielas, a qual faz parte do plano de despoluição do rio Trancão. Na realidade, a bacia hidrográfica do rio Trancão era, na altura, uma das bacias hidrográficas mais poluídas do país, resultado principalmente de uma intensa transformação do uso do solo sem a correspondente construção de adequadas infra-estruturas de saneamento básico.

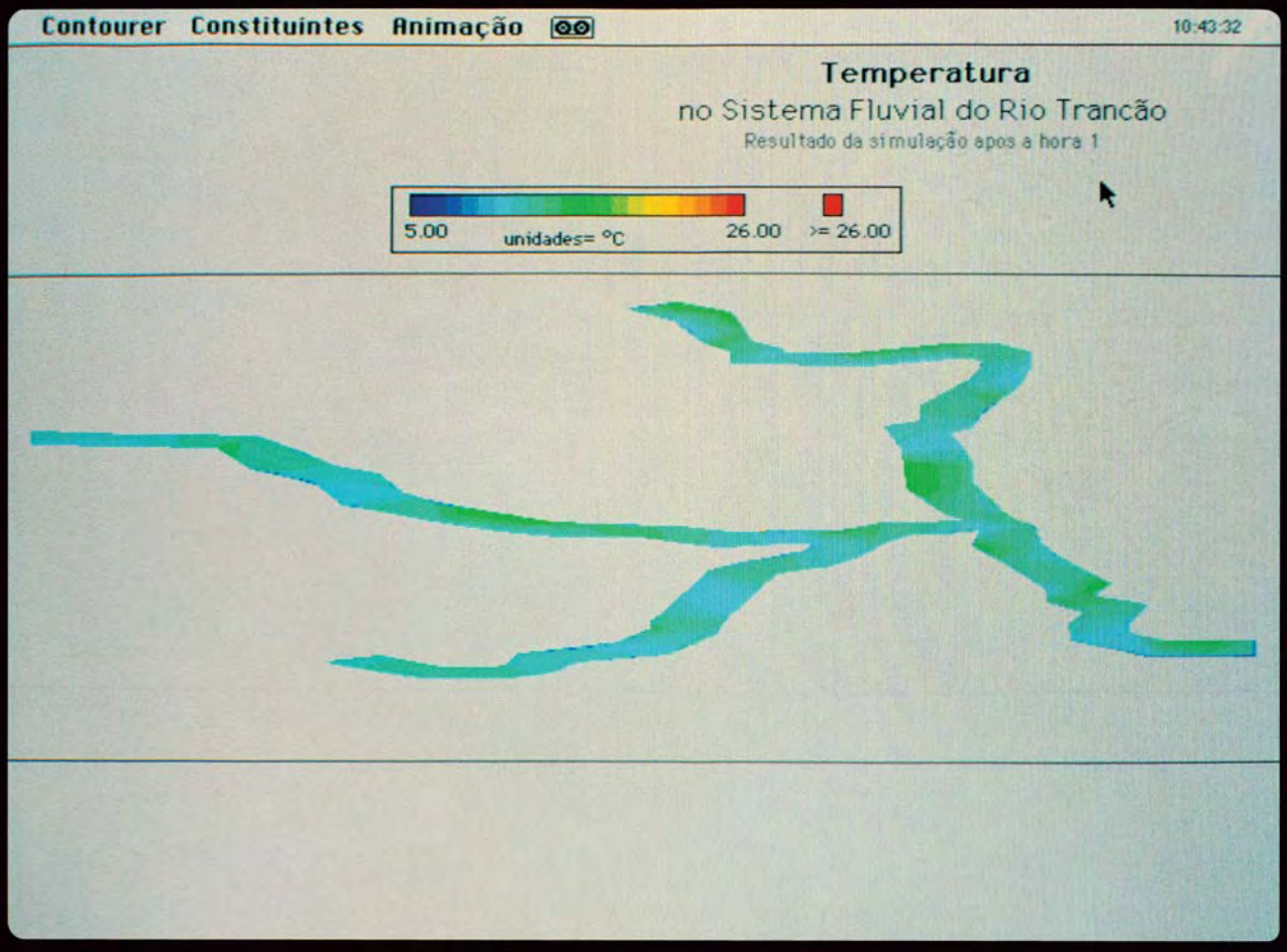
Desenvolvido em linguagem de programação Fortran e implementado no sistema Apple/Macintosh, o modelo de simulação incluí o rio Trancão, o rio Loures, seu afluente da margem direita, e a ribeira da Póvoa, por sua vez afluente da margem direita do rio Loures, formando um sistema fluvial ramificado que desagua no estuário do rio Tejo.

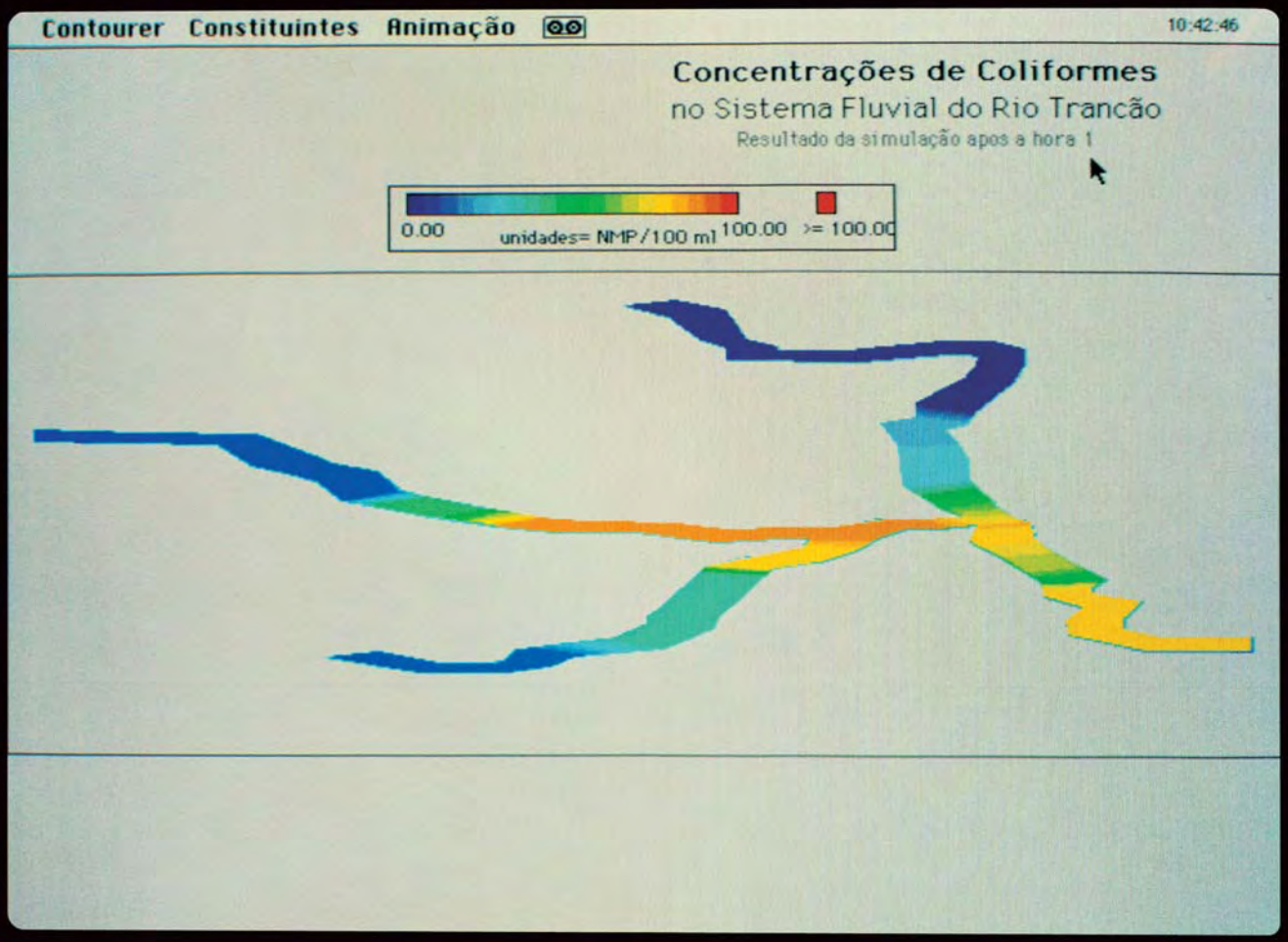
Os parâmetros de qualidade da água contemplados no modelo foram a carência bioquímica de oxigénio (CBO), os sólidos suspensos totais (SST) e o oxigénio dissolvido (OD).

A

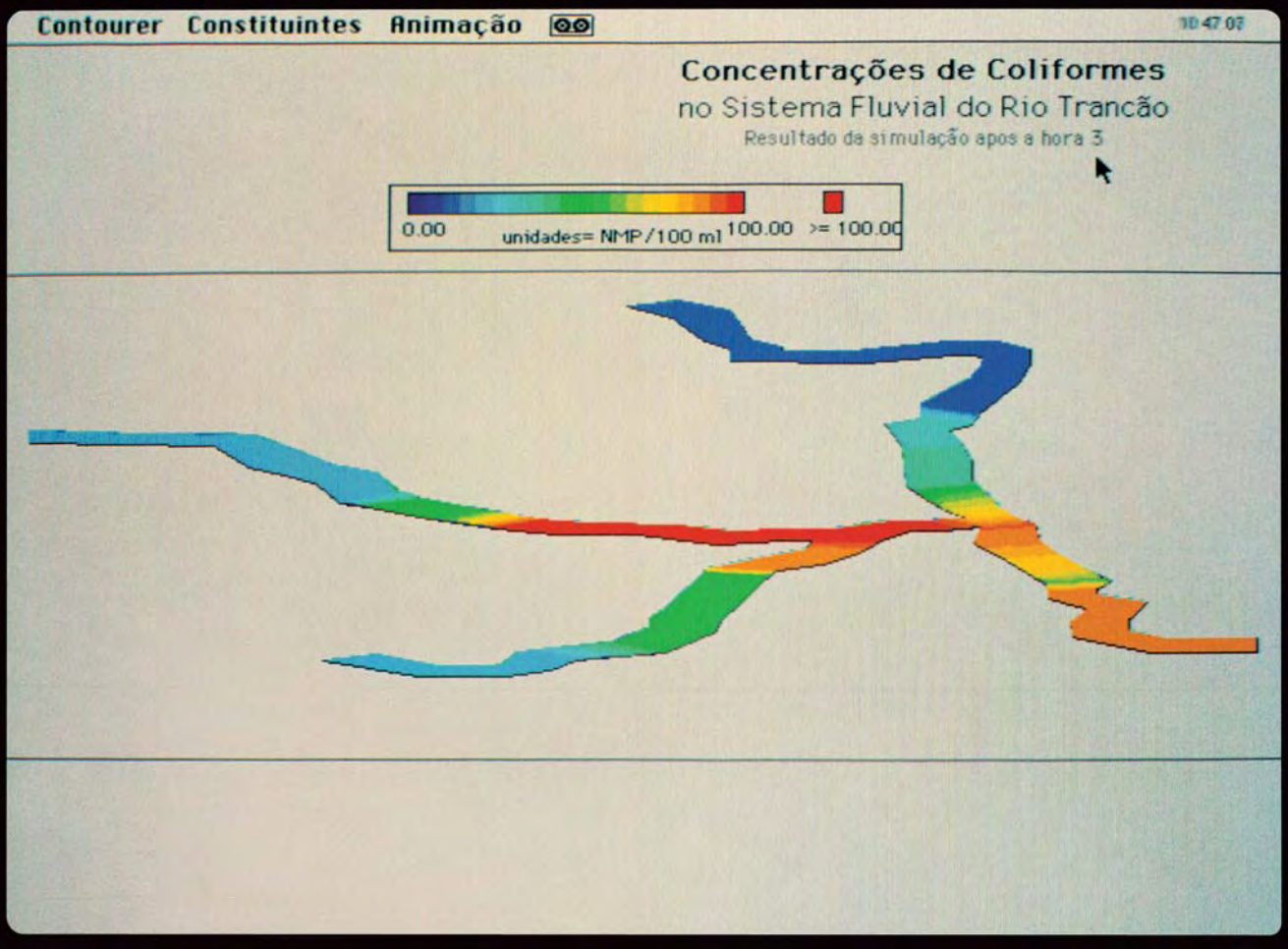

File Edit Assign Categories Display Fonts Style
1:16:47
Trancão Map
LEGENDA:
Valores de OD
0.80 to 0.88
0.88 to 0.96
0.96 to 1.04
1.04 to 1.12
1.12 to 1.20
LOURES
FRIELAS
ODIVELAS
ESTUARIO

B


Contourer Constituintes Animação
10:43:32
Temperatura
no Sistema Fluvial do Rio Trancão
Resultado da simulação apos a hora 1
5.00
unidades= °C
26.00
>= 26.00



C



D

Visualização gráfica de resultados:
A - Oxigénio dissolvido (OD); **B** - Temperatura; **C** - Coliformes 1h após descarga e **D** - Coliformes 3h após descarga.

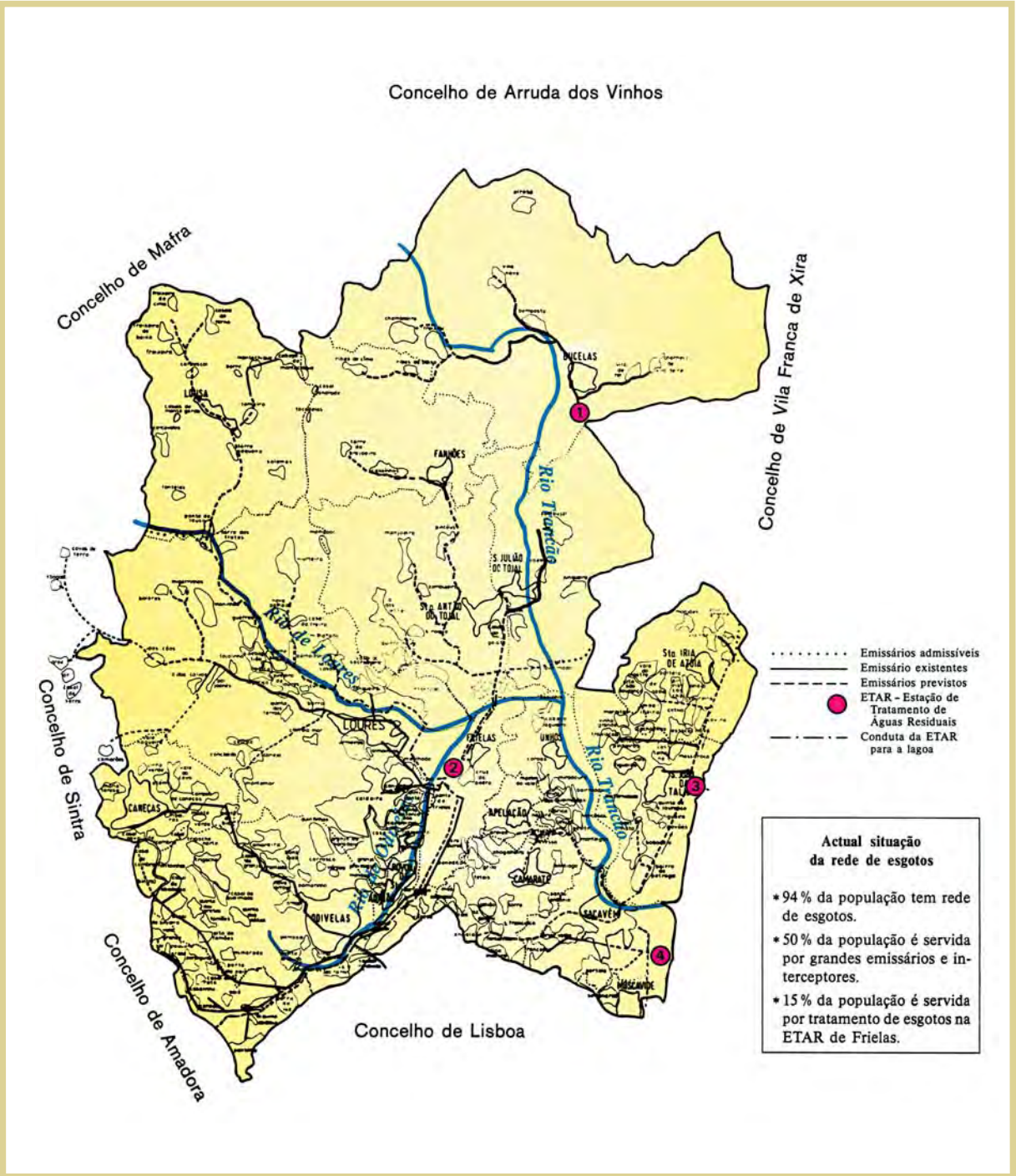


FIGURA 1 - Sistema de saneamento previsto para despoluição da bacia hidrográfica do rio Trancão

Estação hidrométrica de Ponte de Resinga na ribeira da Póvoa, na bacia hidrográfica do rio Trancão.

ETAR de Frielas na bacia hidrográfica do rio Trancão.

SECÇÃO IV

MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO ALVIELA, PGIRH-Tejo, 1990
Gestão da Qualidade da Água

MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO ALVIELA, PGIRH-Tejo, 1990
Gestão da Qualidade da Água

Em 1988 foi celebrado um contrato entre o Projecto de Gestão Integrada da Região Hidrográfica do Tejo (PGIRH-Tejo) e o Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA) do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista ao desenvolvimento de um sistema de simulação da qualidade da água no rio Alviela.

Na altura ainda não estava construída a nova estação de tratamento de águas residuais de Alcanena, inserida no plano de despoluição do rio Alviela. Na realidade, a bacia hidrográfica do rio Alviela era, na altura, uma das bacias hidrográficas mais poluídas do país, fundamentalmente em resultado de uma intensa actividade industrial de curtumes sem a correspondente existência de adequadas infra-estruturas de tratamento de efluentes.

O sistema de simulação desenvolvido incluiu a simulação do rio Alviela, desde a nascente nos Olhos de Água até à sua confluência com o rio Tejo. Contemplava ainda a ribeira dos Carvalhos, seu afluente da margem esquerda, onde se situava a maioria das fontes poluidoras.

O modelo matemático foi desenvolvido em linguagem Fortran e implementado em ambiente Apple/Macintosh, tendo sido denominado ALVIQUAL - Um modelo para a simulação de processos ecológicos no rio Alviela.

Os parâmetros de qualidade da água contemplados no modelo foram a carência bioquímica de oxigénio (CBO), os sólidos suspensos totais (SST), o oxigénio dissolvido (OD), os sulfuretos e o crómio.

Na sequência da aplicação deste modelo, e de forma a acautelar as situações que então se viviam de acentuada poluição no rio Alviela, em particular a jusante da confluência da ribeira dos Carvalhos devido às grandes descargas das indústrias de curtumes ainda sem tratamento, foi estudada a simulação do efeito do lançamento de certos caudais a partir das nascentes do Alviela com o objectivo de diluir as concentrações de poluentes no rio a jusante, contribuindo assim, também, para reduzir os odores que na época eram insuportáveis na vizinhança da linha de água.

Foi assim que se celebrou, em Março de 1993, um Protocolo entre o Senhor Director-Geral dos Recursos Naturais e o Presidente do Conselho de Administração da EPAL, com vista a consagrar um regime de captações de água na nascente dos Olhos de Água que afectava ao caudal do rio Alviela determinados valores diários.

```
************************************************************
*                                                          *
* ALVIQUAL                                                 *
*                                                          *
*                                                          *
* UM MODELO PARA A SIMULACAO DE PROCESSOS                  *
* ECOLOGICOS NO RIO ALVIELA                                *
*                                                          *
* DESENVOLVIDO NO GASA                                     *
* DCEA, FCT/UNL, MONTE DA CAPARICA, PORTUGAL               *
*                                                          *
************************************************************



DADOS GERAIS:
GRELHA DE J=  1 ATE J= 76
SIMULACAO DE  10 TIME STEPS DE  15.00 UNIDADES
OUTPUT ESCRITO CADA  5 TIME STEPS
COEFICIENTE DE PONDERACAO NO OPERADOR= .967
NUMERO DE ITERACOES NOS COEFICIENTES= 2
COEFICIENTE DE BOUSSINESQ= 1.00
ACELERACAO DA GRAVIDADE= 9.81 M/S**2
NUMERO DE AFLUENTES LATERAIS=  1
NUMERO DE ESTRUTURAS=  0


UNIDADES

     NIVEIS     EM METROS
     CAUDAIS EM M**3/SEC
     TEMPO      EM MINUTOS


PERFIS E DADOS DAS SECCOES

PERFIL        HR       WR     CHEZY    DX       DECL

   1       230.66     6.00    30.00  4000.00      .00
  76          .00     6.00    30.00  4000.00      .00



    N=  10 TEMPO= 150.000 UNIDADES
Q:     8.50    8.50    8.50    8.50    8.50    8.50    8.50    8.49
       8.49    8.48    9.82    9.83    9.84    9.84    9.84    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83    9.83
       9.83    9.83    9.83    9.83
H:     1.65    1.65    1.65    1.65    1.65    1.65    1.64    1.66
       1.62    1.71    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84


ALTURAS DE AGUA:
       1.65    1.65    1.65    1.65    1.65    1.65    1.64    1.66
       1.62    1.71    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84    1.84
       1.84    1.84    1.84    1.84


************************************************************
```

FIGURA 1 – Modelo ALVIQUAL. Exemplo de ficheiro de saída de resultados.

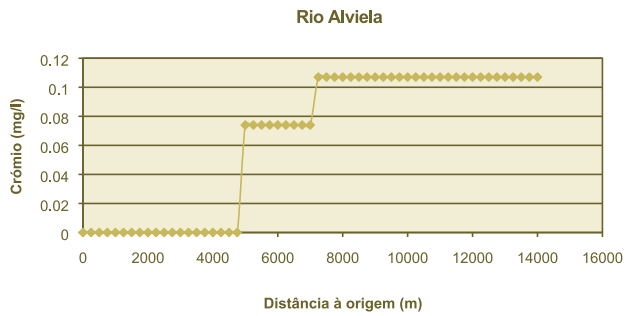


FIGURA 2 – Resultados do modelo ALVIQUAL. Variação da concentração de Crómio ao longo do rio.

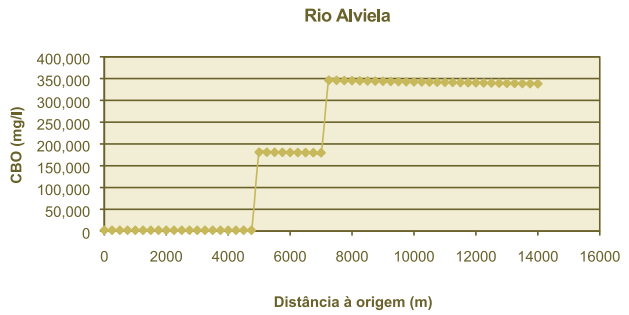


FIGURA 3 – Resultados do modelo ALVIQUAL. Variação da concentração da CBO ao longo do rio.

S. R.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS
DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS NATURAIS

PROTOCOLO entre a DGRN e a EPAL

O D. L. nº 74/90 de 7 de Março, relativo a normas de qualidade da água, estabelece a qualidade mínima aceitável para as águas doces superficiais no seu Anexo XXIV.

Tendo em conta a elevada carga poluente que é regularmente lançada para a bacia hidrográfica do rio Alviela (zona de grande concentração industrial, maioritariamente de curtumes), e dado o regime torrencial característico desta bacia (grande redução de caudal durante o período de estiagem), torna-se muito difícil controlar o grau de qualidade das águas superficiais desta bacia.

Uma estratégia consistente para a recuperação da qualidade ambiental desta zona e, implicitamente, da qualidade de vida das populações que aí habitam, implicará, necessariamente, actuações a dois níveis:

a) medidas com vista a reduzir a carga poluente produzida e lançada para o meio hídrico;

b) medidas com vista a regularizar os caudais na bacia hidrográfica e, dessa forma, aumentar a capacidade de diluição do meio durante o período de estiagem.

Em cada um destes níveis de actuação estão a ser desenvolvidos estudos e medidas com vista ao alcance dos objectivos desejados.

Relativamente às medidas referidas na alínea b), a utilização de um modelo de qualidade para o rio Alviela demonstra que, para a carga poluente que se estima existir actualmente, os níveis de qualidade mínima estabelecidos pela lei só serão alcançados com um caudal mínimo permanente no rio Alviela da ordem dos 45 000 m3/dia.

Para se alcançarem estes valores, várias soluções técnicas de regularização se perfilam, implicando, no entanto, todas elas, um aprofundamento dos estudos e a realização de investimentos avultados.

Nos termos de uma escritura de 8 de Janeiro de 1879 realizada com a então Companhia das Águas de Lisboa e da evolução jurídica subsequente, a EPAL tornou-se proprietária daquela nascente, tendo, actualmente capacidade para proceder aí a captações de 70 000 m3/dia.

Dado que durante os períodos de estiagem a qualidade ambiental daquela região desce a níveis muito críticos, com alto grau de incomodidade para as populações e riscos reais para a saúde pública, torna-se imprescindível tomar medidas de emergência, mesmo que transitórias, capazes de minimizar estes riscos.

Assim, até à selecção e implementação da solução técnica definitiva para a regularização dos caudais do rio Alviela, que deverá ter lugar com a comparticipação financeira dos utilizadores da respectiva bacia, e em cumprimento do que determina o Despacho do Senhor Secretário de Estado dos Recursos Naturais de 11 de Setembro de 1992 (alínea a) do nº 1), a Direcção-Geral dos Recursos Naturais, adiante designada por DGRN e a Empresa Portuguesa das Águas Livres, adiante designada EPAL, estabelecem o seguinte Protocolo entre si:

1. Tendo em vista a manutenção de uma qualidade mínima das águas do rio Alviela e, deste modo evitar riscos de saúde pública na região, a EPAL compromete-se a manter um regime de captações na nascente dos Olhos de Água, dentro dos condicionalismos estabelecidos no número seguinte.

2. O regime de captações obedecerá, portanto, às condições seguintes:

   2.1 A EPAL disporá, livre e prioritariamente, do caudal correspondente a 10 000 m3/dia, para captação e produção de água para consumo.

   2.2 Os caudais diários superiores a 10 000 m3, até a um valor diário de 55 000 m3, serão afectados ao caudal do Rio Alviela, para os fins previstos no presente Protocolo.

   2.3 Os caudais diários superiores a 55 000 m3 serão utilizados pela EPAL, também livre e prioritariamente, até um valor diário máximo de 115 000 m3.

   2.4 Os caudais diários superiores ao valor diário máximo de 115 000 m3 serão afectados ao caudal do Rio Alviela, para os fins previstos no presente Protocolo.

   2.5 Em situações excepcionais, decorrentes de necessidades do regime global de exploração do sistema da EPAL, e tendo em vista evitar a interrupção do abastecimento de água às populações, a EPAL e a DGRN estabelecerão os procedimentos de emergência adequados a tais situações.

3. O regime constante do nº 2.2., causa à EPAL custos acrescidos de exploração da globalidade do seu sistema, inerente à indisponibilidade aí referida e à necessidade de recurso a subsistemas de produção de água mais onerosos, pelo que o acréscimo de tais custos de exploração será compensado através da atenuação do valor decorrente das taxas de utilização ou outras equivalentes que vierem a ser aplicadas às captações da EPAL, em termos tais que o referido acréscimo seja integralmente compensado desde o início da aplicação do presente Protocolo.

4. Tendo em vista a aplicação da cláusula anterior, a EPAL passará a enviar mensalmente à DGRN os registos da produção da nascente dos Olhos de Água e dos caudais lançados no Aqueduto do Alviela.

5. Este compromisso será válido até à implementação da solução definitiva para a regularização dos caudais do rio Alviela, actualmente em estudo pela DGRN, num prazo nunca superior a 3 anos a partir desta data.

Direcção-Geral dos Recursos Naturais, em 3 de Março de 1993

O Director-Geral dos Recursos Naturais

(Rui Jorge Moreira Ribeiro Roda)

O Presidente do Conselho de Administração da EPAL

(Frederico José de Melo Franco)

Nascente do rio Alviela em Olhos de Água.

SECÇÃO V

ALBUFEIRA DO CABRIL, INAG, I.P., 1992
Gestão da Qualidade da Água

ALBUFEIRA DO CABRIL, INAG, I.P., 1992
Gestão da Qualidade da Água

No seguimento do contrato de colaboração entre a Direcção Geral dos Recursos Naturais (Projecto Tejo) e o Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA) do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, foi desenvolvido o trabalho de modelação da qualidade da água na albufeira do Cabril, no rio Zêzere.

Na sequência das campanhas de amostragem conduzidas pelos serviços do Projecto de Gestão Integrada da Região Hidrográfica do Tejo (PGIRH-Tejo), entre Maio 1989 e Junho 1990, na albufeira do Cabril, com os objectivos de caracterizar a qualidade da água e identificar as fontes poluentes e conflitualidade de usos, entendeu-se seleccionar esta albufeira para aplicação de um modelo de simulação da qualidade da água potencialmente aplicável a muitas outras albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo.

O modelo de simulação seleccionado resulta de uma adaptação do modelo WQRRS (Water Quality of River and Reservoir Systems), desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do US Army Corps of Engineers.

O modelo implementado possibilita o conhecimento do transporte vertical de massa e de energia/calor, com possibilidade de caracterizar a distribuição de outros parâmetros de qualidade em albufeiras com estratificação. Permite, também, simular as condições de escoamento da albufeira e o transporte de poluentes mais significativos do sistema.

A construção de barragens e a criação das correspondentes albufeiras provoca importantes alterações dos sistemas fluviais, tanto a nível dos ecossistemas aquático e terrestre, como a nível social e económico das áreas circundantes. O desenvolvimento de modelos de simulação do comportamento físico, químico e biológico destes ecossistemas constitui uma importante ferramenta de apoio à decisão, útil tanto na previsão do comportamento dessas massas de água nos vários cenários considerados, como ainda na gestão desses recursos de forma a garantir não só a compatibilização dos vários usos, mas também evitar a degradação da qualidade da água.

Minas da Panasqueira.

A adaptação e implementação do modelo de simulação inseriuse no âmbito do projecto de gestão da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tejo. Com a sua aplicação pretendeu-se simular a evolução da qualidade da água na albufeira do Cabril, tendo em conta as suas fontes de poluição, os seus usos e as suas características em termos de qualidade da água.

O estudo de simulação teve por base a caracterização da qualidade da água da albufeira do Cabril assente nas já referidas campanhas de amostragem, realização conjunta da DGRN-PGIRH/Tejo, EPAL e DGQA, as quais tinham como objectivos específicos a quantificação dos efeitos do couto mineiro da Panasqueira e sua possível influência na albufeira de Castelo do Bode (principal origem de água para abastecimento a Lisboa) e a determinação da qualidade da água, na zona da futura captação para reforço do abastecimento ao concelho de Pedrógão Grande.

Os parâmetros amostrados foram escolhidos tendo em conta os usos da albufeira e ainda os constantes nas Directivas referentes à qualidade das águas superficiais destinadas à produção de água potável (75/440/EC), à qualidade das águas balneares (76/160/EC) e à qualidade das águas doces que necessitam de ser protegidas ou melhoradas a fim de estarem aptas para a vida dos peixes (78/659/EC). As campanhas de amostragem, de periodicidade mensal, iniciaram-se em Maio de 1989 e terminaram a Junho de 1990.

Face aos resultados de simulação obtidos ao longo do estudo pode considerar-se que a resposta do modelo é, em regra, satisfatória para a maior parte dos parâmetros simulados, sendo os valores simulados próximos dos valores observados para os mesmos períodos.

No caso da temperatura é possível observar a evolução da estratificação térmica com o decorrer do Verão acompanhando o oxigénio dissolvido a mesma a evolução da temperatura. Os valores de nitratos e fosfatos são bastante baixos e a sua distribuição ao longo do Verão denota um aumento das concentrações com a profundidade, mantendo valores mais ou menos constantes à superfície para os meses simulados. Estes dois parâmetros foram no entanto, talvez por estarem presentes em concentrações muito baixas, aqueles para os quais as estimativas foram menos conseguidas.

Em termos gerais o modelo foi considerado adequado à representação do sistema em estudo. Alguns dos desvios observados podem ser explicados pelo facto de se usarem valores meteorológicos de uma estação bastante afastada da albufeira, pela incerteza associada a alguns dos dados de entrada do modelo (nomeadamente os coeficientes físicos, químicos e biológicos), como ainda por esta albufeira ter água de boa qualidade, com concentrações muito baixas em nutrientes, facto que dificultou a tarefa de calibração.

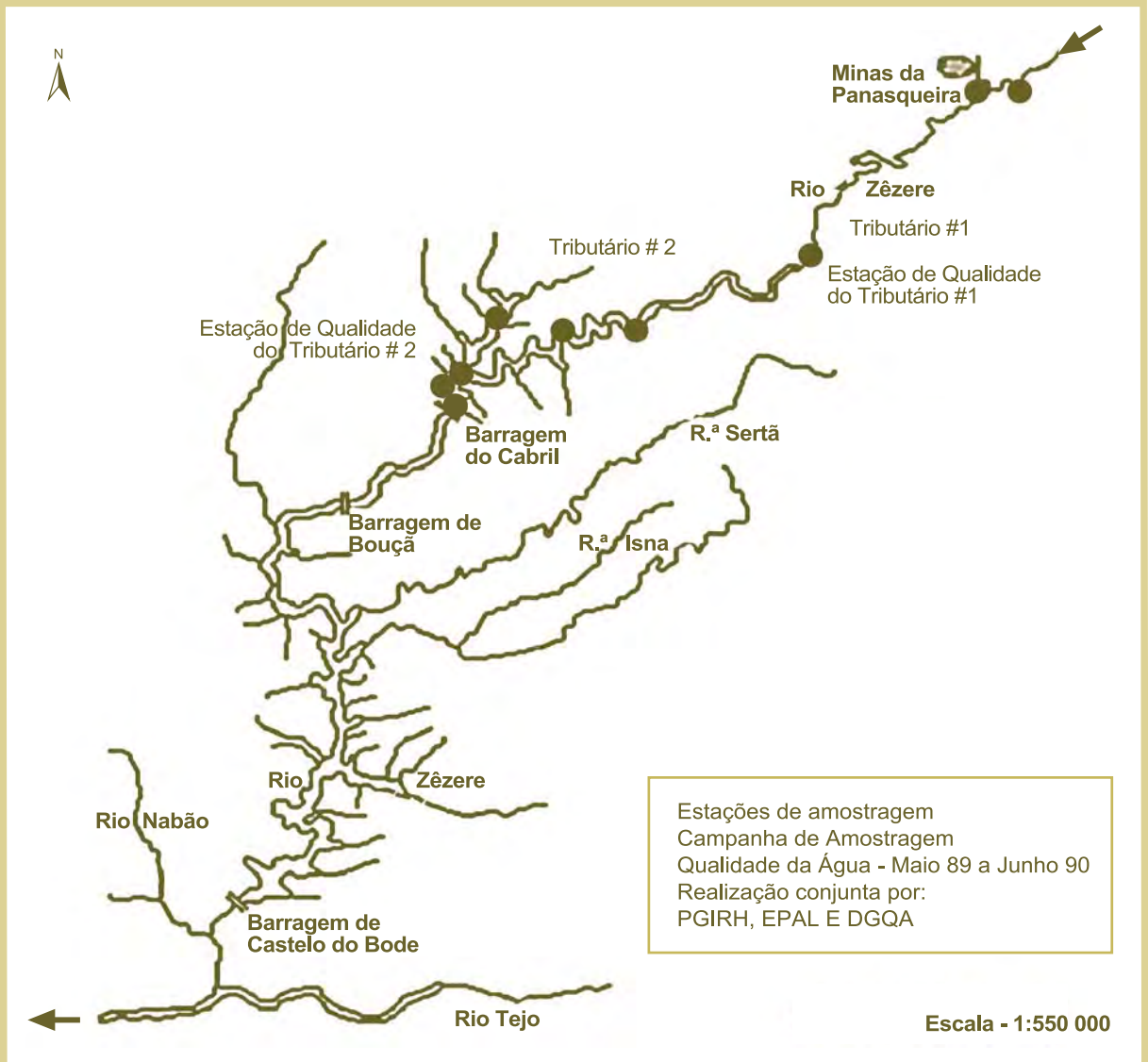


FIGURA 1 - As albufeiras do rio Zêzere e localização das estações de amostragem na albufeira do Cabril.

Barragem do Cabril no rio Zêzere.

SECÇÃO VI

HQUAL, INAG, I.P., 1995
Gestão da Qualidade da Água

HQUAL, INAG, I.P., 1995
Gestão da Qualidade da Água

Em 1995 foi celebrado um contrato entre o Instituto da Água, I.P., (INAG, I.P.) e o Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista ao desenvolvimento de um sistema de simulação da qualidade da água que fosse aplicável aos principais rios portugueses. Para tal, foi desenvolvido um modelo matemático de utilização bastante versátil e adequadamente descrita no Manual de Utilização concebido para o efeito. O modelo foi designado por HQUAL tendo as primeiras aplicações do modelo sido feitas em conjunto com técnicos do INAG, I.P. para os rios Tejo e Guadiana.

Para o rio Tejo, foi seleccionado o troço compreendido entre a barragem de Cedilho e Valada do Ribatejo, numa extensão de cerca de 150 km. As albufeiras das duas barragens existentes neste troço, Fratel e Belver, por serem aproveitamentos a fio-de-água, foram tratadas como troços fluviais, onde o escoamento é aproximadamente unidimensional, e não é afectado por um eventual fenómeno de estratificação.

Os dados fisiográficos que serviram de suporte ao desenvolvimento da aplicação do modelo ao rio Tejo são os perfis transversais levantados em 1969 e 1970 no troço nacional do rio, no âmbito dos estudos de transporte sólido que então foram desenvolvidos.

Estes perfis transversais estavam distanciados entre si em cerca de 2 km. Em primeiro lugar, os perfis transversais foram estereotipados, de forma a serem reproduzidos pelo perfil transversal tipo que o modelo utiliza. Procedeu-se depois a uma interpolação entre estes perfis, para se gerarem perfis intermédios de cálculo, necessários devido ao grande afastamento dos perfis levantados. No total, criaram-se 736 perfis de cálculo, com espaçamentos desiguais, mas com um valor médio próximo dos 200 m.

Os dados relativos a caudais afluentes ao troço em estudo foram obtidos através dos registos de escoamentos existentes para as várias estações hidrométricas existentes na bacia hidrográfica do rio Tejo. Seleccionaram-se valores de caudais médios e de estiagem, para simular os cenários relativos a tais situações.

FIGURA 1 - Ecrã de apresentação do programa HQUAL.

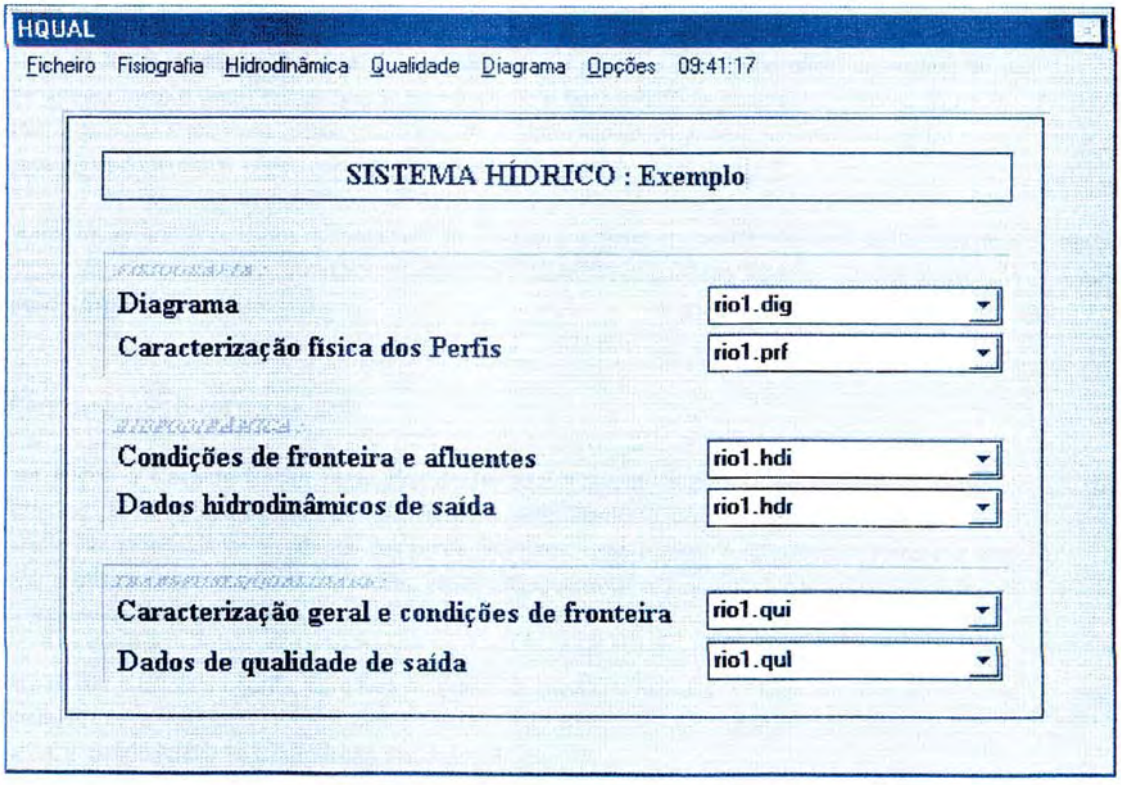


FIGURA 2 - Gestor de ficheiros.

A calibração do módulo hidrodinâmico consistiu na comparação entre os níveis de água calculados pelo modelo e os níveis dados pelas curvas de vazão existentes ao longo do rio Tejo, correspondentes aos caudais simulados. Desta forma, foi possível aferir os coeficientes de rugosidade do modelo, em cada troço, de forma a garantir o melhor ajustamento.

Os dados relativos às descargas de efluentes para o rio foram estimados com base nos elementos que o ex-PGIRH/T dispunha. Em alguns casos, como por exemplo nas indústrias, e dado que os elementos de campo eram bastante diminutos, foi necessário recorrer ao uso de índices, de forma a estimar as cargas relativas a certos parâmetros.

O conjunto de dados disponíveis não permitiu tentar proceder à calibração do modelo, em termos de qualidade da água. No entanto, os resultados obtidos eram comparáveis com os dados existentes, medidos em certas estações de amostragem ao longo do rio Tejo.

Os resultados que o modelo produziu foram apresentados de diversas maneiras, tanto sob a forma de representação cartográfica, como sob a forma de perfis de variação espacial e temporal dos parâmetros seleccionados.

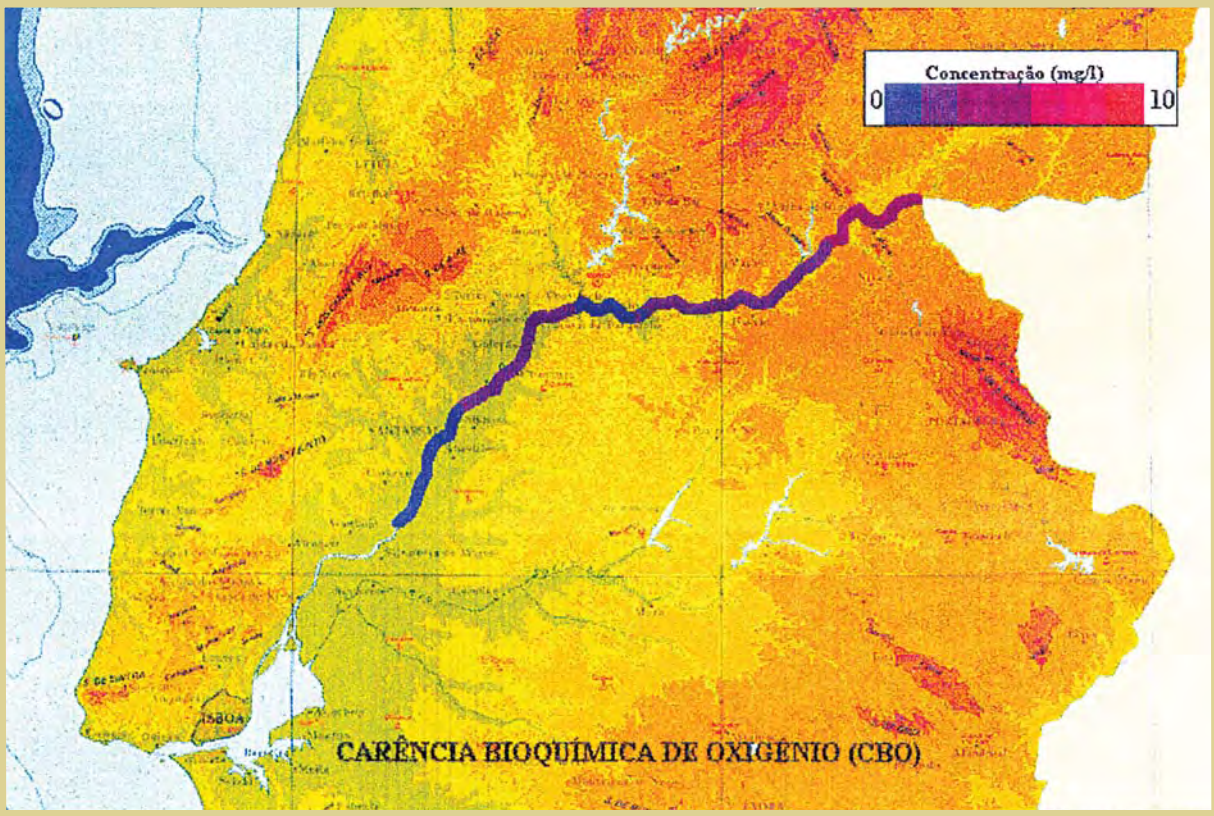


FIGURA 3 - Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO).

Rio Tejo. Troço superior na bacia nacional (em cima),
vista de Santarém (em baixo).

Fábrica da Celulose do Caima (em cima)
e povoação ribeirinha de Valada do Ribatejo (em baixo).

Rio Tejo. Castelo de Almourol.

SECÇÃO VII

FALUA, INAG, I.P., 1997
Avaliação e Gestão do Risco de Cheias

FALUA, INAG, I.P., 1997
Avaliação e Gestão do Risco de Cheias

Na sequência da ocorrência de cheias importantes no troços do rio Tejo a jusante de Santarém e para fazer face à necessidade de implementação de medidas de prevenção e de gestão de situações de inundação, o INAG, I.P. celebrou com o Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa um protocolo com vista ao desenvolvimento de um modelo de simulação e de previsão em tempo real de cheias para o rio Tejo.

A implementação do modelo enquadrava-se no desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à gestão de situações de cheia, sendo por isso um dos requisitos a sua integração no Sistema de Alerta de Cheias do Instituto da Água, I.P., então em fase inicial de desenvolvimento.

Para o efeito foi escolhido um modelo matemático de simulação de escoamentos em regime variável baseado nas equações de Saint-Venant, resolvidas por um método implícito de diferenças finitas do tipo Preissmann.

Uma das características principais a garantir no modelo seria beneficiar do facto de se dispor de informação em tempo real sobre caudais e níveis hidrométricos observados em estações localizadas ao longo do rio Tejo e dos seus principais afluentes, as quais se encontram equipadas com telemetria. Uma vez recebidos os dados no processador central do sistema, as informações seriam então processadas de forma a alimentarem o modelo hidrodinâmico, permitindo a obtenção de resultados de acordo com a última situação monitorizada.

A partir do sistema central, designado por RIOS e localizado no INAG, I.P., o modelo recebia informação sobre os níveis e caudais observados, de acordo com intervalo de tempo pré-determinado, em seis estações hidrométricas: Abrantes, Tramagal, Almourol, Chamusca, Ómnias e Muge.

A obtenção de dados em tempo real permite uma actualização, em intervalos regulares, das condições de fronteira consideradas pelo modelo, permitindo a obtenção de resultados de simulação sempre em função da última situação verificada.

Rio Tejo. Imagens de Cheias no Ribatejo (em cima e em baixo)
e Dique dos Vinte - Fases da formação do rombo do lado da Chamusca nas cheias de 1935-1936 *in* Separata do Anuário dos Serviços Hidráulicos de 1936 (à direita).

Dique dos Vinte

Fases da formação do rombo do lado da Chamusca nas cheias de 1935-1936

Fig. 1

Fig. 2

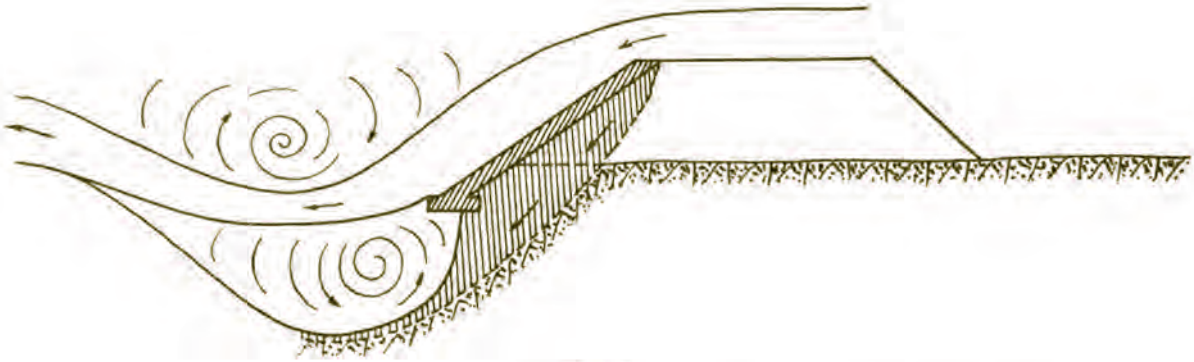


Fig. 3

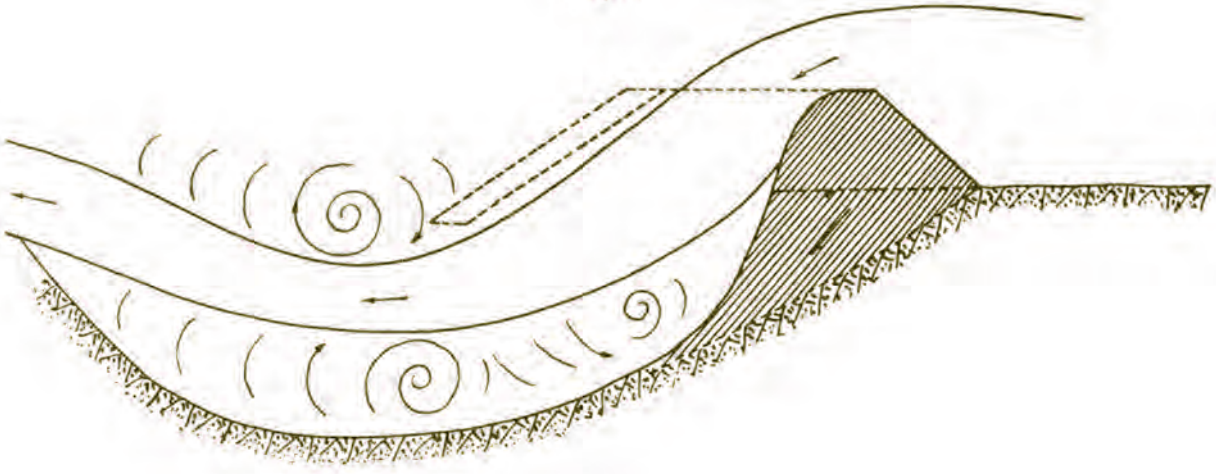
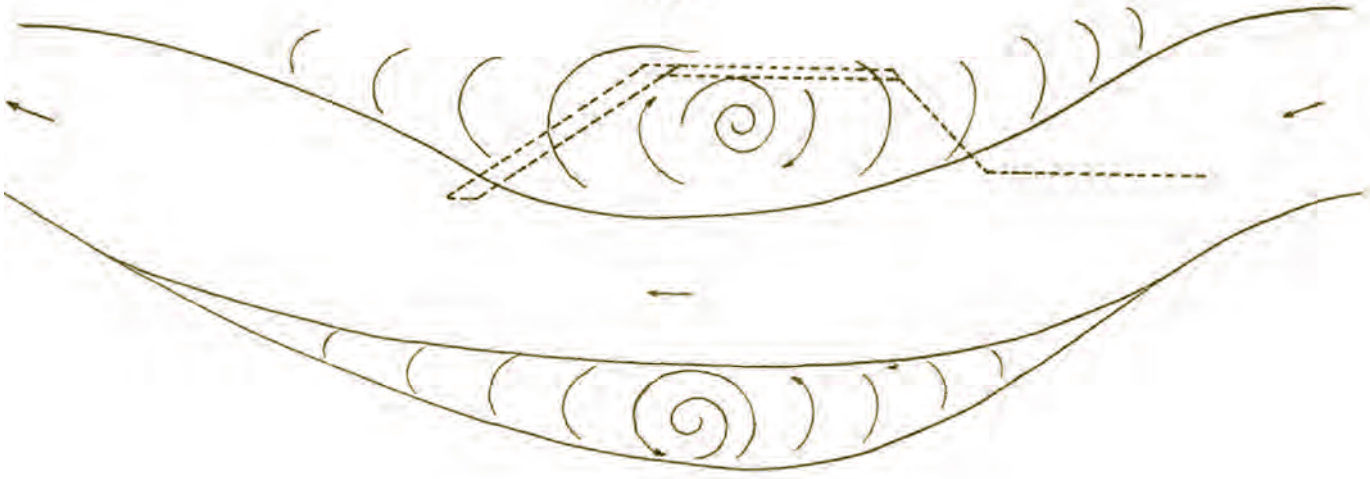
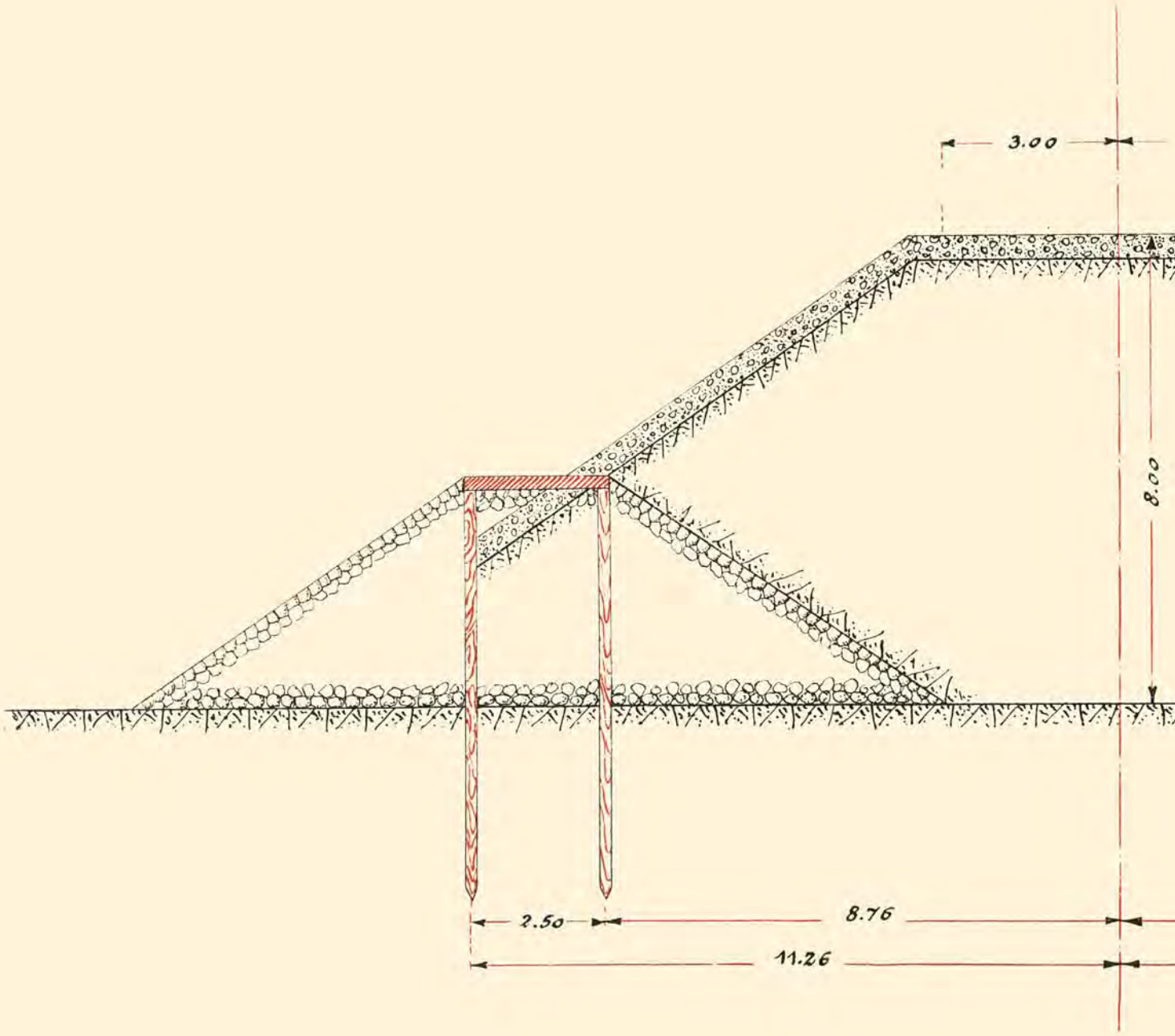


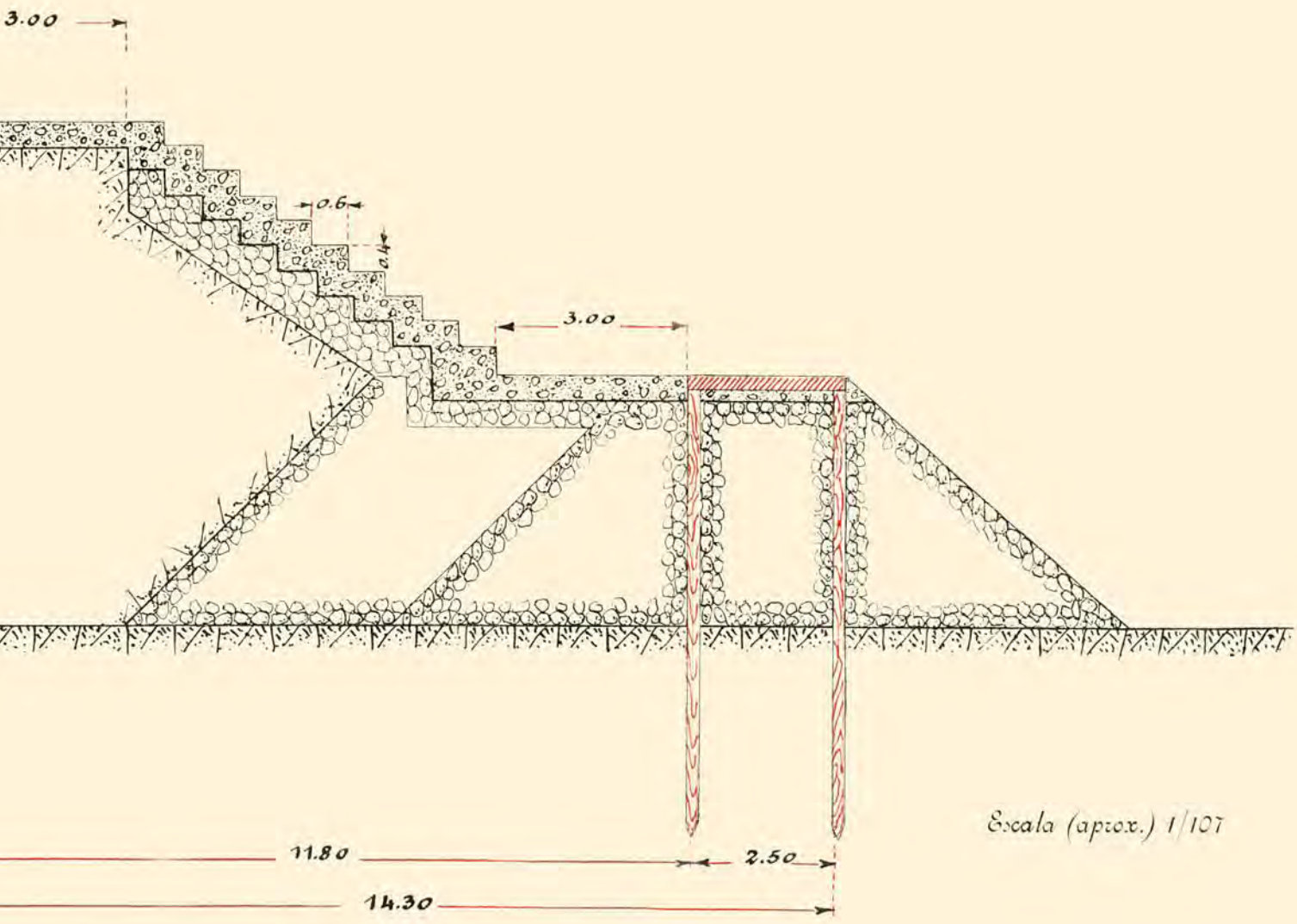
Fig. 4



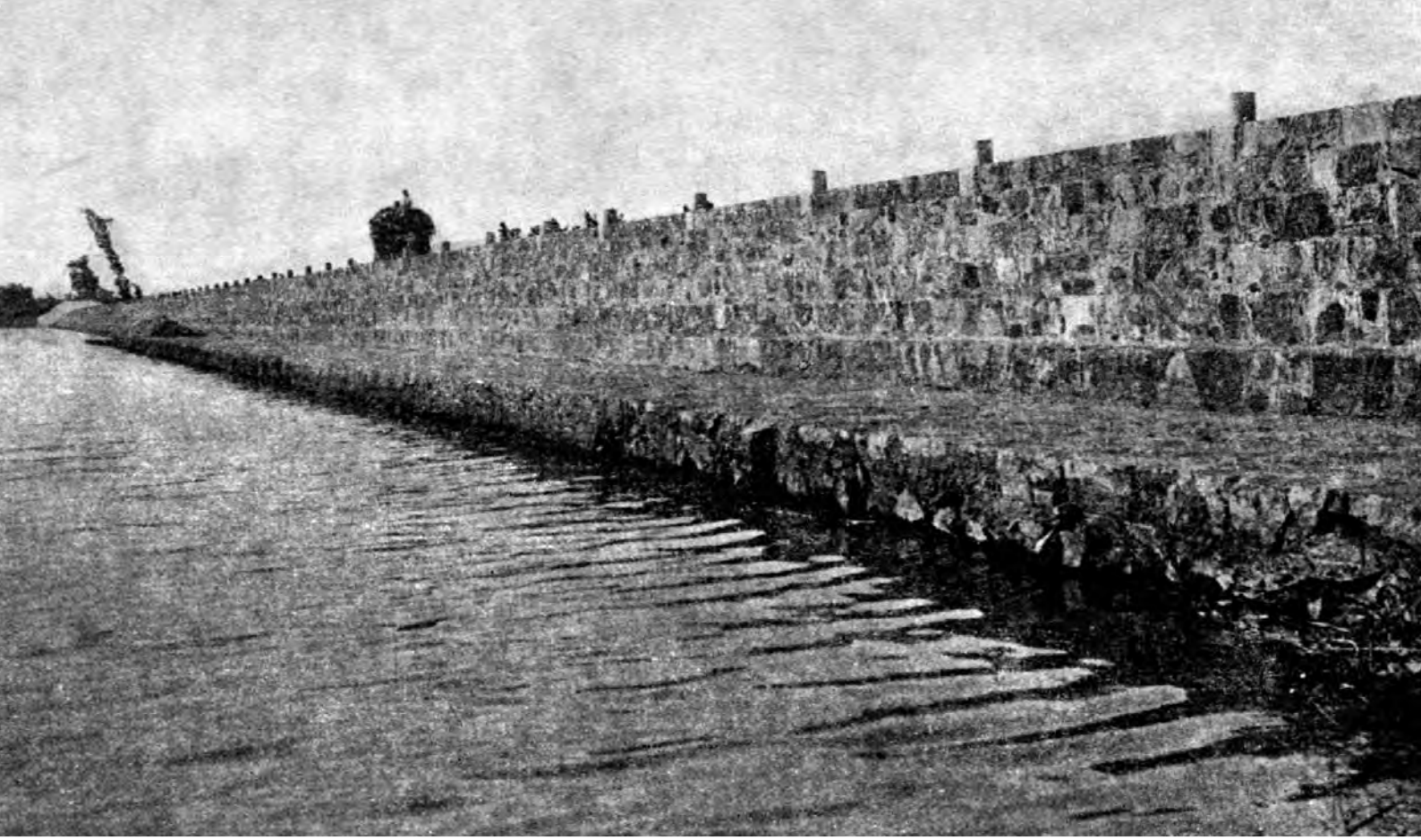
Dique dos Vinte

Perfil-tipo do descarregador (1935)





Dique dos Vinte. Perfil-tipo do descarregador (1935). *in* Separata do Anuário dos Serviços Hidráulicos de 1936 .



Vista do Dique dos Vinte. Obra de defesa contra as cheias do rio Tejo. *in* Separata do Anuário dos Serviços Hidráulicos de 1936.

Apesar das vantagens inerentes a um modelo deste tipo, com actualização sistemática de resultados e em função de dados obtidos em tempo real, a sua implementação apresenta no entanto dificuldades, em particular quando este se encontra a funcionar em modo autónomo.

De facto, face à complexidade e método de resolução das equações, um dos obstáculos a ultrapassar na implementação de um modelo hidrodinâmico é a instabilidade matemática que pode resultar de condições de fronteira específicas. Num estudo com recurso a modelos de simulação hidrodinâmicos em que estas situações de fronteira sejam facilmente controladas pelo utilizador, é relativamente simples garantir a estabilidade de cálculo. O problema surge quando essas condições de fronteira não são controladas pelo operador, sendo antes definidas por observações em tempo real.

Nestes casos é necessário assegurar, de forma igualmente autónoma, a parametrização adequada do modelo de modo a se ultrapassar situações de instabilidade de cálculo, e garantir a apresentação de resultados com a fiabilidade necessária.

A primeira aplicação real do modelo FALUA verificou-se durante as cheias que ocorreram no rio Tejo em Novembro de 1997, tendo sido utilizado para prever os níveis hidrométricos em diversas secções do rio. Na realidade, na madrugada do dia 6 de Novembro, quando se soube que as afluências à albufeira da barragem espanhola de Alcântara ultrapassavam 15000 m^3/s, indiciando uma forte probabilidade de ocorrência de cheias no Tejo nacional, foi desde logo colocada a questão se o conhecido Dique dos Vinte iria ser, ou não, galgado.

Como se sabe, este dique funciona como que um fusível, traduzindo também a importância das inundações no vale do rio Tejo.

A utilização do modelo em tempo real permitiu antecipar em cerca de oito horas os níveis hidrométricos em alguns locais chave, tendo o modelo sido igualmente utilizado para avaliar cenários de caudais no rio Tejo e assim optimizar os procedimentos de gestão das situações de cheia. Os resultados vieram mostrar que o modelo se tinha revelado bastante fiável mas igualmente útil. Fiável, pois na realidade veio a concretizar-se a previsão do galgamento do Dique dos Vinte, bem como, muito aproximadamente, a hora a que tal se verificou. Foi igualmente útil, pois permitiu aos serviços de protecção civil actuar atempadamente em função das consequências da inundação prevista.

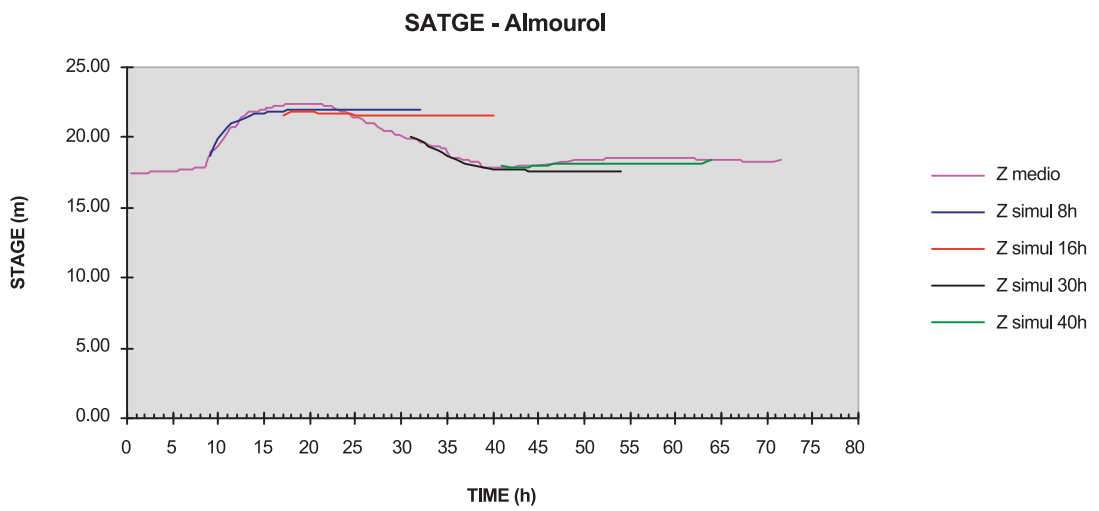


FIGURA 1 – Níveis hidrométricos observados e simulados: resultados fiáveis mas requerendo actualização sistemática das condições de fronteira.

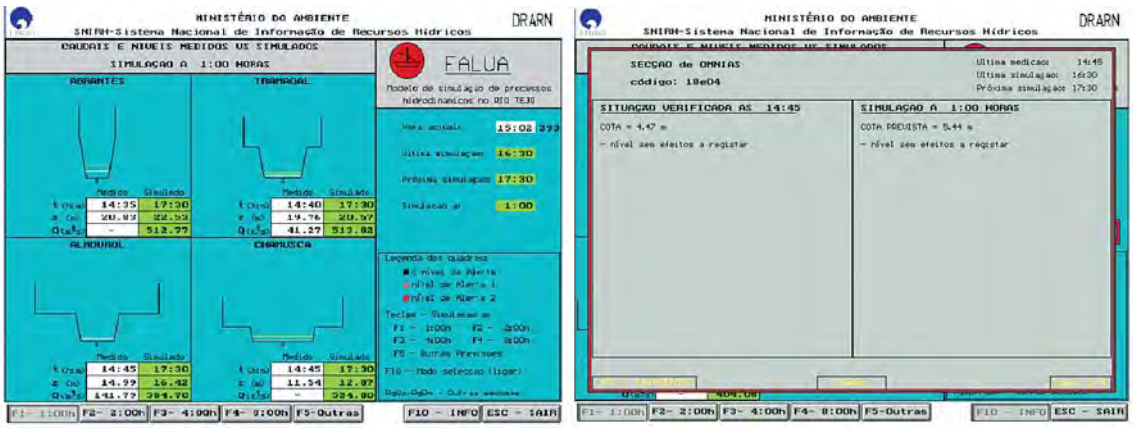


FIGURA 2 – Módulo de apresentação de resultados: níveis hidrométricos, caudais e hora prevista de ocorrência (à esquerda na imagem) e relatório de ocorrências previstas, em função dos resultados de simulação.

SECÇÃO VIII

CENTRAL TERMOELÉCTRICA DO CARREGADO, PROET/EDP, 1998
Avaliação do Impacte de Descargas Térmicas

CENTRAL TERMOELÉCTRICA DO CARREGADO, PROET/EDP, 1998
Avaliação do Impacte de Descargas Térmicas

Em 1998 foi celebrado um contrato entre a PROET, Projectos, Engenharia e Tecnologia, S.A. e o Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para o desenvolvimento de um estudo que teve como objectivo avaliar o impacte térmico e de recirculação relativo ao Circuito de Água de Refrigeração (CAR) de uma nova Central Termoeléctrica a construir junto da Central Térmica do Carregado.

O estudo consistiu na modelação matemática da qualidade da água, em termos de temperatura, e teve em atenção as disposições legais em vigor, relativas a descargas de efluentes nos meios hídricos, designadamente o consignado no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto.

A Central do Carregado localiza-se na margem direita do rio Tejo, cerca de 5 km a montante da ponte de Vila Franca de Xira, numa zona onde o rio se encontra ainda sujeito a influência da maré. À data de realização do estudo o circuito de refrigeração da central antiga possuía uma tomada de água no rio, com uma estação elevatória com capacidade para um caudal de 33,4 m^3/s. A descarga é processada através de um canal que termina junto à margem do rio, cerca de 850 metros a jusante da tomada de água, sendo a temperatura cerca de oito graus superior à da água que é captada.

O rio Tejo apresenta neste troço uma largura superficial variável entre 600 e 700 m, para a cota média de maré. No entanto, e com base na observação local e num levantamento topográfico datado de 1976, a secção transversal do leito do rio apresenta uma clara meandrização, com dois canais mais profundos separados por um banco de areia que chega a aflorar à superfície para as cotas de maré correspondentes a algumas situações de baixa-mar.

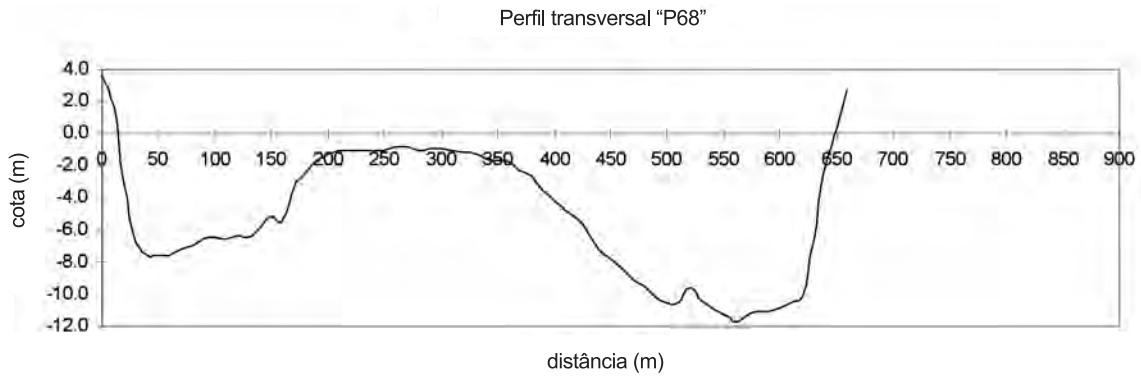


FIGURA 1 – Perfil transversal de montante de acordo com levantamento no âmbito do Plano de Regularização do rio Tejo (1976).

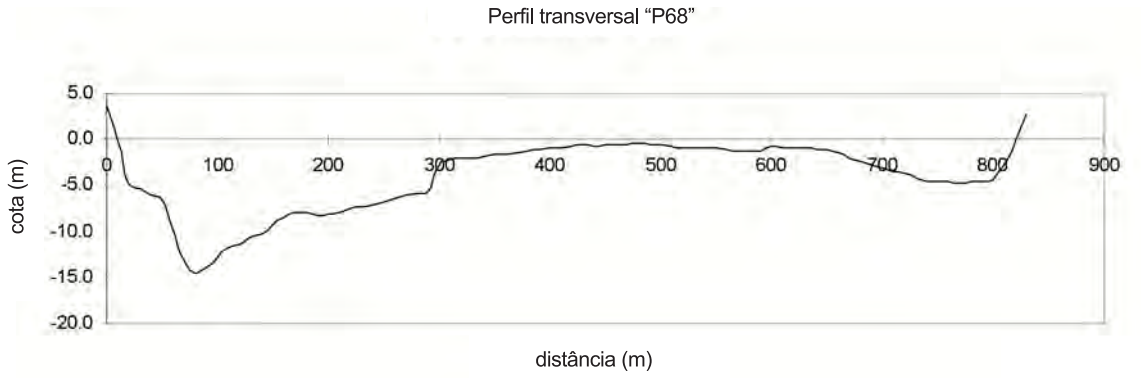


FIGURA 2 – Perfil transversal de jusante de acordo com levantamento no âmbito do Plano de Regularização do rio Tejo (1976).

Para a realização deste estudo recorreu-se à utilização de um modelo matemático de simulação da hidrodinâmica e da temperatura na zona interessada do meio receptor, o rio Tejo, que permitia descrever com rigor suficiente os campos de correntes e de temperaturas criados pela tomada e pela descarga de água da central. As características do meio receptor são influenciadas pelos caudais fluviais que provêm de montante, e pelo efeito de maré que se faz sentir por jusante.

A escolha do modelo a utilizar recaiu sobre o CE-QUAL-W2, desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers, que é um modelo hidrodinâmico e de dispersão de poluentes, de diferenças finitas, capaz de simular escoamentos bidimensionais, lateralmente homogéneos. O modelo entra igualmente em conta com o efeito das marés, e já havia sido utilizado em outros estudos desenvolvidos pelo Grupo de Hidráulica do

DCEA/FCT/UNL para a PROET, S.A., nomeadamente no estudo das descargas térmicas da central de resíduos florestais em Mortágua (albufeira da Aguieira).

Esta opção justificou-se face à constatação de que o fenómeno de transporte e dispersão da temperatura no meio receptor, vulgarmente conhecido por pluma térmica, apresenta um comportamento com uma maior variação no plano vertical do que no plano horizontal, sendo portanto este o plano onde melhor se poderia avaliar a conformidade da descarga com a regulamentação em vigor.

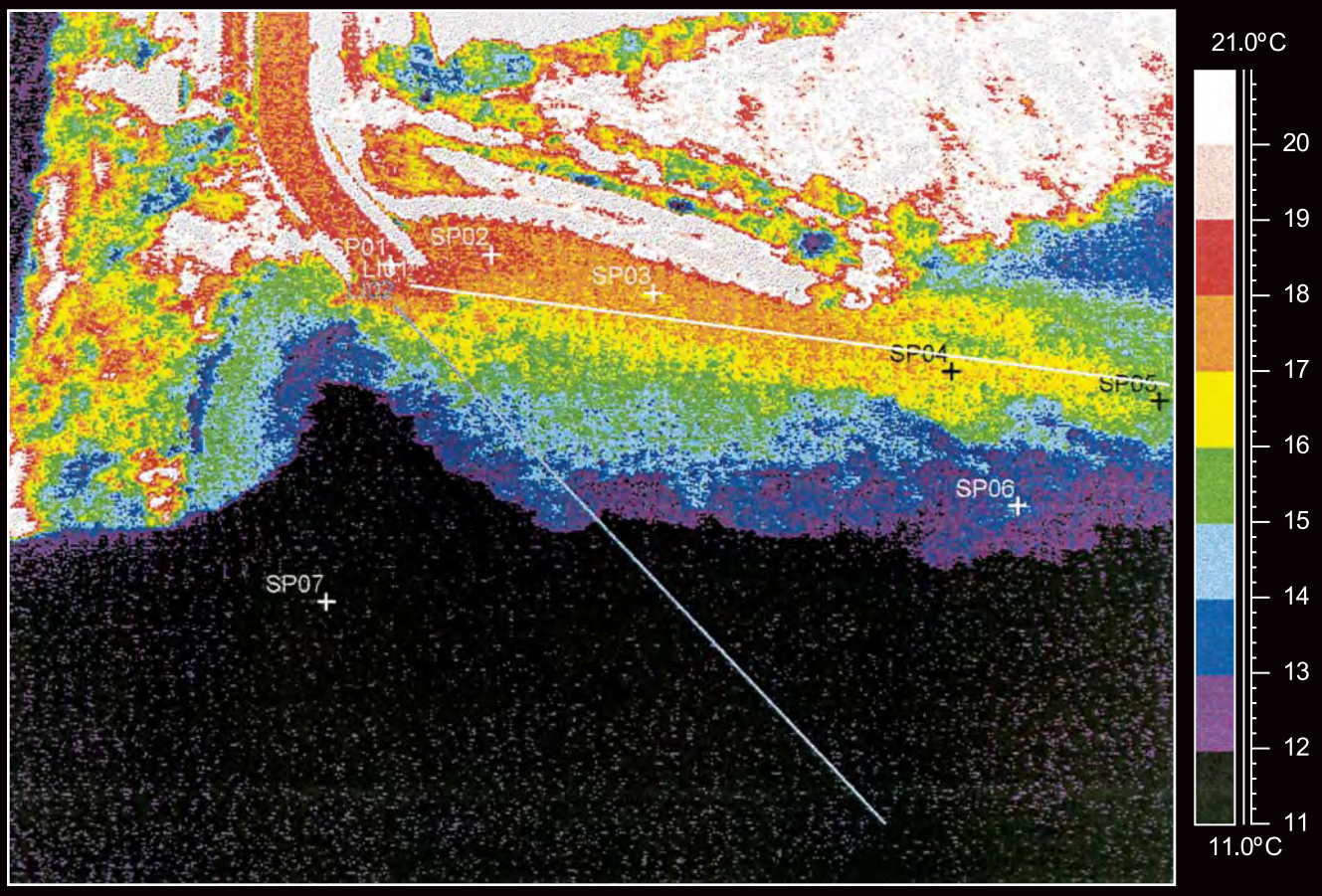
A batimetria do rio foi baseada em levantamentos disponíveis que datavam dos anos setenta (Figuras 1 e 2). Foi entendido na altura que a obtenção de um levantamento actual na região poderia conduzir a resultados ligeiramente diferentes, mas que não alterariam o significado dos resultados.

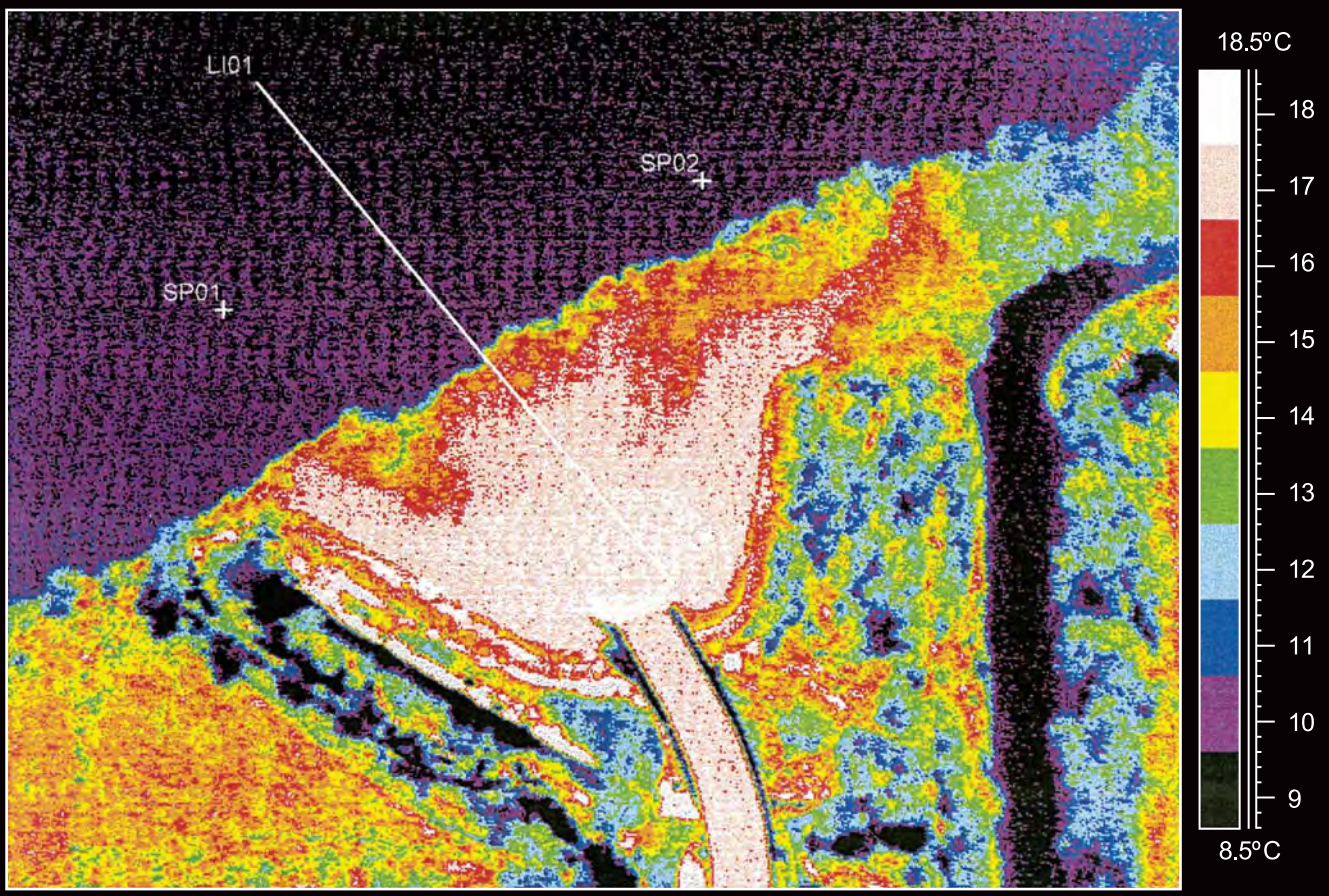
No que respeita aos caudais fluviais do rio Tejo, foram utilizados os valores disponíveis relativos à estação hidrométrica de Santarém, designadamente valores mensais médios da série histórica de registos. Para a consideração das alturas de água impostas pela maré, foram tidas em conta as características da maré a jusante do troço em estudo, designadamente na ponte de Vila Franca de Xira.

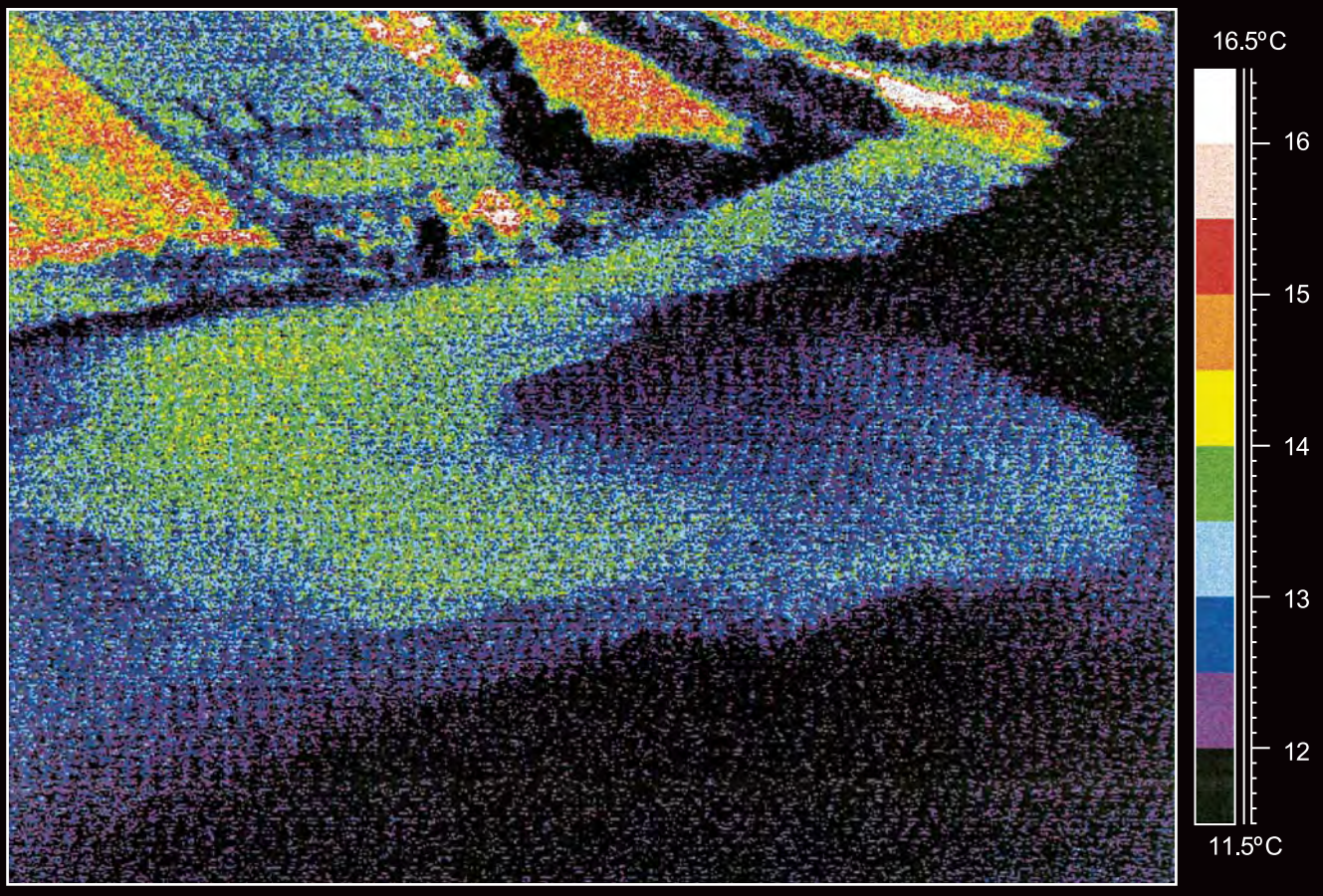
Como informação meteorológica para as simulações foi utilizada a constante das Normais Climatológicas 1951-1980 (INMG, 1991), relativa à estação meteorológica de Fonte Boa, perto de Santarém, bem como alguns dados de temperatura e humidade fornecidos pela PROET.

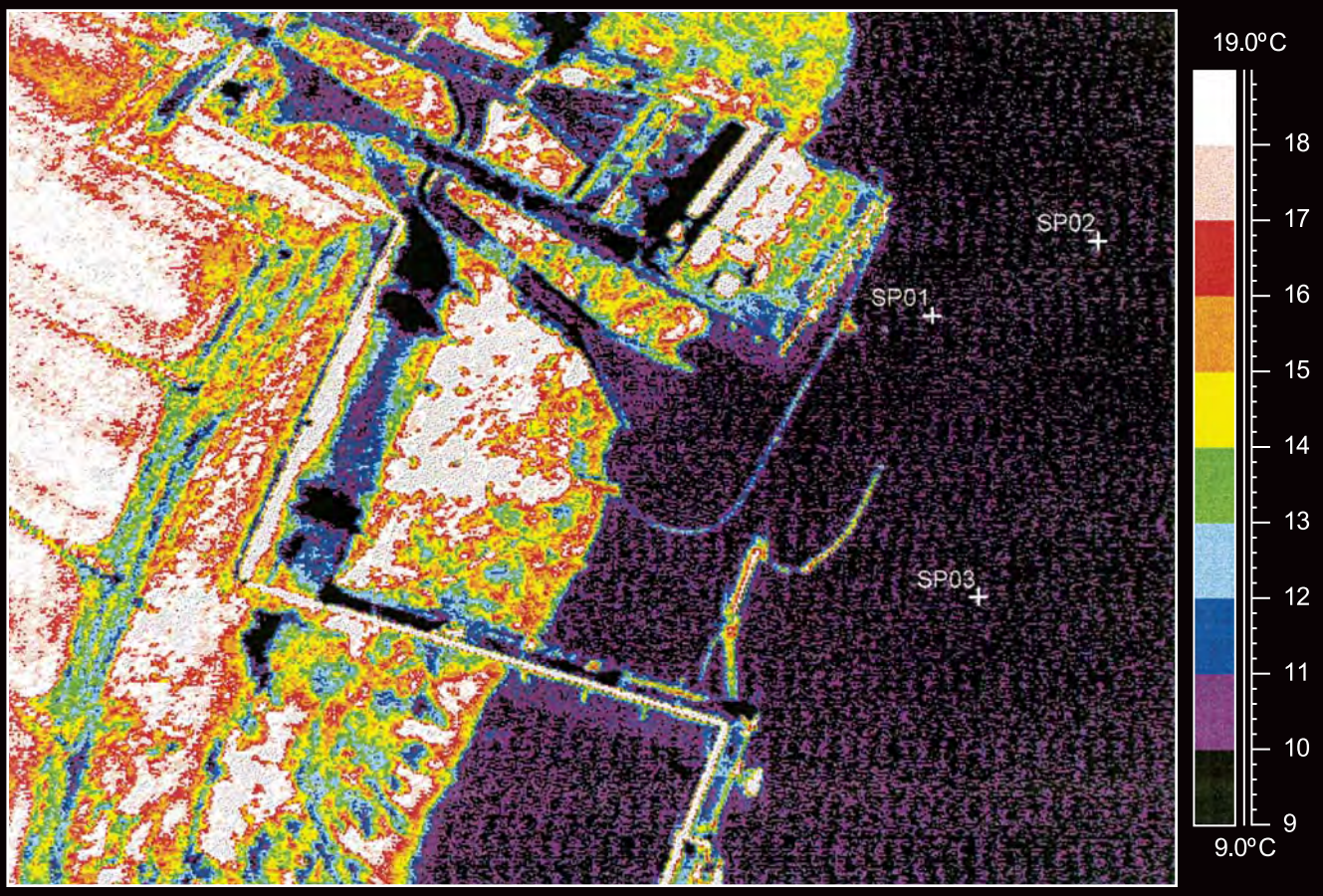
Foram definidos vários cenários de simulação, para atender à variabilidade do regime hidrológico, e para a obtenção de valores característicos para vários períodos de tempo.

Face aos resultados obtidos, foi decidido proceder à construção de um sistema de refrigeração em circuito fechado para a nova central, evitando-se novas descargas térmicas associadas a caudais relativamente elevados. Esta solução veio a ser construída e é a que hoje se pode observar.


SP01
SP02
SP03
SP04
SP06
SP07
21.0ºC
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
11.0ºC


LI01
SP01
SP02
18.5ºC
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8.5ºC





Termografia para identificação da dispersão da pluma térmica - Imagens recolhidas pela PROET/EDP.

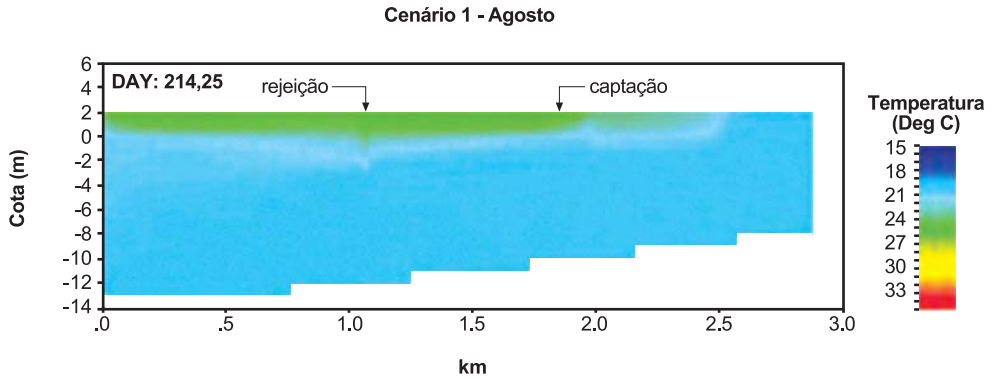


FIGURA 4 – Resultados de simulação - Distribuição de temperatura, no cenário 1, Agosto, na baixa-mar.

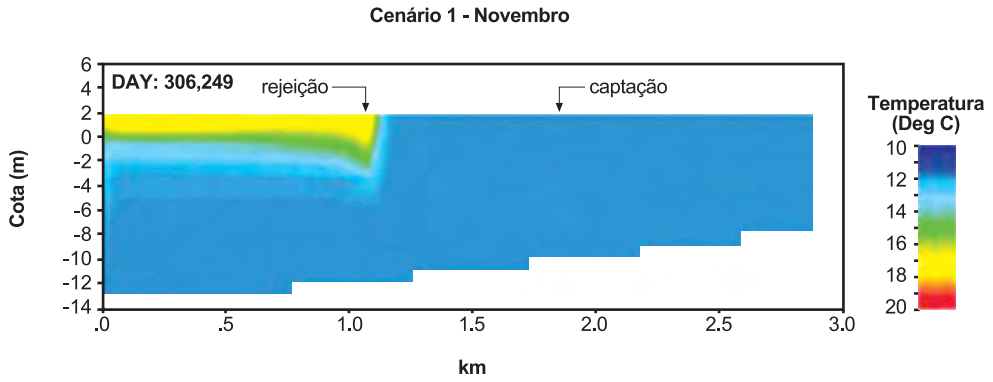


FIGURA 5 – Resultados de simulação - Distribuição de temperatura, no cenário 1, Agosto, na preia-mar.

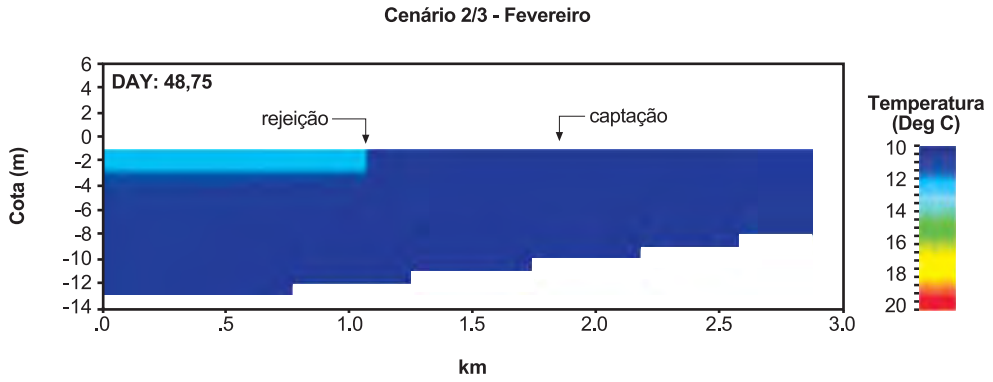


FIGURA 6 – Distribuição de temperatura, nos cenários 2 e 3, Fevereiro, na baixa-mar.

Estuário do rio Tejo. Fauna e Flora.

Central Termoeléctrica do Carregado e torres de arrefecimento.

SECÇÃO IX

APLICAÇÃO DO MODELO QUAL-2E AO RIO TEJO, INAG, I.P., 2000
Gestão da Qualidade da Água

APLICAÇÃO DO MODELO QUAL-2E AO RIO TEJO, INAG, I.P., 2000
Gestão da Qualidade da Água

Em 2000, no âmbito dos trabalhos do Plano Nacional da Água (PNA), o Instituto da Água solicitou ao Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a realização da modelação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Tejo.

A realização deste trabalho teve por objectivo a aplicação de um modelo matemático de simulação da qualidade da água, o modelo QUAL-2E, à parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Tejo.

A qualidade da água no troço nacional do rio Tejo é em larga medida influenciada pela qualidade da água proveniente de Espanha, função da relação de caudais existente, uma vez que uma parte significativa do escoamento no troço português do rio Tejo, nomeadamente nas zonas de montante, é originado em território Espanhol. Na parte espanhola da bacia hidrográfica do rio Tejo existem múltiplas fontes de poluição, quer pontuais (incluindo águas residuais urbanas e industriais) quer difusas, determinando que o rio quando entra em Portugal apresente já um nível de poluição importante, apesar das grandes albufeiras espanholas localizadas junto à fronteira, com destaque para a albufeira de Alcântara, reduzirem parte da carga orgânica potencialmente afluente.

Adicionalmente, na parte portuguesa da bacia hidrográfica verificam-se também problemas de poluição resultantes de fontes pontuais e difusas, que descarregam as suas águas residuais para o meio receptor, muitas vezes sem o tratamento adequado aos objectivos de qualidade desses cursos de água.

De entre os objectivos estabelecidos para os planos de bacia hidrográfica destacam-se, pela sua importância, os programas de medidas e acções que terão como objectivo fundamental a melhoria da qualidade da água, que permita satisfazer todas as utilizações actuais ou potenciais, bem como manter ou repor as condições necessárias ao funcionamento equilibrado dos ecossistemas dependentes dos correspondentes cursos de água.

Rio Tejo. Vista da cidade de Abrantes (em cima)
e actividade piscatória (à direita).

As soluções a implementar passarão forçosamente pelo tratamento adequado dos efluentes urbanos e industriais e pela adopção de boas práticas, e devem, obviamente, ser concordantes com a legislação em vigor, nacional e comunitária, com as convenções internacionais e com a política europeia no domínio do ambiente e em particular dos recursos hídricos.

As metodologias subjacentes às soluções passam pela abordagem "state-pressure-response", que é consensualmente aceite como a mais adequada para a definição de medidas e acções para redução e/ou eliminação da poluição, tendo em vista a obtenção de um bom estado de qualidade das águas superficiais, na linha do que era na altura defendido na proposta de Directiva-Quadro sobre Actuação Comunitária no Domínio da Política da Água (posteriormente aprovada e conhecida como Directiva-Quadro da Água, transposta para o direito interno através da Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro e do Decreto-Lei nº 77/2006 de 30 de Março).

A abordagem "state-pressure-response" pressupõe a análise da qualidade da água nos meios hídricos, a caracterização das cargas poluentes geradas nas bacias hidrográficas e que afluem à rede hidrográfica, e o estudo do comportamento dos meios hídricos face às solicitações a que estão sujeitos. É justamente para o entendimento das relações entre as pressões poluentes na bacia e o estado de qualidade da água nas linhas de água que os modelos matemáticos de simulação podem desempenhar um papel importante.

Com efeito, a utilização de modelos de qualidade da água, desde que correctamente calibrados e validados, permite simular a resposta do meio receptor face a diversos tipos de solicitações e perante diferentes cenários, avaliar a eficácia de programas de despoluição, definir as condições de descarga de eventuais novas fontes de poluição e estimar a qualidade da água nos locais e instantes que não foram objecto de monitorização, contribuindo para a definição de ferramentas de engenharia que possibilitem uma adequada gestão da qualidade da água no sistema em análise.

O modelo escolhido para a simulação matemática da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Tejo foi o QUAL-2E, na sua versão 3.0, EPA/600/3-87/007 de Julho de 1987, distribuído pelo "Center for Environmental Research Information (CERI)" da "United States Environmental Protection Agency (USEPA)". Este modelo foi considerado adequado face aos objectivos do trabalho a desenvolver e aos dados disponíveis, para além de que tem sido utilizado por todo o Mundo com bastante sucesso, quer para efeitos de planeamento quer de simulação do comportamento de sistemas já existentes.

Para a bacia hidrográfica em estudo, seleccionaram-se para modelação os seguintes cursos de água:

– rio Tejo, entre o início do troço internacional (junto à confluência com o rio Erges) e a secção de Vila Franca de Xira, apesar de na fronteira de jusante se fazer sentir o efeito da maré, podendo condicionar a validade dos resultados do modelo;

Rio Tejo. Planície agrícola e duna de areia no leito do rio.

– rio Erges, entre a secção de Segura e a confluência com o rio Tejo;

– rio Aravil, entre a confluência com a ribeira do Salgueiral (sensivelmente sob a ponte da N240) e a confluência com o rio Tejo;

– rio Pônsul, entre Ponte Munheca e a confluência com o rio Tejo;

– ribeira de Nisa, entre a albufeira de Póvoa e Meadas e a confluência com o rio Tejo;

– rio Ocreza, entre a albufeira de Pracana e a confluência com o rio Tejo;

– rio Zêzere, entre a albufeira de Castelo do Bode e a confluência com o rio Tejo;

– rio Nabão, entre Ponte de Matrena e a confluência com o rio Zêzere.

Adicionalmente, foram considerados os cursos de água correspondentes ao rio Sever, ribeira de Figueiró, rio Almonda, rio Alviela, vala de Alpiarça, ribeira de Muge, ribeira de Magos, rio Maior, rio Alenquer e rio Grande da Pipa, mas todos estes foram simulados como descargas no rio Tejo (tributários), não se tendo procedido à sua modelação específica.

Os parâmetros descritores da qualidade da água considerados no exercício de simulação desenvolvido foram: temperatura, carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias (CBO_5), sólidos suspensos totais (SST), azoto amoniacal (N_NH_4), nitratos (N_NO_3), fosfatos (P_P2O_5) e clorofila-a (cl.-a). Outros parâmetros como os nitritos (N_NO_2) o azoto orgânico, o fósforo orgânico e os coliformes, não foram simulados por não se dispor de dados suficientes que permitissem a sua adequada modelação (*e.g.* coliformes), ou por estarem sujeitos a maior incerteza, face aos dados disponíveis para os calcular, e ao facto de corresponderem a compostos algo instáveis (*e.g.* N_NO_2).

Considerando um cenário correspondente às condições médias anuais de ano seco, estabeleceu-se a comparação entre os resultados do modelo e os registos das estações de monitorização da qualidade da água obtidos em anos hidrológicos com essas características.

As estações de monitorização consideradas para aferir os resultados do modelo, em seguida enumeradas e referenciadas em termos do seu posicionamento no troço do rio Tejo submetido a simulação, foram escolhidas em função da disponibilidade de dados referentes aos anos hidrológicos de 1992/93, 1993/94 e 1994/95, anos secos mais recentes, preferindo-se sempre a comparação com o ano de 1994/95 e só em situação de recurso utilizando qualquer dos outros dois.

Estação de monitorização de Perais – localizada ao km 164 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1994/95.

Estação de monitorização de Barca da Amieira – localizada ao km 134 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1994/95.

Estação de monitorização de Tramagal – localizada ao km 94 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1994/95.

Estação de monitorização de Almourol – localizada ao km 82 do rio Tejo – resultados para os anos hidrológicos de 1985/86 a 1988/89 e 1995/96 a 1997/98 (nesta estação não existem resultados disponíveis

Rio Tejo. Troço superior da bacia nacional (em cima)
e actividade pecuária junto às margens (em baixo).

relativamente ao período pretendido, mas devido à sua localização estratégica, imediatamente a jusante da confluência com o rio Zêzere, optou-se por considerá-la na comparação efectuada, tendo-se desenvolvido uma análise aos seus registos, que demonstrou alguma consistência nos mesmos e não muita variabilidade durante o período considerado).

Estação de monitorização de Ponte da Chamusca – localizada ao km 67 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1992/93.

Estação de monitorização de Ómnias – localizada ao km 40 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1994/95.

Estação de monitorização de Valada – localizada ao km 23 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1994/95.

Estação de monitorização de Vila Franca de Xira (Cais do Cabo) – localizada ao km 0 do rio Tejo – resultados para o ano hidrológico de 1992/93.

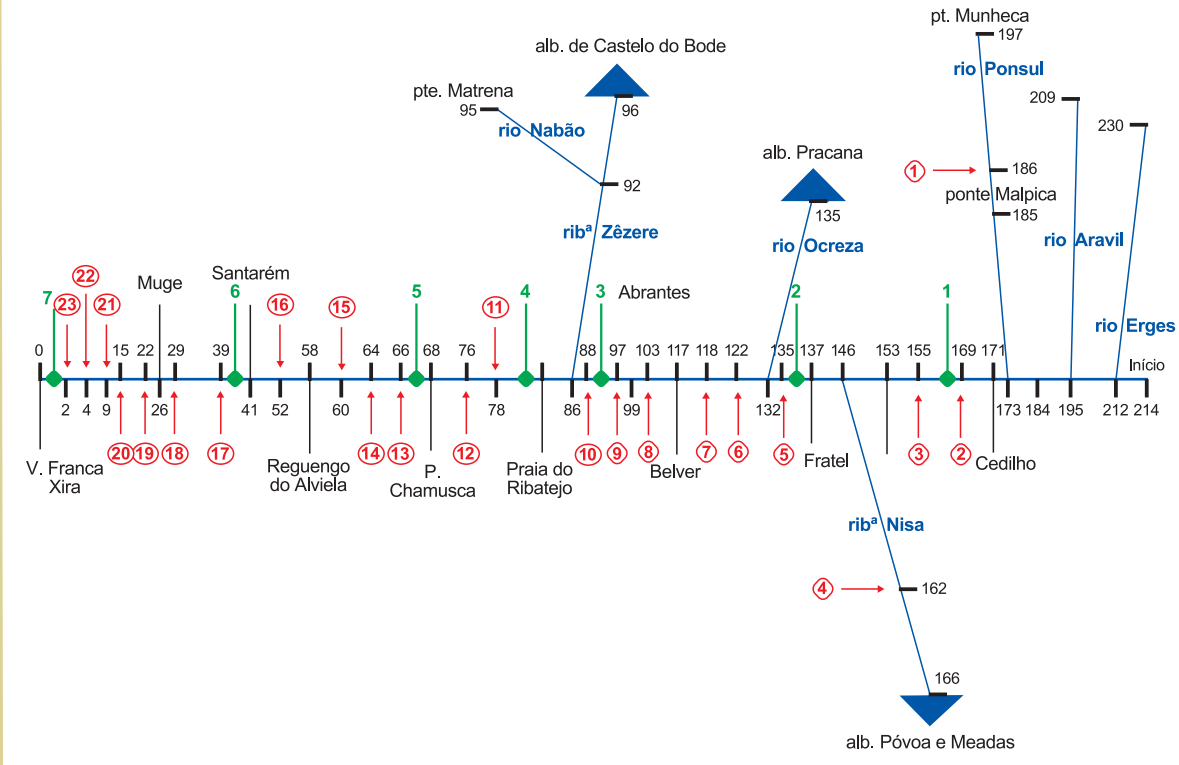


FIGURA 1 – Representação conceptual adoptada para a bacia hidrográfica do rio Tejo (a azul os troços simulados, a verde as estações de monitorização e a encarnado as descargas e os tributários).

A comparação estabelecida, entre os resultados do modelo e os registos disponíveis para as estações de monitorização da qualidade da água, permitiu verificar que a evolução das concentrações dos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água ao longo do rio Tejo era tendencialmente semelhante nos

dois casos, mas existia um afastamento considerável entre os resultados do modelo e os valores médios dos referidos registos.

Face a essa situação optou-se por proceder a uma aferição do modelo, ao nível das descargas poluentes, dos caudais laterais, das afluências provenientes de Espanha e de algumas taxas de reacção.

Após essa aferição, a comparação dos resultados do modelo com os registos das estações de monitorização da qualidade da água, para o troço do rio Tejo simulado, revelou um ajustamento globalmente satisfatório entre os dois conjuntos de dados.

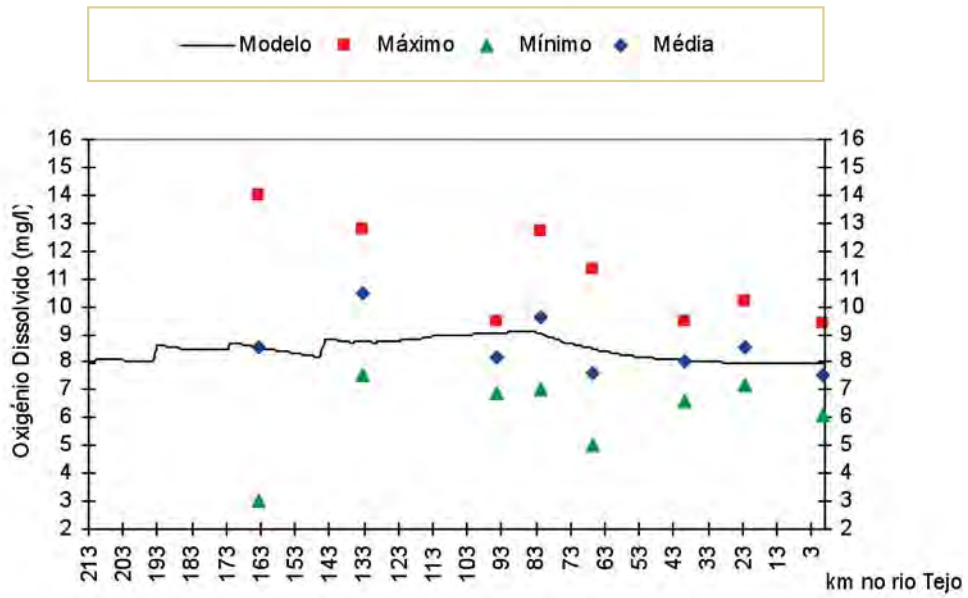


FIGURA 2 – Comparação dos resultados do modelo com os valores de amostragem. Oxigénio dissolvido (OD).

No entanto, houve parâmetros relativamente aos quais a qualidade desse ajustamento foi inferior, nomeadamente na zona de jusante. Esses parâmetros foram o azoto amoniacal, os nitratos e os fosfatos. Como justificação para essa menor qualidade do ajustamento conseguido, e no que se refere a esses parâmetros, poderá indicar-se o facto de não se disporem de dados concretos relativamente às cargas poluentes associadas às fontes de poluição difusa, nem de elementos referentes às cargas de azoto e fósforo ao nível dos efluentes industriais, cujas descargas são maioritariamente efectuadas na zona de jusante da bacia hidrográfica submetida ao processo de simulação.

De qualquer modo, verificou-se que o exercício de simulação desenvolvido, apesar das diversas limitações existentes, permitiu descrever o comportamento dos parâmetros caracterizadores da qualidade da água do sistema em estudo, colocando em evidência o importante contributo que a utilização de modelos de simulação pode dar para o entendimento das relações entre as pressões poluentes existentes na bacia hidrográfica e o estado de qualidade dos cursos de água da mesma.

SECÇÃO X

APLICAÇÃO DO MODELO WQRRS À ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2001
Gestão da Qualidade da Água

APLICAÇÃO DO MODELO WQRRS À ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2001
Gestão da Qualidade da Água

Em 2001 foi celebrado um contrato entre o Instituto da Água e o Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para o estudo da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode.

A realização deste trabalho teve por objectivo a aplicação de um modelo matemático de simulação da qualidade da água à albufeira de Castelo do Bode, de forma a contribuir para a definição de uma ferramenta de engenharia que permita descrever o comportamento da massa de água face a diferentes solicitações, apoiar a gestão da qualidade da água do aproveitamento em função dos seus diferentes usos e possibilitar a definição da capacidade de carga do mesmo.

A albufeira de Castelo do Bode localiza-se no rio Zêzere, afluente da margem direita do rio Tejo, a cerca de 7 km para montante da confluência entre os dois referidos rios.

A área da bacia hidrográfica drenante para a albufeira de Castelo do Bode é de aproximadamente 3 950 km^2, sendo o volume afluído em ano médio da ordem dos 2 600 hm^3, a que corresponde um escoamento de cerca de 650 mm e um caudal modular de sensivelmente 82 m^3/s.

A área inundada à cota do NPA (121,5 m) é de aproximadamente 3 480 ha e a capacidade total de armazenamento é de 1 095 hm^3, a que corresponde uma capacidade útil de 902,5 hm^3. O Nível de Máxima Cheia (NMC) está à cota de 122 m e o Nível Mínimo de Exploração (NmE) é de 79 m. O índice de regularização da albufeira, para afluências próprias, é de 0,42.

O modelo WQRRS – Water Quality for River-Reservoir Systems (Hydrological Engineering Center - HEC, 1978) tinha sido anteriormente aplicado no estudo de vários casos com sucesso, inclusivamente em várias

Barragem de Castelo do Bode no rio Zêzere.

albufeiras existentes em Portugal. Permite a simulação de um grande número de parâmetros de qualidade da água, destacando-se a temperatura, oxigénio dissolvido, nutrientes e outros parâmetros não conservativos e conservativos.

Trata-se de um modelo unidimensional, de camadas, adequado ao estudo de albufeiras relativamente profundas, com estratificação térmica, em que o sistema é descrito como uma sucessão unidimensional de elementos de volume de água, de espessura uniforme e limitados por planos horizontais, balizados pelos limites da albufeira.

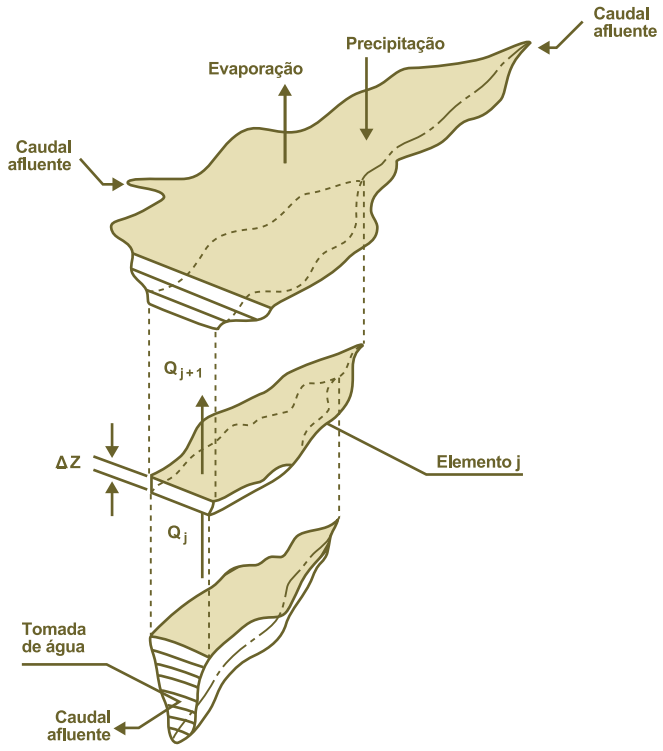


FIGURA 1 – Representação conceptual de uma albufeira estratificada - modelo WQRRS.

As pesquisas efectuadas no sentido de se obterem dados relativos à qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode, revelou que quer a LABELEC do Grupo EDP, quer a EPAL, desenvolvem regularmente programas de monitorização dessa massa de água, possuindo, qualquer das entidades, elementos bastante representativos da qualidade da água da albufeira em estudo.

Os resultados da aplicação do modelo foram apresentados sob a forma de gráficos, para cada parâmetro modelado, estabelecendo-se a comparação com os valores de amostragem obtidos pela EPAL e pela LABELEC, referentes ao ano civil de 1998.

Castelo do Bode. Vista da barragem (em cima)
e da albufeira (em baixo).

Central elevatória a jusante da barragem de Castelo do Bode

Os parâmetros submetidos a simulação foram: temperatura, oxigénio dissolvido (OD), carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias (CBO_5), sólidos suspensos totais (SST), pH, azoto amoniacal (NH_4), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), e fosfatos (P_2O_5). No caso de outros parâmetros, como o fitoplâncton, embora tenham sido igualmente submetidos a simulação, optou-se por não se apresentar os resultados obtidos, na medida em que não se dispunha de elementos que permitissem estabelecer a comparação entre os resultados do modelo e da monitorização.

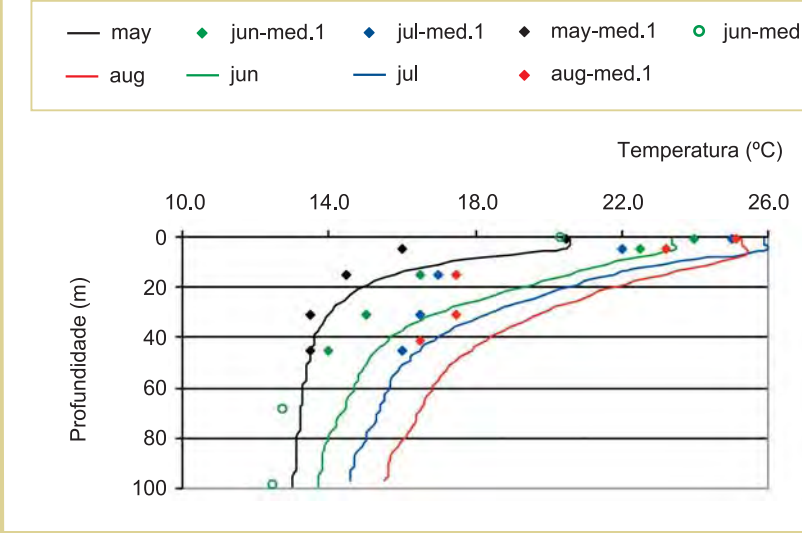


FIGURA 2 – Comparação dos resultados do modelo com os valores de amostragem. Oxigénio dissolvido. Maio a Agosto.

Os resultados do exercício de simulação desenvolvido relativamente à qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, e atendendo aos parâmetros submetidos a modelação, indicaram que os níveis de poluição da massa de água são pouco representativos, conclusão que é corroborada pela análise dos valores de monitorização considerados.

Por outro lado, o ajustamento conseguido entre os resultados da simulação e os valores monitorizados pode ser considerado bastante satisfatório, embora no caso de alguns parâmetros a qualidade do mesmo tenha sido inferior.

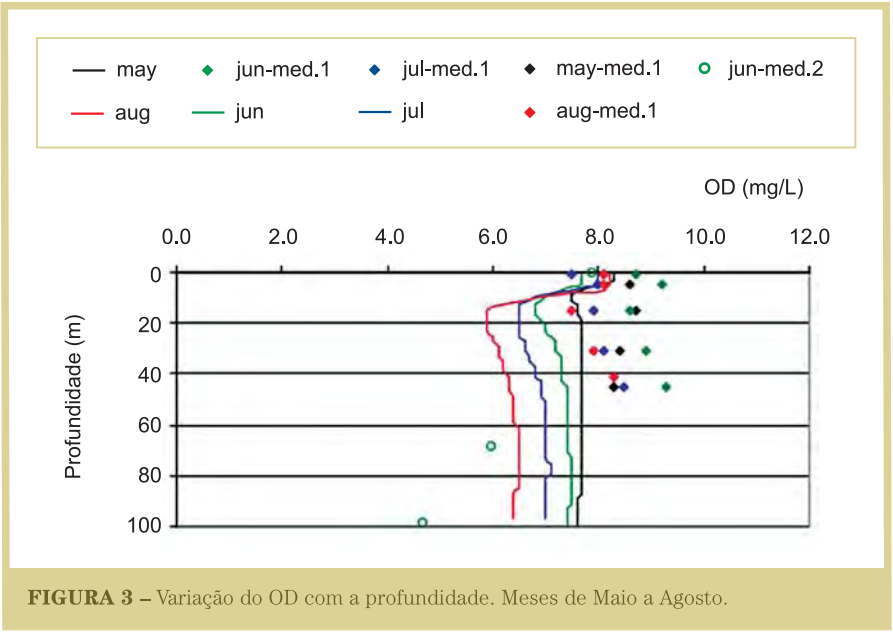


FIGURA 3 – Variação do OD com a profundidade. Meses de Maio a Agosto.

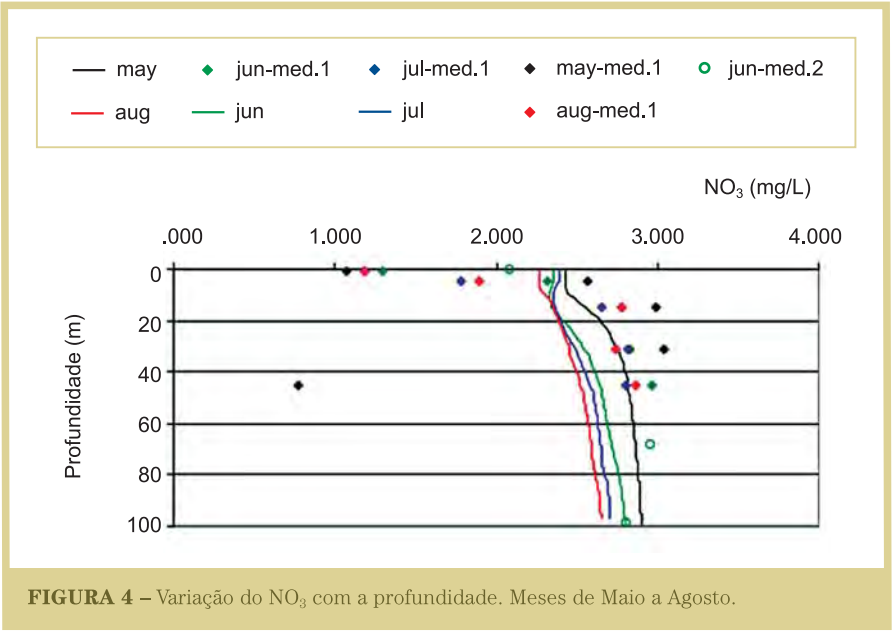


FIGURA 4 – Variação do NO_3 com a profundidade. Meses de Maio a Agosto.

SECÇÃO XI

REVISÃO DO PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2003

Ordenamento do Território

REVISÃO DO PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2003
Ordenamento do Território

O Instituto da Água, I.P. (INAG I.P.) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL) assinaram, em Dezembro de 2003, um Protocolo para efeitos de consultoria técnico-científica no âmbito da revisão do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode (POACB).

Essa consultoria foi desenvolvida em duas fases. A primeira consistiu no apoio à ponderação das questões levantadas no âmbito da Discussão Pública do POACB. A segunda referiu-se à aplicação de um modelo de simulação matemática da qualidade da água à albufeira de Castelo do Bode.

O desenvolvimento da segunda fase dos trabalhos suportou-se na componente dinâmica e evolutiva que se pretende que o POACB assuma, e correspondeu à aplicação e calibração de um modelo matemático de simulação da qualidade da água à albufeira de Castelo do Bode. Com a realização dessa segunda fase, pretendeu-se atingir os objectivos que em seguida se enumeram:

a) Optimizar o Plano de Monitorização da Qualidade da Água proposto no âmbito do POACB.

b) Optimizar os zonamentos propostos para o plano de água, tendo em atenção a compatibilização dos seus diferentes usos e distinguindo entre os primários e os secundários.

c) Avaliar a previsível evolução do estado de qualidade da água da albufeira face a diferentes cenários.

d) Definir as áreas mais problemáticas em termos de qualidade da água em todo o plano de água.

e) Avaliar a evolução da qualidade da água face aos usos primários e secundários existentes e previstos no POACB.

Albufeira de Castelo do Bode. Infra-estruturas de apoio à actividade náutica de recreio.

A primeira decisão de natureza metodológica que se tomou no âmbito da segunda fase dos trabalhos desenvolvidos esteve associada à escolha do modelo a utilizar.

Com efeito, os modelos de simulação da qualidade da água podem incluir desde os simples cálculos de balanço de massa até à utilização de modelos matemáticos ecológicos/de qualidade da água, multi-dimensionais, com a consideração de vários parâmetros. A escolha adequada do modelo a utilizar deve basear-se, sobretudo, numa conceptualização realista do sistema a estudar e na análise das condições de funcionamento mais desfavoráveis, com reflexos para a avaliação a realizar.

A utilização de modelos de simulação do comportamento físico, químico e biológico de albufeiras pode constituir-se numa poderosa ferramenta, útil tanto para a previsão do comportamento dessas massas de água, como para a gestão optimizada dos recursos, de forma a compatibilizar os vários usos potenciais e a contribuir para minimizar ou evitar a degradação da qualidade da água.

Os modelos matemáticos permitem a simulação do comportamento desses sistemas, tanto em regime permanente (sem variação com o tempo) como em regime variável (com variação temporal). Por outro lado, podem ser modelos a zero, uma, duas ou três dimensões, dependendo do grau de simplificação adoptado para a representação conceptual do sistema.

No entanto, à medida que cresce a complexidade dos modelos a utilizar, maiores são as exigências em termos dos dados de entrada necessários, bem como da sua discretização espacial e temporal. Assim, opta-se muitas vezes pela utilização de modelos menos complexos, em relação aos quais seja possível reunir os dados necessários, com o grau de confiança adequado ao tipo de análise a desenvolver, de forma a possibilitar a obtenção do melhor compromisso entre o detalhe do modelo a utilizar, a quantidade e qualidade dos dados disponíveis e o tipo de abordagem que se pretende desenvolver.

Contudo, para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode optou-se pela utilização de um modelo bidimensional – o CE-QUAL-W2. A opção por um modelo bidimensional, apesar da sua utilização ser relativamente exigente e complexa, quer em termos de dados de entrada do modelo quer em termos de análise dos seus resultados (nomeadamente em comparação com um modelo unidimensional), foi justificada pelas características do sistema analisado e pelos objectivos do trabalho desenvolvido.

Trata-se de um modelo que permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de uma albufeira segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo e por isso indicado para o estudo de massas de água longas e estreitas, com gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água. O referido modelo permite a definição de uma grelha representativa do sistema em estudo, dividida em segmentos

(longitudinalmente) e camadas (verticalmente), cuja dimensão pode variar de segmento para segmento e de camada para camada, permitindo aumentar a resolução da informação a extrair onde seja necessário.

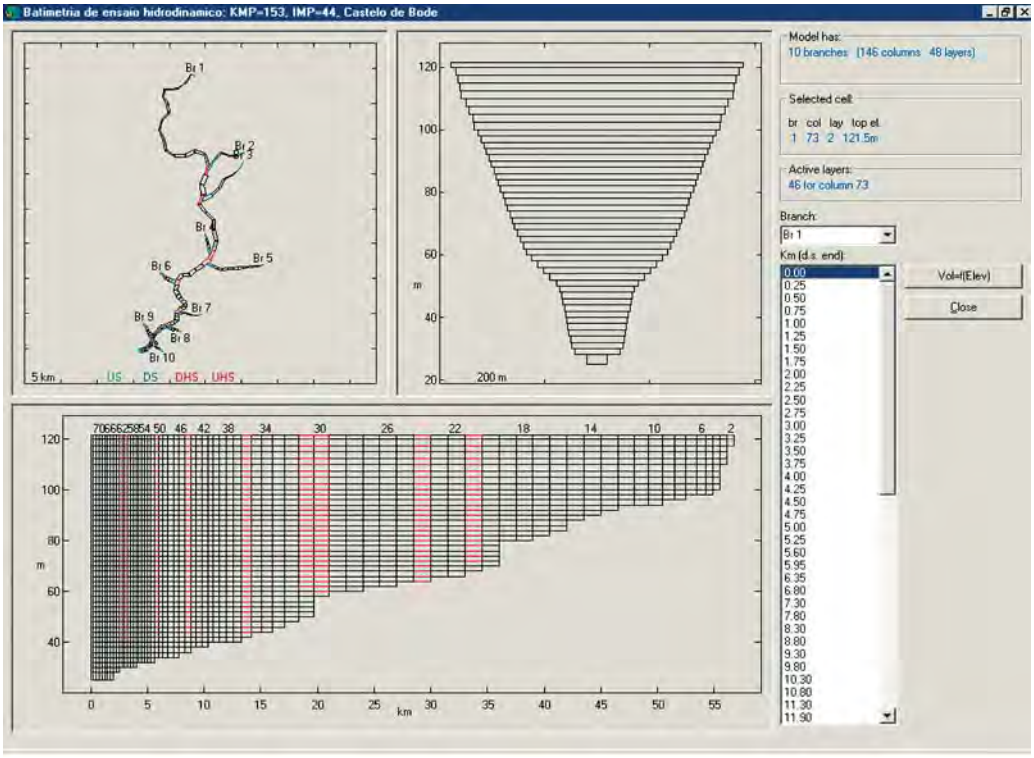


FIGURA 1 – Representação conceptual da albufeira de Castelo do Bode - ramo principal (rio Zêzere) - modelo CE-QUAL-W2.

Este modelo tem sido aplicado com sucesso em várias centenas de estudos técnicos e científicos de simulação matemática de qualidade da água. É o modelo de eleição de várias agências dos Estados Unidos da América onde se incluem a "Environmental Protection Agency" e o "United States Army Corps of Engineers", no que se refere à simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de albufeiras.

O exercício de simulação desenvolvido permitiu aplicar o modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Castelo do Bode. Deste modo, conseguiu-se obter uma sólida base de trabalho constituída por uma poderosa ferramenta de engenharia, que possui a capacidade de descrever a evolução da qualidade da água do sistema em estudo e simular o seu comportamento face a diferentes cenários.

Albufeira de Castelo do Bode. Empreendimento turístico na ilha do Lombo (em cima)
e embarcações a motor (em baixo).

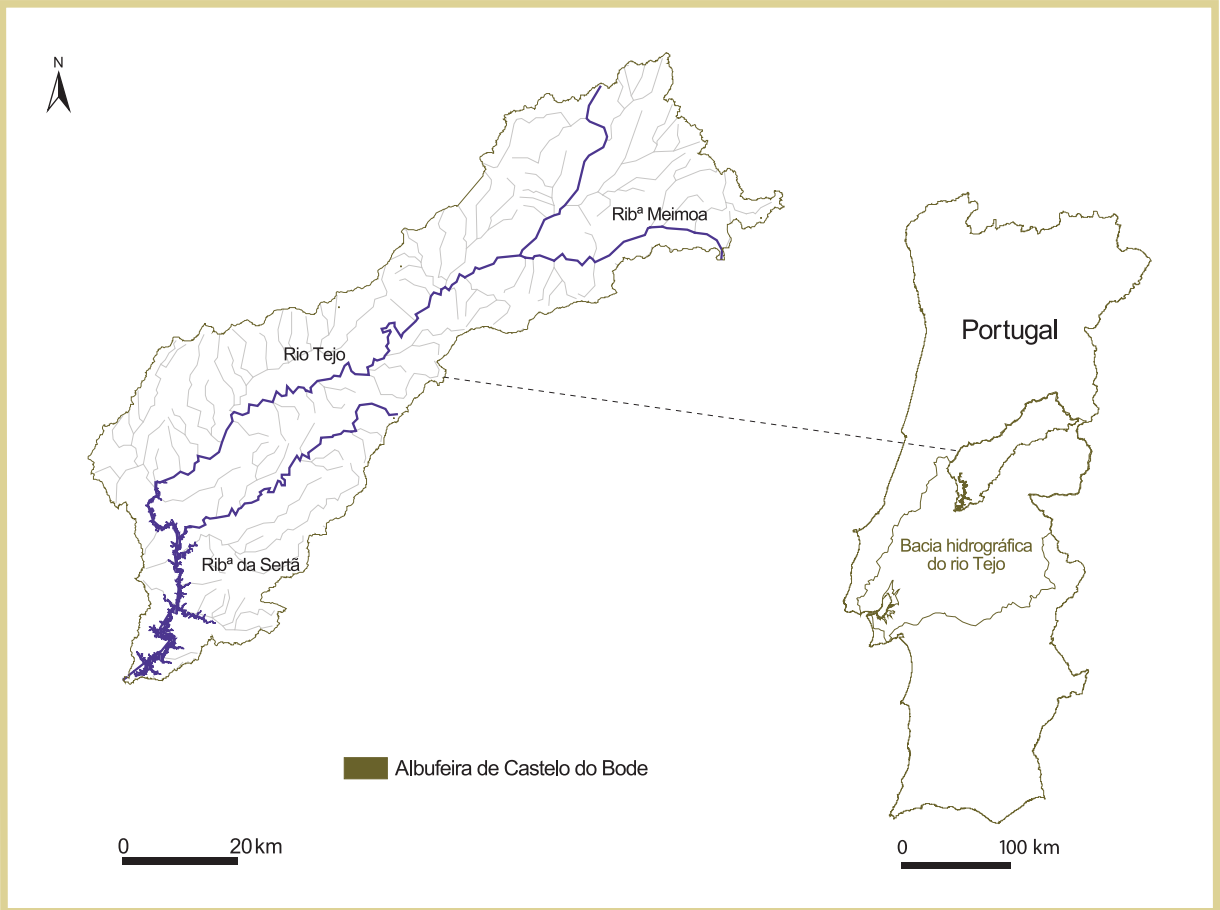


FIGURA 2 – Albufeira de Castelo do Bode: localização e área drenante.

As principais limitações encontradas no desenvolvimento do trabalho efectuado estiveram associadas a carências de informação, quer ao nível de elementos que permitissem caracterizar mais correctamente a qualidade das afluências ao sistema, quer no que se refere a dados de qualidade da água da própria albufeira.

No primeiro caso, as carências de informação obrigaram a proceder a determinadas estimativas para suprir os elementos em falta o que teve como consequência uma redução da fiabilidade ao nível dos dados de entrada do modelo, na medida em que o grau de complexidade dos parâmetros modelados e das suas inter-relações justifica que os referidos dados de entrada sejam tão detalhados e exaustivos quanto possível.

No segundo caso, a reduzida quantidade de informação relativamente à qualidade da água da albufeira dificultou o processo de calibração, na medida em que só foi possível estabelecer a comparação dos resultados do modelo com valores medidos ao longo da coluna de água em quatro meses do ano e apenas num único local da albufeira. Esta situação conduziu a que a fiabilidade e a representatividade das

simulações efectuadas tivesse sido mais reduzida que o desejável e, sobretudo, impossibilitou uma análise mais aprofundada da evolução das concentrações dos parâmetros descritores da qualidade da água ao longo do ano.

Apesar das referidas limitações, considera-se que os resultados do exercício de simulação desenvolvido foram francamente positivos. De facto, foi possível descrever de forma bastante rigorosa o comportamento do sistema, no que se refere à batimetria, balanço de volumes, hidrodinâmica e temperatura da água, possibilitando a definição da anteriormente referida sólida base de trabalho que tem capacidade para servir de suporte a outros estudos de simulação que posteriormente se venham a realizar.

Adicionalmente, os resultados obtidos relativamente aos restantes parâmetros descritores da qualidade da água submetidos a simulação foi, globalmente, bastante satisfatório, tendo-se observado, na maioria dos casos, um bom ajustamento entre os resultados do modelo e os registos de amostragem disponíveis.

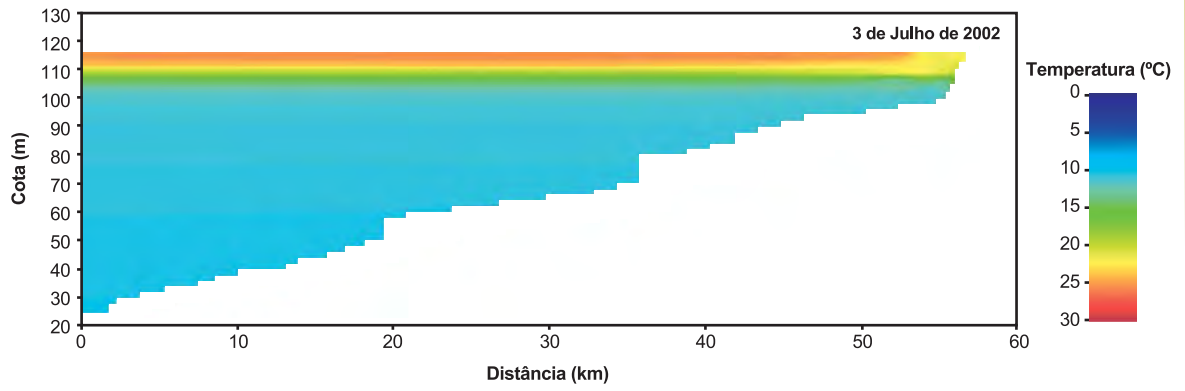


FIGURA 3 – Temperatura da albufeira de Castelo do Bode ao longo do ramo principal (rio Zêzere).

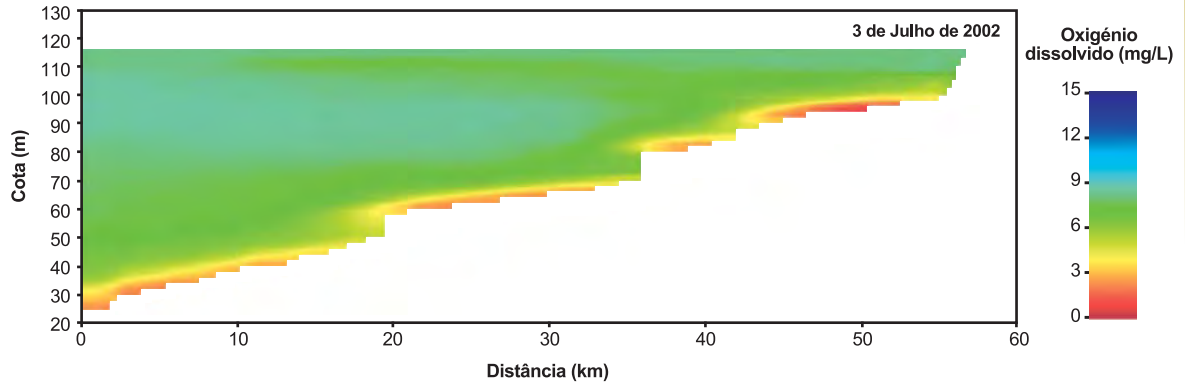


FIGURA 4 – Oxigénio dissolvido na albufeira de Castelo do Bode ao longo do ramo principal (rio Zêzere).

SECÇÃO XII

IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS VULNERÁVEIS, INAG, I.P., 2004 Legislação Ambiental

IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS VULNERÁVEIS, INAG, I.P., 2004
Legislação ambiental

No âmbito da implementação da Directiva do Conselho 91/676/CEE, de 12 de Dezembro, foram promovidos pelo Instituto da Água estudos de fundo com vista à identificação de Zonas Vulneráveis em território de Portugal continental. O desenvolvimento dos estudos relativos a massas de água doce superficiais ficou a cargo do Grupo de Hidráulica do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, tendo os mesmos decorrido durante o período entre 2003 e 2004.

De acordo com a referida Directiva, os Estados-Membros devem proceder à classificação como Zonas Vulneráveis as bacias hidrográficas de massas de água em que a eutrofização represente um problema de qualidade para o qual a actividade agrícola na bacia possa contribuir significativamente. O estudo foi desenvolvido para todo o território de Portugal Continental, tendo no caso do rio Tejo sido estudadas 24 albufeiras.

A metodologia de trabalho implementada foi desenvolvida em função dos critérios de identificação de zonas vulneráveis apresentados no Anexo I da referida directiva: a) massas de água com captação de água para consumo humano ou massas de água subterrânea em que se observem concentrações de nitratos superiores a 50 mg/L, e massas de água superficiais, lagos albufeiras, águas marinhas e costeiras que se revelem eutróficos ou com tendência de eutrofização.

A metodologia assentou assim nos seguintes passos:

a) Identificação de massas de água (albufeiras ou linhas de água), com captações de água para consumo humano de acordo com a Portaria 462/2000, II Série, de 25 de Março, nas quais a concentração de nitratos é superior ou próxima do valor de 50 mg/L;

Bacia hidrográfica do rio Tejo. Agricultura de regadio.

b) Classificação do estado trófico de todas as albufeiras para as quais existem dados de qualidade; identificação das albufeiras cuja classificação corresponde a Eutrófica;

c) Para as massas de água identificadas em b), quantificação das cargas em fósforo total, produzidas na respectiva área drenante, com origem urbana, florestal e agrícola (apenas é considerado o fósforo total, já que a classificação do estado trófico não contempla o parâmetro nitrato);

d) Avaliação das cargas estimadas na alínea c), através da aplicação de um modelo de mistura completa, às albufeiras classificadas como eutróficas;

e) Identificação de massas de água em que a contribuição da carga com origem agrícola é determinante na qualidade da águas superficiais

O desenvolvimento do estudo assentou nos dados disponíveis referentes aos anos hidrológicos de 1996/1997 a 200/2001, período durante o qual a concentração de nitratos observada nas diversas albufeiras não atingiu o valor de referência de 50 mg/L. De acordo com o critério de classificação do estado trófico em albufeiras adoptado em Portugal foram classificadas 13 albufeiras como eutróficas, 5 como mesotróficas e 6 como oligotróficas.

Bacia hidrográfica do rio Tejo. Massa de água eutrofizada.

QUADRO 1 – Albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo consideradas no estudo e classificação do estado trófico.

Albufeira	ET	Albufeira	ET	Albufeira	ET	Albufeira	ET
Apartadura	M	Corgas	O	Magos	E	Patudos	E
Belver	E	Cova do Viriato	O	Maranhão	E	Penha Garcia	O
Bouçã	M	Crato	E	Marateca	O	Póvoa e Meadas	E
Cabril	M	Divôr	E	Meimoa	O	Pracana	E
Capinha	O	Fratel	E	Montargil	E	Santa Luzia	E
Castelo de Bode	M	Gafete	E	Negrelinho	M	Toulica	E

Legenda: E – Eutrófica; M – Me sotrófica; O – Oligotrófica

Face à necessidade de avaliar se para a qualidade da água das albufeiras identificadas como eutrofizadas é determinante a actividade agrícola, foi escolhida uma metodologia de quantificação de cargas poluentes afluentes às mesmas, assente na implementação de funções de carga, modelo de quantificação habitualmente utilizada em estudos de planeamento. Esta metodologia tem por base a definição de cargas unitárias exportadas por unidade de área de solo, as quais são associadas a cada classe de uso do solo identificada na cartografia considerada, no caso as cartas Corine Land Cover e da Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF).

Tendo em consideração o facto de, no caso de massas de água doces superficiais e em Portugal continental, o fósforo estar identificado como o nutriente determinante no fenómeno de eutrofização, a metodologia de quantificação apenas incluiu este elemento, expresso como fósforo total, tendo sido estimadas cargas de origem agrícola e de origem florestal.

As cargas de fósforo total afluente a cada massa de água e associadas à actividade agrícola foram comparadas com valores estimados de fósforo total de origem urbana, obtidos através do Plano Nacional da Água.

FIGURA 1 – Albufeiras da bacia hidrográfica do Tejo consideradas no estudo.

FIGURA 2 – Representação esquemática do modelo de mistura completa.

A importância da contribuição agrícola foi também avaliada com recurso à implementação de uma modelo de mistura completa em albufeiras. De acordo com esta abordagem de simulação, admite-se que o sistema hídrico a simular pode ser considerado como totalmente misturado, com volume constante ao longo do tempo. A cada parâmetro de qualidade da água a simular é associado uma determinada taxa de decaimento, não sendo considerada interacção entre diferentes parâmetros.

Apesar da maioria das albufeiras em estudo apresentar estratificação sazonal, a utilização de modelos de mistura completa pode ser justificada caso a escala temporal do problema em análise seja suficientemente longa já que, de ano para ano a mistura sazonal pode resultar em albufeiras completamente misturadas ao longo dos anos. O estudo baseou se em concentrações e caudais afluentes médios anuais, considerando se por isso a escala temporal como adequada à implementação de um modelo deste tipo.

Os resultados de modelação obtidos foram por fim avaliados em função de dois critérios: massas de água para as quais a carga agrícola afluente é suficiente para induzir a uma classificação com eutrófica com base na concentração em fósforo total ou seja, em que a carga agrícola, por si só, induza uma concentração de fósforo total, maior ou igual a 0,035 mg/L e massas de água para as quais a carga difusa afluente (carga agrícola e carga florestal) represente, pelo menos 50 % da carga total afluente a cada massa de água.

A implementação das metodologias de modelação e de cálculo adoptadas resultou na identificação das albufeiras do Divor, Maranhão, Patudos, Pracana, Santa Luzia e Toulica como massas de água em que a qualidade se encontra potencialmente afectada, de forma determinante, por poluição de origem agrícola. Os resultados obtidos nos estudos desenvolvidos foram considerados na definição da Portaria n.º 1100/2004, de 3 de Setembro, tendo se então optado por, em relação às albufeiras referidas, desenvolver estudos mais detalhados que permitissem avaliar o real impacte resultante da implementação de programas de medidas agro-ambientais, programas obrigatoriamente implementados na sequência da identificação de Zonas Vulneráveis.

Eutrofização no rio Tejo. *Blooms* algais.

SECÇÃO XIII

PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE – ESTUDOS COMPLEMENTARES, INAG, I.P., 2004

Ordenamento do Território e Gestão de Qualidade da Água

PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE – ESTUDOS COMPLEMENTARES, INAG, I.P., 2004
Ordenamento do Território e Gestão da Qualidade da Água

O Instituto da Água, I.P. (INAG, I.P.) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL), celebraram um protocolo relativo a estudos complementares, a realizar no âmbito do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode (POACB), para o ano de 2004.

No âmbito desse protocolo foi contemplada a realização dos seguintes trabalhos:

- Análise e avaliação dos resultados obtidos no âmbito do programa de monitorização da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, bem como dos correspondentes estudos complementares.
- Definição e desenvolvimento de cenários de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, de acordo com as propostas do correspondente Plano de Ordenamento e as perspectivas da sua implementação, utilizando o modelo bidimensional de simulação hidrodinâmica e de qualidade da água CE-QUAL-W2.
- Avaliação dos resultados das simulações efectuadas face aos objectivos definidos no Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode.

O POACB define estratégias associadas aos diferentes usos e actividades da albufeira de Castelo do Bode e da correspondente zona envolvente, nomeadamente as relativas ao uso urbano, turístico, agrícola e florestal, tendo em consideração a situação de referência da área de intervenção e as perspectivas da sua evolução. Neste contexto, o POACB regulamenta a rejeição de efluentes urbanos e industriais, e define regras para a utilização da albufeira e da zona envolvente.

Considerando as regras definidas pelo POACB, definiram-se cenários de simulação da qualidade da água, que permitiram avaliar a evolução dessa qualidade face aos valores paramétricos obrigatórios, aplicáveis às águas destinada ao consumo humano e ao recreio balnear, que constam no Decreto-Lei nº 243/2001 de 5 de Setembro e no Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 de Agosto, respectivamente.

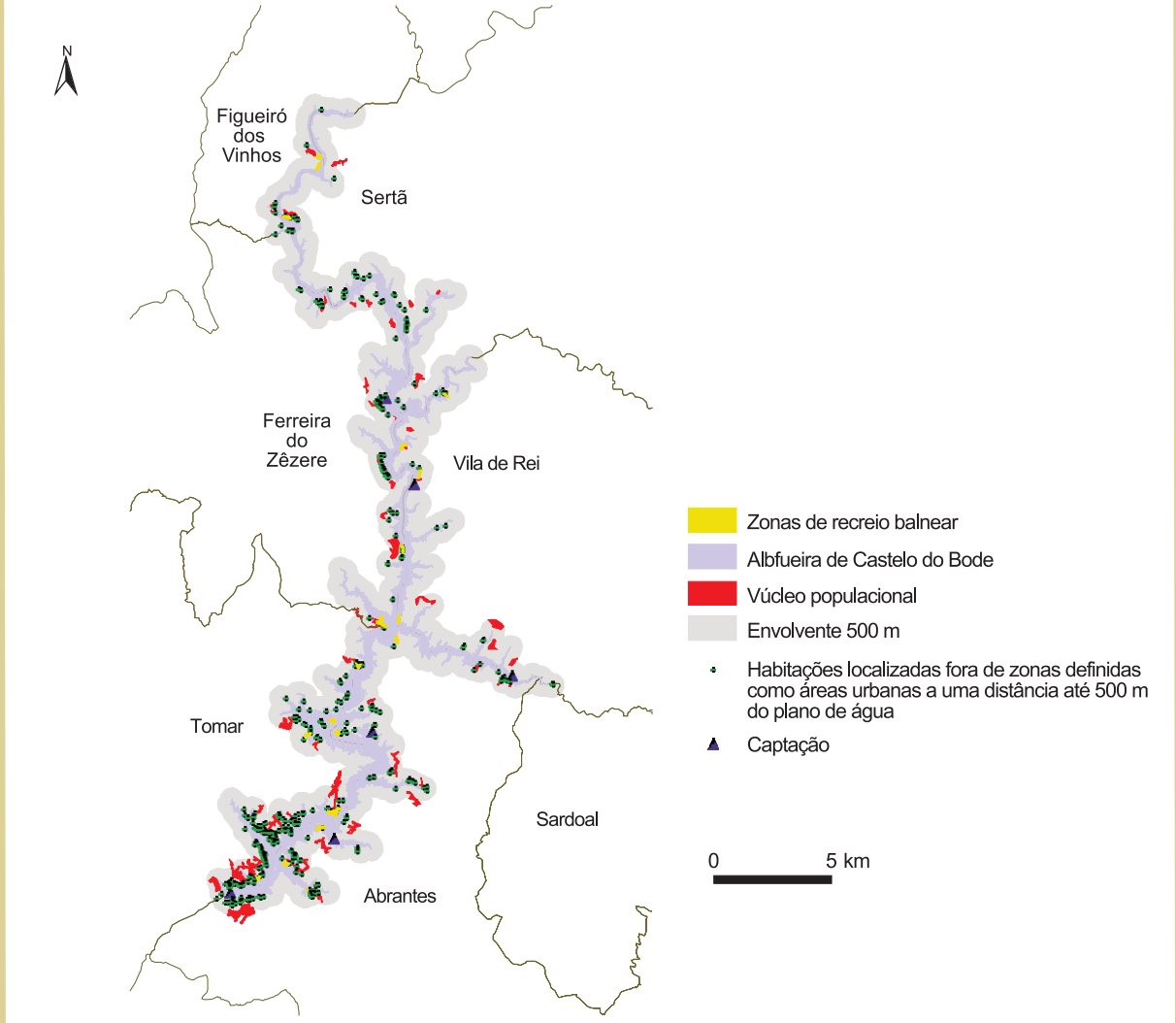


FIGURA 1 – Localização dos núcleos populacionais e das habitações isoladas na área de intervenção do POACB.

A análise realizada permitiu avaliar as alterações da qualidade da água face às reduções de carga poluente afluente, previstas pelo PBH do rio Tejo, para toda a área drenante à albufeira de Castelo do Bode. Assim, foi possível determinar a influência relativa das medidas preconizadas no POACB e no PBH do rio Tejo.

A implementação de cenários de simulação e a inexistência de monitorização de descargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB, implicaram a estimativa de caudais e de concentrações associadas às mesmas, por forma a permitir a sua gestão, independente da globalidade das afluências poluentes à massa de água.

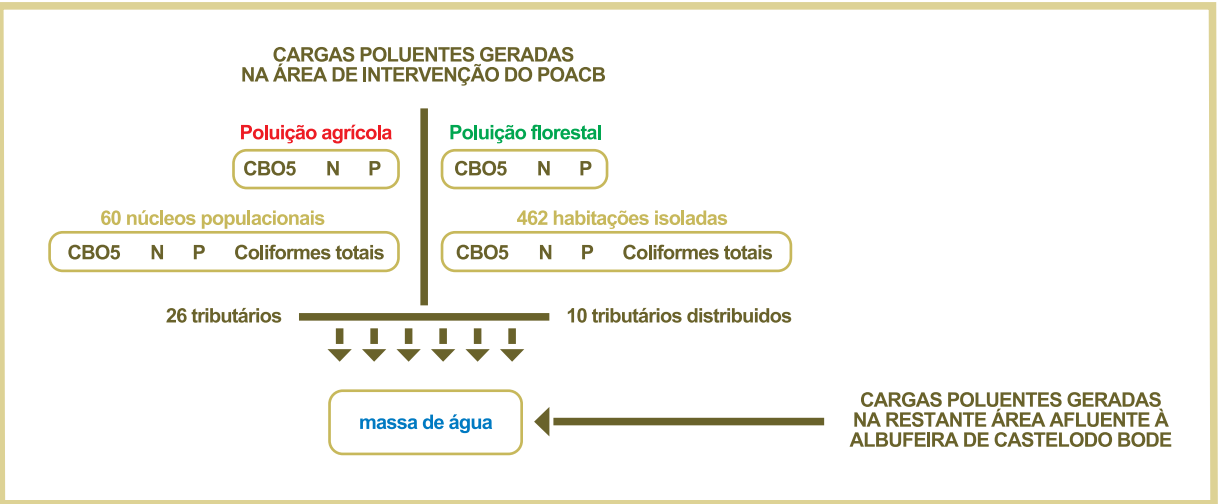


FIGURA 2 – Representação esquemática da integração de cargas afluentes no modelo.

Um dos objectivos que se pretendia atingir com a aplicação do modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Castelo do Bode, correspondia à criação de um sistema de modelação que permitisse a simulação de diferentes cenários, que possibilitassem a avaliação dos objectivos definidos no POACB.

O ano de 2002 foi escolhido para a calibração do modelo devido à existência de um maior número de dados de campo relativos a esse ano. A simulação do ano de 2003 surgiu posteriormente ao início do processo de calibração, e teve como objectivo verificar a resposta do modelo à alteração dos dados de entrada, avaliar a calibração efectuada para o ano de 2002 e, simultaneamente, simular o ano de implementação do POACB.

Em qualquer exercício de simulação, e o caso específico da qualidade da água não constitui excepção, é comum a situação de carência de dados. Contudo, a fiabilidade das conclusões a extrair e a capacidade de apoiar as decisões relativamente a intervenções futuras, poderão ser significativamente melhoradas se algumas dessas carências em termos dos dados necessários para desenvolver o processo de simulação vierem a ser colmatadas.

Analisando os resultados obtidos para os exercícios de simulação referentes aos anos de 2002 e de 2003, concluiu-se que, no geral, a resposta do modelo CE-QUAL-W2 foi bastante satisfatória. Apesar de algumas situações pontuais, em que se verificou um certo afastamento entre os resultados do modelo e os dados observados, o modelo simulou adequadamente as tendências evolutivas dos constituintes ao longo da coluna de água e ao longo dos períodos analisados.

A simulação dos cenários desenvolvidos, com o objectivo de avaliar os efeitos na qualidade da água da albufeira das medidas preconizadas no POACB e no PBH do rio Tejo, permitiu concluir que a redução de carga poluente, resultante da intervenção na área de influência do POACB, é determinante na melhoria da qualidade da água da albufeira, relativamente à contaminação microbiológica, permitindo melhorar significativamente a situação face ao imposto pelos limites legais associados à classificação de zonas de recreio balnear e às zonas de captação de água para consumo humano.

Relativamente ao processo de eutrofização da massa de água, concluiu-se que, apesar da redução de carga de nutrientes com origem na área de intervenção do POACB ter determinado melhorias significativas, apenas a intervenção em toda a bacia drenante permitirá inverter a tendência evolutiva do estado oligotrófico para o estado mesotrófico.

Verificou-se, também, que a albufeira de Castelo do Bode possui uma boa capacidade de depuração de cargas poluentes, devido à dimensão da massa de água e ao reduzido tempo de retenção da mesma, o que reduz a pressão induzida pelas cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica desta albufeira.

O desenvolvimento de cenários de simulação com o modelo CE-QUAL-W2, permitiu evidenciar o importante contributo da utilização de modelos de simulação para o estudo das relações entre as pressões de fontes poluentes existentes numa bacia hidrográfica e o estado de qualidade das correspondentes massas de água. De facto, apesar de teoricamente os resultados obtidos com a diminuição da afluência de cargas poluentes serem conhecidos, ou no limite expectáveis, e apontarem para uma melhoria da qualidade da água, facto que é verificável com um simples balanço de massas, apenas com a simulação matemática da qualidade da água é possível avaliar o poder de depuração de uma massa de água da dimensão da albufeira de Castelo do Bode, permitindo definir a sua capacidade de carga e analisar a potencial resposta do sistema face a diferentes cenários.

Albufeira da barragem de Castelo do Bode. Dornes (em cima)
e recorte das margens (em baixo).

SECÇÃO XIV

MODELAÇÃO E AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS E COMPOSTOS ORGÂNICOS SEMI-VOLÁTEIS NA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2005 E 2006

Gestão de Qualidade da Água

MODELAÇÃO E AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS E COMPOSTOS ORGÂNICOS SEMI-VOLÁTEIS NA ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2005 E 2006

Gestão da Qualidade da Água

O Instituto da Água, I.P. (INAG, I.P.) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL), celebraram um protocolo relativo à colaboração técnico-científica na área da simulação matemática da qualidade da água das albufeiras de Castelo do Bode e da Aguieira, para os anos de 2005 e de 2006.

No âmbito dos diferentes trabalhos desenvolvidos ao abrigo do referido protocolo, foi realizado um estudo relativo à avaliação do potencial impacto da navegação recreativa a motor na qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, que incluiu as seguintes tarefas:

- Efectuar um levantamento sobre o estado da arte relativo aos modelos de simulação para substâncias perigosas.
- Seleccionar os modelos de substâncias perigosas a aplicar à albufeira de Castelo do Bode.
- Analisar os dados existentes recolhidos no âmbito do estudo “Impacto da navegação recreativa a motor na qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode”, promovido pelo INAG, I.P. em 2003 e 2004.
- Definir, caso se viesse a revelar importante, um Plano de Monitorização adicional, para complementar os dados necessários à implementação dos modelos matemáticos de simulação de substâncias perigosas que vierem a ser seleccionados.
- Aplicar os modelos de simulação de substâncias perigosas seleccionados à albufeira de Castelo do Bode.

O estudo de avaliação do impacto das embarcações a motor na qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode incidiu sobre dois grupos de poluentes, que podem ser originados pela queima de combustível resultante da actividade dessas embarcações: os compostos orgânicos voláteis (COV) e os compostos orgânicos semi-voláteis (COSV).

A análise dos dados de qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, relativamente às substâncias potencialmente correlacionadas com a navegação recreativa a motor, baseou-se nos elementos recolhidos ao longo de uma campanha de monitorização realizada durante os anos de 2003 e de 2004, promovida pelo INAG, I.P., bem como nos dados de qualidade da água disponibilizados através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

A referida campanha de monitorização resultou de um protocolo realizado entre o INAG, I.P. e o IA (Instituto do Ambiente), com o objectivo de avaliar o impacto das actividades náuticas na qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode. No âmbito desse protocolo foram realizadas dezasseis campanhas de amostragem na albufeira de Castelo do Bode, nos anos de 2003 e de 2004.

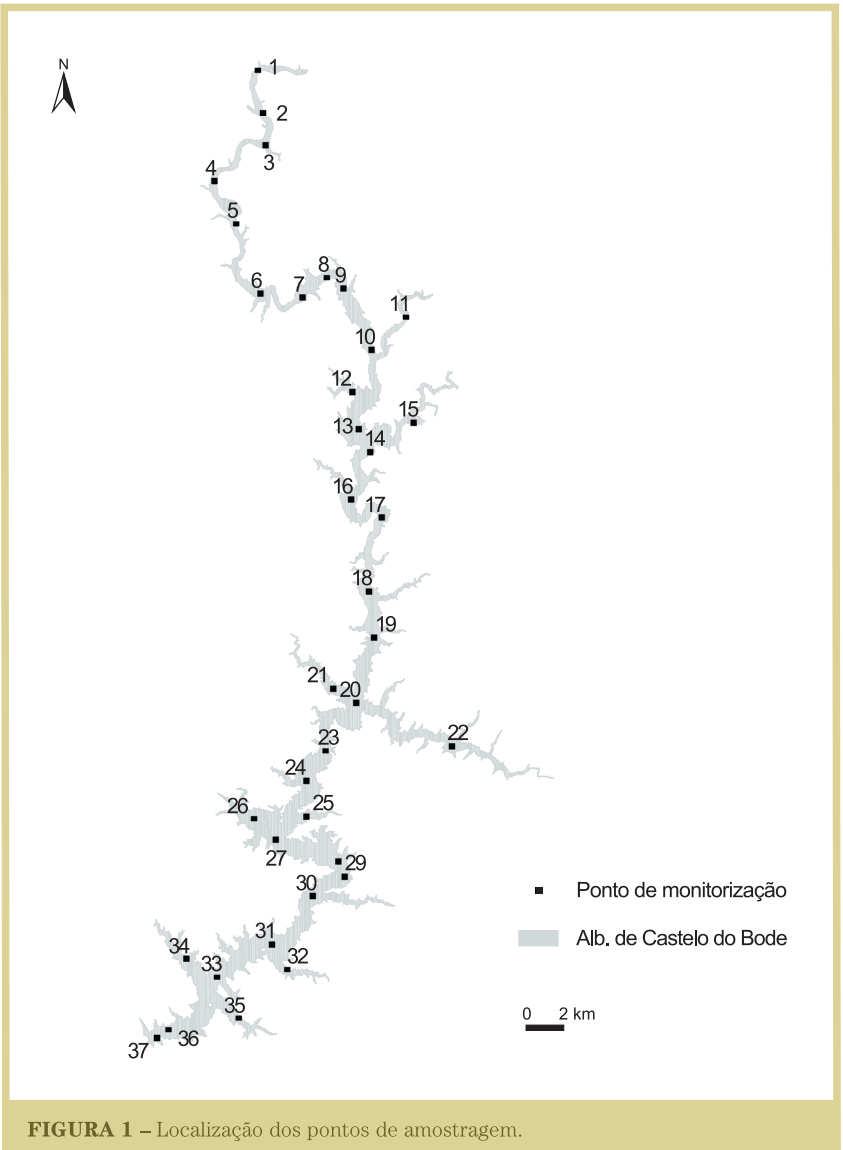


FIGURA 1 – Localização dos pontos de amostragem.

Albufeira de Castelo do Bode. Deterioração da qualidade da água junto às margens.

Tendo como objectivo a aplicação de um modelo de simulação de substâncias perigosas à albufeira de Castelo do Bode, que possibilitasse a avaliação do efeito na qualidade da massa de água das emissões de poluentes potencialmente geradas pela navegação recreativa a motor, procedeu-se à identificação de modelos matemáticos que simulassem a hidrodinâmica e os processos físicos, químicos e biológicos associados à degradação dos COV e COSV, gerados pelos motores de dois e quatro tempos, característicos da navegação recreativa a motor.

Inicialmente foram seleccionados dois modelos de simulação. Um modelo determinístico que permite simular os COV em lagos e albufeiras designado por LakeVOC e o modelo CE-QUAL-W2. No entanto, e considerando as características físicas e químicas dos COSV, foi necessário proceder à selecção de um terceiro modelo de simulação, o modelo QWASI 2.8.

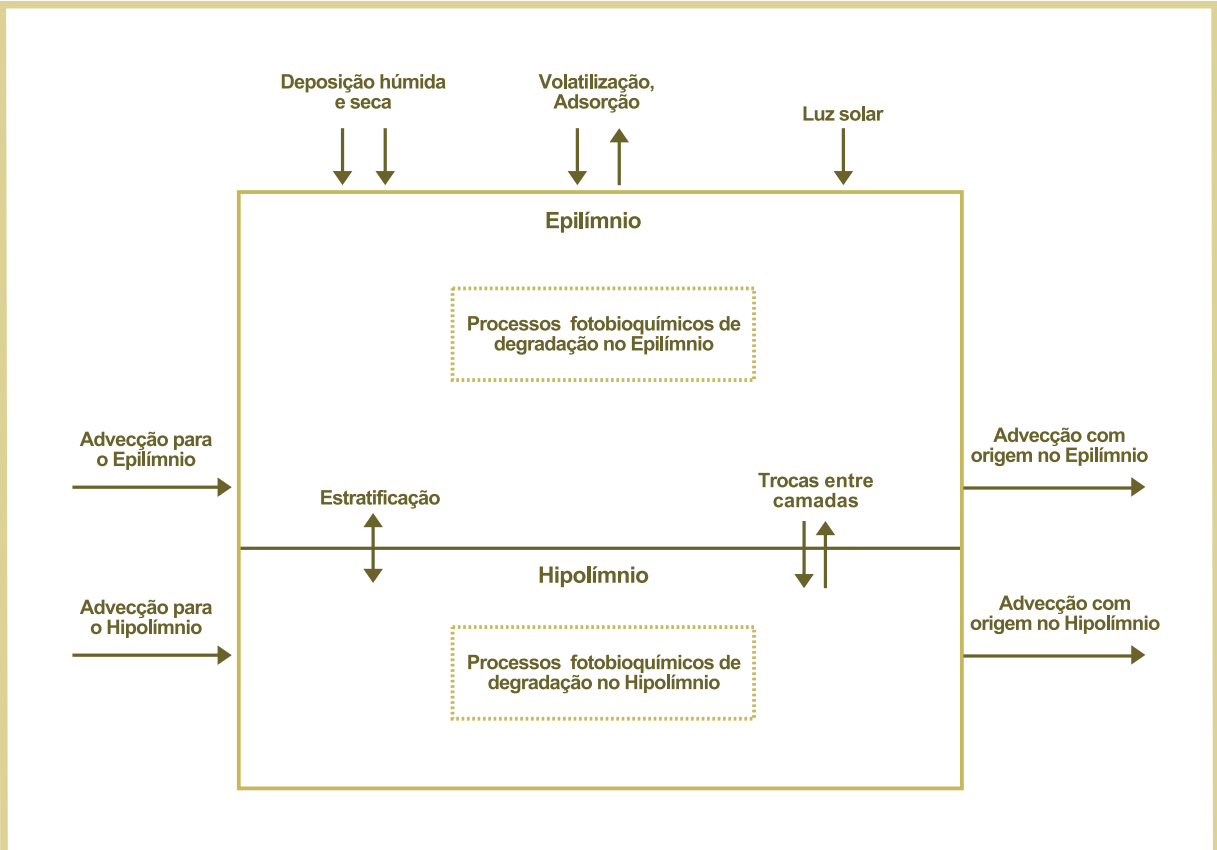


FIGURA 2 – Representação esquemática do transporte, comportamento e destino dos COV, simulados pelo modelo LakeVOC.

O elevado número de variáveis associadas ao ciclo de vida dos COV e dos COSV, a inexistência de dados relativos à constituição do combustível utilizado e o desconhecimento do número e tipo de embarcações que usualmente navegam na albufeira de Castelo do Bode, introduziram dificuldades acrescidas à simulação e avaliação do potencial impacte da navegação recreativa a motor sobre a qualidade da água desta albufeira.

Albufeira de Castelo do Bode. Actividade náutica.

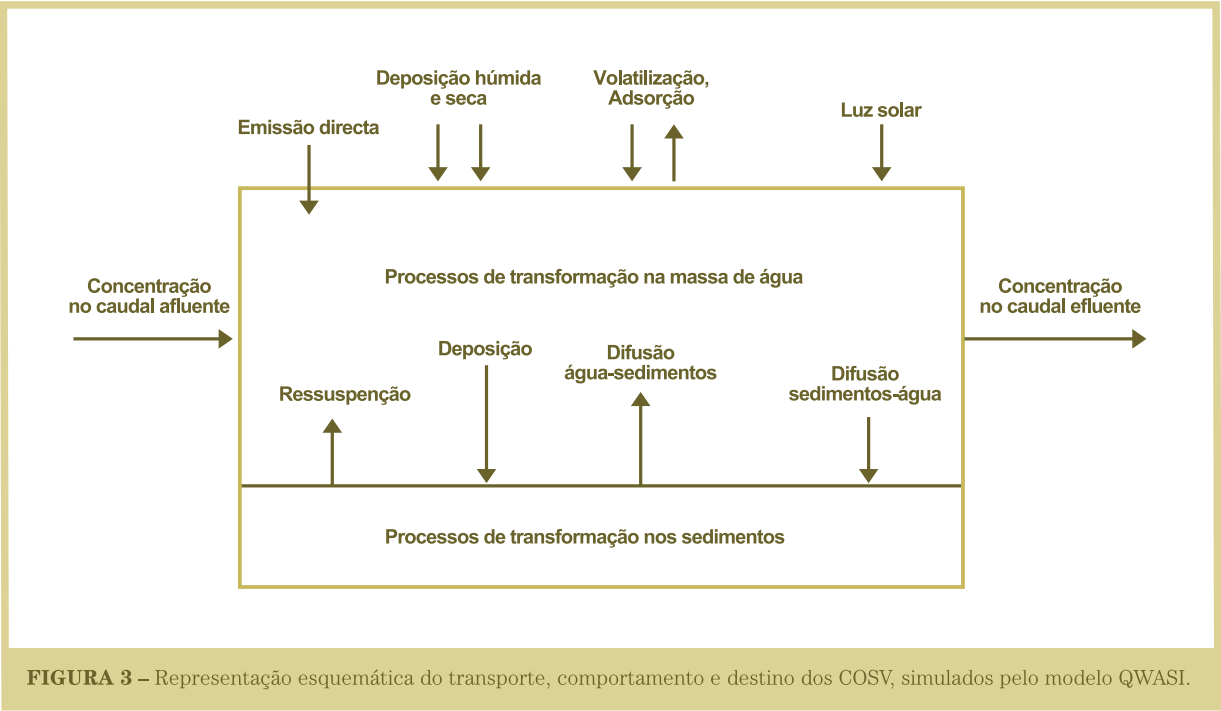


FIGURA 3 – Representação esquemática do transporte, comportamento e destino dos COSV, simulados pelo modelo QWASI.

A análise realizada aos valores de COV e COSV observados na albufeira de Castelo do Bode revelou que, quer a frequência com que estes compostos são detectados, quer a sua concentração são reduzidas. De facto, quando comparados com os valores da EPA (Environmental Protection Agency) para a protecção à saúde humana e com os valores limite do Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, e excepTuando situações pontuais, os valores observados, quer na campanha de monitorização de 2003 e 2004, quer os disponibilizados através do SNIRH são, na sua generalidade, inferiores aos valores de referência estipulados.

A metodologia definida teve, numa primeira fase, o objectivo de estimar uma carga poluente que originasse valores de concentração o mais próximo possível dos valores de COV e COSV observados na massa de água. Apesar das dificuldades encontradas, os resultados obtidos com o modelo LakeVOC indicam que, de uma forma geral, existe um bom ajustamento entre os dados observados e os resultados das simulações.

A análise realizada indicou ainda a existência de uma relação entre a navegação recreativa a motor e os valores de concentração de compostos voláteis como o benzeno, o tolueno, o xileno, o etilbenzeno e o MTBE e de compostos semi-voláteis como o naftaleno e o 1 metilnaftaleno, observados na albufeira de Castelo do Bode.

A redução dos valores de concentração de naftaleno - o composto mais frequentemente detectado na albufeira de Castelo do Bode de entre os vários pesquisados, adquirindo por isso uma maior representatividade - que se verificou no ano de 2004 relativamente ao ano de 2003, parece ser uma

evidência de que a proibição da navegação de embarcações de recreio com motores a 2 tempos, imposta pelo Regulamento do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode, se traduziu numa efectiva melhoria da qualidade da água desta albufeira, no que a este parâmetro diz respeito.

Relativamente aos compostos que foram observados nos sedimentos, concluiu-se que estes deverão ser originados pela afluência de óleos minerais à albufeira. Tendo em consideração que a imposição legal de utilização de óleos biodegradáveis em embarcações de recreio que naveguem com motores a 2-tempos data de 1991, é possível inferir que a origem dos óleos minerais não deverá ser a navegação recreativa a motor, admitindo que a referida legislação está a ser efectivamente cumprida.

Assim, os valores de concentração de hidrocarbonetos de elevado peso molecular observados nos sedimentos deverão ser originados pelo conjunto formado pelas potenciais rotas de entrada de óleos minerais, das quais se destacam as seguintes: derrames acidentais, descargas de águas residuais urbanas ou industriais, ou lixiviação de solos e de estradas.

Deste modo, concluiu-se que se devem recolher e analisar anualmente algumas amostras nos sedimentos da albufeira de Castelo do Bode, especificamente nas estações em que foram observados hidrocarbonetos de elevado peso molecular. Esta monitorização permitirá avaliar a evolução temporal da concentração destes compostos nos sedimentos, possibilitando assim um conhecimento mais detalhado e fiável ao nível da detecção das possíveis origens deste tipo de compostos.

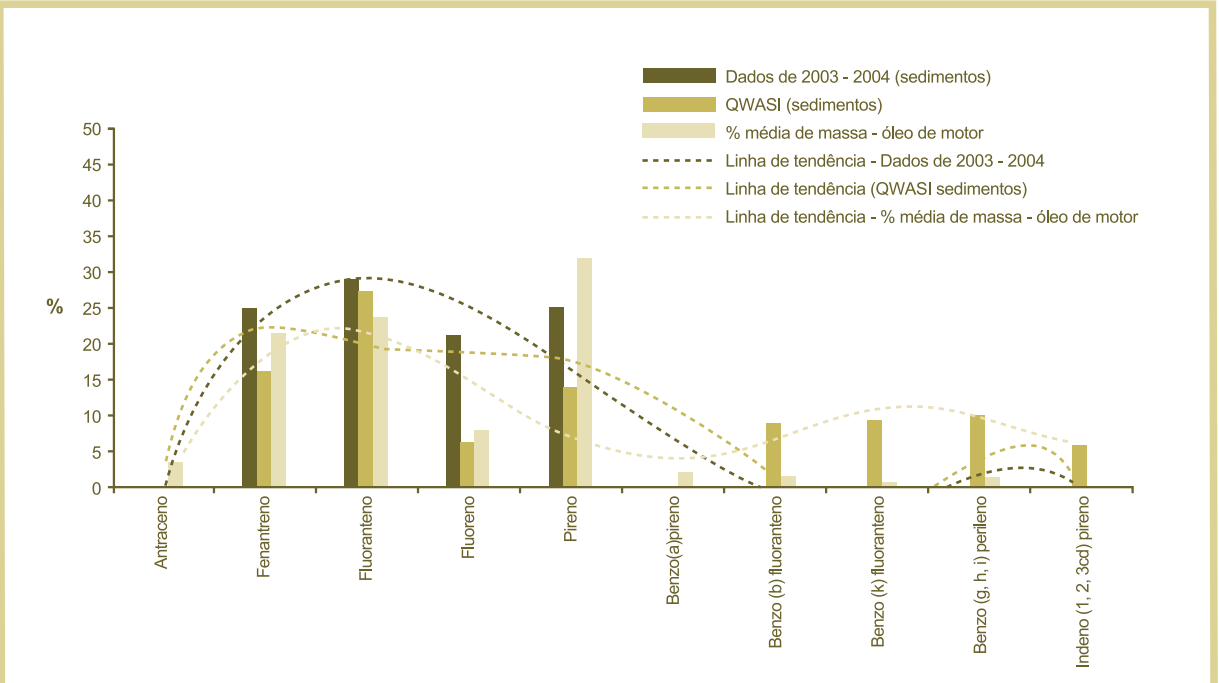


FIGURA 4 – Percentagem de massa de hidrocarbonetos de elevado peso molecular registados em 2003 e 2004 e obtidos com o modelo QWASI nos sedimentos da albufeira de Castelo do Bode e valores médios percentuais relativos à composição de vários tipos de óleo mineral.

SECÇÃO XV

EFEITO DOS FOGOS FLORESTAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA – ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2007 E 2008

Impacte Ambiental

EFEITO DOS FOGOS FLORESTAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA – ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE, INAG, I.P., 2007 E 2008
Impacte Ambiental

O Instituto da Água, I.P. (INAG. I.P.) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL) celebraram um protocolo de colaboração técnico-científica, que incluiu, entre outros objectivos, o de avaliar o efeito dos fogos florestais no regime de escoamento e na qualidade das massas de água doce superficiais. No âmbito desse protocolo, e no que se refere à avaliação do efeito dos fogos florestais foram contemplados os seguintes trabalhos:

- Propor três a cinco zonas a estudar em função da ocorrência recente de fogos florestais nas mesmas e da disponibilidade de dados de amostragem nas massas de água doce superficiais, para onde drenam essas zonas;
- Avaliar as cargas afluentes relativamente a alguns dos principais parâmetros cuja influência poderá ser determinante para a qualidade da água – nitratos (NO_3), azoto amoniacal (NH_4), fósforo dissolvido, pH e sólidos suspensos totais (SST);
- Estimar a fracção do escoamento superficial que será originado nas áreas ardidas, considerando factores como a orografia, o tipo e ocupação do solo das correspondentes bacias hidrográficas;
- Definir e desenvolver cenários de simulação que permitam avaliar o efeito dos fogos florestais no regime de escoamento e na qualidade das massas de água doce superficiais.

No âmbito dos estudos desenvolvidos avaliou-se igualmente o efeito dos fogos florestais que ocorreram no ano de 2003 na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo do Bode, em função da afluência à massa de água de cargas poluentes de azoto (N) sob a forma de nitratos (NO_3) e de azoto amoniacal (NH_4), e

de fósforo (P) sob a forma de ortofosfatos (PO_4), de acordo com diferentes cenários de simulação desenvolvidos com o modelo CE-QUAL-W2.

Os cenários de simulação desenvolvidos basearam-se na afluência à albufeira de Castelo do Bode, ao longo dos anos de 2003 e de 2004, de caudais superficiais com uma determinada concentração de NO_3, NH_4 e de PO_4, resultante da razão entre a carga poluente existente no solo da área ardida e um valor de escoamento superficial afluente à massa de água, temporalmente e espacialmente distribuído. Simulou-se também a afluência à albufeira de Castelo do Bode de caudais superficiais com um determinado valor de pH, e de um constituinte genérico conservativo.

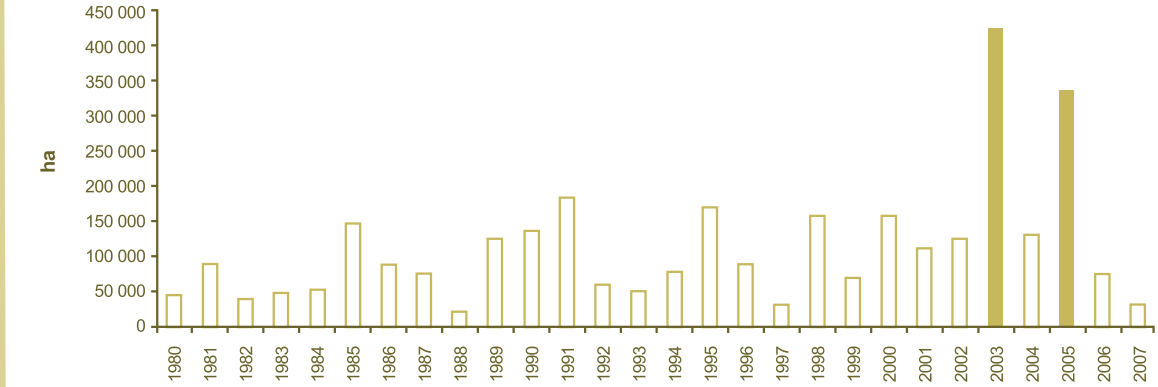


FIGURA 1 – Área anual ardida em Portugal Continental (1990-2007).

A opção pela simulação da afluência de cargas de NO_3, NH_4 e de PO_4 geradas pelos fogos florestais resulta, não só da disponibilidade de referências bibliográficas relativas à carga poluente gerada pelos fogos mas, fundamentalmente, porque o azoto inorgânico (NO_3 e NH_4) e o fósforo inorgânico dissolvido são um importante indicador da reacção de um ecossistema a distúrbios externos, na regulação de processos como o crescimento de plantas e a decomposição de matéria orgânica, fundamentais na avaliação da qualidade de uma massa de água.

A definição dos cenários de simulação foi realizada com o objectivo de reproduzir da melhor forma possível a qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, em função da afluência das cargas poluentes geradas nos fogos florestais que ocorreram no ano de 2003. Por outro lado considerando a elevada variabilidade associada aos efeitos dos fogos florestais nas massas de água, definiram-se diferentes cenários de simulação que, de acordo com a revisão bibliográfica realizada, são susceptíveis de determinar alterações da qualidade da água da albufeira.

Os primeiros eventos intensos de precipitação que ocorrem após um fogo florestal condicionam a afluência das cargas poluentes às linhas de água, e consequentemente o efeito que o fogo florestal terá na qualidade das mesmas. Um evento intenso de precipitação pode ter como consequência a afluência de quase toda a carga de compostos químicos existentes nas cinzas depositadas no solo durante o fogo florestal. O cenário mais conservativo que foi simulado considera a afluência à albufeira de Castelo do Bode, com o primeiro evento de

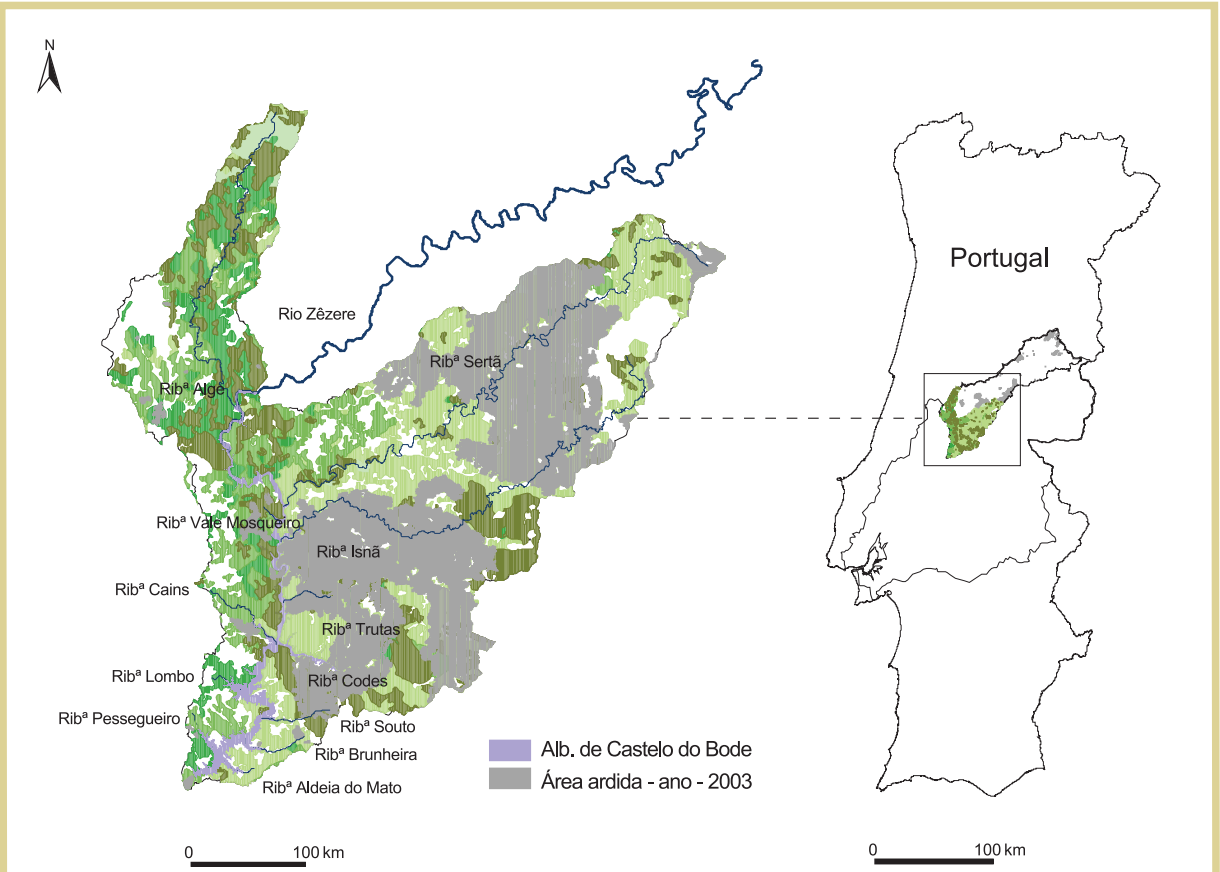


FIGURA 2 – Área de estudo seleccionada para a avaliação do efeito dos fogos florestais.

precipitação que ocorreu em 24 horas, de uma carga elevada de NO_3, PO_4, e NH_4 que, de acordo com os resultados das simulações efectuadas, determinaram a degradação da qualidade da água da albufeira, diminuindo os valores da concentração de OD, durante aproximadamente oito meses, e aumentando significativamente os valores da concentração de nutrientes. Apesar de conservativa, a definição deste cenário baseia-se na composição química de cinzas resultantes de fogos florestais, pelo que se deve inferir que um fogo florestal pode de facto mobilizar as cargas de azoto inorgânico e de fósforo inorgânico.

Contudo, os resultados obtidos com os cenários de simulação considerados indicam que a qualidade da água para consumo humano de grandes albufeiras, como Castelo do Bode, cuja bacia hidrográfica foi afectada por fogos florestais, não deverá ser colocada em risco pela afluência de cargas adicionais de nutrientes, de compostos orgânicos, ou pelo aumento dos valores de pH dos caudais superficiais que drenam áreas ardidas. No entanto, as massas de água de reduzida dimensão poderão apresentar valores elevados de NO_3, PO_4, NH_4 e, consequentemente, de biomassa algal, que poderão modificar o estado trófico das mesmas.

Deve referir-se que, mesmo nos cenários de simulação menos conservativos, se verificou um incremento dos valores da concentração de NO_3, PO_4 e de NH_4, na albufeira de Castelo do Bode, que apesar de não ser suficiente para degradar significativamente a qualidade da água da albufeira, uma vez que os valores da concentração de OD se mantiveram inalterados, poderá a médio/longo prazo contribuir para a eutrofização da mesma.

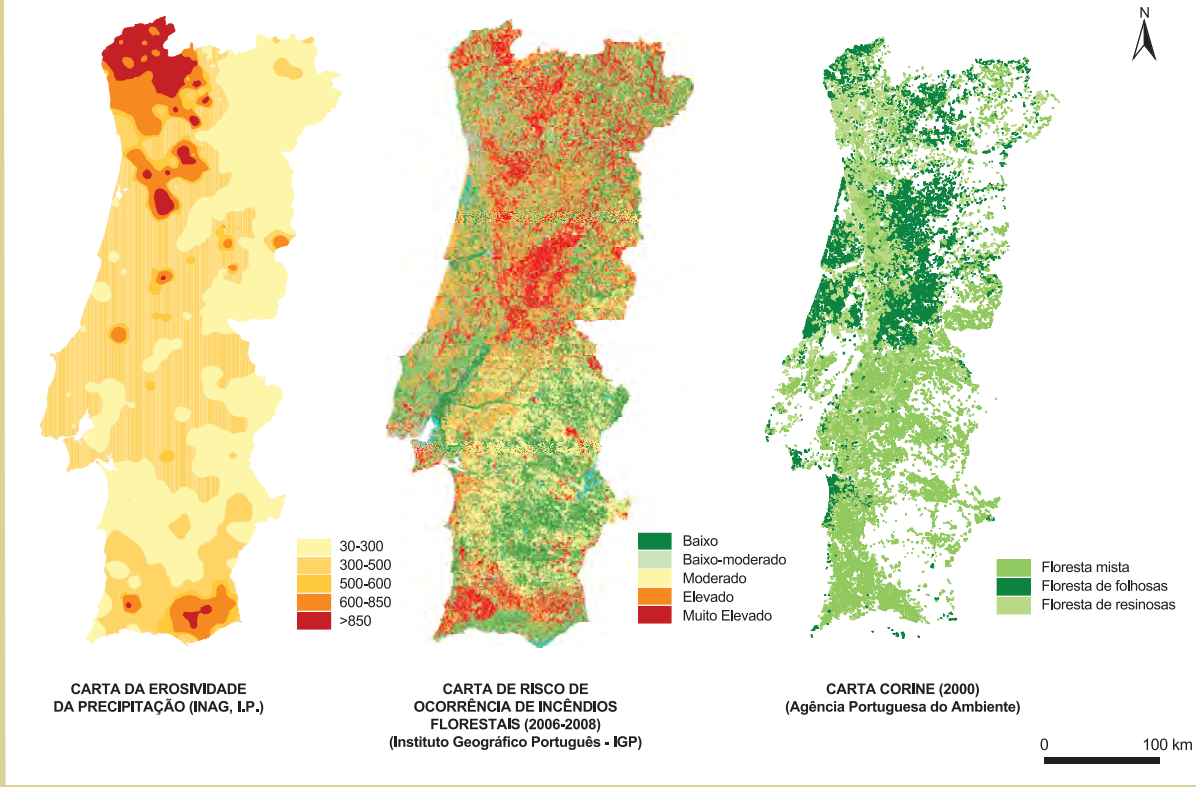


FIGURA 4 – Carta de Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais (2006-2008) - Carta Corine 2000 - Carta da Erosividade da Precipitação

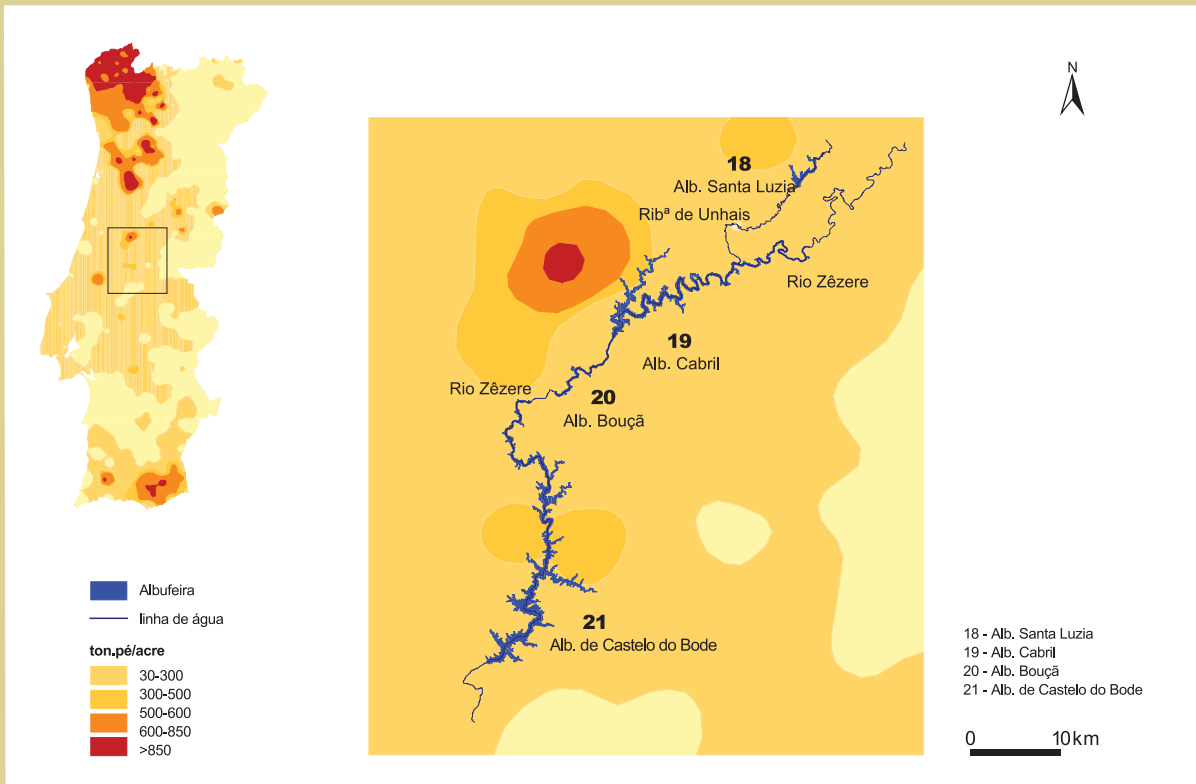


FIGURA 5 – Albufeiras seleccionadas na bacia hidrográfica do rio Tejo como as mais propícias a serem afectadas por fogos florestais.

Albufeira de Castelo do Bode. Incêndio florestal (em cima)
e recolha de água por areonave para combate a incêndio (em baixo).

SECÇÃO XVI

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO EM ALBUFEIRAS, 2008

Gestão da Qualidade da Água

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO EM ALBUFEIRAS, 2008
Gestão da Qualidade da Água

No actual enquadramento dado pela Directiva-Quadro da Água, a qualidade das massas de água superficial assume particular relevância nos objectivos definidos para os Estados-Membros da União Europeia, tendo-se estabelecido como objectivo central o atingir do bom estado químico e ecológico até ao ano de 2013. Neste contexto o problema da eutrofização de águas doces e marinhas superficiais é considerado um tópico ambiental determinante, encontrando se por isso expressa na política ambiental europeia como um dos focos centrais da protecção da qualidade da água.

A disponibilidade de nutrientes como o azoto e o fósforo é determinante para o problema da eutrofização sendo o fósforo habitualmente o nutriente limitante em águas doces. São as fontes antropogénicas de nutrientes as consideradas responsáveis pela eutrofização, sendo por isso o estudo dos factores que influenciam as descargas de nutrientes para as massas de água essencial para a compreensão do processo de eutrofização em lagos e albufeiras.

Em Portugal, o problema da eutrofização de massas de água superficiais tem sido centrado principalmente em albufeiras e estuários. No caso de albufeiras, as limitações aos usos da água que podem resultar da degradação da qualidade da água representam um problema real, principalmente se tivermos em conta que uma parte significativa da população portuguesa é abastecida a partir de captações localizadas em albufeiras.

Este enquadramento foi determinante para o desenvolvimento do estudo de avaliação e quantificação de cargas de fósforo afluente a albufeiras de Portugal Continental, no qual foram incluídas um total de 54 albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo. O trabalho realizado teve seis componentes essenciais:

- Identificação e recolha de elementos caracterizadores de Albufeiras
- Recolha de dados de qualidade da água e classificação do Estado trófico
- Delimitação cartográfica das bacias drenantes de cada albufeira

- Quantificação de cargas de origem urbana
- Quantificação de cargas de origem difusa
- Simulação da concentração de fósforo em cada albufeira.

QUADRO 1 – Albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo consideradas no estudo.

Açafal	Castelo do Bode	Janeiro de Cima	Pracana
Açude Furadouro	Ciborro	Magos	Sabugueiro
Açude Gameiro	Corgas	Maranhão	Santa Águeda (Marateca)
Açude Poio	Cova do Viriato	Meimoa	Santa Luzia
Açude Ponte da Pedra	Covão do Ferro	Michões	Tabueira
Açude Racheiro	Crato	Minutos	Toulica
Apartadura	Divor	Montargil	Vale de Figueira
Belver	Escarigo	Negrelinho	Vale do Cobrão
Bezágueda	Fratel	Patudos	Vale Pocos
Bouça	Freixeirinha	Penedo Redondo (Salles Viana)	Venda Velha
Cabril	Furadouro	Penha Garcia	Vinhas
Caldeirão 1	Gafete	Pisco	Zambujo
Capinha	Gameiro	Poio	
Castanheira	Idanha	Póvoa e Meadas	

A escolha das metodologias implementadas foi determinada em função dos objectivos estabelecidos para o trabalho. Assim, a reprodutibilidade e possibilidade de avaliação de resultados para o maior número de albufeiras possível, tendo em conta não só à dimensão da área de estudo mas principalmente as lacunas de informação existentes, consistiu um dos pressupostos essenciais na escolha desses métodos.

Todo o estudo foi estruturado e desenvolvido em sistema de informação geográfica (SIG) e em folha de cálculo. A utilização destas ferramentas permitiu, no caso do SIG, a georeferenciação de todos os dados recolhidos, utilizados e resultados produzidos ao longo do estudo potenciando assim a sua utilização futura. Por seu turno o recurso a folha de cálculo tornou possível beneficiar das capacidades de processamento de grandes quantidades de informação tendo sido ainda possível implementar, de forma totalmente integrada, a simulação de todas as albufeiras avaliadas, facto que permitiu inclusivamente a quantificação da influência de determinadas albufeiras nas concentrações de fósforo de albufeiras a jusante, como é por exemplo o caso das albufeiras de Fratel e Belver.

O modelo implementado permite considerar alternativamente, para a simulação da concentração de fósforo na albufeira de jusante, apenas as cargas e escoamentos com origem na sua bacia própria, as cargas e escoamentos afluentes à albufeira localizada a montante ou mesmo os resultados de simulação de concentração obtidos para a albufeira de montante. A principal vantagem desta abordagem de simulação, além da análise e integração de informação que lhe está associada, é a de permitir avaliar, numa perspectiva de gestão da qualidade da água, a importância de bacias drenantes de albufeiras situadas a montante de cada sistema simulado.

Para a classificação do estado trófico de acordo com os critérios definidos pelo Instituto da Água, foram analisados dados de qualidade da água disponíveis através do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH) relativos aos anos hidrológicos entre 1995/1996 e 2005/2006. Dado que não

Rio Tejo. Ocupação urbana (em cima)
e agrícola (em baixo) em zonas adjacentes.

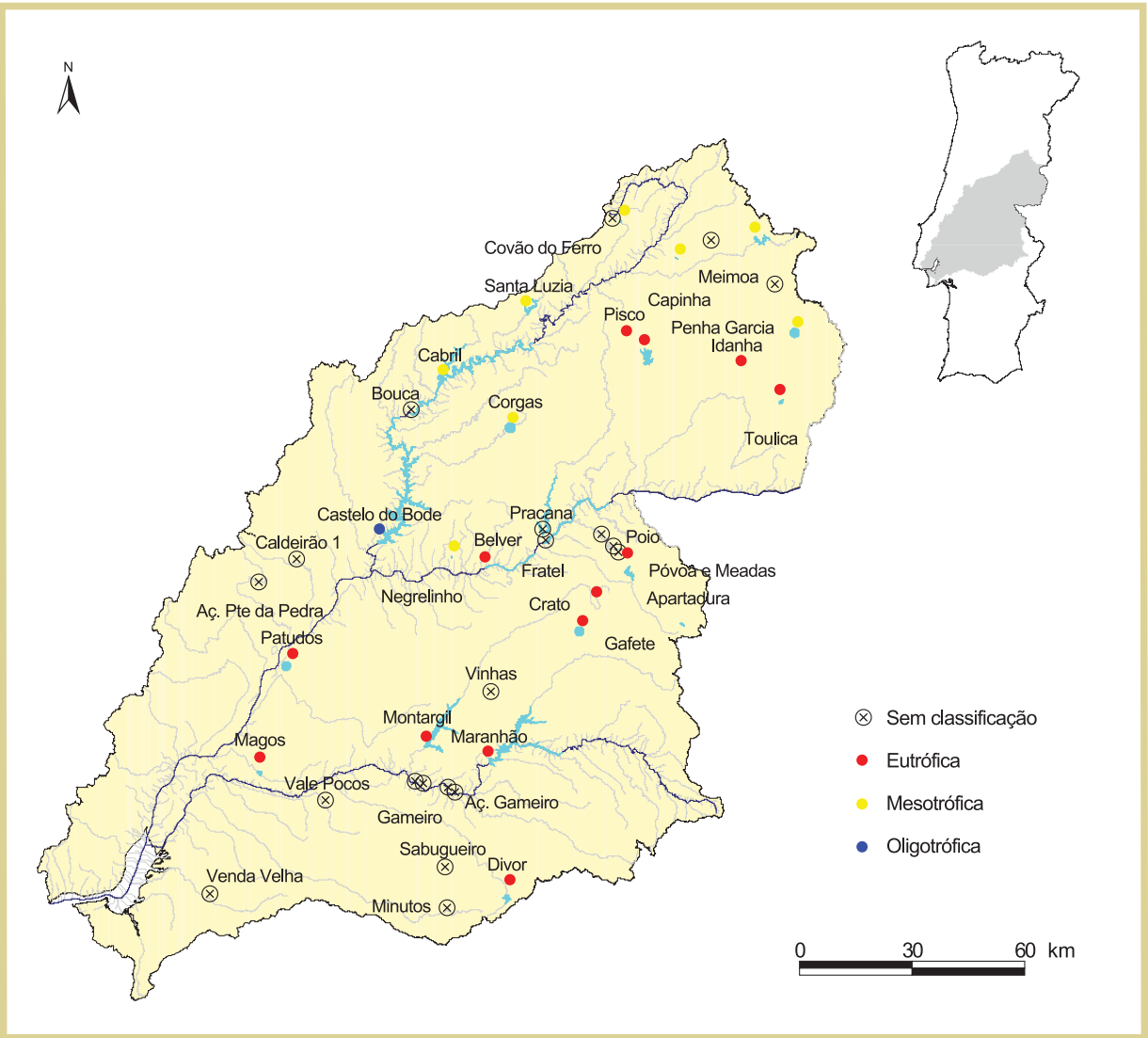


FIGURA 1 – Albufeiras estudadas e classificação do estado trófico.

existem dados disponíveis para todas a albufeiras identificadas, a classificação do estado trófico apenas foi possível para 26 de entre 54 albufeiras da bacia hidrográfica do rio Tejo.

As cargas fósforo de origem urbana afluentes a cada albufeira foram estimadas em função da distribuição da população por concelho. Para as cargas de origem difusa foram utilizadas duas abordagens, ambas com base em cartografia de uso do solo, no caso a Carta Corine Land Cover 2000.

Na primeira abordagem os fluxos de massa a partir da área de drenagem foram calculados através da multiplicação do escoamento pela concentração de poluente no mesmo. Na segunda, de utilização mais corrente, é utilizado o método de em que se recorre a cargas unitárias ou seja, cargas de poluente exportado por unidade de área associadas a cada categoria de uso do solo.

A carga poluente total afluente a uma secção de referência é obtida pela multiplicação das cargas unitárias pelas áreas parciais de cada categoria de solo na área drenante em estudo. Os valores de concentração

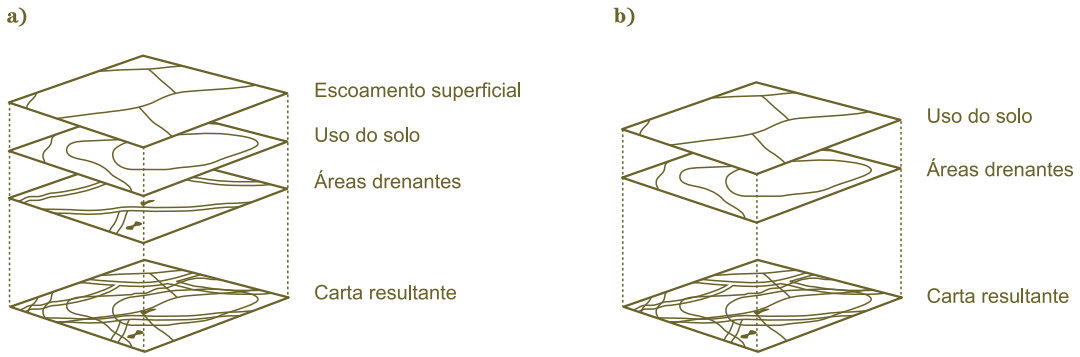


FIGURA 2 – a) Cartografia e o cálculo de poluição difusa com base na concentração de fósforo no escoamento.
b) Cartografia e o cálculo de cargas de poluição difusa com cargas unitárias.

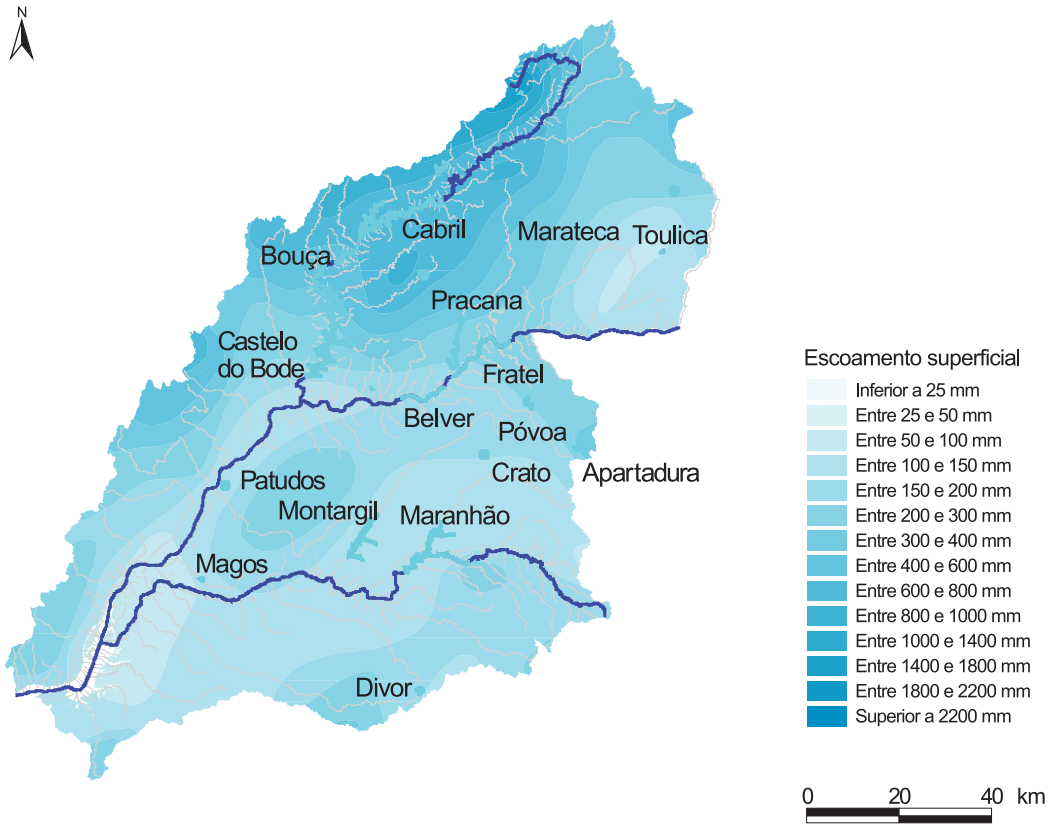


FIGURA 3 – Carta de escoamento na bacia hidrográfica do Tejo (Fonte: Atlas do Ambiente).

de fósforo no escoamento e a cargas unitárias associadas a cada classe de uso do solo obtidas em literatura cientifica sobre o tema. No que se refere à simulação da concentração de fósforo nas albufeiras, considerouse uma abordagem em que se admite que a massa de água a simular se pode considerar como

Monitorização da qualidade da água numa albufeira.

totalmente misturada e com volume constante ao longo do tempo. A concentração de fósforo é associada a uma determinada taxa de decaimento, não se considerando qualquer interacção entre diferentes descritores de qualidade da água. Apesar da abordagem considerada não reflectir os períodos de estratificação térmica e assim também de outros descritores de qualidade da água, a utilização deste tipo de modelos, designados de mistura completa, pode ser justificada pela escala temporal de simulação adoptada, resultado essencialmente do estudo se basear em concentrações e caudais afluentes médios anuais.

Para a avaliação dos resultados de concentração de fósforo atingidos com recurso à metodologia de modelação utilizada foram utilizados dados obtidos através do SNIRH bem como dados fornecidos pela LABELEC-EDP. Em geral os resultados apontam para um bom acordo entre os resultados de modelação e as concentrações observadas, se considerarmos os dados obtidos através do SNIRH. Esta aproximação dos resultados aos valores médios observados aponta para que as metodologias utilizadas possam ser consideradas adequadas a este tipo de trabalhos.

Do trabalho desenvolvido podem destacar-se as seguintes conclusões:

– Os dados de qualidade da água disponíveis, mesmo de albufeiras mais importantes, são muitas vezes insuficientes para uma caracterização adequada da qualidade da água;

– Existem significativas diferenças entre os dados de concentração de fósforo total obtidos através do SNIRH e da LABELEC-EDP, diferenças essas que apontam, em algumas situações, para estados de qualidade da água distintos;

– O conhecimento sobre as cargas de fósforo total de origem tópica em Portugal é muito limitado, sendo particularmente reduzido no caso de origens industriais; no caso de origens urbanas são também limitados os dados sobre a localização geográfica das descargas e igualmente reduzido o conhecimento sobre caudais descarregados;

– São insuficientes os estudos de campo, em território nacional, sobre as cargas de origem difusa;

– A implementação de uma grelha de critérios físico químicos para a classificação do estado trófico, representa ainda uma importante ferramenta de diagnóstico da qualidade da água em albufeiras;

– As metodologias de quantificação de fósforo afluente às massas de água superficiais, em função dos resultados obtidos, são consideradas adequadas para os objectivos que são propostos ou seja, para planeamento e identificação de principais causas de eutrofização; para o efeito devem no entanto ser melhorados os dados relativos a cargas de origem urbana;

– As cargas de origem urbana foram consideradas como a principal limitação no estudo realizado, tendo em conta a influência que se lhes foi atribuída nos resultados de concentração de fósforo total simulada nas albufeiras; as cargas de origem urbana foram consideradas sobrestimadas.

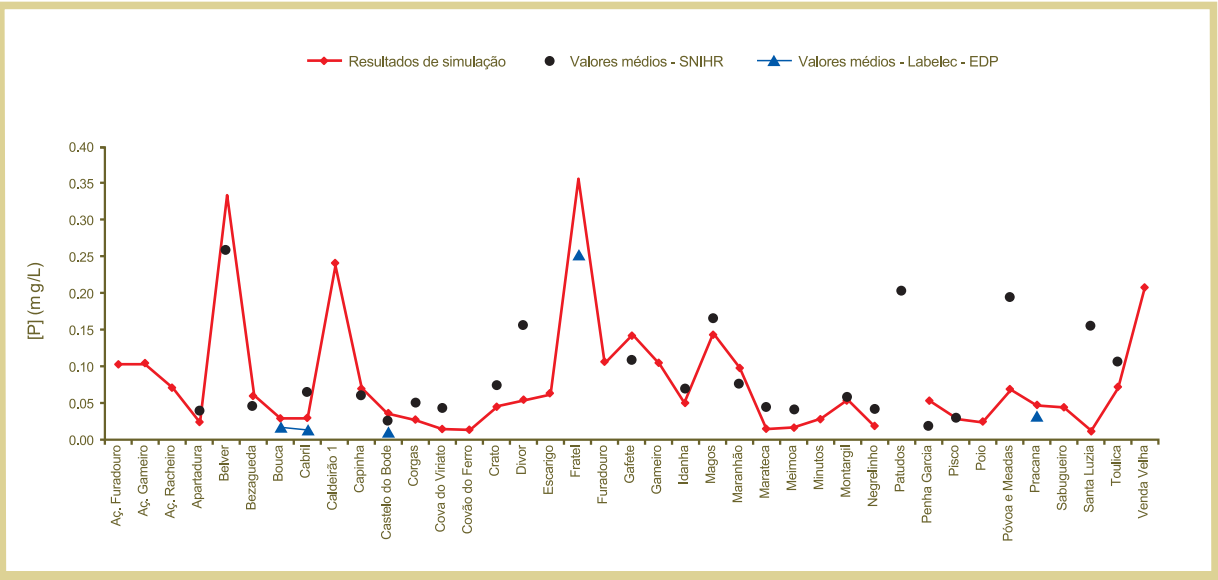


FIGURA 4 – Concentrações médias de fósforo total, simuladas e observadas.

SECÇÃO XVII

MODELAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ALBUFEIRA DE SÃO DOMINGOS – ARH DO TEJO, I.P., 2009

Gestão da Qualidade da Água

MODELAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ALBUFEIRA DE SÃO DOMINGOS – ARH DO TEJO, I.P., 2009
Gestão da Qualidade da Água

Modelação da Qualidade da Água da Albufeira de São Domingos – ARH do Tejo, I.P., 2009 – Gestão da Qualidade da Água. O trabalho de modelação matemática da qualidade da água da albufeira de São Domingos, perto de Peniche, surgiu no seguimento de uma solicitação efectuada pela Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. (ARH do Tejo, I.P.) ao Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para apoiar a tomada de decisão relativamente ao licenciamento da ampliação do sistema de saneamento do Paço.

A ampliação do sistema de saneamento do Paço integra-se no Sistema de Saneamento dos Municípios da Região Oeste, e tem como objectivo a recolha e tratamento das águas residuais produzidas em parte dos concelhos de Peniche e da Lourinhã. A implementação deste sistema tem também como objectivo desactivar as fossas sépticas colectivas existentes na área de estudo.

No âmbito do estudo desenvolvido foi efectuada a avaliação das potenciais alterações sobre a qualidade da água da albufeira de São Domingos, considerando a ampliação da rede de drenagem, o tratamento terciário das águas residuais e a descarga do efluente final num afluente do rio de São Domingos, que aflui à referida albufeira.

Face à necessidade de se analisar o problema da qualidade da água da albufeira de São Domingos num prazo curto, e atendendo aos objectivos apresentados pela ARH do Tejo, I.P., entendeu-se adequado proceder a uma avaliação que se baseou na simulação matemática da qualidade da água da albufeira considerando um modelo de mistura completa, que permitiu simular as alterações que poderão ocorrer nessa massa de água, em função da ampliação do sistema de saneamento do Paço.

Neste tipo de modelos é assumido, de acordo com a sua própria designação, que a massa de água é permanentemente sujeita a mistura completa. Na abordagem à mistura completa de uma albufeira, assume-se que a concentração de um determinado constituinte é aproximadamente uniforme, ao longo do tempo, em toda a massa de água.

Albufeira de São Domingos. Vista panorâmica, com a barragem em primeiro plano

Os parâmetros descritores da qualidade da água considerados no exercício de simulação desenvolvido foram a carência bioquímica de oxigénio ao final de cinco dias (CBO_5), o azoto total (N total) e o fósforo total (P total).

Na análise realizada utilizaram-se dados de qualidade obtidos na estação da Rede Nacional de Qualidade da Água (RQA) localizada na albufeira de São Domingos (18B/01), disponíveis através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do Instituto da Água, I.P. (INAG, I.P.). Foram também utilizados dados de qualidade da água referentes ao local onde se encontra a captação de água para consumo humano, na albufeira de São Domingos, obtidos no âmbito das campanhas de monitorização realizadas pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região de Lisboa e Vale do Tejo (CCDRLVT), e pelas empresas Âmbio e Quimiteste.

No estudo de simulação matemática da qualidade da água realizado, e atendendo às características do modelo seleccionado, optou-se por considerar um ano médio, para o qual se admitiu o volume médio mensal da albufeira, correspondente ao período temporal entre os anos de 2000 a 2008, e um caudal afluente médio mensal obtido para igual período de tempo.

As cargas poluentes de origem urbana - de CBO_5, N total e P total - que permitiram caracterizar quer a situação actual, quer a sua projecção para o ano horizonte do projecto, em termos de descarga de águas residuais nas linhas de água afluentes ao rio de São Domingos, provenientes de diferentes lugares dos municípios da Lourinhã e de Peniche, e que se pretendem vir a tratar através do sistema de saneamento do Paço, foram disponibilizadas pela Águas do Oeste S.A..

A caracterização das cargas de N total e de P total, de origem agrícola e florestal, afluentes à albufeira de São Domingos, foram obtidas tendo como base a carta de uso do solo, Corine 2000, e as correspondentes taxas de exportação por unidade de área.

A área de estudo considerada insere-se nas bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste (Região Hidrográfica número 4), que se localiza no litoral-centro de Portugal Continental. A bacia hidrográfica definida pela barragem de São Domingos, com

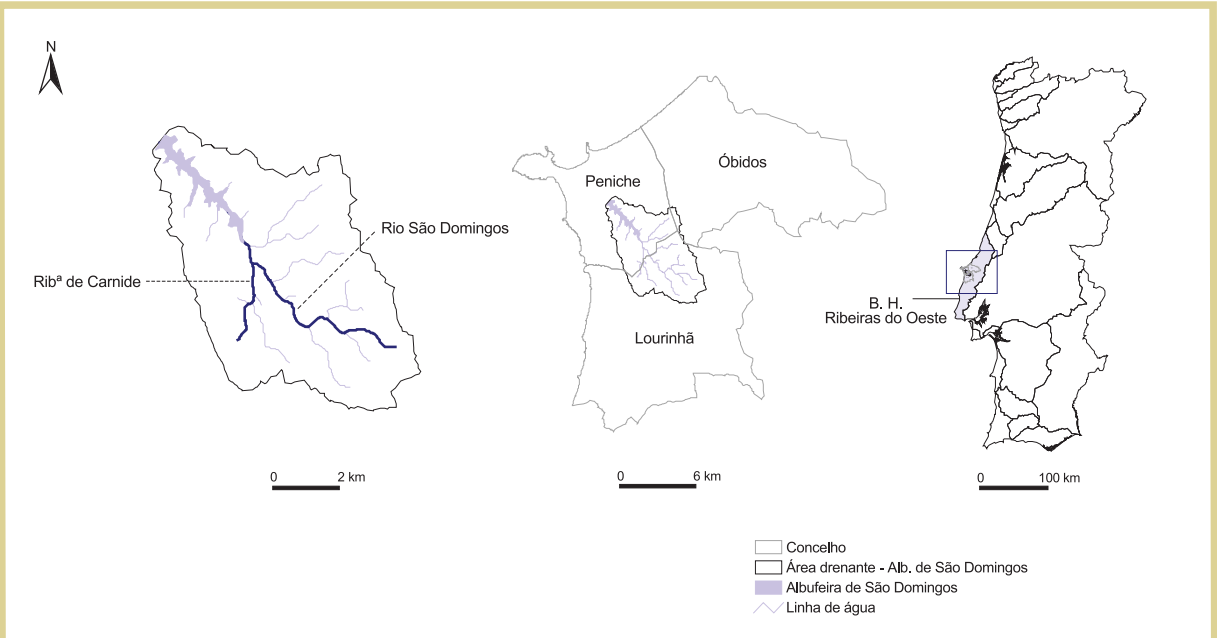


FIGURA 1 – Representação esquemática da área de estudo.

uma área de 3 943 ha, encontra-se distribuída pelos concelhos de Peniche, Lourinhã e Óbidos. A precipitação total anual que ocorre nesta bacia hidrográfica é, em ano médio, da ordem dos 700 mm. O volume médio anual armazenado na albufeira de São Domingos é de 4 485 dam^3, sendo que o volume da albufeira ao NPA (42,7 m) é de 7 900 dam^3.

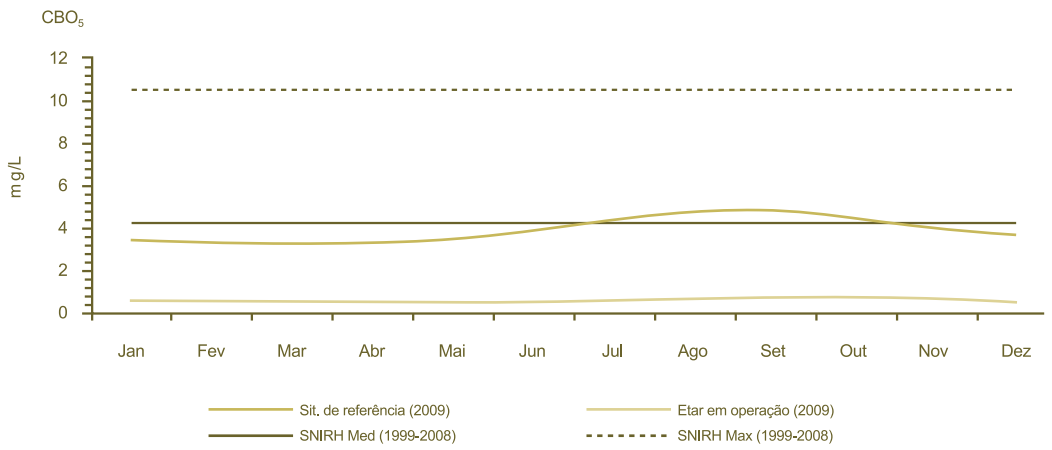


FIGURA 2 – Concentração de CBO_5 - Albufeira de São Domingos (2009).

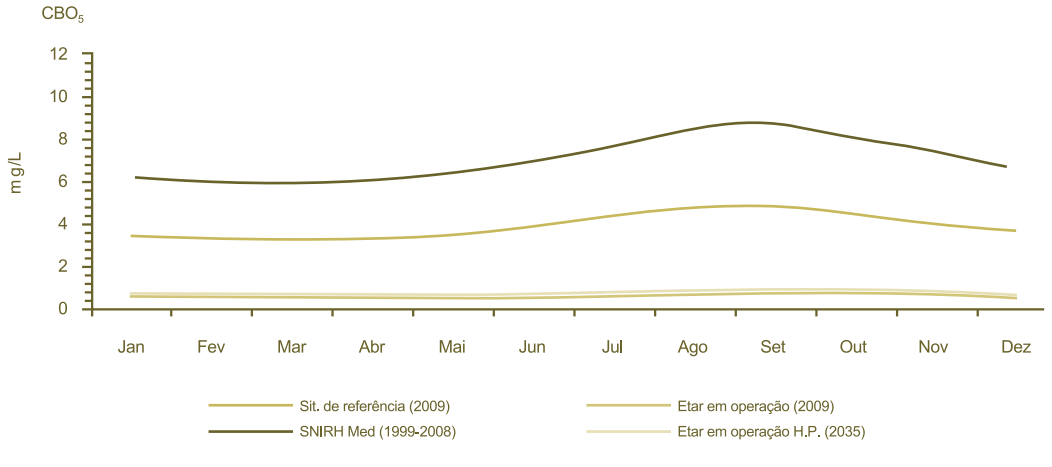


FIGURA 3 – Concentração de CBO_5 - Albufeira de São Domingos (2009 e 2035).

A descarga de cargas poluentes de origem urbana, industrial, agrícola e florestal, tem vindo a degradar substancialmente a qualidade da água da albufeira de São Domingos, facto que é evidenciado pelos elevados valores da concentração de CBO_5, P total e clorofila-a, observados na massa de água. A albufeira encontra-se eutrofizada e, de acordo com a análise efectuada, exposta a descargas poluentes significativas.

Com este estudo concluiu-se que a ampliação do sistema de tratamento do Paço terá como consequência inequívoca a melhoria da qualidade da água da albufeira, relativamente aos parâmetros submetidos a simulação. Adicionalmente, deve também referir-se que se as águas residuais urbanas forem, como previsto, sujeitas a desinfecção, a expectável

redução da contaminação microbiológica da massa de água deverá igualmente contribuir para a melhoria da qualidade da água da albufeira.

Apesar das descargas de N total geradas pelas actividades agrícolas localizadas na bacia hidrográfica da albufeira de São Domingos serem muito significativas, a redução da carga de N total e de P total determinada pelo tratamento terciário das águas residuais urbanas, constituirá uma contribuição importante para a melhoria do estado trófico da albufeira. De facto, a redução da carga de P total, o factor limitante para o crescimento da biomassa algal na massa de água, deverá ter um efeito evidente na melhoria da qualidade da água da albufeira.

A estimativa da população equivalente para o horizonte de projecto, que inclui a contribuição não doméstica estimada para o subsistema (aproximadamente 18 % sobre a população residente, 2 761 habitantes), determina que em 2035 a carga urbana de CBO_5, N total e P total afluente ao sistema de tratamento deverá ser aproximadamente 1,8 vezes superior à carga urbana gerada actualmente. No entanto, apesar do aumento da carga poluente de origem urbana afluente à ETAR, o tratamento terciário das águas residuais urbanas deverá determinar uma melhoria significativa da qualidade da água da albufeira de São Domingos, mesmo comparativamente à situação actual.

Albufeira de São Domingos.

PUBLICAÇÕES

Artigos Científicos com *Referee* internacional

Rodrigues, A. C.; Silva, M. C.; Câmara, A. S.; et al. (1988) – "Dispersion Modelling for a Complex Estuary - The Case of the Tagus", Water Science and Technology, Vol.20, No. 6/7, pp. 271-276.

Câmara, A. S.; Silva, M. C.; Rodrigues, A. C.; et al. (1990) – "A Decision Support System for Estuarine Water Quality Management", Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol. 116, Number 3, May/June.

Silva, M. C.; Quadrado, M. F. L.; Rodrigues, A. C. (1994) – "Water Quality of a Reservoir in the Portuguese Tejo Basin", European Water Pollution Control, Journal of the European Water Pollution Control Association, Vol. 4, No. 4, Elsevier, Amsterdam.

Câmara, A. S.; Neves, J. N.; Muchaxo, J.; Fernandes, J. P.; Sousa, I.; Nobre, E.; Costa, M.; Mil-Homens, J.; Rodrigues, A. C. (1998) – "Virtual environments and water quality management", Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 4, No. 1, March.

Diogo, P., Fonseca, M., Coelho, P., Almeida, M., Mateus, N., Rodrigues, A. C. (2008) – "Reservoir Phosphorous Sources Evaluation and Water Quality Modeling in a Transboundary Watershed", Desalination, vol. 226, 200-220.

Artigos Científicos sem *Referee* internacional

Rodrigues, A. C.; et al. (1985) – "Modelação da dispersão de radionuclideos em rios", Seminário sobre Gestão e Modelação da Qualidade da Água em Rios, LNEC, Lisboa.

Rodrigues, A. C.; et al. (1987) – "Modelo de Transporte de Radionuclideos no Rio Tejo", 1º Congresso do Tejo, Lisboa.

Rodrigues, A. C.; et al. (1989) – "Um Modelo de Apoio à Decisão para a Gestão da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Trancão", Seminário Internacional sobre a "Qualidade da Água - Avaliação e Gestão", Projecto Tejo, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Rodrigues, A. C.; Quadrado, M. F. L.; Silva, M. C. (1992) – "Modelo de Simulação da Qualidade da Água na Albufeira do Cabril", 3ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Aveiro.

Severino, M.; Rodrigues, A. C. (1993) – "Optimização dos perfis de carga no médio Tejo: caso da aplicação de um modelo de qualidade da água", 2º Congresso da Associação Portuguesa dos Engenheiros do Ambiente, Maia, Porto, Fevereiro de 1993.

Neves, J. Nelson; Rodrigues, A. Carmona; Câmara, A. Sousa (1994) – "Virtual Reality and Water Pollution Control", in G. Tsakiris e M. A. Santos, Advances in Water Resources Technology and Management - Second European Conference, EWRA, Balkema, Rotterdam.

Rodrigues, A. C.; Quadrado, F. L.; Nobre, E. N. (1996) – "HQUAL - Um Modelo Dinâmico Interactivo Unidimensional de Qualidade da Água em Rios - Aplicação aos Rios Tejo e Guadiana", 3º Congresso da Água, APRH, Lisboa, Março.

Diogo, P. A.; Rodrigues, A. C. (1997) – "Two-Dimensional Reservoir Water Quality Modeling Using CE-QUAL-W2", IAWQ Conference on Reservoir - Management and Water Supply - An Integrated System, Praga, República Checa, Maio.

Rodrigues, A. C.; Quadrado, F.; Gomes, F. (1998) – "A modelação da qualidade da água como instrumento de apoio à abordagem combinada de controlo da poluição", 4º Congresso da Água, APRH, Lisboa, Março.

Câmara, A. S.; Neves, J. N.; Muchaxo, J.; Fernandes, J. P.; Sousa, I.; Nobre, E.; Costa, M.; Mil-Homens, J.; Rodrigues, A. C. (1998) – "Virtual Tejo - a virtual reality based water quality management system", Hydroinformatics 98, Proceedings, 3ª Conferência Internacional, Editores Vladan Bobovic e Lars Christian Larsen, Danish Hydraulic Institute, Dinamarca, Agosto.

Diogo, P. A.; Rodrigues, A. C.; Rodrigues, A. (1998) – "Real Time Wave Propagation Simulation: Model Implementation for the Tagus River", Proceedings, Hydrosoft 98, Como, Itália, Setembro.

Rodrigues, A. C.; Coelho, P. S.; Diogo, P. A. (2000) – "Monitorização da qualidade da água no âmbito do projecto CICLUS", II Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, Lagos, Fevereiro.

Diogo, P. A.; Rodrigues, A. C.; Coelho, P. S. (2000) – "CE-QUAL-W2 Application On Thermal Discharge Under Tidal Effect", proceedings, Hydrosoft 2000, Wessex Institute of Technology, Estoril, Portugal, Junho.

Diogo, P. A.; Rodrigues, A. C.; Coelho, P. S. (2001) – "Simulação de Descargas Térmicas com o CE-QUAL-W2: Dois Casos de Estudo", V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Aracaju, Brasil, Novembro de 2001.

Coelho, P.S.; Diogo, P.A.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Quadrado, F. (2005) – "Simulação Matemática da Qualidade da Água na Gestão de Bacias Hidrográficas – Albufeira de Castelo do Bode – Implementação do Modelo CE-QUAL-W2", 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, Portugal, Junho.

Coelho, P.S.; Diogo, P.A.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Rodrigues, A C.; Quadrado, F. (2006) – "Influência dos Fogos Florestais na Qualidade da Água da Albufeira de Castelo do Bode", 8.º Congresso da Água, Figueira da Foz, Portugal, Março.

Coelho, P.S.; Diogo, P.A.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Rodrigues, A C.; Quadrado, F. (2006) – "Modelação Matemática de Compostos Orgânicos Voláteis e Semi-Voláteis na albufeira de Castelo do Bode", 8.º Congresso da Água, Figueira da Foz, Portugal, Março.

Diogo, P., Coelho, P., Almeida, M., Rodrigues, A. C. (2007) – "Phosphorous sources and reservoir eutrophication in Portugal", 11th International Specialized Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, Belo Horizonte, Brasil, 27-31 de Agosto.

Comunicações

Rodrigues, A. C. (1986) – "Modelo do Rio Tejo para a Determinação da Contaminação Radioactiva, quer em Funcionamento Normal, quer em Caso de Acidente", apresentação feita nas Jornadas sobre Almaraz, LNEC, Lisboa.

Rodrigues, A. C.; Câmara, A. S.; Remédio, J. M.; Castro, P. P. (1987) – "Modelling Radionuclide Dispersion in the Tagus River", Painel apresentado no Simpósio "Systems Analysis in Water Quality Management", Watermatex 87, IAWPRC, Londres.

Rodrigues, A. C. (1987) – "Modelling Radionuclide Dispersion in the Tagus River", Jornadas de Apresentação dos Estudos no Tejo, promovidas pelo Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear, LNEC, Lisboa.

Rodrigues, A. C. (1995) – "A Water Quality Decision Support Model for the Trancão River Basin", Conferência sobre "Comparative Estuary Management: Tejo and San Francisco Bays", Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa, Junho.

Rodrigues, A. C.; Nobre, E.; Quadrado, F. L. (1996) – "HQUAL - Modelo Dinâmico Interactivo Unidimensional de Qualidade da Água em Rios - Aplicação aos Rios Tejo e Guadiana", Sessão de Apresentação sobre Modelação Matemática da Qualidade da Água em Rios e Albufeiras, INAG, I.P., Lisboa, 27 de Fevereiro. ANO??

Rodrigues, A. C.; Quadrado, F. L. (1996) – "Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras", Sessão de Apresentação sobre Modelação Matemática da Qualidade da Água em Rios e Albufeiras, INAG, I.P., Lisboa, Fevereiro.

Rodrigues, A. C. (1997) – "Water Quality Simulation as a Decision Support Tool in a Urban Polluted River", Seminário do Programa Tempus subordinado ao tema "Management of Urban Drainage: the Role of Hydroinformatics", Universidade Técnica de Praga, República Checa, Fevereiro.

Lacerda, M. A.; Rodrigues, C. M., Rodrigues, R. R., Rodrigues, A. C.; et al. (1997) – "O Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias", INAG, I.P., Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Lisboa, Março, 1997.

Coelho, P.S.; Diogo, P.A.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Quadrado, F. (2005) – "Cenários de Simulação Matemática da Qualidade da Água na Albufeira do Castelo de Bode", Seminário - Implementação do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode - Estudos Complementares, Lisboa, Portugal, Outubro.

Relatórios

Rodrigues, A. C.; Fernandes, T. F.; Remédio, J. M.; Silva, M. C. (1986) – "Modelos de Dispersão Simples para o Estuário do Tejo", Relatório Nº11, Projecto Tejo, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Câmara, A. S.; Silva, M. C.; Ferreira, J. G.; Rodrigues, A. C.; et al. (1987) – "Sistema de Gestão da Qualidade da Água do Estuário do Tejo", Relatório Nº15, Projecto Tejo, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Rodrigues, A. C. (1987) – "Modelos Numéricos de Simulação da Qualidade da Água em Estuários - Uma Revisão Bibliográfica", Relatório Nº21, Projecto Tejo, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Manuais de utilização

Rodrigues, A. C. (1990) – "Modelo de simulação da qualidade da água no rio Alviela", Manual de Utilização, Universidade Nova de Lisboa, FCT, Campus de Caparica.

Rodrigues, A. C.; Nobre, E. (1995) – "HQUAL: modelo dinâmico interactivo unidimensional de qualidade da água em rios", Manual de Utilização, Uninova, Campus de Caparica.

TÍTULO
Aplicações de Modelos Matemáticos nas Bacias Hidrográficas
do rio Tejo e das Ribeiras do Oeste

AUTOR
António Carmona Rodrigues

EDITOR
ARH do Tejo, I.P.

COLABORAÇÃO
Manuel Teixeira de Almeida – UNL
Paulo Alexandre Diogo – UNL
Pedro Santos Coelho – UNL

FOTOGRAFIA
Arquivo da ARH do Tejo, I.P.
Rui Cunha
SIMTEJO
Paulo Alexandre Diogo
António Carmona Rodrigues

DISTRIBUIÇÃO
ARH do Tejo, I.P.,
Rua Braamcamp, 7, 1250-048 Lisboa

1ª EDIÇÃO
Abril © 2010

DESIGN E PRODUÇÃO
Arte Final, Design e Publicidade, Lda./GIO

ISSN
1647-4007

ISBN
978-98996162-6-4

DEPÓSITO LEGAL
310219/10

PUBLICAÇÕES EDITADAS

01 - Rio Tejo - As Grandes Cheias 1800-2007
João Mimoso Loureiro

02 - Estratégia para Protecção e Valorização do Litoral

03 - Referências Históricas da Medição das Alturas Hidrométricas e dos Caudais nos Cursos de Água
João Mimoso Loureiro

04 - O Plano de Ordenamento do Estuário do Tejo - Saberes e Reflexões

05 - Os Planos de Ordenamento da Orla Costeira - Balanço e Reflexões

PRÓXIMAS PUBLICAÇÕES

Os Aquíferos das Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste - Saberes e Reflexões

Aspectos da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo e sua Navegabilidade - Colectânea de Textos

Projecto Setúbal (1980) - Estudo das Águas Subterrâneas da Península de Setúbal
Ed. Luís Ribeiro e Braga dos Santos

Sistemas de Apoio ao Planeamento e Gestão na Bacia do Rio Tejo
Rui Rodrigues e Cláudia Brandão

ARH TEJO
Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P.

Rua Braamcamp, nº 7 • 1250-048 Lisboa • PORTUGAL
Telf.: +351 211 554 800 • Fax: +351 211 554 809
www.arhtejo.pt