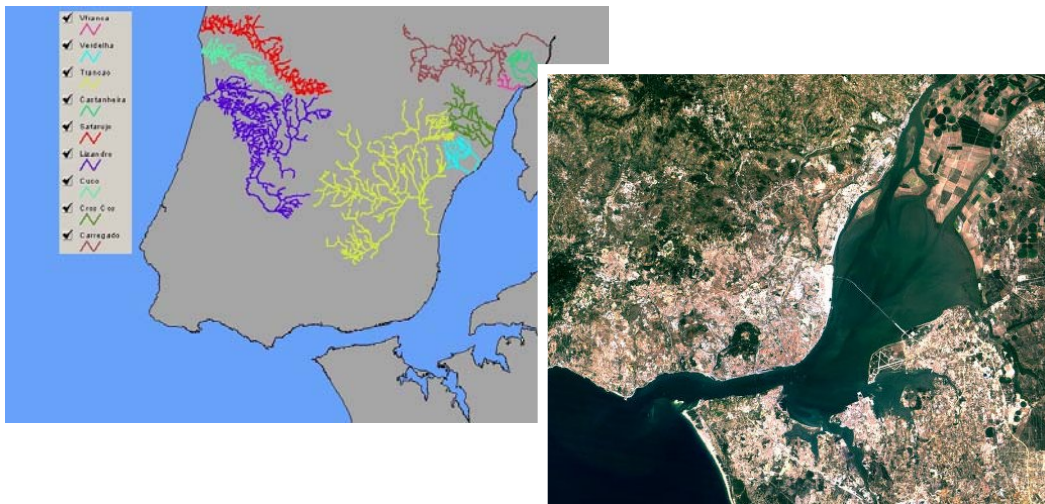




## Monitorização Ambiental dos Meios Receptores da SIMTEJO



Proposta para aquisição automática de dados e para  
Modelação do Estuário do Tejo e Ribeiras do Oeste.

Maio 2005-Abril 2006

IMAR Março de 2005

## *Índice*

<b>1.</b>	<b><i>Sumário</i></b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b><i>Introdução</i></b>	<b>2-1</b>
<b>3.</b>	<b><i>Programa de Monitorização do Estuário do Tejo</i></b>	<b>3-2</b>
<b>3.1.</b>	<b>Hipótese de Trabalho</b>	<b>3-2</b>
<b>3.2.</b>	<b>Objectivos Gerais do Programa de Monitorização</b>	<b>3-2</b>
<b>3.3.</b>	<b>Objectivos Específicos da Monitorização com Sensores</b>	<b>3-3</b>
3.3.1.	Plano de Trabalho	3-3
<b>3.4.</b>	<b>Modelação Matemática</b>	<b>3-6</b>
3.4.1.	Estudo de cenários	3-7
3.4.2.	Modelação operacional	3-8
<b>3.5.</b>	<b>Produtos</b>	<b>3-9</b>
3.5.1.	Relatórios	3-10
3.5.2.	Software	3-10
<b>4.</b>	<b><i>Modelação Matemática das bacias hidrográficas</i></b>	<b>4-11</b>
<b>4.1.</b>	<b>Hipótese de Trabalho</b>	<b>4-11</b>
<b>4.2.</b>	<b>Objectivos</b>	<b>4-12</b>
<b>4.3.</b>	<b>Metodologia para Modelação das Bacias Hidrográficas</b>	<b>4-12</b>
<b>4.4.</b>	<b>Implementação dos modelos</b>	<b>4-14</b>
<b>4.5.</b>	<b>Recolha da informação de base</b>	<b>4-14</b>
4.5.1.	Dados da bacia	4-15
4.5.2.	Dados de Escoamento e Qualidade da Água	4-16
4.5.3.	Meteorologia	4-17
4.5.4.	Dados socio-económicos	4-18
4.5.5.	Calibração e validação dos processos hidrológicos	4-18
<b>4.6.</b>	<b>Calendário de modelação das bacias</b>	<b>4-22</b>
<b>4.7.</b>	<b>Produtos da modelação das bacias</b>	<b>4-23</b>
4.7.1.	Ferramentas e software	4-23
4.7.2.	Relatórios	4-23

5.	<i>Gestão da Informação</i>	5-24
6.	<i>Detecção Remota</i>	6-26
7.	<i>Equipa</i>	7-27
8.	<i>Custos</i>	8-28
	<i>Índice</i>	2
9.	<i>Objectivos</i>	4
9.1.	<i>Introdução</i>	4
9.2.	<i>Tipo de Informação e Acesso</i>	5
9.3.	<i>Análise dos Dados SeaWifs</i>	8
9.3.1.	Análise por Classes	8
9.3.2.	Análise estatística	10
9.4.	<i>Comparação Modelo Mohid vs. Imagens Meris</i>	11
9.4.1.	Comparação de Sedimentos	12
9.4.2.	Comparação Clorofila	13
9.5.	<i>Trabalho Futuro</i>	14
9.6.	<i>Conclusões</i>	15

## 1. Sumário

Esta proposta descreve um programa de trabalho para monitorização do estuário do Tejo com sensores e para modelação matemática do estuário e das bacias hidrográficas na área de atendimento da SIMTEJO. Este programa de trabalho inclui ainda a gestão dos dados de dois programas complementares baseados na recolha e amostras e análise subsequente em laboratório. Um dos programas estudará os sedimentos no estuário e o outro estudará a qualidade da água no estuário e nas ribeiras, e subsequente análise em laboratório.

O programa de trabalho proposto baseia-se na hipótese de que as bacias hidrográficas devem ser estudadas de forma integrada, de modo a distinguir as contribuições das fontes pontuais e das fontes difusas para a qualidade da água superficial e ainda na constatação de que a actividade trófica no estuário do Tejo é determinada principalmente pelas cargas transportadas pelos rios. Verificação da hipótese de trabalho e a demonstração da importância das cargas urbanas para a qualidade da água no estuário exigem um estudo de modelação suportado por dados de campo que descrevam as variáveis de estado da forma mais exaustiva possível.

A aquisição de dados com sensores permite a obtenção de séries temporais em contínuo, realizando estações fixas e descrições espaciais detalhadas efectuando perfis horizontais em todo o estuário e perfis verticais em regiões representativas do estuário. Serão instaladas duas estações fixas, respectivamente no cais de Alcântara e no Cais da Matinha, em instalações da APL, beneficiando do sistema de segurança instalado naqueles cais. Estes sensores serão calibrados periodicamente em laboratório (mensalmente), sendo essa altura aproveitada para efectuar os perfis ao longo do estuário.

Os dados das estações fixas serão medidos com intervalos de 5 minutos e registados num datalogger, sendo transferidos para o laboratório por via telefónica uma vez por dia. Após recepção e validação os dados serão armazenados numa base de dados acessível pela internet, de acordo com privilégios predefinidos. Neste projecto serão testados sensores entretanto adquiridos pelo IMAR para medição de nutrientes e de caudais em ribeiras e canais, esperando-se que a prazo parte da amostragem clássica possa ser substituída por sensores, com vantagens financeiras e em termos de quantidade de dados adquiridos. O trabalho de campo no estuário será efectuado utilizando uma embarcação cabinada do Instituto Superior Técnico, com cerca de 7 metros de comprimento.

Serão também compilados os dados medidos pelo INAG em estações automáticas na área de atendimento da SIMTEJO (udométricas/qualidade da água e meteorológicas). Os dados recolhidos serão analisados conjuntamente com a SIMTEJO e será avaliada a necessidade/vantagem da instalação de

uma estação meteorológica gerida com as mesmas ferramentas das estações fixas para a qualidade da água. Os dados do INAG serão ainda complementados com dados do modelo meteorológico MM5 que corre no IST de forma operacional ([www.meteo.ist.utl.pt](http://www.meteo.ist.utl.pt)), fazendo previsões a 3 dias.

A modelação matemática do estuário manterá a filosofia do programa de monitorização de 2004: modelação operacional e estudos de cenários. O modelo operacional correrá todos os dias, encaixado num modelo para a região costeira portuguesa, forçado com componentes harmónicas de maré e com previsões de vento do modelo meteorológico referido acima. Os resultados do modelo serão validados com os dados das campanhas mensais e das estações fixas e comparados com imagens do satélite MERIS da ESA (European Space Agency). Anualmente os resultados do modelo serão objecto de um tratamento estatístico, conjuntamente com os dados de campo e de satélite, para caracterização do estado trófico do estuário. Os estudos de cenários serão definidos de acordo com as necessidades da SIMTEJO e serão dedicados sobretudo ao estudo do destino final de descargas efectuadas no estuário ou à identificação das descargas que podem ter influência numa zona do estuário.

O modelo do estuário será ainda utilizado para interpretar os dados de sedimentos recolhidos nas duas campanhas anuais. Os sedimentos desempenham papel determinante nos processos biogeoquímicos que ocorrem no estuário, quer através do aumento de turbidez e consequente limitação da luz na coluna de água, quer através do transporte e deposição de matéria orgânica e de poluentes adsorvidos (nomeadamente de metais). As zonas de baixa profundidade na região de montante e as pequenas enseadas no interior do estuário são zonas preferenciais de deposição. A mineralização da matéria orgânica por eles transportada dá origem a nutrientes minerais que podem aumentar o nível trófico dessas regiões. O modelo permite distinguir os diferentes contributos para cada uma das regiões e quantificar os benefícios introduzidos por cada nível de tratamento dos efluentes urbanos em cada uma das regiões.

As bacias hidrográficas da área de atendimento serão também objecto de modelação integrada, incluindo o escoamento nas linhas de água, o escoamento superficial na bacia (*runoff*) e o escoamento no solo, na zona não-saturada (vadosa) e no aquífero. Este modelo será forçado pelas trocas com a atmosfera (precipitação e evapotranspiração potencial), sendo o escoamento função da topografia, das propriedades do solo e do uso do solo. As propriedades da água são função do escoamento, das práticas agrícolas e das fontes de poluição pontuais (e também das propriedades do solo). O uso do solo e as práticas agrícolas devem ser determinantes em termos de poluição difusa e em termos de eutrofização à escala global, enquanto que as fontes de origem pontual devem ser determinantes em termos de

contaminação microbiológica e em termos tróficos na zona próxima da descarga. As bacias serão modeladas sequencialmente. No primeiro ano o modelo será aplicado nas bacias do Trancão e do Cuco. Serão recolhidos e analisados dados para todas as bacias, os quais serão integrados numa base de dados explorável através de um SIG, sendo os das bacias referidas acima usados para validar os resultados do modelo. Serão recolhidos os dados referidos acima, necessários para a implementação do modelo e serão recolhidas séries temporais de caudais fluviais, qualidade da água e níveis freáticos para validar os resultados do modelo.

Os produtos do projecto são constituídos por relatórios, bases de dados, modelos e software de apoio à aquisição e processamento de dados campo e dos resultados do modelo. O custo do trabalho para o primeiro ano será de 124000 euros (mais IVA), sendo semelhante nos anos subsequentes, se se mantiver a estrutura do projecto.

## 2. Introdução

Em Fevereiro de 2004 foi iniciado o projecto de “Monitorização Ambiental nos meios Receptores da SimTejo”. O programa de trabalho foi planeado com base no conhecimento existente sobre o estuário, mas de forma a ser exaustivo para permitir a sua reconfiguração com base na informação recolhida e não em hipóteses. Em Dezembro de 2004 foi apresentada uma proposta de revisão da estratégia de amostragem sintetizada em três relatórios distintos (Avaliação do Programa de Monitorização do Estuário do Tejo, Sugestão das Alterações à Monitorização das Ribeiras e Sugestão de Alterações à Monitorização das Praias da região Oeste).

A experiência adquirida durante o primeiro ano mostra que o programa de monitorização pode ser dividido em várias componentes de acordo com o local de estudo, as metodologias de análise e a periodicidade de amostragem. Em termos de locais pode-se considerar quatro que são distintos em termos de logística, de periodicidade e de parâmetros a analisar (Estuário, Ribeiras, Praias e ETARs). No estuário pode-se distinguir três subprogramas com base nas metodologias e na frequência das campanhas (monitorização clássica da coluna de água com recolha de amostras e análise subsequente em laboratório, recolha de dados com sensores e amostragem de sedimentos). A estas componentes de campo junta-se a componente de modelação matemática e de gestão dos dados de campo.

Assim, no programa de monitorização, é possível distinguir 7 componentes principais:

- Monitorização das ETARs;
- Monitorização da coluna de água no Estuário do Tejo usando métodos clássicos de amostragem e de análise;
- Monitorização da coluna de água no Estuário do Tejo usando sensores;
- Monitorização dos sedimentos no Estuário do Tejo;
- Monitorização das Ribeiras;
- Monitorização das Praias da Região Oeste;
- Modelação e Gestão de Dados.

Esta proposta descreve um plano de trabalho para (i) a recolha de dados com sensores no estuário do Tejo, (ii) para a modelação matemática do estuário, (iii) para a modelação matemática das ribeiras e respectivas bacias hidrográficas e ainda (iv) para a gestão do conjunto dos dados de monitorização do estuário e das ribeiras, incluindo os recolhidos por outras equipas.

### **3. Programa de Monitorização do Estuário do Tejo**

Neste capítulo descreve-se o *rationale* defendido para a monitorização do estuário e faz-se uma proposta de objectivos específicos para a monitorização com sensores, modelação matemática e gestão de dados.

#### **3.1. Hipótese de Trabalho**

A análise das condições tróficas e do destino final dos materiais descarregados pelas fontes urbanas no estuário mostra que o programa de monitorização se pode basear nas hipóteses seguintes:

1. A actividade trófica no estuário é limitada pela penetração da luz na coluna de água e consome só uma pequena parte dos nutrientes disponíveis;
2. O fósforo no estuário está sempre em excesso em relação ao azoto.
3. A contaminação microbiológica fecal é máxima junto à margem e estende-se por uma banda que pode atingir os 10 km de extensão para montante e para jusante dos pontos de emissão;
4. O tempo de residência no estuário – da ordem de 3 semanas – é suficientemente longo para permitir a mistura dos materiais de degradação lenta (e.g. matéria orgânica).
5. A deposição de materiais sólidos de origem urbana faz-se essencialmente nas zonas ribeirinhas e é rica em matéria orgânica;
6. Todos estes processos têm variabilidade sazonal e interanual e por conseguinte o programa de monitorização deve ser planeado à escala de vários anos.

Os objectivos do programa de trabalho foram estabelecidos com base nestas hipóteses.

#### **3.2. Objectivos Gerais do Programa de Monitorização**

A longo prazo o programa de monitorização deverá fornecer elementos que permitam a compreensão e a quantificação dos processos que ocorrem no estuário no sentido de avaliar os impactes das descargas urbanas sobre o estuário. Em termos gerais os objectivos devem ser:

1. Obtenção de séries temporais dos parâmetros físico-químicos e biológicos que permitam avaliar a actividade trófica no estuário e a sua evolução no tempo,
2. Obtenção de distribuições horizontais e verticais que permitam perceber as zonas de influência das principais descargas efectuadas para o estuário,
3. Manutenção de um modelo operacional do estuário que permita (i) quantificar os processos, (2) reproduzir as séries temporais obtidas, (3) explicar anomalias verificadas e (4) prever a evolução do estuário em diferentes cenários de gestão.



Estes factores contribuirão com elementos chave para a revisão da classificação do Estuário do Tejo relativamente às directivas em vigor (directivas dos nitratos e directivas de águas residuais urbanas) que é realizada pelas Autoridades Portuguesas com uma frequência de 4 anos, bem como dar resposta aos requisitos da OSPAR.

### **3.3.Objectivos Específicos da Monitorização com Sensores**

A monitorização com sensores tem dois grandes objectivos: (i) caracterizar as pequenas escalas espaciais e temporais de variação das propriedades amostradas e (ii) criar condições para reduzir custos de amostragem e de laboratório. Os equipamentos serão instalados em estações fixas para caracterizar as evoluções temporais e mensalmente serão instalados numa embarcação para fazer perfis longitudinais e verticais.

A conjugação de estações fixas e de perfis mensais permite (i) tirar o máximo partido dos sensores, que assim serão utilizados de forma continua e (ii) facilitar a interpretação dos dados obtidos em estação fixa. Com efeito, sendo a excursão de maré da ordem dos 10 km, as variações temporais registadas por uma estação fixa estão associadas a distribuições espaciais com aquela dimensão.

Os dados recolhidos pelas estações fixas serão transferidos automaticamente por telefone para terra a uma hora predeterminada. No entanto, em qualquer altura a estação pode ser acedida e os dados transferidos para terra. A estação pode também ser programada para enviar sinais de alerta com base nos valores dos parâmetros que está a medir em cada momento.

Durante as campanhas para execução de perfis serão recolhidas amostras em três pontos - perto da embocadura, na zona central e na zona de desembocadura do rio - para análise subsequente em laboratório, com vista à validação dos dados recolhidos pelos sensores.

#### **3.3.1. Plano de Trabalho**

O programa de monitorização com sensores inclui amostragem em (i) estações fixas e (ii) perfis horizontais e verticais. Nos parágrafos abaixo são descritas as estratégias de amostragem planeadas. Atendendo a que o programa de amostragem deverá durar cinco anos, é provável que este plano de amostragem possa vir a ser alterado, como consequência de alterações de conhecimento ou da evolução tecnológica que se venha a registar durante este período.

##### ***3.3.1.1. Amostragem em estação fixa***

Serão instaladas duas estações fixas para aquisição de dados em contínuo no Cais de Alcântara Este e no

Cais da Matinha, indicados na Figura 2. Os locais de instalação dos equipamentos encontram-se sob a tutela da Administração do Porto de Lisboa (APL) - estando o do Cais de Alcântara concessionado à LISCONT – e por conseguinte são zonas de acesso restrito, o que minimiza o risco de estrago ou roubo do equipamento por parte de terceiros.

As propriedades a medir são indicadas na Tabela 1. O sensor de pressão funcionará como marégrafo. A informação será transferida diariamente para a base de dados, durante a noite para minimizar os custos das comunicações e poderá depois ser acedida pela internet por pessoas autorizadas. Em caso de necessidade, a comunicação com uma estação pode ser iniciada manualmente em qualquer momento. A estação pode ainda ser programada de forma a alertar o operador no caso de algum parâmetro atingir valores que justifiquem o alerta.

As configurações das duas estações fixas serão idênticas, possuindo a mais recente - modelo YSI 6600 EDS – um sistema de prevenção de incrustações biológicas (*antifouling*). Ambos os sistemas utilizam *dataloggers* generalistas permitindo a adição ou substituição de sensores se for considerado conveniente. Tirando partido deste facto, a uma das estações será adicionado um segundo sensor de clorofila, propriedade do IMAR, para intercomparação com os valores registados pela sonda YSI. Após os primeiros meses de amostragem será quantificada a vantagem do sistema *antifouling*.

As estações serão montados como mostra a Figura 1, sendo os sensores incluídos em gaiolas de aço inoxidável ou dentro de tubos que serão fixados em pilares, de forma a garantir a protecção dos sensores contra choques de objectos flutuantes<sup>1</sup>.

**Tabela 1. Parâmetros registados nas estações fixas através de sensores.**

Posição (GPS)  
Temperatura  
Condutividade/Salinidade  
pH/potencial redox  
Turbidez  
Oxigénio Dissolvido  
Clorofila\_a  
Pressão/profundidade

---

<sup>1</sup> Uma visita efectuada aos cais de Alcântara e da Matinha sugere que a inserção dos equipamentos dentro de tubos fixados a pilares é a melhor. A primeira tarefa a executar para instalar as estações fixas será contactar uma empresa especializada para escolher o melhor método.

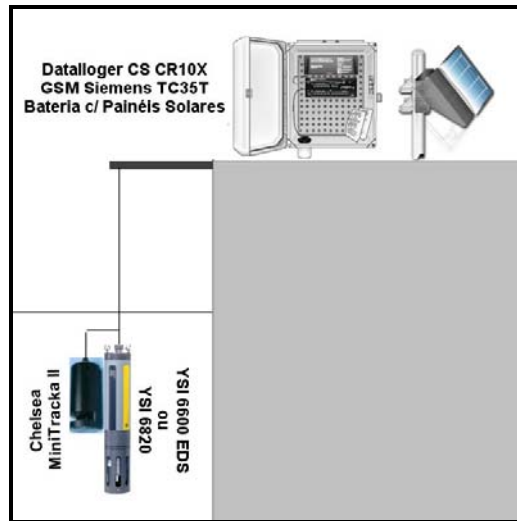


Figura 1. Os instrumentos (somente a sonda se esta for a YSI 6600 EDS) encontram-se suspensos e imersos no meio aquático, por intermédio de um telefone móvel é feita a aquisição dos dados diariamente ou quando requisitado por um utilizador.



Figura 2. Localização proposta para as estações fixas de amostragem: EF1 (Cais de Alcântara Este) e EF2 (Cais da Matinha).

### ***3.3.1.2. Amostragem em perfis***

Propõe-se a realização mensal de perfis horizontais ao longo de trajectórias idênticas às representadas na Figura 3. Basicamente far-se-ão zig-zags desde a secção S. Julião da Barra – Bugio, até à região dos mouchões e aí far-se-ão deslocamento ao longo dos canais por questões de navegabilidade. Serão efectuados dois perfis num dia de cada mês. Um terá início junto ao forte de S. Julião duas horas antes da baixa-mar e terminará na zona do Mouchão da Póvoa cerca de uma hora depois da baixa-mar e outro terá início na zona dos mouchões cerca de duas horas antes da preia-mar e terminará cerca de uma hora depois da preia-mar em S. Julião da Barra.

Deste modo, a zona dos mouchões será sempre amostrada em situação de enchente, o que é essencial por questões de segurança, uma vez que o perigo de encalhar é real. A situação de início de enchente representa distribuições características de baixa-mar e a situação de fim de enchente distribuições semelhantes às de preia-mar. Durante o período de paragem na zona dos mouchões o equipamento será mantido a medir, fornecendo informação da evolução temporal das propriedades na zona de ancoragem do barco. Ao longo do perfil longitudinal serão efectuados 6 perfis verticais para caracterizar a estratificação da coluna de água ao longo do estuário. Serão ainda colhidas três amostras<sup>2</sup> para análise em laboratório dos parâmetros registados pela sonda, de modo a verificar a calibração dos sensores.

Os perfis verticais serão amostrados utilizando uma segunda sonda, de modo a minimizar os tempos de paragem. Os dados obtidos durante estes perfis serão representados de forma animada sobre um mapa, mostrando o deslocamento do barco e cada um dos parâmetros usando a cor. Por solicitação da SIMTEJO, o número de amostras para análise em laboratório poderá ser aumentado.

## **3.4. Modelação Matemática**

O plano de monitorização ambiental do Estuário do Tejo inclui como ferramenta de modelação o sistema de modelos MOHID ([www.mohid.com](http://www.mohid.com)), desenvolvido pelo IST, que permite a simulação dos principais processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem no Estuário do Tejo.

---

<sup>2</sup> As amostras serão colhidas em zonas de salinidade contrastante (perto do mar, perto da embocadura do rio e na zona intermédia do estuário).

O modelo MOHID será utilizado de forma operacional, correndo diariamente para fazer previsões da solução esperada para os dois dias seguintes (modo forecast) e para reproduzir os dados entretanto medidos (modo hindcast) e será ainda utilizado para fazer estudos de cenários, para testar hipóteses e ainda para diagnosticar situações.

### 3.4.1. Estudo de cenários

O estudo de cenários é uma componente essencial do programa de monitorização. Estes estudos ajudam a perceber de que modo o estuário reage ao forçamento e ainda qual o destino dos produtos descarregados no seu interior e de que modo cada um deles contribui para o funcionamento do estuário. Este tipo de simulação tem como objectivo responder a perguntas do tipo: O que aconteceria se...

A certeza das respostas dadas a este tipo de perguntas aumenta à medida que as respostas forem sendo verificadas com dados de campo. Para isso, sempre que uma intervenção seja implementada, o programa de monitorização será reorientado, de modo a que os dados colhidos permitam verificar as previsões. Esta alteração será efectuada de modo a não agravar os custos, devendo envolver essencialmente alterações de estratégia de amostragem/rotas.



Figura 3. Esquema de Amostragem proposto para as campanhas de amostragem do Estuário do Tejo.

### 3.4.2. Modelação operacional

Na modelação operacional, o esforço será dedicado a manter o modelo a correr em tempo real e a fazer previsões. No modo de previsão (forecast), o modelo será forçado com previsões dos caudais dos rios e em previsões das condições atmosféricas. Este modo fornecerá dados úteis para planear actividades (e.g. as campanhas de amostragem), e permite avaliar as previsões dos parâmetros que são usados como condições de fronteira.

Diariamente o modelo será também usado na forma hindcast, para reproduzir as condições actuais, a partir de valores de condições fronteira medidos. Estas simulações são de grande utilidade para demonstrar a capacidade do modelo para simular a qualidade da água no estuário, contribuindo assim para que os seus resultados possam ser considerados como essenciais para caracterizar o estado trófico do estuário na aplicação das Directivas das Águas Residuais Urbanas e dos Nitratos.

Este modo é ainda útil para estimular o contacto com o público, nomeadamente de pessoas ligadas a actividades náuticas (e.g. à vela) que se vão habituando a consultar o site do modelo operacional para conhecerem as previsões de correntes.

Actualmente o modelo operacional do Tejo utiliza uma metodologia de modelos encaixados, onde o modelo operacional do Tejo é obtido através do “downscaling” da solução de um modelo regional de maior dimensão, de forma a melhorar a condição de fronteira do lado do mar. O modelo é também forçado com o caudal do rio e descargas de ETAR do lado de terra e com o forçamento atmosférico fornecido por um modelo de circulação atmosférica.

O sistema integrado de modelação operacional para o estuário do Tejo disponibiliza através de uma interface acessível através da Internet a visualização de dados de campo históricos e em tempo real, e ainda as previsões diárias (resultados de modelação), para as 24 horas do dia seguinte, de condições do meio aquático.

Durante o primeiro ano do projecto foram efectuados testes de simulação da evolução de concentração de coliformes fecais e de sedimentos no Estuário do Tejo bem como dos processos de produção primária. Os resultados mostraram a importância de se fazerem simultaneamente forecast e indcast, especialmente devido à artificialização do controlo do caudal do rio Tejo, que é a principal fonte de água doce e de nutrientes para o estuário.

Os resultados deste projecto, mas também de projectos como o EcoRiver, mostram que é importante conseguir simular a descarga dos pequenos rios sujeitos a grandes cargas, como é o caso do Trancão,



onde a toxicidade depende muito do regime de chuva. Assim, é de toda a conveniência que o modelo do estuário seja acoplado ao modelo das bacias hidrográficas com maiores cargas localizadas ao longo do estuário.

Os resultados do modelo também mostram que é muito importante simular com uma malha fina as plumas de coliformes. Com efeito as descargas são efectuadas junto à margem, por vezes em zonas onde as velocidades são baixas.

Os trabalhos anteriores mostram também que a actividade trófica no estuário é determinada pela disponibilidade de luz, a qual é limitada pela concentração de matéria em suspensão, a qual depende em grande medida da agitação marítima gerada pelo vento no interior do estuário.

Assim, em termos de modelação operacional propõe-se fazer a melhoria contínua do modelo desenvolvendo trabalho especialmente nos seguintes aspectos:

- Melhoramento dos processos incluídos no modelo, por inclusão dos novos conhecimentos adquiridos no contexto do programa de monitorização ou obtidos a partir da literatura.
- Melhoramento do modelo tirando partido do progresso tecnológico verificado durante a execução do projecto (novos compiladores, processamento paralelo, meios de comunicação, software gráfico, etc.).
- Acoplamento do modelo de bacias ao modelo do estuário, para melhorar o estudo dos impactes sobre o estuário das descargas provenientes das bacias.
- Acoplamento ao modelo do estuário de um modelo de geração de ondas pelo vento, de modo a melhorar o estudo da dinâmica sedimentar e do efeito dos sedimentos sobre a actividade trófica.

### **3.5. Produtos**

Os produtos a entregar incluirão os resultados seguintes:

- Resultados operacionais do modelo descrevendo os processos de transporte e tróficos no estuário e explicando os resultados obtidos;
- Rede de Monitorização com sensores com visualização de resultados em tempo real através da Internet;
- Versões actualizadas do modelo;

- Base de dados explorável através de uma aplicação WEBGIS, com interface melhorada regularmente em função da evolução das capacidades do software de suporte.

Estes resultados serão apresentados sob a forma de relatórios, apresentações powerpoint, bases de dados, ficheiros “avulso” e de software.

### **3.5.1. Relatórios**

- De campanha, com indicação de percursos realizados, resultados gráficos dos perfis verticais e horizontais realizados; indicação da hora e local de amostragem e dos valores medidos e resultados de laboratório para validação dos valores das sondas;
- Anuais, com a descrição da implementação dos modelos e validação entretanto efectuada com os dados de campo;
- Outros relatórios serão apresentados com respostas a questões pontuais, que venham a ser levantadas durante o estudo.

### **3.5.2. Software**

- Software de gestão e visualização de resultados do modelo;
- Software para acesso e visualização dos dados de campo medidos em estação fixa e nos perfis.



## **4. Modelação Matemática das bacias hidrográficas**

A modelação matemática de bacias hidrográficas usa tecnologia e conhecimento desenvolvidos em três projectos comunitários: EcoRiver, TempQsim e ICRew, no âmbito dos quais foram desenvolvidos modelos para a simulação do escoamento em redes fluviais e em bacias hidrográficas, incluindo as águas subterrâneas. O projecto EcoRiver deverá ficar concluído em Setembro de 2005 e tem como objectivo o estudo da toxicidade na bacia hidrográfica do Rio Trancão. O Projecto TempSim tem como objectivo o estudo dos processos que determinam a qualidade da água em rios temporários, sendo local de estudo em Portugal o rio Degebe (afluente do Guadiana, no Alqueva) e deverá ficar concluído em Novembro de 2005. O projecto ICRew terminará em Abril de 2006 e tem como objectivo o melhoramento de águas de recreio e de banho e tem como local de estudo em Portugal a barragem de Montargil e a bacia de drenagem respectiva.

### **4.1. Hipótese de Trabalho**

As ribeiras do Oeste têm bacias de drenagem de pequenas dimensões, o que associado à sazonalidade da pluviosidade na região dá origem a caudais muito baixos no Verão. Nestas condições, o impacte das descargas de origem urbana na qualidade da água tem carácter sazonal, sendo máximo no período de estiagem. Assim, as concentrações de nutrientes, bem como a carência bioquímica em oxigénio e as concentrações de microrganismos de origem fecal devem ser máximas no Verão. No entanto as cargas de nutrientes (concentração \* caudal) são máximas nos períodos de maior caudal e são sobretudo de origem agrícola.

Nestas condições o estudo da qualidade da água nas ribeiras deve ser baseado num modelo integrado capaz de simular os caudais fluviais e a sua interacção com o escoamento superficial e subterrâneo na bacia hidrográfica. O programa de trabalho descrito neste capítulo foi elaborado com base nesta hipótese e ainda no facto de na zona terminal de algumas ribeiras a maré ser importante para o escoamento e por isso o modelo dever ser capaz de inverter o escoamento no rio. Este último aspecto é essencial para estudar a interacção entre o estuário do Tejo e o rio Trancão.

Com base nesta hipótese de trabalho, o programa de monitorização permitirá a compreensão da dinâmica das bacias hidrográficas e distinguir os impactes das fontes de poluição pontuais e das fontes difusas sobre a qualidade da água nos rios, bem como determinar o impacte das descargas dos rios sobre os meios receptores (Estuário do Tejo no caso do Trancão e Zona Costeira adjacente às Ribeiras do Oeste).

Os dados recolhidos durante o primeiro ano do projecto constituem a informação de base para a implementação deste modelo, o qual será validado com os dados que forem recolhidos ao longo dos próximos anos.

## 4.2. Objectivos

Os principais objectivos da modelação das bacias hidrográficas na área de atendimento da SIMTEJO são:

- Desenvolvimento de modelos integrados para cada uma das bacias hidrográficas incluídas no sistema da SIMTEJO.
- Acoplar o modelo de bacias a modelos de gestão de águas pluviais em zonas urbanas,
- Integrar os resultados dos modelos numa ferramenta de apoio à decisão, baseada num sistema de informação geográfica.

As zonas urbanas serão tratadas como áreas impermeáveis, sendo os caudais pluviais - e domésticos/industriais - nelas gerados tratados por ferramentas específicas (e.g. modelo Mouse) e introduzidos no modelo de bacia nos pontos de descarga dos colectores. Serão desenvolvidas interfaces para simplificar o acoplamento dos modelos de drenagem urbana aos modelos das bacias.

## 4.3. Metodologia para Modelação das Bacias Hidrográficas

Desde 2004 a equipa do IMAR/IST esta a desenvolver um modelo integrada para a simulação dos processos que ocorrem em bacias hidrográficas, nomeadamente os processos hidrológicos e os processos biogeoquímicos. Este modelo - MOHID Land – está integrado no sistema de modelos MOHID e beneficia do conhecimento acumulado naquele sistema de modelos ao longo de duas décadas de desenvolvimento.

O modelo MOHID Land simula de forma integrada (i) o escoamento superficial (*Overland Flow*), (ii) o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem (*Drainage Network*), (iii) o escoamento na zona não saturada do solo (camadas acima do nível freático) e (iv) o escoamento na zona saturada do solo (aquífero). Estes escoamentos são interdependentes e a sua simulação integrada elimina a necessidade de hipóteses sobre as transferências entre aqueles domínios.

A Figura 4 representada esquematicamente os processos hidrológicos que são resolvidos pelo modelo MOHID Land. A interacção entre os diferentes processos (e.g. troca de água entre o aquífero e da rede de drenagem) é calculada dinamicamente pelo modelo, tendo por base gradientes hidráulicos.

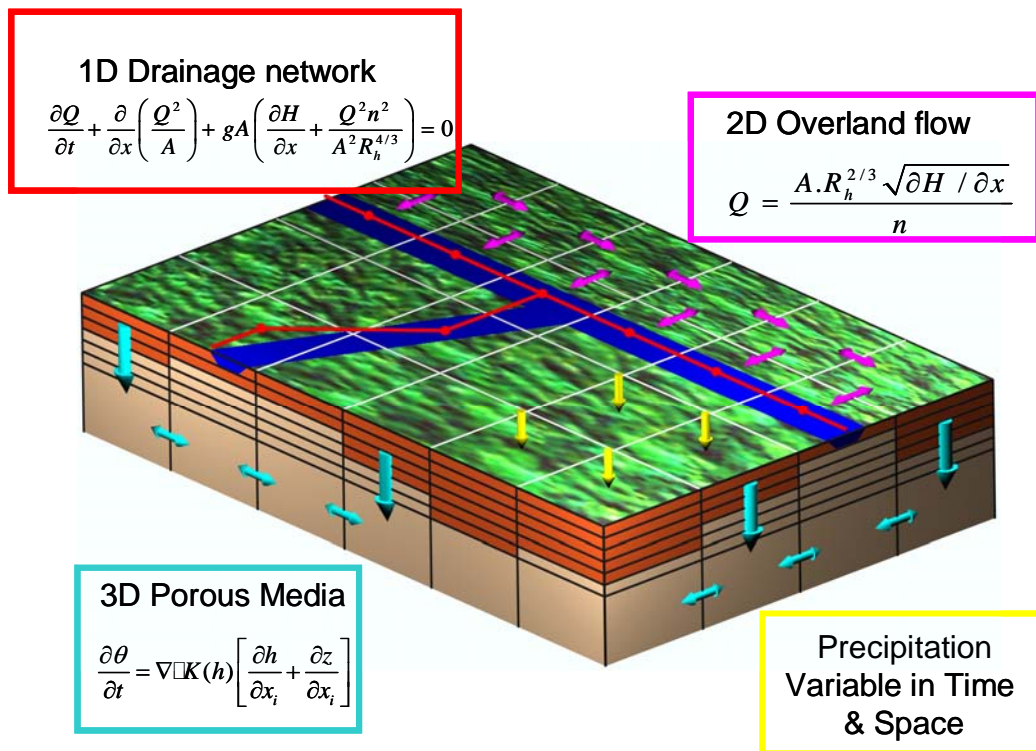


Figura 4: Processos hidrológicos resolvidos pelo modelo MOHID Land

A simulação detalhada dos processos hidrológicos é fundamental para estudar a qualidade da água na rede de drenagem, nomeadamente os processos de contaminação fecal (e.g. simulação de bactérias coliformes) e processos biogeoquímicos (e.g. ciclo de azoto / fósforo e carbono).

Este modelo, após calibração e a validação pode ser usado para estudar problemas à escala local (e.g. o impacto de uma fonte específica sobre uma linha), mas também para apoiar decisões à escala da bacia, e.g.:

- Importância relativa das fontes pontuais e das fontes difusas para a qualidade da água nos rios/albufeiras em função da pluviosidade,
- Impacte das práticas agrícolas sobre a qualidade das águas superficiais,
- Impacte da descarga de uma bacia sobre o meio receptor.

Acoplado a um modelo de previsão atmosférica este modelo poderá ainda ser usado como ferramenta operacional para previsão de cheias;

#### **4.4. Implementação dos modelos**

O esforço de implementação do modelo MOHID Land é determinado pelo número de bacias a estudar e pelo volume de informação requerida. A informação requerida é incluída num SIG, ficando disponível para todas as utilizações da SIMTEJO que requeiram informação sobre a bacia (e.g. meteorologia, solos, uso dos solos, fontes de poluição pontuais).

A recolha de dados das bacias é a primeira tarefa a executar. Uma vez que a informação a recolher será útil para todas as tarefas de planeamento e de gestão das actividades da SIMTEJO na bacia, esta tarefa será levada a cabo para toda a área de atendimento em simultâneo. A modelação será no entanto levada a cabo de forma sequencial, começando pelas bacias mais importantes. Assim propõe-se a divisão do trabalho nas seguintes tarefas:

- Reunião de informação de base;
- Calibração e validação dos processos hidrológicos em duas bacias com mais informação de base (Bacia hidrográfica do Rio Trancão e bacia hidrográfica do Rio do Cuco);
- Implementação dos processos de transporte e degradação dos contaminantes microbiológicos nas bacias hidrográficas do Rio Trancão e do Rio do Cuco;
- Implementação dos processos de transporte das propriedades biogeoquímicas bacias hidrográficas Rio Trancão e Rio do Cuco;
- Aplicação do modelo nas outras bacias hidrográficas que se encontram na área de atendimento da SIMTEJO, utilizando os parâmetros de calibração obtidos nas bacias hidrográficas do Rio Trancão e Rio do Cuco;
- Acoplamento dos modelos das bacias hidrográficas a um modelo de previsão atmosférica;
- Implementação dos modelos das bacias hidrográficas em “modo operacional”, à semelhança do modelo operacional do Estuário do Tejo;
- Acoplamento dos modelos de bacia hidrográficas ao modelo operacional do Estuário do Tejo de modo a correr um modelo integrada que engloba as bacias hidrográficas da área de atendimento da SIMTEJO, o Estuário do Tejo e previsões meteorológicas.

#### **4.5. Recolha da informação de base**

A informação de base necessária à implementação do modelo pode ser dividida em duas partes: (a) a

informação que descreve as propriedades da bacia e a meteorologia e (b) a informação sobre as propriedades da água. O primeiro conjunto de dados é utilizado para implementar o modelo e o segundo para o calibrar e validar.

#### **4.5.1.Dados da bacia**

Esta informação é essencialmente de carácter cartográfico e inclui:

- Modelo digital do terreno,
- Carta de uso do solo,
- Propriedades do solo,
- Distribuição das fontes de poluição,
- Meteorologia.

O modelo digital do terreno permite a delimitação das bacias hidrográficas e a geração, num sistema de informação geográfica (e.g. MOHID GIS), das linhas de água. O modelo digital de terreno com maior precisão para Portugal é fornecido pelos Serviços Cartográficos do Exército (resolução de 8 metros). Este modelo é no entanto bastante caro, podendo ser substituído pelo modelo digital da NASA, que é gratuito e tem resolução de cerca de 70 metros, A Figura 5, obtida a partir dos dados da NASA, mostra o modelo digital do terreno da bacia hidrográfica do Rio Trancão e a respectiva rede de drenagem,

O mapeamento do uso do solo também pode ser obtido com relativa facilidade. Na Internet existem dois tipos de cartas com esta informação (*Corine Land Cover* & Carta da ocupação dos solos). A experiência recolhida noutras bacias mostra que a informação destas cartas é suficiente para implementar o modelo.

As propriedades do solo são mais difíceis de obter. Para o solo a informação necessária inclui as propriedades hidráulicas à superfície, mas também em profundidade e ainda a espessura de solo. Serão utilizados métodos de geo-estatística e funções de pedotransferência relacionando as propriedades hidráulicas do solo com as suas propriedades básicas.

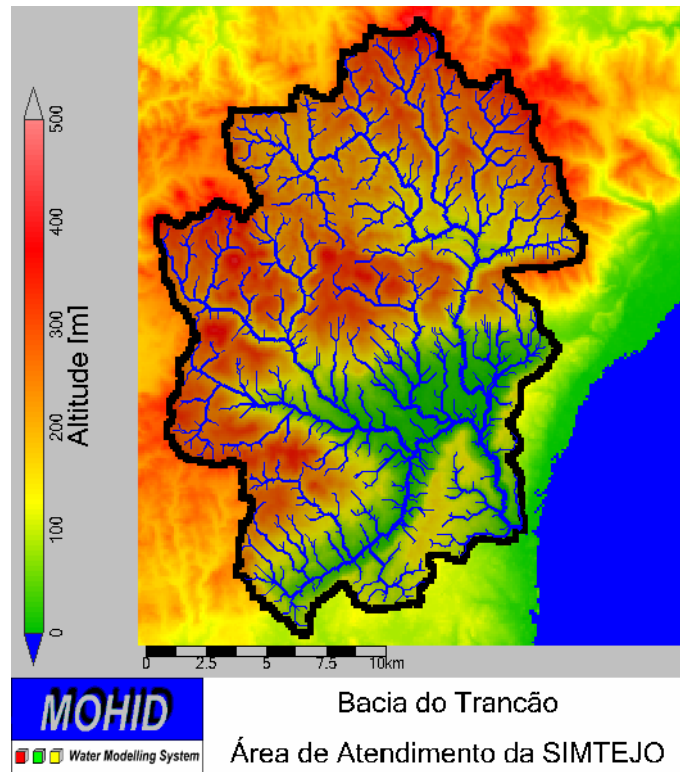


Figura 5: Exemplo da informação cartográfica do tipo modelo digital de terreno para obter as linhas de água

#### 4.5.2. Dados de Escoamento e Qualidade da Água

Os dados de escoamento e qualidade da água são pontuais e dependem do tempo. Como consequência, são dados por estação, na forma de **séries temporais**. Para caracterizar a hidrologia precisamos de dados caudais/níveis em secções de controlo da rede fluvial e de níveis freáticos e para caracterizar a qualidade da água precisamos de séries temporais em rios, com a maior frequência possível e de alguns dados de água subterrânea.

Os caudais fluviais são normalmente obtidos a partir de registos de nível hidrométrico numa secção de controlo acompanhados por uma curva de vazão característica dessa mesma secção. O INAG mantém três estações hidrométricas nas bacias hidrográficas na área de atendimento da SIMTEJO, duas na bacia hidrográfica do Rio Trancão (Ponte Pinhal e Ponte Zambujal) e uma na bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa (Ponte Percés). No entanto, em nenhuma destas secções é disponibilizada a respectiva curva de vazão. Durante a recolha de informação, o IMAR irá produzir as curvas de vazão nestas secções, utilizando um equipamento um perfilador acústico com “bottom tracking”, próprio para este tipo de tarefas.

Os níveis freáticos são necessários para validar o modelo hidrológico e nomeadamente a interação entre águas superficiais e subterrâneas. A variabilidade dos níveis freáticos e das propriedades da água é muito menor que à superfície e por isso a amostragem é normalmente sazonal (o INAG disponibiliza 20 registos deste 2001 num ponto perto de Bucelas – código 403/164). Durante o primeiro ano do projecto o IMAR medirá mensalmente o nível freático em dez poços na bacia hidrográfica do Trancão. O número de pontos e a frequência de medida serão optimizados nos anos subsequentes.

A qualidade da água foi caracterizada pelo IMAR/SIMTEJO nos principais rios em três campanhas no ano de 2004. Um programa de amostragem paralelo a este trabalho de modelação será mantido nos próximos anos.

### 4.5.3. Meteorologia

A atmosfera é o agente forçador do escoamento na bacia, quer através da precipitação, quer através da evapotranspiração, a qual depende do coberto vegetal, da temperatura e da velocidade do vento. Para estudar o escoamento nas bacias são necessários dados de: precipitação, temperatura do ar, a humidade relativa, cobertura nebulosa e velocidade do vento. Esta informação é medida pelo INAG numa série de estações na zona em estudo. Esta informação é disponibilizada através da internet, mas não em tempo real. A Figura 6 mostra a localização destas estações.

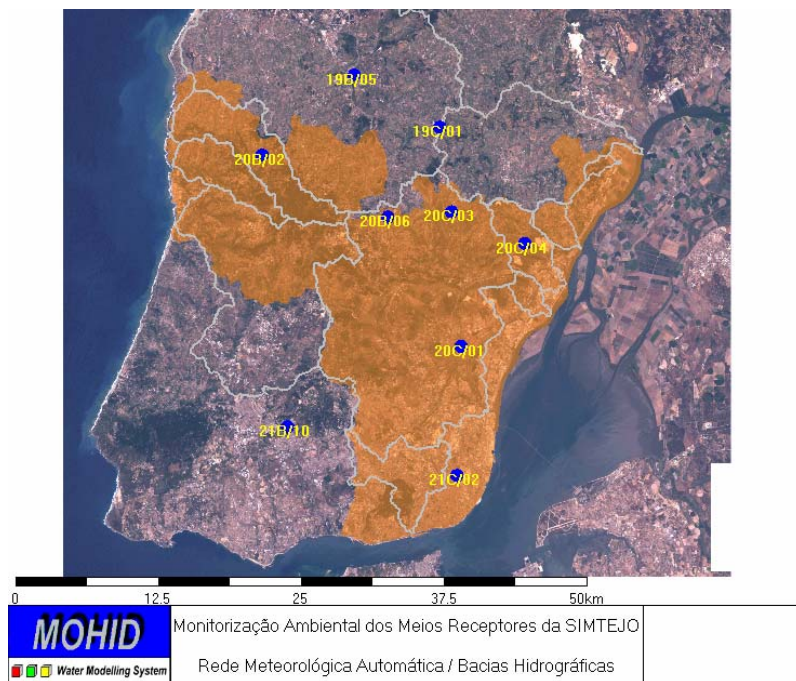


Figura 6: Estações automáticas de amostragem do INAG nas zonas de atendimento da SIMTEJO.

A instalação de uma estação meteorológica tem um custo moderado e permite obter informação em tempo real, que pode ser interessante para a gestão dos sistemas de colectores e das próprias ETAR's. Assim sugere-se que a SIMTEJO adquira uma estação meteorológica para instalar na bacia do Trancão. A instalação da estação e a sua exploração ficarão a cargo desta equipa, em moldes semelhantes aos utilizados nas estações de qualidade da água do estuário do Tejo.

A meteorologia será também caracterizada a partir do modelo de previsão meteorológica MM5 instalado no IST (<http://meteo.ist.utl.pt>) explorado na forma de previsão. Este modelo será utilizado em duas perspectivas: (1) como ferramenta de previsão e (2) como ferramenta de interpolação. Os resultados do modelo para anos anteriores serão correlacionados com medidas efectuadas nas estações meteorológicas na região (**Error! Reference source not found.**), para procurar relações entre valores medidos e valores previstos. Estas correlações serão utilizadas para extrapolar os valores medidos nas estações para o resto da bacia e para melhorar as previsões do modelo. Com efeito nos modelos meteorológicos a previsão da quantidade de chuva ainda não atingiu o grau de precisão de outros parâmetros (nomeadamente da temperatura)<sup>3</sup>.

#### **4.5.4. Dados socio-económicos**

Os dados socio-económicos incluem informação sobre a população (distribuição e actividade), práticas agrícolas (e.g. culturas, fertilização, etc.), fontes pontuais de poluição (e.g. industria). Este tipo de informação pode ser obtido a partir de diferentes fontes (e.g. INE, INAG, IDRHa, SIMTEJO) e tem interesse para perceber as cargas poluentes existentes na bacia e para prever a sua evolução.

Toda a informação de base para as bacias do rio Trancão e do rio do Cuco será recolhida durante o primeiro ano do projecto. O tratamento da informação vai ser feito no sistema de informação geográfica MOHID GIS, com a finalidade de produzir ficheiros de entrada para o modelo MOHID Land.

#### **4.5.5. Calibração e validação dos processos hidrológicos**

A calibração e validação dos processos hidrológicos são a base para a posterior utilização do modelo para o estudo de processos de transporte e de qualidade da água. As bacias hidrográficas têm sobre um sistema estuarino a facilidade de os contaminantes serem transportados num único sentido, e sempre de

---

<sup>3</sup> É por isso que as previsões meteorológicas são em graus para a temperatura e qualitativas para a chuva.



uma bacia para outra a jusante. Como consequência, as bacias podem ter características muito diversas e a validação tem que ser feita sub-bacia a sub-bacia. Assim, o IMAR irá gradualmente afinar os processos hidrológicos, começando pelas sub-bacias mais importantes para a SIMTEJO.

#### ***4.5.5.1. Implementação dos processos de transporte de contaminação fecal***

Depois do processo de calibração e validação da hidrologia será validado o módulo de transporte da contaminação fecal, utilizando algoritmos de mortalidade idênticos aos utilizados no estuário, os quais determinam a taxa de mortalidade em função, da radiação solar, da salinidade e da temperatura e que já se encontram parcialmente implementados no modelo MOHID Land.

O modelo será corrido a partir do conhecimento existente sobre as bacias, nomeadamente do conhecimento das fontes de poluição de origem pontual e do uso do solo. A importância das fontes de origem difusa deverá ser um dos resultados do modelo. O processo de calibração e de validação do modelo é também um processo de validação da informação existente sobre a bacia. Assim, espera-se que um dos resultados deste processo seja a reavaliação da informação existente sobre fontes de origem pontual.

O aspecto mais importante da modelação das bacias é no entanto a distinção entre a importância relativa das fontes de poluição pontual e difusa. Em termos de contaminação microbiológica espera-se que as fontes urbanas sejam as mais importantes. No entanto a criação de gado intensiva (principalmente suiniculturas) e mesmo a criação de gado em regime extensivo ter papéis relevantes, especialmente em períodos de chuva.

Após a reavaliação das fontes de poluição e da validação do modelo, este poderá ser utilizado para o estudo de cenários de gestão, fazendo a previsão do impacte de eventuais obras de beneficiação sobre a qualidade da água, mas também para avaliar a magnitude das reduções de carga requeridas para satisfazer objectivos de qualidade da água.

#### ***4.5.5.2. Implementação dos processos de transporte de propriedades biogeoquímicas***

O módulo de transporte e reacções das propriedades biogeoquímicas nas linhas de água será acoplado ao modelo hidrológico após a sua calibração, à semelhança do proposto para a contaminação fecal. Este módulo resolve os ciclos do azoto, do fósforo e do oxigénio e permite simular a actividade trófica na rede de rios e distinguir a contribuição das fontes pontuais e difusas para esta. A calibração deste requer a calibração do escoamento superficial e do escoamento no aquífero por estes constituírem condições de fronteira importantes para as propriedades biogeoquímicas nas linhas água. Os processos

biogeoquímicos no solo serão também objecto de modelação matemática, nomeadamente os processos de mineralização da matéria orgânica e de crescimento das plantas.

A implementação deste modelo é particularmente importante tendo em conta a classificação das linhas de água na área de atendimento da SIMTEJO, em que a maioria dos pontos é classificado como “muito má”, com base nas concentrações de fósforo, como mostra a Figura 7.

Tal como o modelo de contaminação fecal, o modelo de transporte de propriedades biogeoquímicos nas linhas de água pode ser utilizado como ferramenta de gestão para avaliar eventuais obras de beneficiação na área de atendimento da SIMTEJO e especialmente para identificar a magnitude das intervenções requeridas para que a qualidade da água satisfaça os imperativos legais.

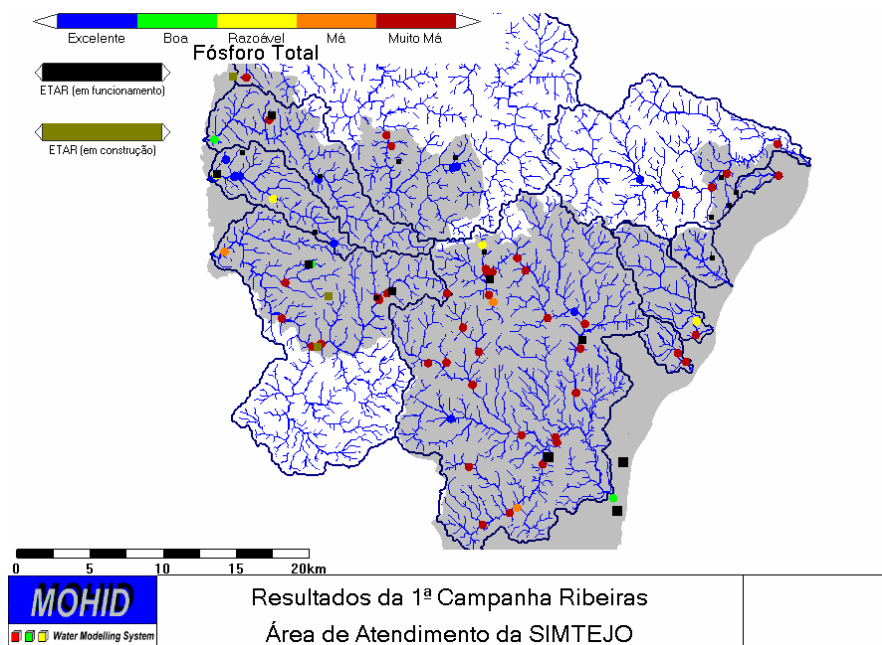


Figura 7: Classificação da qualidade da água em termos de fósforo nas linhas de água na área de atendimento da SIMTEJO

#### ***4.5.5.3. Modelação das bacias com menor disponibilidade de dados***

Após a validação do modelo MOHID Land nas bacias hidrográficas do Rio Trancão e do Rio do Cuco, os parâmetros de calibração serão utilizados para implementar o mesmo modelo nas restantes bacias hidrográficas, na área de atendimento da SIMTEJO, começando pelas bacias hidrográficas do Rio Lizandro, da Pipa Grande, do Rio Sarafujo e da Ribeira Crós-Cós.

A implementação do modelo mesmo nas bacias com poucos dados é vantajosa. A alternativa seria utilizar os poucos dados eventualmente na forma de um SIG. O modelo permite ir muito além das

possibilidades de um SIG, facilitando a análise de consistência dos dados disponíveis e permitindo fazer análises de sensibilidade a parâmetros e assim planear actividades futuras de forma mais objectiva.

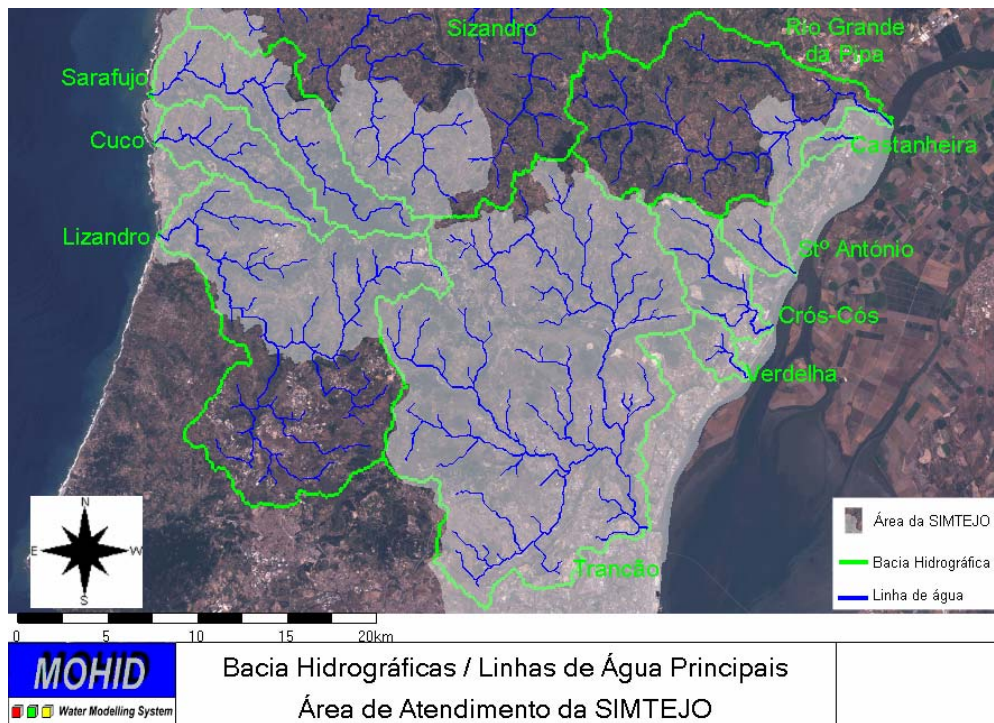


Figura 8: Bacias hidrográficas na área de atendimento da SIMTEJO.

#### ***4.5.5.4. Acoplamento de um modelo de previsão atmosférica***

Após a validação dos modelos hidrológicos, a primeira etapa para os tornar operacional será o acoplamento dos modelos de bacias hidrográficas a um modelo de previsão atmosférica, de modo a correr estes modelos num estado “pré-operacional”. Este acoplamento tem duas vertentes principais:

- Uma vertente tecnológica que trata da passagem da informação do modelo meteorológico para o modelo MOHID Land;
- Uma vertente da validação dos modelos de previsão meteorológicos para a área de atendimento da SIMTEJO;

A chuva é uma variável essencial para este acoplamento. Ela é no entanto a variável com maior incerteza nas previsões atmosféricas. Para reduzir as consequências desta incerteza serão implementadas duas medidas: (1) O modelo será corrido na modalidade “previsão” e na modalidade “reconstituição” e (2) serão procuradas correlações entre previsões do modelo e medidas observadas nas estações meteorológicas da bacia.

Na modalidade “reconstituição” (*hindcast*, na literatura anglo-saxónica) o modelo será corrido com base em informação meteorológica medida, sendo corrido dia-a-dia até ao momento em que a informação está disponível. Na modalidade “previsão” (*forecast*, na literatura anglo-saxónica), o modelo será corrido também diariamente, com base nos resultados da “reconstituição” e nas previsões meteorológicas. As previsões serão corrigidas usando as correlações entre as previsões e as medidas feitas com base nos dados históricos.

#### ***4.5.5.5. Operacionalidade dos modelos das diferentes bacias hidrográficas***

A melhor forma de gerir e de divulgar os resultados dos modelos operacionais é a sua inclusão numa base de dados e a consulta através de um “browser internet”, à semelhança do que acontece actualmente com o modelo operacional do Estuário do Tejo. O acesso aos resultados será gerido de forma a acordar com a SIMTEJO.

#### ***4.5.5.6. Acoplamento dos diferentes modelos***

Os modelos das bacias hidrográficas geram informação para a gestão das bacias e para definição das condições aos limites dos sistemas a jusante (estuário do Tejo e praias da zona oeste). Para tirar o máximo partido dos modelos das bacias para o modelo do estuário do Tejo, Os modelos das bacias que nele desaguam serão acoplados dinamicamente ao modelo operacional do estuário, como esquematicamente representada na Figura 9, para a bacia do Trancão e da ribeira de Alcântara.

### **4.6. Calendário de modelação das bacias**

O trabalho será efectuado ao longo de 5 anos. O primeiro ano será dedicado à recolha de dados e à modelação das Bacias do Trancão e do Rio do Cuco. Para as restantes bacias o trabalho será dedicado essencialmente à recolha de dados e sua inclusão num SIG.

A modelação durante o primeiro ano será dedicada a:

- Implementação e validação do modelo hidrológico das duas bacias,
- Implementação e validação do modelo de qualidade da água para fontes pontuais de origem urbana,
- Implementação e avaliação do modelo de qualidade da água para as bacias,
- Testes de modelação dos modelos das outras bacias.

## 4.7. Produtos da modelação das bacias

Os produtos desta acção incluem Resultados de Ferramentas e serão apresentados na forma de software, bases de dados, ficheiros, relatórios e de apresentações Power point.

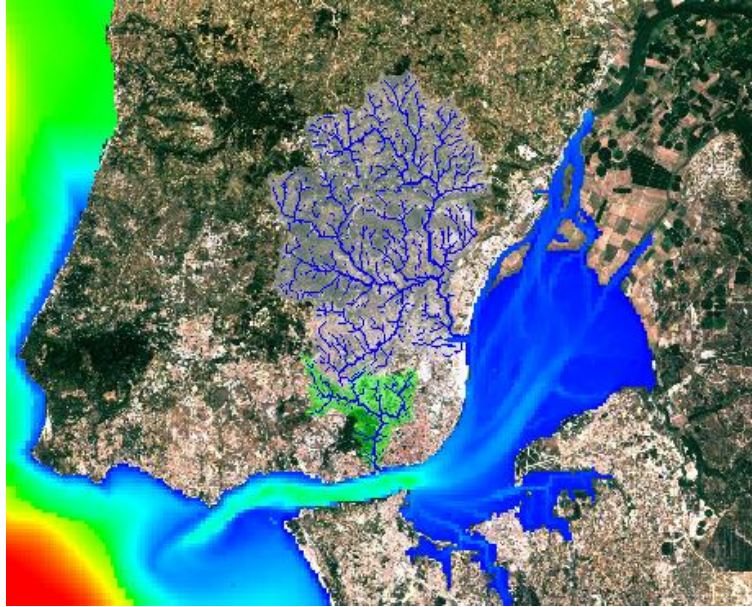


Figura 9: Acoplamento dos modelos das bacias hidrográficas da área de atendimento da SIMTEJO ao modelo operacional do Estuário do Tejo

### 4.7.1. Ferramentas e software

Serão produzidos os seguintes conjuntos de produtos:

- SIG com os dados das bacias,
- Base de dados com séries temporais de caudais e de qualidade da água,
- Modelos das bacias,
- Modelo operacional das bacias e interface web de exploração dos resultados.

### 4.7.2. Relatórios

- Anuais, com a descrição da implementação dos modelos e validação entretanto efectuada com os dados de campo já disponíveis;
- Análise de dados meteorológicos e balanço hídrico para cada uma das bacias,
- Outros relatórios serão apresentados com respostas a questões pontuais, que venham a ser levantadas durante o estudo.

## 5. Gestão da Informação

Com o objectivo de armazenar e organizar os diversos dados de campo obtidos ao longo das campanhas de amostragem na área de atendimento da SIMTEJO foi já desenvolvida uma aplicação WEBGIS (<http://www.mohid.com/gis/SimTejo/>, Figura 10) que, tendo em conta todas as capacidades dos sistemas WEB actuais, se revela como uma solução efectiva para a organização e gestão de dados recolhidos. A aplicação, construída em ambiente *.NET*, permite, utilizando várias linguagens de programação (*asp.net*, *html*, *java script* e *Visual Basic*), aceder e pesquisar, de modo fácil, os dados contidos numa base de dados, construída em *Access*, onde se encontram armazenados, de forma organizada, todos os dados de campo disponíveis. A pesquisa de dados é nesta aplicação gerida através de um sistema servidor-cliente, onde toda a informação se encontra centralizada num servidor, evitando, desta forma, o problema de gestão de versões da base de dados, podendo o cliente aceder, facilmente, através da Internet. Para além da componente de armazenamento e pesquisa de dados, a aplicação WEBGIS permite ainda a sua exploração gráfica com um sistema tipo “Sistema de Informação Geográfica” através da utilização da tecnologia MapServer (<http://mapserver.gis.umn.edu/home.html>). Uma aplicação SIG deste tipo permite avançar para além da gestão e armazenamento de dados, visualizando a sua localização geográfica durante o processo de consulta.



Figura 10. Ferramenta WebGIS para gestão e pesquisa de dados obtidos nas campanhas de monitorização da SimTejo

As potencialidades associadas a este tipo de ferramentas são muito elevadas e, neste sentido, propõe-se ao longo do projecto ampliar e melhorar a ferramenta mais existentes incluindo:

- Resultados em tempo real das estações fixas de amostragem;
- Resultados da modelação matemática;
- Resultados das amostragem por sensores (perfis verticais e horizontais);
- Resultados das amostragens clássicas executadas por outros parceiros;
- Criação de ferramentas de síntese que permitirão o cruzamento entre os diversos tipos de informação.



## 6. Detecção Remota

A obtenção de informação a partir de dados de satélite é um subproduto de outras actividades da equipa de investigação do MARETEC/IMAR, mas que pode ser de grande utilidade para o programa de monitorização da SIMTEJO. Os dados do satélite MERIS, da ESA têm uma resolução de 250 metros e dão informação de clorofila, sedimentos em suspensão e de temperatura. O MARETEC/IMAR está a utilizar estes dados no âmbito de um protocolo com a ESA e é coordenador de um projecto de investigação aprovado pela UE - que terá início até Junho de 2005 e durará 36 meses - em que uma componente principal é a detecção remota. Este projecto (INSEA) envolve parceiros de Portugal, França, Reino Unido, Holanda e Grécia e tem um orçamento de 1.4 milhões de Euros.

A Figura 11 compara resultados do modelo com dados de satélite e com dados de campo para o dia 17 de Maio de 2004. Globalmente a comparação é boa, sendo particularmente boa a comparação dos dados de campo e de satélite. As diferenças entre os resultados do modelo e os dados de campo na zona de montante são atribuídas à incerteza das concentrações provenientes do rio Tejo, que são obtidas por estimativa e nesta altura deverão ter um erro por defeito.

Em anexo são apresentadas as metodologias a usar e alguns resultados obtidos entretanto no âmbito desta área de actividade.

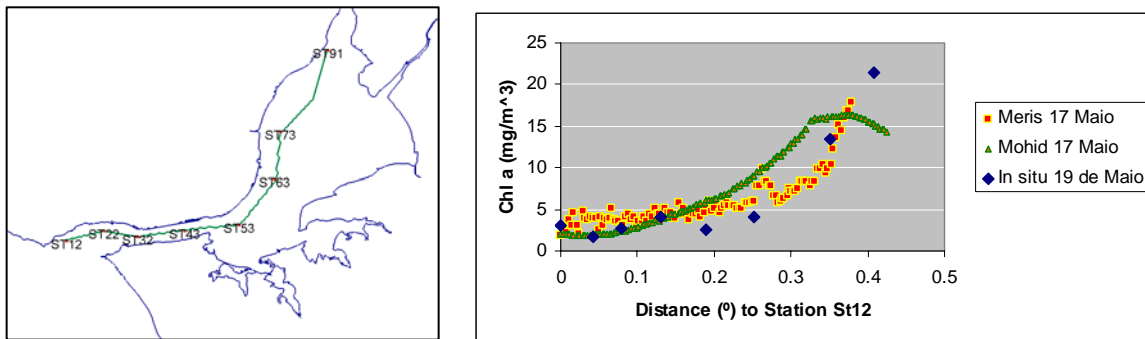


Figura 11: Comparação das concentrações de clorofila (a) medidas nas estações representadas no mapa (pontos azuis no diagrama da direita, (b) medidas pelo sensor do satélite Meris ao longo do perfil a verde indicado no mapa e (c) resultados do modelo ao longo do mesmo perfil, no dia 17 de Maio de 2004.



## **7. Equipa**

A execução do programa de amostragem descrito será efectuada pela equipa do IMAR (IST/IMAR). Os elementos desta equipa mais envolvidos no projecto serão: Ramiro Neves, Sofia Saraiva, Frank Braunschweig, Pedro Chambel Leitão e Pedro Galvão.

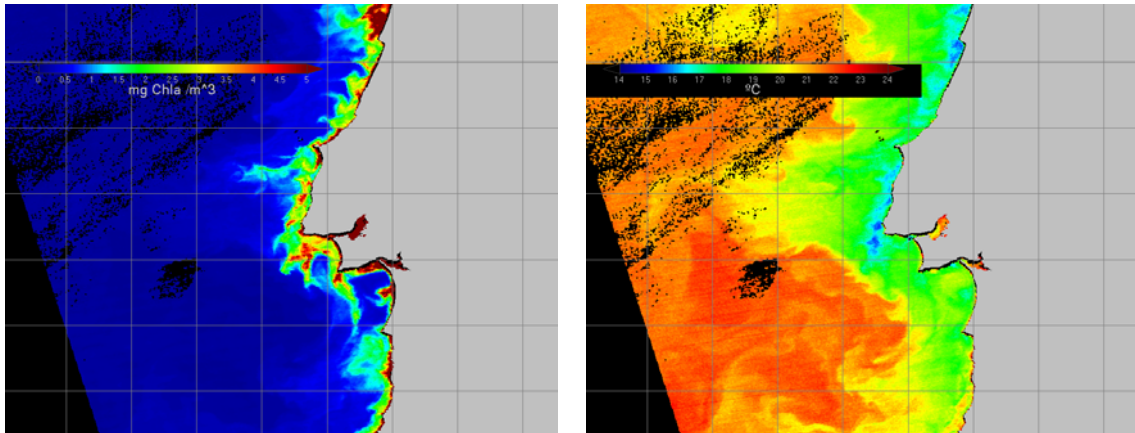
## **8. Custos**

No primeiro ano esta proposta terá um custo de 124 000 euros (mais IVA). Nos anos subsequentes o custo dependerá do programa de trabalho a acordar.

Os principais custos deste trabalho são de pessoal, devendo o projecto requerer 3 pessoas\*ano. A estes custos somam-se consumíveis, deslocações e o *overhead* do IMAR

# ANEXO I

## Proposta Para a Utilização de Detecção Remota no Projecto de Monitorização da SimTejo



Maretec-IMAR

Março, 2005

# Índice

<b>1.</b>	<b><i>Sumário</i></b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b><i>Introdução</i></b> .....	<b>2-1</b>
<b>3.</b>	<b><i>Programa de Monitorização do Estuário do Tejo</i></b> .....	<b>3-2</b>
<b>3.1.</b>	<b>Hipótese de Trabalho</b> .....	<b>3-2</b>
<b>3.2.</b>	<b>Objectivos Gerais do Programa de Monitorização</b> .....	<b>3-2</b>
<b>3.3.</b>	<b>Objectivos Específicos da Monitorização com Sensores</b> .....	<b>3-3</b>
3.3.1.	Plano de Trabalho.....	3-3
<b>3.4.</b>	<b>Modelação Matemática</b> .....	<b>3-6</b>
3.4.1.	Estudo de cenários .....	3-7
3.4.2.	Modelação operacional.....	3-8
<b>3.5.</b>	<b>Produtos</b> .....	<b>3-9</b>
3.5.1.	Relatórios.....	3-10
3.5.2.	Software.....	3-10
<b>4.</b>	<b><i>Modelação Matemática das bacias hidrográficas</i></b> .....	<b>4-11</b>
<b>4.1.</b>	<b>Hipótese de Trabalho</b> .....	<b>4-11</b>
<b>4.2.</b>	<b>Objectivos</b> .....	<b>4-12</b>
<b>4.3.</b>	<b>Metodologia para Modelação das Bacias Hidrográficas</b> .....	<b>4-12</b>
<b>4.4.</b>	<b>Implementação dos modelos</b> .....	<b>4-14</b>
<b>4.5.</b>	<b>Recolha da informação de base</b> .....	<b>4-14</b>
4.5.1.	Dados da bacia.....	4-15
4.5.2.	Dados de Escoamento e Qualidade da Água .....	4-16
4.5.3.	Meteorologia.....	4-17
4.5.4.	Dados socio-económicos .....	4-18
4.5.5.	Calibração e validação dos processos hidrológicos .....	4-18
<b>4.6.</b>	<b>Calendário de modelação das bacias</b> .....	<b>4-22</b>
<b>4.7.</b>	<b>Produtos da modelação das bacias</b> .....	<b>4-23</b>
4.7.1.	Ferramentas e software.....	4-23
4.7.2.	Relatórios.....	4-23

5.	<i>Gestão da Informação</i> .....	5-24
6.	<i>Detecção Remota</i> .....	6-26
7.	<i>Equipa</i> .....	7-27
8.	<i>Custos</i> .....	8-28
	<i>Índice</i> .....	2
9.	<i>Objectivos</i> .....	4
9.1.	<i>Introdução</i> .....	4
9.2.	<i>Tipo de Informação e Acesso</i> .....	5
9.3.	<i>Análise dos Dados SeaWifs</i> .....	8
9.3.1.	Análise por Classes.....	8
9.3.2.	Análise estatística .....	10
9.4.	<i>Comparação Modelo Mohid vs. Imagens Meris</i> .....	11
9.4.1.	Comparação de Sedimentos.....	12
9.4.2.	Comparação Clorofila.....	13
9.5.	<i>Trabalho Futuro</i> .....	14
9.6.	<i>Conclusões</i> .....	15

## 9. Objectivos

Esta proposta tem 2 objectivos: (i) em primeiro lugar pretende apresentar uma nova fonte de informação disponível para o projecto, a detecção remota por satélite. Esta fonte de informação não é nova no sentido estrito uma vez que existe há bastante tempo mas a verdade é que os desenvolvimentos recentes em termos de acesso à informação e esforços para a tornar mais fiável em zonas costeiras vieram abrir novos horizontes na sua aplicação; (ii) em segundo lugar demonstrar o potencial que existe na sua utilização em termos de tornar o esforço de monitorização no Projecto SimTejo mais eficiente, quer pela percepção mais ampla e quantificada dos processos que aí ocorrem, quer pela melhoria que pode promover na utilização das ferramentas de modelação já usadas.

### 9.1. Introdução

A utilização de imagens de satélite em zonas costeiras é uma área em expansão. Tipicamente os algoritmos utilizados são indicados para o oceano em que a “cor” da água depende quase exclusivamente da clorofila existente. Em zonas costeiras a presença de sedimentos em suspensão e matéria orgânica inviabilizam a utilização destes algoritmos sendo por isso necessário o desenvolvimento de novas soluções. Recentemente, o aparecimento de novos sensores como o MODIS-Aqua (NASA) e MERIS (ESA) e mesmo de novos algoritmos aplicados a sensores mais antigos como o Seawifs (NASA), permitiu avanços significativos nestas áreas.

A nível Europeu e do ponto de vista técnico/económico, esta é uma área em franca expansão. Nos últimos anos foi feito um grande esforço por parte da Agência Espacial Europeia (ESA) e União Europeia (UE) no sentido de desenvolver sensores e investigação em processamento de sinal para tornar esta tecnologia mais adequada para as zonas costeiras onde existe um real interesse económico e que se encontram sujeitas às maiores pressões antropogénicas. Em termos de enquadramento legal, a utilização deste tipo de informação é recomendada em documentos como a Directiva Quadro da Água, visando um aumento da eficiência do esforço de monitorização que deve incluir também a utilização de dados in situ e modelos que funcionam com ferramentas integradoras das várias fontes de informação.

Sob a coordenação do Prof. Ramiro Neves, o grupo de investigação Maretec do IST tem vindo a desenvolver sérios esforços no sentido de tornar o acesso e processamento deste tipo de informação mais eficiente. Neste momento, para além do acesso à informação de vários sensores (Seawifs, Meris, Modis), é possível também através da adaptação de ferramentas que já existiam no âmbito do processamento e análise das grandes quantidades de informação geradas pelo modelo MOHID,

processar e integrar a informação derivada das imagens de satélite.

## 9.2. Tipo de Informação e Acesso

Os 3 sensores com os quais a equipe do Maretec tem trabalhado são o MERIS da ESA e o Seawifs e Modis-Aqua ambos da NASA. Estes sensores têm em comum o facto de serem sensores passivos, isto é, medem a radiação que é emitida pela terra sob vários comprimentos de onda. Isto implica por exemplo, que só existem imagens válidas quando não há nuvens sobre a zona de estudo. Tipicamente, o parâmetro mais importante medido por estes sensores e após processamento que inclui correcções para eliminar os efeitos atmosféricos, é a clorofila. Este parâmetro permite acompanhar os processos de produção primária na superfície do mar e é um indicador indirecto dos processos de transporte verticais e horizontais. Têm vindo a ser desenvolvidos novos algoritmos que permitem calcular também a presença de substâncias orgânicas, matéria em suspensão e factor de extinção da luz na água. Em termos de frequência de amostragem, todos os sensores permitem teoricamente obter uma imagem válida diariamente.

O sensor Modis possui uma característica extra que é o facto de calcular também a temperatura da superfície da água (SST), o que é extremamente interessante principalmente numa zona como a Costa do Estoril na costeira adjacente ao estuário do Tejo que é influenciada pelo upwelling causado pelo vento norte e facilmente identificável pela acentuada diminuição da temperatura da água na costa, devido à ressurgência de água profunda fria e rica em nutrientes e que, conseqüentemente, promove um aumento da produção primária (clorofila). As Figura 12 e Figura 13 apresentam uma imagem do sensor Modis-Aqua numa situação típica de upwelling de verão (17 de Agosto de 2004) identificando-se as zonas mais frias (cor azul na Figura 13) junto da costa e um aumento de temperatura à medida que nos deslocamos para as zonas mais profundas. A imagem de clorofila mostra claramente a correlação existente entre estas zonas de menor temperatura e normalmente ricas em nutrientes com aumentos localizados de clorofila (cor vermelha na Figura 12).

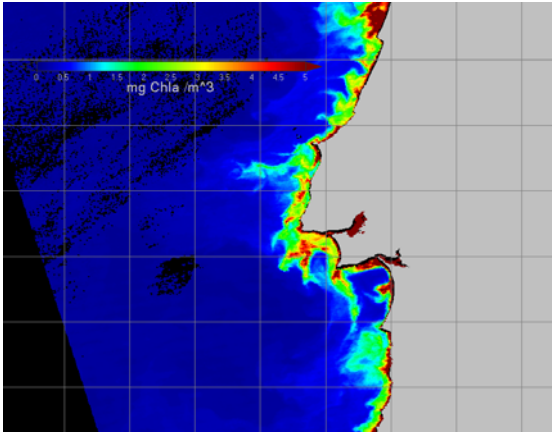


Figura 12 - Clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) medida pelo sensor Modis-Aqua em 17 de Agosto de 2004 representando uma situação típica de upwelling costeiro.

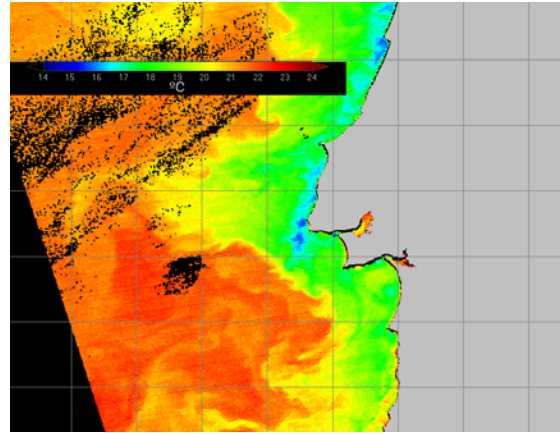


Figura 13 - Temperatura da superfície da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida pelo sensor Modis-Aqua em 17 de Agosto de 2004 representando uma situação típica de upwelling costeiro.

O sensor da ESA - Meris - apresenta uma vantagem inegável em relação aos sensores da NASA, que é a sua resolução espacial. Os sensores da NASA têm uma resolução espacial de 1.1km e o sensor da ESA tem uma resolução espacial de 250m. Esta diferença significativa pode ser claramente identificada nas figuras seguintes. Isto significa que o único sensor com capacidade de descrever os processos dentro do estuário é o Meris da ESA. Os sensores da NASA, não deixam de ser bastante úteis, pois permitem mostrar claramente as trocas entre o estuário e a zona costeira adjacente para além de terem uma disponibilidade bastante maior.

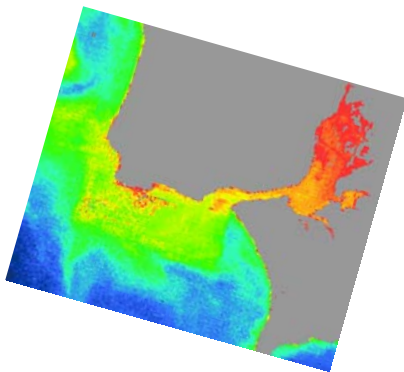


Figura 14 - Imagem Meris (detalhe)

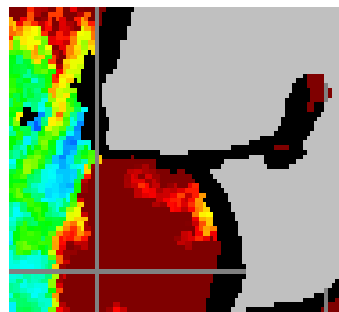


Figura 15 - Imagem Seawifs (detalhe)



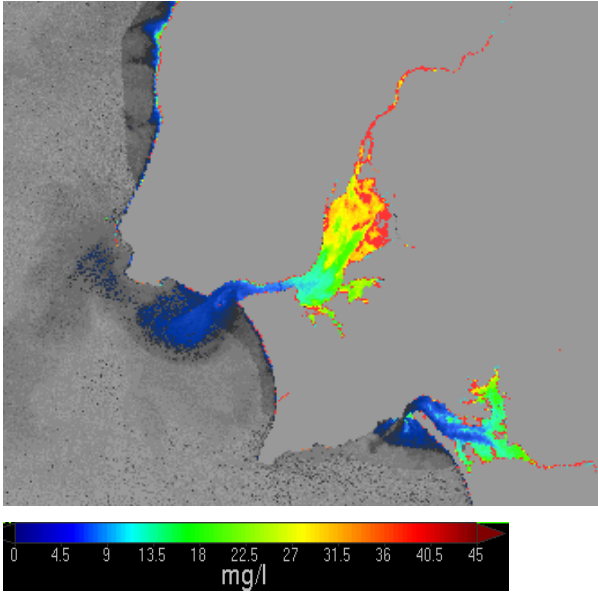


Figura 16 - Matéria em suspensão (mg/l) medida pelo sensor MERIS em 10 de Outubro de 2003

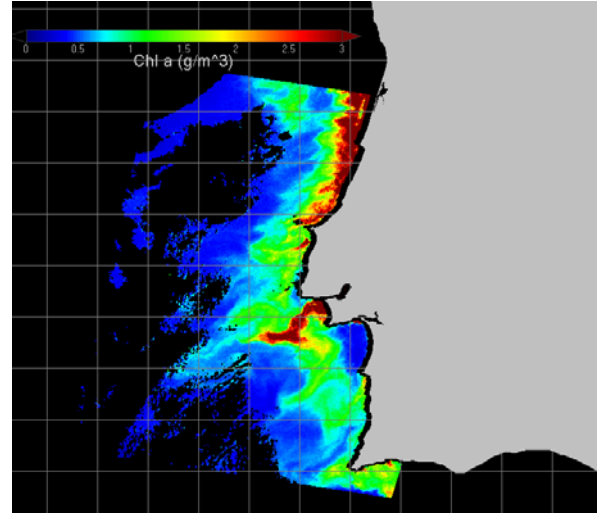


Figura 17 -Clorofila A (mg/m<sup>3</sup>) medida pelo sensor Seawifs em 1 de Junho de 2002

Em termos de acesso, no caso dos sensores da NASA, o Modis tem acesso livre e gratuito e o Seawifs tem acesso livre e gratuito para os dados entre Setembro de 1997 e 21 de Dezembro de 2004. Em relação ao sensor da ESA, o Meris, o Maretec tem acesso limitado e gratuito (100 imagens durante 3 anos) através de um protocolo entre a ESA e o Instituto Superior Técnico, sendo possível obter acesso ilimitado através de pagamento. Este pagamento é relativamente baixo, cerca de 25 Euros por imagem para fins de investigação. A figura seguinte mostra os períodos de informação disponível para cada sensor.

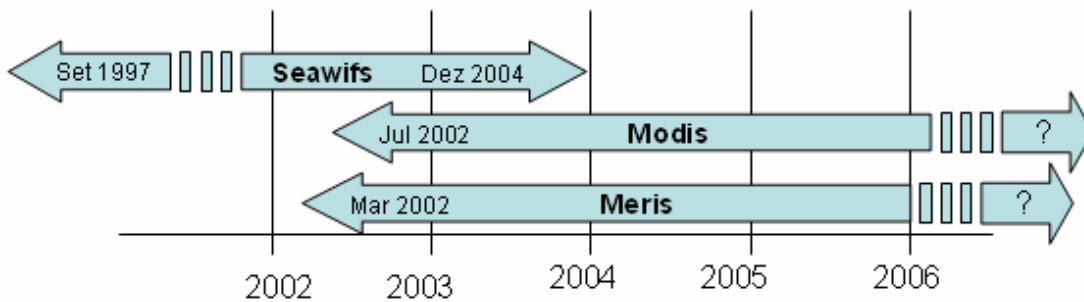


Figura 18 - Períodos de informação disponível para os vários sensores utilizados

Nesta proposta focamos 3 sensores (Modis –Aqua, Seawifs, Meris) com os quais a equipe do Maretec tem trabalhado mais activamente. Existem outros sensores que medem o mesmo tipo de parâmetros ou outros parâmetros que podem também vir a ser bastante úteis no futuro. Neste momento, quer pelas dificuldades de acesso, quer pelo preço, quer até por eventual desconhecimento nosso quanto à sua aplicação, ainda não desenvolvemos qualquer trabalho com eles.

### 9.3. Análise dos Dados SeaWifs

Os dados do sensor Seawifs representam um conjunto contínuo de imagens de satélite muito considerável que vai desde Setembro de 1997 até Dezembro de 2004. A costa portuguesa é bastante favorecida pelo facto de ter bastantes dias sem nuvens com condições ideais para obter imagens de satélite. Assim, ao longo deste período, foi possível obter mais de 1200 imagens de boa qualidade para análise. O gráfico seguinte representa o número de imagens obtidas para cada mês ao longo deste período. Os meses de Verão, em particular o mês de Julho, são os meses em que existem mais imagens, diminuindo depois para os meses de Inverno.

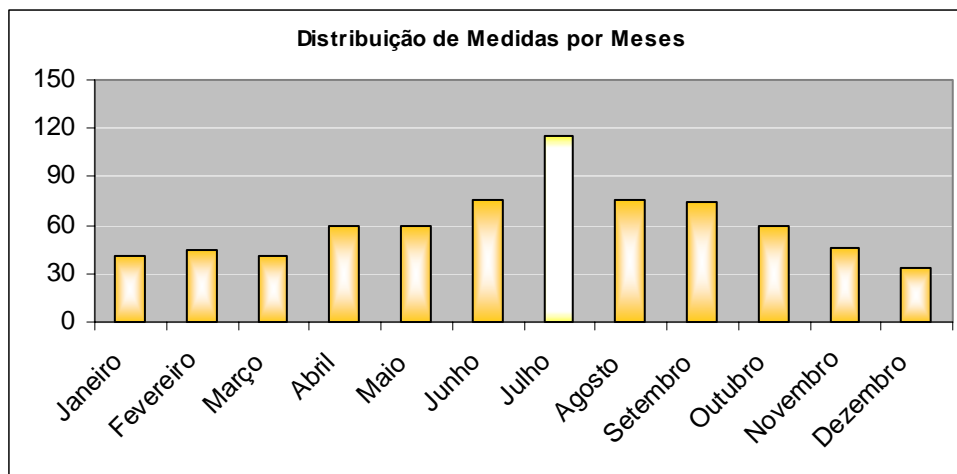


Gráfico 1 - Distribuição mensal da frequência de medidas do sensor Seawifs para o período compreendido entre 29 Setembro de 1997 e 21 Dezembro de 2004

#### 9.3.1. Análise por Classes

A partir do conjunto das imagens válidas para a Costa do Estoril, efectuou-se uma análise de séries temporais na localização do emissário da Guia, ou seja, para cada imagem identificou-se o ponto onde se localiza o difusor do emissário e registou-se o valor medido pelo Seawifs. Os gráficos seguintes apresentam os resultados desta análise. Do ponto de vista da distribuição de classes, verifica-se que 91.5% das medidas se encontram na classe 1-0 mg/m<sup>3</sup> de clorofila A (Gráfico 2) e dentro desta classe

cerca de 45% estão na classe 0.3 – 0.1 mg/m<sup>3</sup> (Gráfico 3). Os valores encontrados são típicos de zonas costeiras sujeitas a upwelling. Os valores mais altos e menos frequentes são devido a situações esporádicas de condições que favorecem o aparecimento de blooms mais acentuados que estão sempre relacionadas com a combinação de fenómenos meteorológicos e físicos com escala regional e com o próprio estuário. A título de exemplo Figura 19 apresenta uma situação de bloom intenso em 15 Maio de 2003 onde é perfeitamente visível a extensão do bloom.

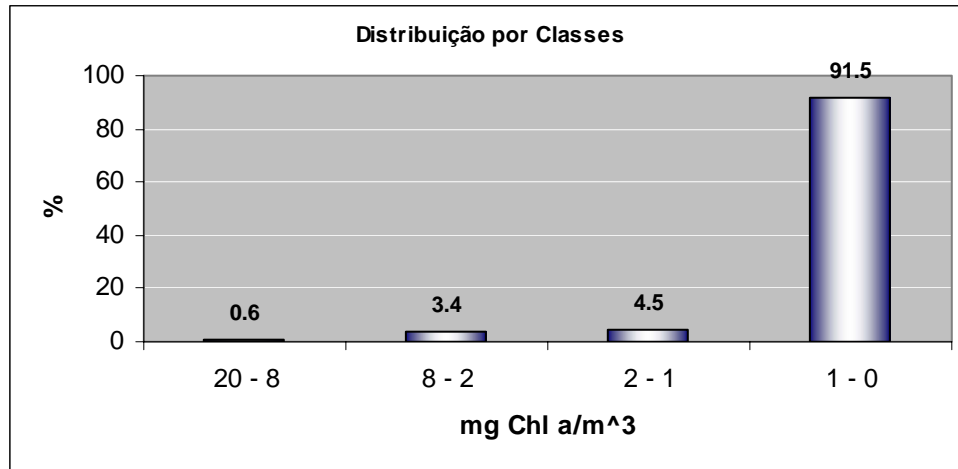


Gráfico 2 -Distribuição global dos valores de clorofila A (mg/m<sup>3</sup>) medidos pelo sensor Seawifs na zona do difusor do emissário da Guia.

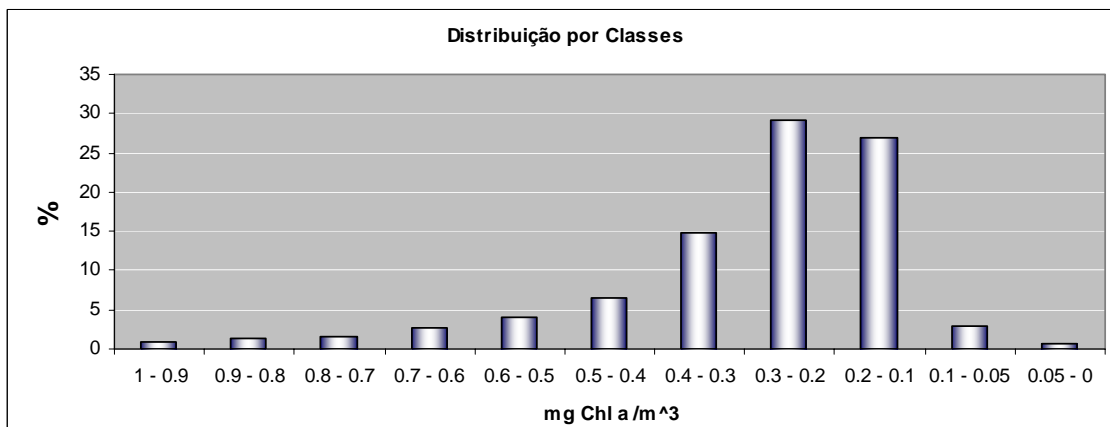


Gráfico 3 - Detalhe da classe 1-0(mg/m<sup>3</sup>) de distribuição dos valores de clorofila A medidos pelo sensor Seawifs na zona do difusor do emissário da Guia.

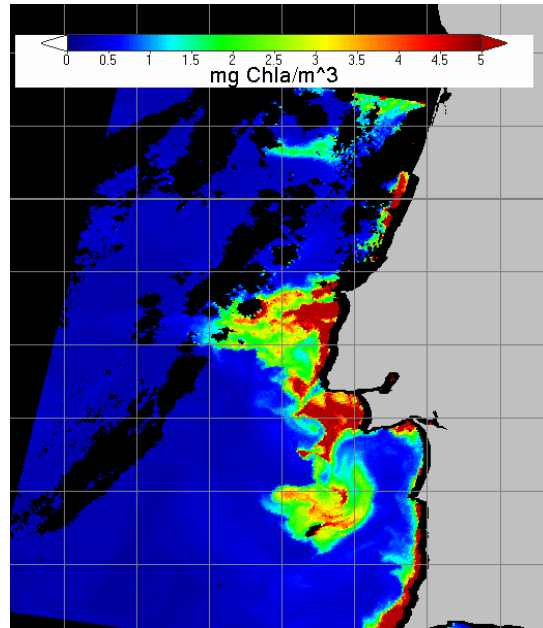


Figura 19 - Clorofila A ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) medida pelo sensor Seawifs em 15 de Maio de 2003 numa situação de bloom intenso.

### 9.3.2. Análise estatística

O Gráfico 4 apresenta uma análise estatística dos dados organizados mensalmente para todo o período de análise. Nesta análise podemos identificar dois comportamentos distintos que são consistentes com a análise das frequências realizada anteriormente. A curva dos valores máximos aparece de forma destacada apontando os meses de Maio, Junho e Agosto como os meses em que ocorreram os valores máximos mais altos, mas mostrando a ocorrência de valores elevados durante todos os meses do ano. Os valores desta gama elevada têm uma representatividade muito baixa. Na análise das classes, os valores desta ordem de grandeza tinham uma percentagem de ocorrência de 0.6%. Isto é confirmado pelo facto do desvio padrão (STD) estar muito próximo da média. A análise da média permite caracterizar o segundo tipo de comportamento que ocorre com grande frequência (valores entre 2 e 0  $\text{mg Chla a}/\text{m}^3$ ) e identificar 2 períodos, o de Inverno com concentrações mais altas, e o de Verão com concentrações ligeiramente mais baixas, o que é consistente com as medidas *in situ* e com o conhecimento que existe sobre esta zona.

Os 3 aspectos principais que limitam a produção primária são a luz, a temperatura e os nutrientes. Nas nossas latitudes e desde que a concentração de matéria em suspensão na água não seja elevada, como é o caso da zona do emissário na Costa do Estoril, a luz não é um factor limitante no Inverno e muito menos no Verão. Apesar de existir alguma amplitude de variação de temperatura, esta não é suficiente para serem atingidos patamares de limitação (temperaturas menores de  $5^\circ\text{C}$  ou superiores a  $25^\circ\text{C}$ ), desta

forma cabe aos nutrientes desempenharem o papel principal no controle da produção primária. A zona do emissário da Guia está sujeita ao upwelling, como já foi referido, mas é também fortemente influenciada pelo estuário do Tejo que representa uma fonte muito importante de nutrientes. O facto de aparecerem valores altos durante todo o ano demonstra a importância do upwelling que pode ocorrer em qualquer ocasião desde que surja vento do quadrante Norte. Por outro lado, a contribuição do estuário do Tejo sofre uma diminuição muito acentuada no Verão devido à diminuição do caudal do rio. Ambos os processos são complexos e a sua combinação com fenómenos físicos que ocorrem no período Verão nesta área, como o desenvolvimento de uma termoclina promovendo a estratificação das camadas de superfície, impede o desenvolvimento de uma teoria simples para ajustar os dados obtidos aos fenómenos descritos. No entanto, é possível afirmar que estes resultados corroboram estes processos e não são em caso nenhum contraditórios com eles.

Também aqui fica demonstrada a necessidade de utilização de modelos, de forma a combinar toda esta informação e o conhecimento existente para se estudar um assunto que é inevitavelmente complexo.

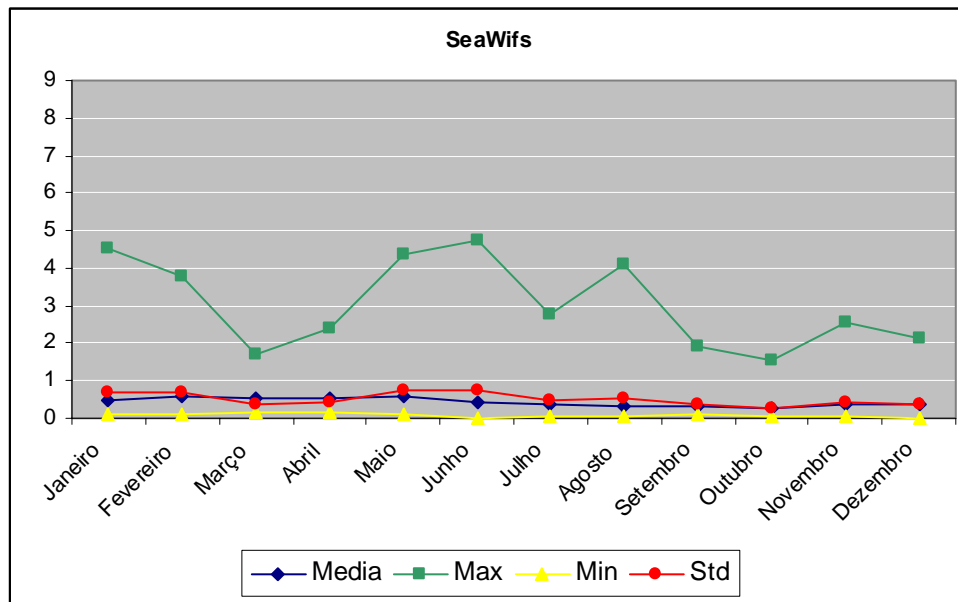


Gráfico 4 - Análise estatística dos valores de clorofila A (mg/m<sup>3</sup>) medidos pelo sensor Seawifs na zona do difusor do emissário da Guia

#### 9.4. Comparação Modelo Mohid vs. Imagens Meris

Tal como já foi referido na introdução desta proposta, a fiabilidade dos algoritmos mais antigos de processamento da informação de satélite em zonas costeiras, é baixa pelo facto da cor da água ser fortemente influenciada por concentrações elevadas de sedimentos em suspensão, matéria orgânica e

clorofila. A elevada resolução espectral (relacionada com o elevado número de comprimentos de onda medidos pelo Meris) e o esforço da ESA em conseguir resolver este problema, quer através do hardware, quer através do software de processamento que envolve o desenvolvimento de novos algoritmos, parece estar a dar frutos. Em várias zonas costeiras do planeta a comparação entre os dados Meris e informação *in situ* tem demonstrado que, sob determinadas condições, a informação é credível.



**Figura 20 - Localização do perfil horizontal**

Não temos conhecimento de estudos neste sentido em Portugal sendo o trabalho que temos vindo a realizar pioneiro nesta área. A alta resolução das imagens Meris (250 m) permite fazer uma comparação directa entre esta informação e os resultados obtidos pelo modelo Mohid para a clorofila e para a matéria em suspensão. A Figura 20 identifica a localização de um perfil longitudinal no Estuário do Tejo.

Costa do Estoril sobre o qual foi realizada a comparação dos valores destas duas fontes de informação para o dia 17 de Maio de 2004. Os resultados da comparação são apresentados segundo o eixo do XX (Longitude), ou seja os valores mais à direita (Este) representam os valores no estuário e os valores mais à esquerda (Oeste) representam os valores no oceano. São apresentados resultados do Mohid para as 14h e para 15h já que a imagem Meris foi realizada às 14:37.

### **9.4.1. Comparação de Sedimentos**

Os resultados do modelo e os dados de satélite expressam o mesmo tipo de comportamento com bastante semelhança entre si apresentando uma diminuição da concentração de Este para Oeste ou seja à medida que nos deslocamos do estuário para o mar. Os valores obtidos são muito semelhantes, principalmente a oeste da longitude -9.2 . As maiores diferenças ocorrem na zona mais a Este e podem ser causadas por vários factores. Um dos principais é provavelmente a baixa profundidade e a incapacidade do satélite resolver os problemas associados ao facto de “ver” o fundo, daí se explica uma oscilação tão acentuada. Este fenómeno volta a acontecer na comparação com a clorofila, o que dá consistência a esta hipótese.

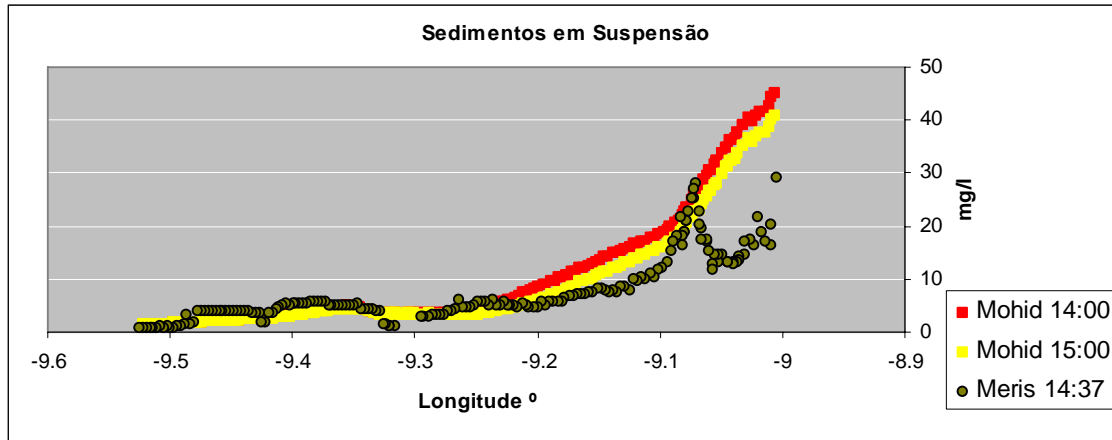
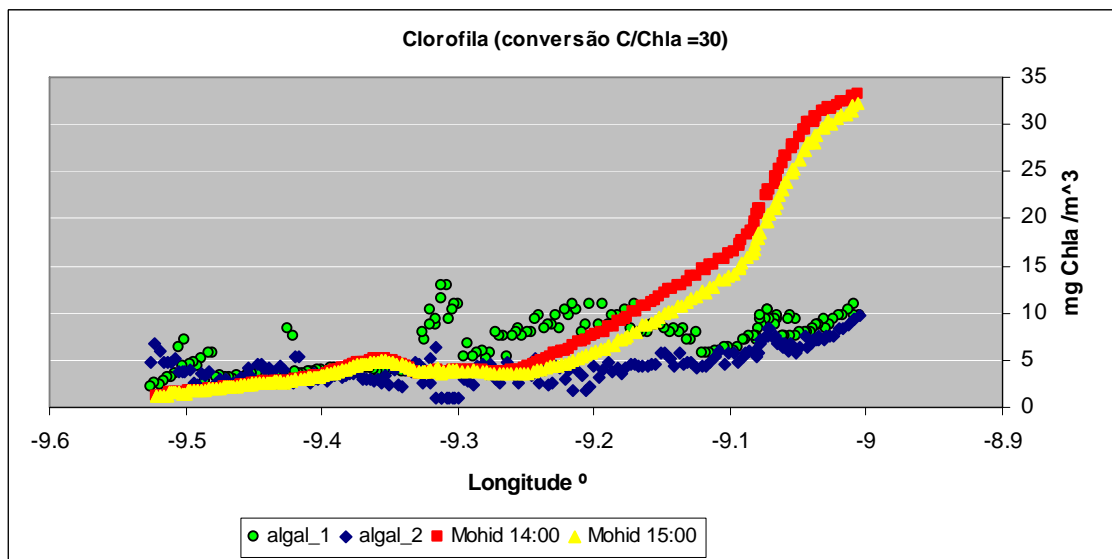
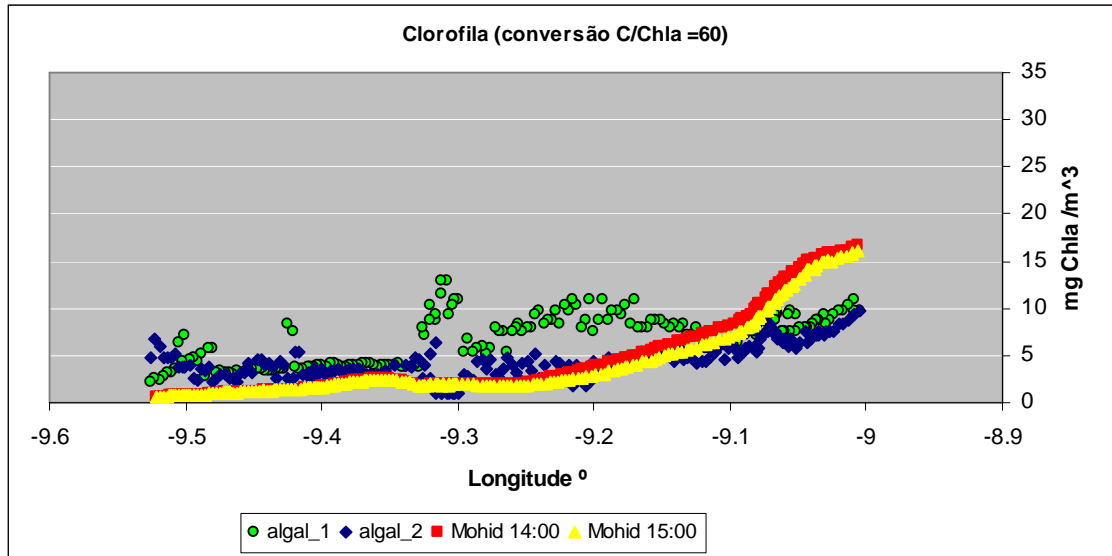


Figura 21 – Perfis horizontais da concentração de sedimentos em suspensão obtida através da imagem de satélite e do modelo Mohid

### 9.4.2. Comparação Clorofila

Existem dois tipos de resultados MERIS para a clorofila: *algal\_1* para águas do tipo I (a cor depende essencialmente da clorofila) e *algal\_2* para águas do tipo II (zonas costeiras onde a cor depende da matéria orgânica, clorofila e sedimentos). Os resultados do *Algal\_2* estão bastante mais consistentes em termos de continuidade e mesmo em comparação com os resultados do Mohid. É interessante notar que à longitude 9.3 quer o modelo quer a imagem de satélite revelam uma ligeira diminuição de concentração. O Mohid calcula a concentração de fitoplâncton em unidades de carbono por metro cúbico, a conversão de carbono em clorofila é bastante variável, por esse motivo apresentamos os resultados para dois valores “limite” de conversão notando-se que a razão  $C/Chla$   $a = 60$  apresenta melhores resultados. Novamente é notada uma distorção no lado Este tal como foi para os sedimentos.



## 9.5. Trabalho Futuro

O trabalho apresentado é recente e encontra-se apenas no início. Os resultados obtidos atestam o potencial que este tipo de informação apresenta. As imagens de satélite por si só representam uma informação valiosa pelo facto de proporcionarem uma visão ampla da zona de estudo permitindo estudar e monitorizar o seu funcionamento de uma forma muito eficiente em termos de custo e tempo. As tarefas seguintes deste trabalho passam pela melhor integração desta informação com o modelo Mohid quer em termos de validação dos resultados da modelação quer através da melhoria das condições de fronteira do modelo. Neste sentido o projecto de investigação europeu INSEA financiado pela União Europeia no âmbito do programa GMES (ESA + UE), coordenado pelo IST através do



Prof. Ramiro Neves que foi recentemente aprovado para os próximos 3 anos irá permitir avançar bastante este tipo de desenvolvimentos e acima de tudo dará uma contribuição relevante para o Projecto SimTejo.

## 9.6. Conclusões

Os processos que se pretendem estudar são complexos e nenhuma das fontes de informação existentes é cem por cento fiável. Existem sempre margens erro associadas a todas as medidas que são realizadas quer via satélite quer *in situ*. O modelo Mohid é também uma fonte de informação com as suas margens de erro, onde estes processos são traduzidos por equações matemáticas. Apesar das margens de erro, quando 3 fontes de informação independentes entre si nos dão a mesma imagem dos processos em estudo e permitem tirar conclusões consistentes, a nossa confiança nos resultados obtidos aumenta consideravelmente.

Neste momento existe a percepção que observações locais com baixa frequência temporal não resolvem a variabilidade ambiental nas escalas espaço-temporal apropriadas para as necessidades actuais e que a detecção remota pode ser extremamente útil especialmente em locais onde os dados são escassos.

Dados locais e dados de satélite sozinhos podem não satisfazer os objectivos do utilizador. Normalmente é necessário um sistema completo de suporte à decisão, incluindo capacidades sinópticas, analíticas e preditivas. O projecto SimTejo financiado pela SimTejo SA tem seguido exemplarmente este percurso.