

SISTEMA DE ALERTA E PREVISÃO PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS BALNEARES

Perfis de Água Balnear de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras

Cláudia N. VIEGAS

Eng^a Ambiente, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, 218419836, claudia.neto@ist.utl.pt

Rodrigo FERNANDES

Eng^o Ambiente, Mestre, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, 218417397,

rodrigo.maretec@ist.utl.pt

Eduardo JAUCH

Eng^o Agrónomo, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, 218419836, eduardo.jauch@ist.utl.pt

Eduardo AIRES

Eng^o Informático, HIDROMOD, Rua Rui Teles Palhinha n^o 4, 2740-278, Porto Salvo, 218486013

eduardo.aires@hidromod.com

Paulo CHAMBEL

*PhD Eng^a. Ambiente, HIDROMOD, Rua Rui Teles Palhinha n^o 4, 2740-278, Porto Salvo,
218486013, paulo.chambel@hidromod.com*

Catarina LOPES

Mestre Eng^a Química, SANEST, Estrada Nacional 247, 750-642 Cascais, 214860030,

clopes@sanest.pt

Ramiro NEVES

PhD Eng^a Mecânica, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, 218417397, ramiro.neves@ist.utl.pt

RESUMO

No âmbito da nova directiva das Águas Balneares, Directiva 2006/07/CE, a SANEST - Saneamento da Costa do Estoril S.A., tomou a iniciativa de criar os perfis de água balnear de Carcavelos (Concelho de Cascais), e Torre e Santo Amaro (Concelho de Oeiras) que incluem um sistema de alerta e previsão, para auxílio das entidades responsáveis na gestão do risco associado a eventos de poluição. Este sistema de alerta e previsão, desenvolvido pelo Maretec-Instituto Superior Técnico (IST), inclui o envio de alertas por e-mail e SMS, e a previsão diária da qualidade das águas balneares. O sistema foi testado durante a época balnear de 2011, de forma a entrar em funcionamento na época balnear de 2012.

O sistema de previsão e previsão tira partido das ferramentas de modelação (MohidWater), dos dados da monitorização efectuada ao longo do ano na Costa do Estoril, e das estações automáticas, produzindo diariamente a previsão da qualidade da água balnear, quantificando o risco de contaminação a que esta está exposta. Desta forma, é possível prever e/ou identificar atempadamente a ocorrência de eventos de poluição, possibilitando a tomada de medidas de minimização, como o desaconselhamento a banhos. Foram desenvolvidas ferramentas, serviços e *gadgets* para partilha e publicação de dados, reunidos no portal lenvis, www.lenvis.eu, que permitem aos utilizadores utilizar e consultar informação relativa às águas balneares. Durante a fase de testes foram efectuadas reuniões e contactos frequentes com as várias entidades, recolhendo recomendações aos desenvolvimentos efectuados e à emissão de alertas, de forma a adequar o sistema às suas necessidades.

Palavras-chave: Sistema de alerta e previsão, risco de contaminação, perfil de água balnear, modelação, *gadgets* e ferramentas.



1 INTRODUÇÃO

A implementação de Perfis de Água Balnear e dos sistemas de previsão e alerta, surge na sequência da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 135/2009, que transpõe para a legislação nacional a Nova Directiva das Águas Balneares (Directiva 2006/7/CE), que ao contrário da anterior Directiva 76/160/CE que tinha um carácter punitivo, e classificava as águas balneares de acordo com os resultados do programa de monitorização, tem um carácter pró-activo e para além de avaliar a qualidade das águas balneares, pretende evitar a exposição do banhista à poluição, através da criação de um “Perfil da Água Balnear”.

No âmbito da nova directiva das Águas Balneares, a SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S.A. (SANEST) tomou a iniciativa de criar os perfis de água balnear das praias de Carcavelos no Concelho de Cascais, e Torre e Santo Amaro, no Concelho de Oeiras, e implementar um sistema de alerta e previsão, para auxílio das entidades responsáveis na gestão do risco associado a eventos de poluição. Segundo o anexo V do Decreto-lei n.º 135/2009 os perfis de Águas Balneares devem incluir:

- a) Descrição das características físicas, geográficas e hidrológicas das águas balneares e de outras águas de superfície na bacia drenante para a água balnear que possam ser causa de poluição, que sejam relevantes para efeitos de aplicação da directiva e que constem da Lei da Água aprovada pela Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro;
- b) Identificação e avaliação das causas da poluição que possam afectar as águas balneares e prejudicar a saúde dos banhistas;
- c) Avaliação do potencial de proliferação de cianobactérias;
- d) Avaliação do potencial de proliferação de macroalgas e/ou de fitoplâncton;
- e) Pelas seguintes informações, se a avaliação feita nos termos da alínea b), demonstrar que existe um risco de poluição de curta duração:
 - Natureza, frequência e duração esperadas da poluição de curta duração prevista;
 - Dados sobre quaisquer causas de poluição remanescentes, incluindo as medidas de gestão tomadas e o calendário para a sua eliminação;
 - Medidas de gestão tomadas durante os incidentes de poluição de curta duração e a identificação e contactos dos organismos responsáveis pela adopção dessas medidas;
- f) Localização do ponto de amostragem.

A classificação das águas balneares tem em conta os resultados da monitorização (Quadro 1), classificando a qualidade da água de acordo com concentração dos indicadores e com a probabilidade de ocorrência de contaminação (percentil 90 ou 95). No âmbito da nova directiva das águas balneares são classificadas pela autoridade competente, o INAG, I.P., como Más, Aceitáveis, Boas ou Excelentes, no final da época balnear, com base no conjunto de dados sobre a qualidade das águas balneares recolhidos durante a época balnear transacta e as três (para águas balneares costeiras) épocas balneares anteriores.

Para além desta classificação foi decidido pela Comissão Técnica de Acompanhamento do Decreto-Lei n.º 135/2009, a realização de uma outra avaliação, classificando as amostras pontuais efectuadas ao longo da época balnear. Segundo esta metodologia as águas balneares são classificadas como “água própria para banhos”, ou “água imprópria para banhos”, segundo os limites, apresentados no Quadro 2.

As entidades nacionais responsáveis pelo processo de elaboração dos Perfis de Águas Balneares são as Administrações de Região Hidrográfica (ARH), contando com o importante contributo de diversas entidades, nomeadamente, municípios, capitánias, ARS Lisboa e empresas municipais.

A nova Directiva das Águas Balneares refere que caso as águas balneares estejam expostas a acidentes de poluição de curta duração, para que seja garantida a qualidade das águas balneares e a protecção dos banhistas é necessário que:

i) Estejam a ser tomadas medidas de gestão adequadas, incluindo a vigilância, os sistemas de alerta precoce e a monitorização, para evitar a exposição dos banhistas através de uma advertência, e se necessário, de um desaconselhamento ou interdição da prática balnear;

ii) Estejam a ser tomadas medidas de gestão para prevenir, reduzir ou eliminar as causas da poluição;

Desta forma as entidades gestoras deverão ter a capacidade de prever os acidentes de alerta e avisar os banhistas desaconselhando os banhos, e se necessário hastear a bandeira vermelha.

Para além da previsão da qualidade das águas balneares um outro objectivo da nova directiva é informar os utilizadores das praias, exigindo que o público seja informado em caso de ocorrência de acidentes de poluição. Para além disso a nomeação de praias também passa pela participação do público, uma vez que o público poderá solicitar que uma praia que não seja classificada como “praia oficial” o venha a ser, o que acontece com a Praia de Santo Amaro de Oeiras que está agora em estudo para vir a ser considerada “praia oficial”.

Quadro 1 Limites de qualidade para a classificação da qualidade das águas, considerados pela Nova Directiva das Águas Balneares (anexo I do Decreto-Lei n.º 135/2009)

Parâmetro	Classificação			Método
	Excelente	Boa	Aceitável	
Enterococos Intestinais (ufc/100ml)	100 (*)	200 (*)	185(**)	ISO 7899 1 ou ISO 7899-2
Escherichia coli (ufc/100ml)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	ISO 9308 3 ou ISO 9308 1

(*) Com base numa avaliação de percentil 95. (**) Com base numa avaliação de percentil 90.

Quadro 2 Limites de qualidade para a classificação das amostras pontuais

Parâmetro	Classificação
	Águas próprias para banhos
Enterococos Intestinais (ufc/100ml)	350
Escherichia coli (ufc/100ml)	1200

2 METODOLOGIA

A implementação do sistema de alerta é o resultado final de todo o trabalho desenvolvido no âmbito da definição dos perfis de água balnear destas praias. Para esse efeito, foi recolhida toda a informação relativa às águas balneares e às águas das ribeiras que afluem ao longo da Costa do Estoril que foi sendo recolhida pela SANEST no âmbito dos estudos de monitorização das praias e ribeiras da Costa do Estoril, e identificados e quantificados todos os factores que podem provocar acidentes de poluição de curta duração nas praias, como a ocorrência de chuvas, as descargas das ribeiras e a eficácia dos sistemas de drenagem de águas pluviais e residuais, e a localização dos seus principais órgãos como as estações elevatórias. Durante todo o desenvolvimento dos perfis de praia e implementação do sistema de alerta foi fundamental a realização de várias reuniões com as diferentes entidades com responsabilidade e interesse nestas águas balneares, como a ARH-Tejo, SANEST, Câmara Municipal de Cascais, Câmara Municipal de Oeiras, SMAS-Oeiras e Amadora, Águas de Cascais, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, ABAE, Agência Cascais Atlântico e escolas de surf, entre outras. Nestas reuniões, foram debatidas várias ideias, problemas e soluções, e identificados os factores mais relevantes na qualidade das águas balneares e a melhor forma de transmitir e partilhar informação entre e para todos os utilizadores, incluindo os surfistas e banhistas.

Dada a localização destas águas balneares, junto a zonas urbanas e numa linha de costa irregular, com a existência de baías, e condições hidrodinâmicas fortemente influenciadas pelas correntes oceânicas e de maré, pela descarga do Rio Tejo e das ribeiras da Costa do Estoril e outros factores como as condições atmosféricas, foi fundamental utilizar ferramentas de

modelação. Desta forma, foi utilizado o modelo MohidWater (www.mohid.com), desenvolvido pelo MARETEC-IST, para simular e prever a qualidade destas águas balneares.

A instalação de 4 estações hidrométricas nas ribeiras mais próximas destas praias: Marianas, Sasseiros, Laje e Barcarena; foi essencial na implementação do sistema de alerta. Complementando todo este trabalho de implementação e validação do sistema de alerta foram desenvolvidas ferramentas para partilha e publicação de dados, com uma importante componente tecnológica com a criação de serviços e gadgets, reunidos no portal lenvis, em www.lenvis.eu, que permitem aos utilizadores partilhar, utilizar e consultar informação relativa às águas balneares.

Este sistema foi testado durante toda a época balnear de 2011, e contou com a ocorrência de alertas reais (ocorridos após eventos de chuvas) essenciais para testar a eficácia do sistema de alerta por SMS.

Durante a época balnear de 2011 este sistema esteve em teste e validação de várias formas:

- Validação dos resultados das previsões efectuados pelo modelo MOHIDWATER, comparando os resultados obtidos com os dados da monitorização;
- Comparação dos riscos de contaminação estimados, com os resultados de má qualidade obtidos na monitorização das praias;
- Verificação da emissão de alertas junto de todos os utilizadores identificados;
- Apresentação de novos gadgets e formas de partilhar e visualizar informação, aos vários utilizadores, com espaço para utilização dos gadgets, debate e partilha de ideias.

Um outro objectivo da nova directiva é informar os utilizadores das praias. Desta forma este estudo teve como objectivo melhorar a comunicação entre os vários utilizadores das águas balneares, desde o público em geral até aos utilizadores profissionais, como as entidades responsáveis pela monitorização da qualidade das águas balneares. Para tal várias reuniões foram realizadas com os vários utilizadores, de forma a discutir a problemática da qualidade das águas balneares, ouvir as necessidades e preocupações de todos os utilizadores, e tirar partido do conhecimento particular de cada um deles sobre estas águas balneares. Um dos grupos de utilizadores identificado foram os surfistas que conhecem estas águas balneares de um outro ponto de vista, e durante todo o ano.

3 CASO DE ESTUDO

As águas balneares de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras localizam-se na Costa do Estoril (Figura 1), que é pontuada pela localização de várias zonas balneares, mas também da descarga de várias ribeiras. A qualidade das águas balneares é qualificada tendo em conta os resultados da monitorização, no entanto os resultados demoram cerca de 24h a ser obtidos, o que faz com que os banhistas possam estar expostos a contaminação fecal. A nova Directiva das Águas Balneares tem em conta esta limitação, impondo a implementação de um sistema de previsão e alerta para a qualidade das águas balneares de forma a evitar a exposição dos banhistas a episódios de contaminação fecal.

O estudo efectuado para a implementação destes perfis de água balnear mostrou que as descargas das ribeiras ao longo da Costa do Estoril são a principal causa de contaminação das águas balneares. As ribeiras desagüam ao longo da linha de costa, mas o caudal de algumas das ribeiras é controlado junto à foz, de forma a minimizar o impacto da sua descarga na zona costeira. O caudal das ribeiras das Marianas e Sasseiros é controlado e monitorizado com estações hidrométricas automáticas junto à foz, para que estas ribeiras não provoquem eventos de poluição fecal na praia. Para controlar o caudal das Ribeiras da Laje e Barcarena foram colocadas 2 estações hidrométricas, em pontos sem interferência de maré, um pouco afastados da foz. Com o estudo efectuado na implementação dos perfis de praia, a partir dos resultados da monitorização efectuada e recorrendo a ferramentas de modelação (MohidWater) foi possível

determinar valores de nível e caudal, a partir dos quais as ribeiras poderão provocar eventos de contaminação fecal nas praias.

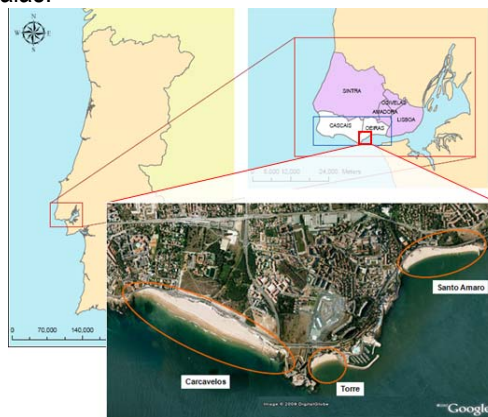


Figura 1 Localização das Águas Balneares de Carcavelos, Torre e de Santo Amaro de Oeiras. Imagem aérea (Fonte: www.Maps.live.com, 2009)

3.1 Praia Carcavelos

A Praia de Carcavelos, localizada no Concelho de Cascais, tem um areal de cerca de 1,3km, é limitada a Oeste pela foz da Ribeira das Marianas, e a Este pelo Forte de São Julião da Barra. Esta praia tem vários restaurantes, equipamentos e serviços de praia, como escolas de surf, campos de futebol e voleibol de praia, entre outros serviços. Devido ao seu longo areal, à proximidade dos transportes públicos e facilidade de estacionamento, aos serviços disponíveis e às condições para a prática de desportos náuticos esta é uma das praias mais frequentadas da Costa do Estoril, tanto por banhistas, famílias, como praticantes de desportos náuticos. Devido às suas particulares condições hidrodinâmicas esta praia apresenta boas condições para a prática de desportos náuticos, sobretudo surf, sendo esta uma das praias mais procuradas para a prática de desportos náuticos durante todo o ano.

Devido à sua localização as principais fontes de contaminação desta praia são as Ribeiras das Marianas e Sassoeiros, cujos caudais são controlados junto à foz durante a época balnear.

De acordo com as campanhas de monitorização oficiais, realizadas pela Agência Portuguesa de Ambiente (APA), a qualidade desta água balnear tem sido classificada como “Aceitável” “Boa”, e “Excelente”, à exceção de 2008, onde foi qualificada como água balnear de “Má qualidade” (Figura 4).

3.2 Praia Torre

A Praia da Torre é a única praia oficial do Concelho de Oeiras, e apesar do seu pequeno areal, com cerca de 300 metros, é bastante procurada durante a época balnear. Esta praia é limitada a Este pelo Porto de Recreio de Oeiras, e a Oeste pelo Forte de São Julião da Barra. Esta configuração confere-lhe uma hidrodinâmica particular, com a formação de recirculações, nas diferentes fases de maré, o que protege a praia de contaminações de origem externa.

De acordo com as campanhas de monitorização oficiais, realizadas pela APA, a qualidade desta água balnear tem sido classificada como “Aceitável” de “Boa Qualidade”, e “Excelente” (Figura 4).

3.3 Praia Santo Amaro

A Praia de Santo Amaro é a maior praia do Concelho de Oeiras, facilmente acessível tanto de transportes públicos como de carro, devido à sua proximidade a Oeiras, o que faz com que esta seja uma praia muito procurada. Apesar de não ser uma praia oficial segundo a lista de águas balneares do INAG, é uma importante água balnear do Concelho de Oeiras. A qualidade da sua água balnear é monitorizada pela SANEST, tendo sido classificada como água de qualidade “Aceitável” desde 2004. É limitada a Oeste pela Ribeira da Laje, e a Este pelo Forte de São Julião

das Maias. Devido à proximidade da descarga da Ribeira da Laje, cujo caudal é de cerca de 0.01 m³/s durante a época balnear, variando entre 0.1 e 1m³/s durante o Inverno, ou durante eventos de chuva, esta é a mais importante e provável fonte de contaminação desta praia. A Ribeira da Laje, apresenta valores de contaminação fecal na ordem de 10² a 10⁶ ufc/100ml, sobretudo devido a descargas ilegais, o que pode originar casos de má qualidade da água balnear.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Classificação segundo a legislação em vigor			
Carcavelos	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho	Verde	Verde	Excelente*	Boa	Aceitável	Má
Torre	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Excelente*	Boa	Aceitável	Má
StAmaro	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Excelente*	Boa	Aceitável	Má

Figura 2 Classificação da qualidade da Água Balnear de Carcavelos e Torre, segundo a monitorização oficial, e Santo Amaro segundo a monitorização efectuada pela SANEST.

3.5 Monitorização

3.5.1 Monitorização Clássica

A entidade responsável pela monitorização das águas balneares oficiais é a ARH-Tejo. A monitorização é quinzenal e os resultados são publicados em placards apropriados na água balnear, e na internet, através do site da ARH-Tejo <http://www.arhtejo.pt>. As águas balneares de Carcavelos e Torre foram monitorizadas durante a época balnear de 2011, a água Balnear de Santo Amaro de Oeiras, embora não seja uma praia oficial, também foi monitorizada pela ARH na época balnear de 2011 pois esta praia está em estudo para que venha a ser considerada uma água balnear oficial. As amostras pontuais são recolhidas em pontos específicos nas ribeiras, ao longo da linha de costa e meio receptor (Figura 3).

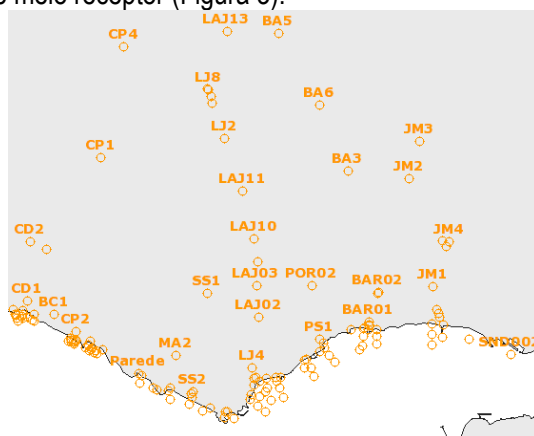


Figura 3 Pontos de monitorização nas águas balneares e nas ribeiras ao longo da Costa do Estoril

Para além da monitorização oficial, a SANEST faz a monitorização da qualidade destas águas balneares e das águas das ribeiras que afluem à Costa do Estoril, considerando os seguintes parâmetros:

- Coliformes Fecais e Totais, E.coli, Enterococos Intestinais, nas águas balneares e ribeiras;
- Turbidez, pH, Amónia, CBO5, CQO, Oxigénio dissolvido, Azoto amoniacal, Temperatura;

3.5.2 Monitorização com sensores

As campanhas de monitorização com a utilização de sensores, permitem monitorizar ao longo do tempo, em perfis horizontais ou verticais vários parâmetros. Foram utilizadas sondas multi-paramétricas (YSI), correntómetros (WinADCP) e medidores de caudal (STREAM Pro ADCP). Com a utilização de correntómetros foi possível validar o modelo hidrodinâmico implementado para a costa do Estoril (Viegas, 2009). O histórico da monitorização com sensores ao longo da linha de costa, permitiu validar o modelo implementado para a zona de estudo (Viegas, 2009). Nas

ribeiras foram medidos os caudais das ribeiras, de forma a obter curvas de vazão para cada uma das ribeiras. Com base em todo este trabalho de monitorização foi possível caracterizar o meio envolvente, validar e calibrar o modelo hidrodinâmico desenvolvido para a zona de estudo, e obter relações nível/caudal para as várias ribeiras.

3.5.3 Monitorização Automática

Foram instaladas 4 estações hidrométricas automáticas ao longo da Costa do Estoril, nas ribeiras das Marianas, Sassoeiros, Laje e Barcarena (Figura 4). Estas estações medem em contínuo o nível hidrométrico, registam-no periodicamente (de 15 em 15 minutos, embora o intervalo seja parametrizável), e enviam remotamente os dados todos os dias para o IST (ou mais frequentemente se necessário), os dados são automaticamente gravados na base de dados e publicados na internet. O INAG tem estações hidrométricas nas ribeiras da Laje, Jamor e Barcarena, que registam os dados horários de nível, que são posteriormente publicados no sítio de Internet <http://snirh.pt/>.



Figura 4 Localização das águas balneares e das estações hidrométricas automáticas

3.6 Utilizadores / Stakeholders

A implementação dos perfis de águas balnear e do sistema de alerta associado tem uma importante componente de participação pública. Foram identificadas várias entidades e grupos de utilizadores profissionais e não profissionais relacionados com a gestão e utilização das águas balneares em estudo (Quadro 3). Parte destes utilizadores são também fornecedores dados (por exemplo fornecedores de dados de monitorização das águas balneares).

Quadro 3 Lista dos utilizadores que participaram no processo de implementação do sistema de alerta

Utilizador	Tipo de utilizador	Descrição
SANEST	Profissional e fornecedor de dados	Empresa multimunicipal de saneamento
SMAS-OEIRAS	Profissional e fornecedor de dados	Serviços municipalizados de águas e saneamento
AdC - Águas de Cascais	Profissional e fornecedor de dados	Serviços municipalizados de águas e saneamento
CMC- Câmara Municipal de Cascais	Profissional	Município
CMO- Câmara Municipal de Oeiras	Profissional	Município
ARH-Tejo-Administração da Região Hidrográfica do Tejo	Profissional e fornecedor de dados	Organismo público
INAG – Instituto Nacional da Água	Profissional e fornecedor de dados	Organismo público
APA Agência Portuguesa do Ambiente	Profissional e fornecedor de dados	Organismo Público
INSA - Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge	Profissional	Instituto Público

Utilizador	Tipo de utilizador	Descrição
DGS- Direcção Geral de Saúde	Profissional	Instituto Público
Escolas de Surf	Profissional/ Público	Especial grupo de interesse
ABAE – Associação Bandeira Azul	Público	Organização não governamental

4 FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

São utilizadas ferramentas de modelação, essenciais para explicar, simular e prever a qualidade das águas balneares. O trabalho monitorização é essencial para calibrar o modelo, de forma a que este consiga simular as condições hidrodinâmicas locais, e a qualidade das águas balneares. Recorrendo ao MOHID Water foi desenvolvida uma aplicação que permite simular a qualidade das águas balneares.

4.1 MOHIDWater

Foi desenvolvida uma aplicação do modelo Mohid Water para a Costa do Estoril recorrendo ao uso de modelos encaixados. MohidWater é um modelo numérico, desenvolvido no IST e em constante desenvolvimento, que simula a dinâmica costeira (Miranda et al., 2000; Martins et al, 2001). Este modelo foi utilizado em vários casos de estudo no Estuário do Tejo, e Costa do Estoril (Portela, 1996; Pina, 2001; Leitão, 2003; Fernandes, 2005; Saraiva et al., 2007; Mateus et al., 2008; Viegas, 2009), assim como noutros estuários e zonas costeiras, onde foi demonstrada a sua capacidade de simular os processos físicos e biogeoquímicos da coluna de água (e.g. Vaz et al., 2007; Malhadas 2008).

Para simular a dinâmica costeira da Costa do Estoril, recorreu-se à metodologia de modelo encaixados, que possibilita a simulação ao nível das praias com uma resolução de 30 metros permitindo simular as recirculações hidrodinâmicas de pouca escala que acontecem ao nível das águas balneares.

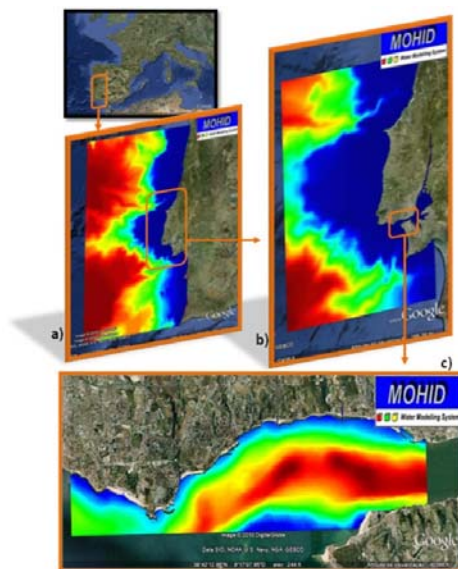


Figura 5 Esquema dos modelos encaixados utilizados no modelo operacional da Costa do Estoril O modelo tem a seguinte configuração (Figura 5):

- As condições de fronteira são obtidas a partir de uma janela do modelo PCOMS, com uma resolução de 3 km (Janela Nazaré-Setubal), que fornece os dados da hidrodinâmica (modelo a) da Figura 5). A solução de maré é obtida através da solução do modelo (FES 95.2).
- O modelo do Tejo (modelo b) da Figura 5) com uma resolução de cerca de 300 metros, é um modelo tridimensional, baroclínico, que vai fornecer os dados de hidrodinâmica e propriedades da água para o nível seguinte. A meteorologia é fornecida pelo modelo WRF (3km).

- O nível 3 abrange a zona da Parede a Belém, é um modelo 3D com uma malha de 30 metros de resolução, simulando as propriedades da água com uma grande resolução. Os modelos hidrodinâmicos demoram cerca de 9 horas a correr, e correm durante a noite, fornecendo no início da manhã resultados de previsão de 48 horas para a hidrodinâmica local. Após resolvida a hidrodinâmica a nível das praias, é efectuada de forma *off-line* e em 15 minutos, a simulação da dispersão das descargas das várias ribeiras ao longo da costa do Estoril, recorrendo à abordagem lagrangiana, obtendo previsões de qualidade do modelo Parede-Belém, com a resolução de 30 metros. As previsões são disponibilizadas diariamente às autoridades competentes na gestão das águas balneares.

4.2 Modelo Lagrangiano

As plumas das ribeiras que descarregam ao longo da Costa do Estoril são simuladas utilizando a formulação lagrangiana que permite individualizar o contributo de cada uma das ribeiras para a cada zona em cada instante. Parâmetros como a diluição inicial, dispersão, velocidade aleatória, aumento/diluição dos traçadores foram explicados em Viegas, 2009, e Leitão, 1996. A mortalidade bacteriana é calculada pelo modelo de Canteras (Canteras, 1995), que parametriza a taxa de mortalidade em função da radiação solar, profundidade, salinidade e temperatura. A equação de Canteras foi testada, sendo utilizada em várias aplicações sendo a taxa de mortalidade calculada em cada iteração em função desses parâmetros (SANEST, 2004; Viegas, 2010, Neves, 2010).

A solução lagrangiana tem a vantagem de individualizar o contributo de cada origem, e manter essa informação ao longo da simulação, permitindo resultados como os apresentados na Figura 6, onde se pode identificar a contribuição da pluma de cada uma das ribeiras em cada uma das praias.

A descarga de cada ribeira é simulada através de traçadores lagrangianos, cuja concentração é definida a partir dos valores médios do último ano, e cujo volume é definido através do caudal estimado. A descarga de cada ribeira é simulada lançando 20 traçadores lagrangianos por minuto, associando a cada um deles o número de coliformes fecais descarregados pela ribeira durante esse período (caudal*concentração). O volume inicial do traçador é o volume descarregado pela ribeira multiplicado pela diluição inicial, e a concentração é a concentração na ribeira corrigida pela diluição inicial.

Na Figura 6 as descargas de cada uma das ribeiras são representadas com cores diferenciadas, de forma a identificar a sua origem. Como se pode verificar na zona Oeste da Praia de Carcavelos existem sobretudo contribuição da Ribeira das Marianas (representada a verde), e na zona Este ocorre contribuição das Ribeiras das Marianas e Sassoeiros (amarelo).

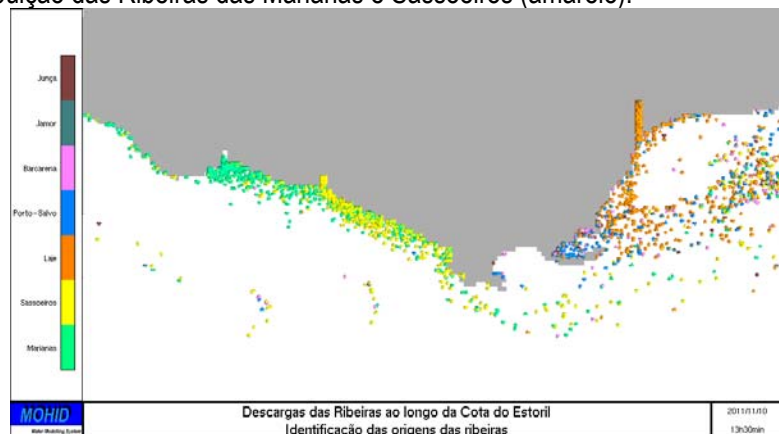


Figura 6 Distribuição das plumas das ribeiras simuladas pelo modelo MOHID, com todas as ribeiras a descarregarem ao longo da costa, num cenário típico de eventos de chuva.

Na Praia de Santo Amaro existe sobretudo a presença da pluma da ribeira da Laje, embora se encontrem traçadores provenientes da Ribeira de Porto Salvo (azul). Mais afastado da zona de banhos encontram-se as plumas de várias ribeiras, que devido à hidrodinâmica local se deslocam ao longo da costa, no entanto nem todas chegam junto das águas balneares. Esta figura permite identificar quais as principais ribeiras presentes em cada uma das praias, no entanto não dá informação relativa ao valor da contaminação fecal. As figuras mostram também que as plumas das ribeiras se deslocam junto à costa, para nascente ou poente, consoante o escoamento local, pondo em evidência eventuais recirculações, em frente a Santo Amaro é bem visível o efeito do vórtice, que desloca a pluma da ribeira da Laje junto ao areal e mantém os traçadores provenientes de montante afastados da água balnear. As cores dos traçadores põem em evidência uma variabilidade espacial que as medidas de campo só poderiam caracterizar com uma malha de amostragem muito apertada e por isso inviável em termos de monitorização. Este efeito é particularmente evidente na Figura 7, em frente à praia de Carcavelos. De forma a avaliar o risco de contaminação é necessário estudar tanto o valor de contaminação fecal existente, com a sua probabilidade de ocorrência.

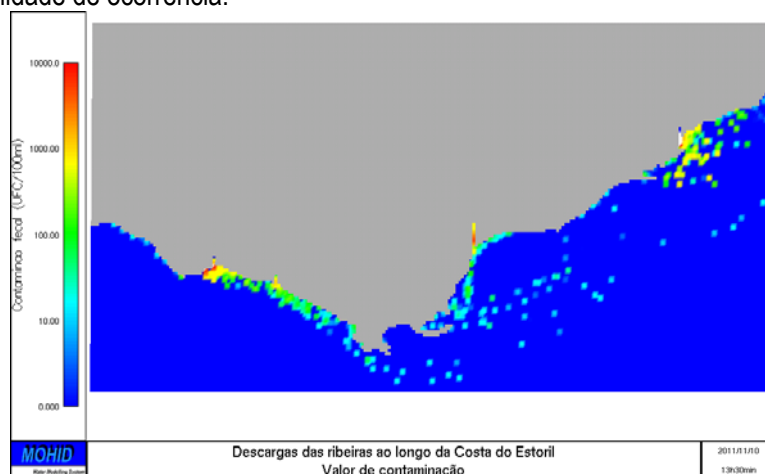


Figura 7 Representação da contaminação fecal ao longo da Costa do Estoril, proveniente das descargas das ribeiras, num cenário típico de Inverno ou durante eventos de chuva

4.3 Avaliação do risco de contaminação das praias

A definição de risco tem em conta a severidade e a probabilidade de ocorrência. Assim o risco de contaminação a que uma praia está sujeita depende do valor de contaminação esperado para essa praia, e da probabilidade de contaminação.

A probabilidade de contaminação é calculada, tendo em conta o volume da água contaminada, isto é fazendo uma razão entre o volume de água com contaminação e o volume total da água onde os banhistas podem nadar.

Assim é necessário utilizar um método de integração da informação que responda a três perguntas:

- Há água contaminada na zona balnear? Qual a concentração?
- Qual é a probabilidade de um banhista estar em contacto com essa água?
- Qual é a origem da contaminação?

Para quantificar a qualidade das águas balneares os resultados da dispersão das plumas das ribeiras foram analisados utilizando a metodologia das caixas de monitorização, onde cada água balnear é representada como uma caixa de monitorização (Figura 8). A dimensão longitudinal e transversal destas caixas engloba toda a água balnear.

A concentração da água contaminada é calculada com base nas concentrações dos traçadores ainda contaminados, e a probabilidade de um banhista estar em contacto com essa água é

calculada comparando o volume ocupado pela água contaminada com o volume da água balnear (Neves, 2009).

Foram estabelecidos níveis de risco tendo em conta a probabilidade de contaminação e os objectivos de qualidade da Directiva 2006/07/CE, que recorre aos percentis 90 e 95 para classificar a qualidade da água. Assim considerou-se que:

- A água balnear tem qualidade excelente, se a probabilidade de contaminação for inferior a 1%;
- A água balnear tem qualidade suficiente se a probabilidade de contaminação for entre 1 e 5%;
- A água balnear tem má qualidade se a probabilidade de contaminação for superior a 5%.



Figura 8 Caixas de monitorização utilizadas para quantificar o impacto da pluma de cada uma das ribeiras para as águas balneares da Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras.

É atribuída uma previsão da qualidade da água em intervalos de 3 horas. Assim, sempre que ocorra um risco de contaminação 2 prevê-se que existe probabilidade de o banhista entrar em contacto com água contaminada. Para garantir águas balneares de excelente qualidade o risco de contaminação deve ser Zero. A Figura 9 mostra um exemplo do mapa de risco produzido diariamente para as águas balneares.

Mapas de Risco de Contaminação das Praias (Costa do Estoril)			
Data :	13-Ago-11		
Intervalo de tempo	Carcavelos	Torre	Santo Amaro
0h-3h			
3h-6h			
6h-9h			
9h-12h			
12h-15h			
15h-18h			
18h-21h			
21h-00h			

Legenda			
Risco de contaminação	Risco 2	Risco 1	Risco 0
Probabilidade do banhista estar em contacto com água	>5%]1%-5%[<1%

Figura 9 Previsão do risco de contaminação das Águas Balneares da Torre e Santo Amaro de Oeiras para o 13 de Agosto de 2011, tendo em conta as descargas das ribeiras.

4.4 Modelo Operacional de previsão da qualidade das águas balneares

Tendo em conta o modelo desenvolvido, é produzida diariamente a previsão a 48h da qualidade das águas balneares. Para esta previsão o modelo utiliza os resultados ao modelo hidrodinâmico, os últimos valores de nível obtidos pelas estações hidrométricas automáticas (Marianas, Sassoeiros, Laje e Barcarena), e recorrendo às respectivas curvas de vazão são estimados os caudais de cada uma das ribeiras, o valor de contaminação das ribeiras utilizado é o valor médio do ano anterior. O modelo corre diariamente à 8h30, utilizando os valores de nível das ribeiras obtidos às 8h, e faz uma previsão de 48h para os riscos de contaminação das praias de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras. Esta metodologia foi aplicada e validada durante a época balnear de 2011.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA

Associando a capacidade de previsão das ferramentas de modelação com as estações automáticas foi implementado um sistema de alerta para as praias de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras (Figura 10).

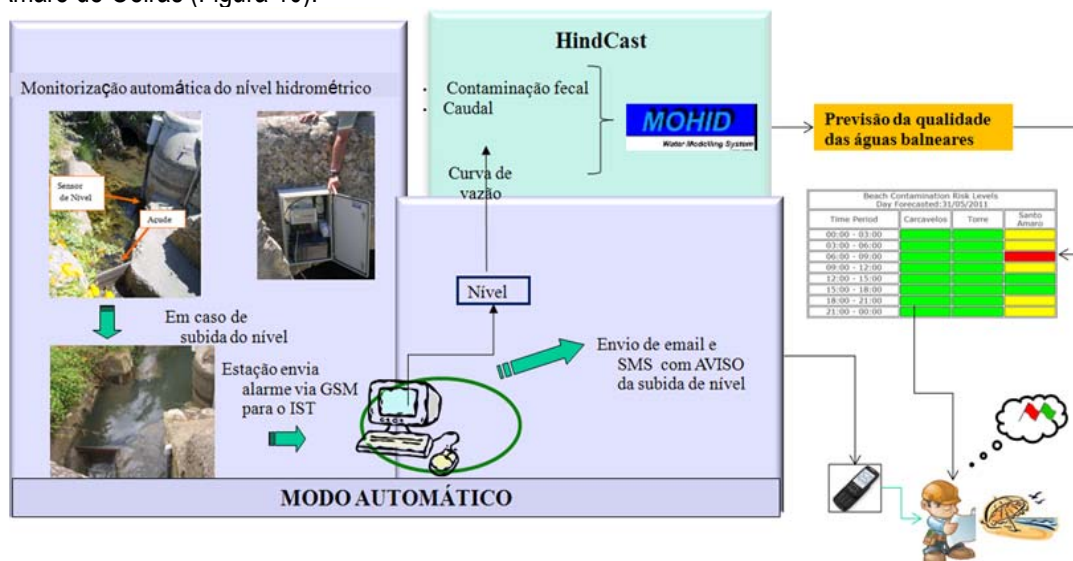


Figura 10 Representação esquemática do sistema de alerta implementado.

Para cada uma das estações hidrométricas das ribeiras Sassoeiros, Marianas, Laje e Barcarena foram identificados os valores de nível hidrométrico a partir dos quais qualidade das águas balneares poderá ficar em risco. Sempre que o nível hidrométrico de cada uma das ribeiras ultrapasse o nível de alerta pré-estabelecido, as estações automáticas enviam um alerta. Esse alerta é recebido sob a forma de SMS para os utilizadores interessados (IST, SANEST, ARH-Tejo, CMO, CMC), e sob a forma de dados no IST. Assim que os dados das estações chegam ao IST, são automaticamente gravados na base de dados. O modelo está preparado para correr de hora a hora, assim, após um alarme, no espaço de uma hora (no máximo), o modelo irá efectuar uma nova simulação, considerando os dados actualizados de nível das ribeiras, e irá criar a melhor e mais actualizada previsão da qualidade das águas balneares. Se for necessário, assim que recebe um alerta, um operador no IST poderá fazer uma nova simulação (semi-automática) obtendo os resultados de previsão cerca de 15 minutos após o aumento de nível na ribeira.

6 PRODUTOS/PUBLICAÇÃO DE DADOS

De modo a aproximar os resultados da modelação e monitorização às necessidades dos utilizadores foram desenvolvidas, pela empresa Hidromod, soluções, gadgets, e sites de internet para publicação automática de dados e resultados. Esses e outros serviços, gadgets e soluções estão disponíveis no site do projecto lenvis: www.lenvis.eu. O utilizador poderá criar o seu próprio portal em <http://portal.lenvis.eu/>, onde e configura o seu próprio portal, escolhendo e adicionando gadgets.

6.1 Qualidade condições hidrodinâmicas da água balnear (Beach Lisbon Quality)

Esta aplicação (localizada em <http://portal.lenvis.eu/>), publica diariamente previsões de qualidade das águas balneares, direcção e intensidade do vento, altura da maré e ondas, temperatura do ar e água.

6.2 Previsões de Qualidade das águas balneares

Os dados da previsão da qualidade das águas balneares são publicados diariamente em sites, que actualmente são restritos aos utilizadores profissionais.

6.3 Cliente de Séries Temporais

Esta ferramenta grafica dados de monitorização, como os dados das estações hidrométricas automáticas (Figura 11), e está preparada para graficar outras séries temporais que os utilizadores queiram partilhar (sendo apenas necessário disponibilizar a base de dados com os valores).



Figura 11 Exemplo de gráficos representados com o cliente de series temporais, com representação das series temporais das estações hidrométricas da Costa do Estoril

6.4 Mohid OnLine- simulação de descargas pontuais

Com a aplicação Mohid Online o utilizador pode simular descargas ao longo da linha de costa. Nesta ferramenta é possível representar os resultados diários dos modelos na Costa do Estoril (campos de velocidades, direcção da corrente, intensidade e direcção do vento, temperatura da água e ar), e simular vários cenários de descarga, sendo útil em casos de emergência e na ocorrência de acidentes de poluição: <http://www.hidromod.com/Lenvis/LenvisMohidOnline2/Lenvis/AllInOne/MOHIDOnline.htm>.

6.5 Sistema de alerta

Os alertas são obtidos a partir dos valores dos níveis hidrométricos das ribeiras, ou através de previsões de má qualidade das águas balneares, e podem ser enviados de várias formas:

- Alertas SMS em caso de subida do nível hidrométrico das ribeiras;
- Envio de nova SMS sempre que o nível da ribeira volte a ser inferior ao nível de alerta.
- Alertas por email em caso de aumento do nível hidrométrico das ribeiras;
- Alertas por email em caso de previsões de má qualidade das águas balneares;
- O modelo hidrodinâmico que prevê a qualidade das águas balneares, corre de hora a hora, simulando sempre as melhores previsões para a qualidade das águas balneares. Sempre que ocorra um aumento dos níveis hidrométricos das ribeiras, o modelo irá considerar os novos dados de nível, e desta forma será possível avaliar se esse aumento de nível afecta ou não a qualidade das águas balneares.

7 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO DE PREVISÃO E ALERTA

Os Perfis de Água Balnear de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras, foram criados em 2010, onde foram identificadas as principais causas de contaminação destas águas balneares: as ribeiras das Marianas e Sassoeiros em Carcavelos, e a Ribeira da Laje para a Praia de Santo Amaro. Durante essa implementação o MOHID foi calibrado e validado, onde por comparação entre os dados de campo obtidos nas campanhas de monitorização, e as simulações do modelo, foi mostrado que o MOHID tem capacidade de simular a qualidade das águas balneares, através da simulação da descarga das ribeiras ao longo da costa (Viegas, 2009).

O sistema de alerta para estas águas balneares foi implementado em 2010/2011, com a instalação de 2 novas estações hidrométricas da Laje e Barcarena, ficando operacional em 2011. Durante a época balnear de 2011, as previsões de qualidade das águas balneares, a emissão de alertas, a performance do modelo de previsão, e publicação dos dados foram validados.

Durante a época balnear ocorreram vários casos de aumento do nível hidrométrico das ribeiras tendo sido enviados sempre SMS para as entidades identificadas (ARH-Tejo, SANEST, CMO, CMC, e IST). Foram enviados os SMS sempre que os níveis das ribeiras ultrapassaram o valor de alerta, e sempre que o valor do nível hidrométrico descia abaixo desse valor.

É apresentada de seguida a validação dos resultados para a água balnear de Carcavelos, onde foi identificado um caso de água de má qualidade durante a época balnear de 2011. Na Figura 12 estão representados os níveis hidrométricos das Ribeiras de Sassoeiros e Marianas (informação disponível para os utilizadores através do *Cliente de Séries Temporais*). Ao longo da época os níveis hidrométricos ultrapassaram os níveis de alerta nos dias 1, 2, 6 e 18 de Maio, de 28 de Maio a 1 de Junho, nos dias 20 e 31 de Agosto, e nos dias 1 e 4 de Setembro. Os aumentos de nível dos dias 26 de Junho, 20 de Agosto e 4 de Setembro, ocorreram durante pouco tempo, e não provocaram casos de má qualidade. Na Figura 13 estão apresentados os resultados dos dados da monitorização oficial efectuada nas datas em que houve alertas (ou na data mais próxima), os resultados da previsão do modelo para o mesmo dia. Como se pode verificar, no dia em que foi recolhida uma amostra de má qualidade nas águas balneares, o modelo previu um risco elevado de contaminação.

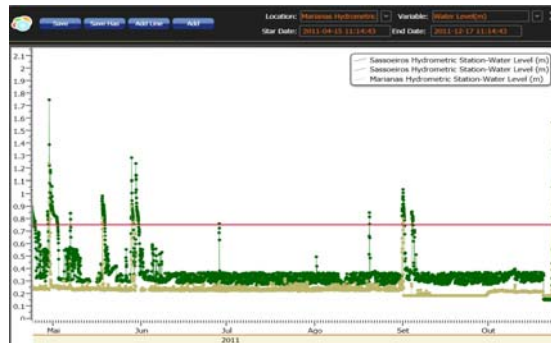


Figura 12 Representação dos níveis hidrométricos das ribeiras de Marianas e Sassoeiros, ao longo da época balnear, gráfico obtido através da ferramenta de Cliente de Séries Temporais

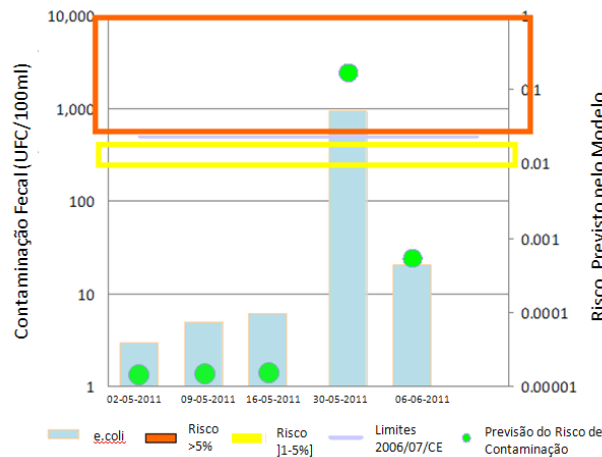


Figura 13 Representação dos resultados da monitorização efectuada nas águas balneares, e dos níveis de risco previstos pelo modelo de previsão nos mesmos dias.

Recorrendo às ferramentas existentes, as entidades gestoras da água balnear tiveram acesso a toda a informação relativa ao caso de má qualidade obtido no dia 30 de Maio: valores dos níveis das ribeiras, alertas por SMS, a previsão do risco de contaminação do modelo, e duração da contaminação.

O modelo operacional funcionou diariamente, fornecendo diariamente as previsões de qualidade para as águas balneares, à excepção de 2 dias, devido a falhas de energia no IST.

Durante a época balnear, para além de avaliar a performance do modelo e do sistema de alerta foram também exploradas as formas de apresentação dos dados junto dos utilizadores. Foram realizadas várias reuniões individuais, ou com a presença de vários grupos de utilizadores. Nas reuniões foi testado o funcionamento de todas as ferramentas para apresentação de dados e resultados, e os utilizadores tiveram a oportunidade de sugerir alterações e novas formas de apresentações de dados. As várias ferramentas foram melhoradas (*Cliente de series temporais*, *MohidOnline*, o portal *Lenvis*), e foram feitas alterações nos SMS alerta enviado em cada SMS, entre outros resultados de previsões do modelo, foram efectuadas várias alterações que estão agora disponíveis aos utilizadores profissionais:

- Previsões de risco de contaminação com intervalos de 3 horas, e de 1 hora;
- Avaliação dos riscos de contaminação e valor de contaminação previstos tendo em conta os limites da Directiva 2006/08/CE,
- Avaliação dos riscos de contaminação e valor de contaminação previstos tendo em conta os limites estabelecidos para as amostras pontuais.
- Apresentação dos valores máximos, mínimos e médios da contaminação prevista.

Desta forma as entidades responsáveis têm mais informação disponível para analisar cada um dos casos de alerta que ocorra.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação dos Perfis de Água Balnear, e o respectivo sistema de alerta foram testados durante a época balnear de 2011. Durante todo o processo foi essencial a cooperação dos vários grupos de utilizadores e entidades relacionadas com a gestão da qualidade das águas balneares.

Os alertas das 4 estações hidrométricas (Marianas, Sassoeiros, Laje e Barcarena), funcionaram em pleno, enviando SMS sempre que o nível hidrométrico ultrapassou os níveis de alerta estabelecidos, voltando a enviar um alerta quando os níveis voltavam a descer abaixo desse nível. O modelo MOHID, produziu diariamente previsões de 48h para o risco de contaminação das águas balneares, e numa fase posterior, a pedido das entidades gestoras, produziu as previsões dos valores de contaminação fecal. Na fase final da implementação as tabelas de risco produzidas diariamente tinham a informação integrada em intervalos de 3 horas, mas também de hora a hora, fornecendo informações mais detalhadas às entidades gestoras.

Através da ferramenta *Cliente de séries temporais*, é disponibilizada a informação de todas as estações hidrométricas da zona da costa do Estoril, sendo a informação actualizada automaticamente sempre que há novos dados (ex: quando ocorre um alerta de nível). Desta forma as entidades gestoras, após receberem um alerta podem analisar a evolução da situação através da variação dos níveis hidrométricos das ribeiras.

Sempre que uma estação emitiu alertas os seus dados foram transmitidos para o IST, estando disponíveis para ser utilizados pelo modelo de previsão, que corria no máximo uma hora depois do alerta, disponibilizando novos resultados previsão do modelo.

Assim em cada alerta as entidades gestoras tinham acesso às seguintes informações:

- Níveis das ribeiras → permitindo identificar a fonte de contaminação (qual/quais a/s ribeira/s);
- Gráficos com a evolução do nível → analisar a evolução da situação (como surgiu, se foi uma subida pontual, ou se socorreu em várias ribeiras);
- Previsão da qualidade das águas balneares;

Assim, a entidade gestora da água balnear terá a informação suficiente para decidir se desaconselha ou não os banhos, e identificar a origem e duração da poluição. Em caso de ser amostrada água de má qualidade, essa amostra poderá ser anulada na classificação final desde que: *Estejam a ser tomadas medidas de gestão adequadas para evitar a exposição dos banhistas,*

incluindo a advertência e, se necessário, o desaconselhamento de banhos; estejam a ser tomadas medidas de gestão adequadas para prevenir, reduzir ou eliminar as causas da poluição;

Este é um dos grandes objectivos da implementação dos perfis de praia, permitindo às autoridades competentes protegerem os banhistas à exposição a água com contaminação fecal.

Assim é mostrada a funcionalidade e eficácia do sistema de alerta associado aos Perfis de Água Balnear de Carcavelos, Torre e Santo Amaro de Oeiras, que poderá ser utilizado na próxima época balnear, auxiliando as entidades na gestão da qualidade das águas balneares.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no seguimento de um Projecto da SANEST, elaborado pelo IST, no âmbito do Projecto Lenvis, financiado pelo 7º Programa Quadro (FP7-ICT-2007/2/ 223925).

BIBLIOGRAFIA

CANAS et al. "Effect of large scale atmospheric pressure changes on water level in the Tagus Estuary". Journal of Coastal Research, SI 56, 2009, pp1627-1631.

CANTERAS *et al.* - "Modelling the coliforms inactivation rates in the Cantabrian sea (bay of Biscay) from in situ and laboratory determinations of T₉₀". *Water Science and Technology* Vol.32, N°2, 1995, pp 37-44;

Decreto-Lei n.º 135/2009 de 3 de Junho, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do desenvolvimento Regional, Diário da Republica, 1ª série- N.º 107.

European Commission: Bathing Water Profiles. Best Practices and Guidance. December 2009; Bathing Water Profiles: Best Practices and Guidance

FERNANDES, R., 2005. *Modelação Operacional no Estuário do Tejo*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa

LEITÃO, P.C. (1996) "*Modelo de Dispersão Lagrangeano Tridimensional*". Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Malhadas, S.M., 2008. "*Modelação do impacte de emissários submarinos em zonas costeiras-caso da Foz do Arelho*". Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

MATEUS et al- Evaluating light and nutrient limitation in the Tagus estuary using a process-oriented ecological model. Journal of Marine Engineering and Technology, 12, 2008, pp. 43-54.

MIRANDA et al., "MOHID 2000 – a coastal integrated object-oriented model", Hydraulic engineering software VIII , Lisbon, 7, pp. 393-401, (2000).

NEVES et al -"Ferramentas matemáticas de suporte à definição de perfis de água balnear: 2 casos de estudo". Recursos Hídricos.Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Vol.30#01, 2010, pp 80-90

NEVES et al. - "Bathing water management in Costa do Estoril, west of Lisbon: control of diffuse fecal pollution and implementation of an early warning system". in Projecto LIFE (MARECLEAN), 1 Outubro 2009, Bretanha, França.

PINA, P. (2001) An integrated approach to study the Tagus Estuary water quality. Lisboa, Portugal: Technical University of Lisbon, Master's thesis, 105p.

PORTELA, L. (1996) Modelação matemática de processos hidrodinâmicos e de qualidade da água no Estuário do Tejo. Lisboa, Portugal:Technical University of Lisbon, Ph.D. thesis

SARAIVA *et al.*- "*Modelling the influence of nutrient loads on Portuguese estuaries*". *Hydrobiologia* 587, 2007, 5-18.

VAZ et al. - "Semidiurnal and spring-neap variations in the Tagus Estuary: Application of a process-oriented hydro-biogeochemical model". Journal of Coastal Research. (2011) SI 64:1619-1623.

VIEGAS et al.- "Streams contribution to bathing water quality after rainfall events in Costa do Estoril- a tool to implement an alert system for bathing water quality". Journal of Coastal Research, SI 56, 2009, pp. 1691-1695.