

Monitorização Ambiental dos Meios Receptores da SIMTEJO

Programa de Monitorização do Estuário do Tejo

Título: Relatório Final do Projecto Monitorização do Estuário do Tejo

Data: 21-07-2005

Autores:

David Brito

Frank Braunschweig

Madalena Santos

Pedro Pina

Ramiro Neves

Rosa Trancoso

Sofia Saraiva

Susana Nunes

Resumo

Este documento descreve o trabalho desenvolvido pelo Maretec/IST no âmbito do programa de monitorização do Estuário do Tejo, durante o 1º ano do projecto de “Monitorização Ambiental dos Meios receptores da SIMTEJO”. Durante este período o trabalho do IST centrou-se na recolha de amostras (amostragem clássica e amostragem com sensores), na simulação matemática dos processos hidrodinâmicos e de qualidade da água, utilizando o MOHID Water Modelling System como ferramenta de modelação e ainda na análise de dados de satélite.

Da análise dos vários tipos de dados disponíveis conclui-se que, de um modo geral, grande parte dos parâmetros amostrados apresenta um gradiente de concentração decrescente de montante para jusante como resultado do efeito da diluição. Em termos de nitrato as concentrações mais elevadas são registadas nas proximidades das descargas dos rios Tejo, Trancão e Sorraia, enquanto que concentrações de amónia e fósforo total mais importantes se apresentam junto das descargas com uma forte componente de águas residuais urbanas, nomeadamente junto à descarga de Alcântara e também à descarga do Rio Trancão. O parâmetro clorofila-*a* apresenta tanto nos resultados de campanhas como nos resultados das simulações do modelo, uma vincada variação espacial e sazonal coincidente com descrições existentes na literatura. As concentrações mais elevadas apresentam-se na zona de montante, na região de sapal existente na zona Este do estuário (frente a Alcochete), onde as baixas profundidades e o elevado tempo de residência favorece a produção primária. Esta produção aumenta de forma significativa durante os meses de Maio, Junho e Julho, seguindo o aumento da intensidade da radiação solar. A comparação entre resultados do modelo e campanhas de amostragem é positiva, embora alguns processos precisem ainda de ser afinados, quer ao nível das condições de fronteira impostas no modelo, que são sucessivamente melhoradas no decorrer do programa de monitorização, quer ao nível das formulações utilizadas para a descrição dos processos, que são sistematicamente alvo de estudos paralelos.

A utilização do sistema de mapeamento revela, em geral, bons resultados, apresentando registos próximos dos valores obtidos em laboratório para grande parte dos parâmetros em estudo. Apenas o parâmetro oxigénio dissolvido apresenta ao que parece sistematicamente um desvio aos valores de laboratório. Considera-se este desvio característico do esquema de funcionamento do sistema, pelo que poderá ser corrigido utilizando um factor de correcção determinado a partir dos dados existentes até ao momento. Em particular para os registos de clorofila e matéria em suspensão são ainda utilizados dados de satélite como ferramenta adicional para a validação dos registos da sonda

multiparamétrica. Apesar de o trabalho apresentado nesta área ser muito recente e se encontrar ainda numa fase inicial, os seus resultados revela-se já bastante úteis, pelo facto de proporcionarem uma visão ampla da zona de estudo.

Durante o primeiro ano de projecto o sistema de mapeamento foi sendo optimizado e melhorado, pelo que agora os procedimentos para manuseamento e funcionamento do sistema a partir da embarcação se encontram bem definidos. Apesar dos resultados satisfatórios da sua utilização o sistema carece ainda de vários tipos de optimizações ao nível das metodologias possíveis para o tratamento e visualização de resultados que serão objecto de estudo durante o segundo ano de projecto.

Paralelamente ao projecto SIMTEJO encontra-se em desenvolvimento um estudo mais pormenorizado sobre a dinâmica dos sedimentos no Estuário do Tejo, cujos resultados preliminares se apresentam neste relatório. O estudo permite até ao momento concluir que o efeito das ondas na dinâmica dos sedimentos no Estuário do Tejo pode ser importante e a sua consideração nas simulações do modelo permitirá em grande medida melhorar os resultados obtidos. A continuidade do trabalho ao longo do próximo ano permitirá de forma mais realista simular e quantificar os fenómenos de ressuspensão de sedimentos devido ao efeito local das ondas que terão um papel importante na evolução local da produção primária e mobilização de poluentes, sendo a sua quantificação fundamental para os balanços globais do estuário.

Relativamente aos parâmetros de contaminação fecal existem algumas zonas mais críticas, onde os resultados das análises se revelam muitas vezes indicativos de uma água com qualidade medíocre (Classe D) de acordo com a classificação do INAG, tais como: ST41 (Alcântara), ST51 (Terreiro do Paço), ST61 (Cais da Matinha) e ST71 (Rio Trancão). É notório, no entanto, que o efeito de diluição existente é muito importante ao longo de uma mesma diagonal, pelo que as situações mais problemáticas se restringem aos locais mais próximos das descargas, não se estendendo a todo o estuário. A simulação dos parâmetros microbiológicos pelo modelo revela que este consegue reproduzir bem os valores das concentrações observados nos locais, sobretudo influenciados pelas descargas bem indentificadas (i. e. em frente de Lisboa, entre Algés e Cais da Matinha). No entanto, a zona da embocadura do estuário e a margem sul apresentam valores de campo que não podem ser explicados somente pelas descargas provenientes da área de atendimento da SIMTEJO. Para simular correctamente as concentrações observadas na Cala do Norte, propõe-se que em futuras simulações sejam incluídas as descargas existentes nesta zona, nomeadamente as ribeiras Crós-Cós e Verdelha.

Índice

1	<i>Introdução</i>	1
2	<i>Campanhas de Amostragem</i>	3
2.1	Estações de Amostragem	3
2.2	Planeamento e Execução da Amostragem	9
2.3	Resultados da Amostragem Clássica	11
	Conclusões	16
2.4	Sistema de Mapeamento	16
2.4.1	Descrição do Sistema	16
2.4.2	Resultados da Amostragem com Sensores	18
	Conclusões	20
3	<i>Modelação Ecológica</i>	21
3.1	MOHID Water Modelling System	21
3.2	Implementação do Modelo	23
3.2.1	Malhas Computacionais	23
3.2.2	Condições Fronteira	25
3.3	Hidrodinâmica do Sistema	27
3.4	Validação dos Resultados do Modelo	29
3.4.1	Propriedades Químicas e Biológicas	29
	Conclusões	33
3.4.2	Propriedades de Contaminação Fecal	34
	Conclusões	39
4	<i>Monitorização por Detecção Remota (Sensor MERIS – ESA)</i>	41
4.1	Tipo de Informação e Acesso	42
4.2	Observações de Clorofila	42
4.3	Observações de Matéria em Suspensão	44
4.4	Análise da variação sazonal de Clorofila	46
4.5	Validação das imagens Meris	47
4.5.1	Validação utilizando amostragem clássica	47
4.5.2	Validação utilizando amostragem com sensores	49
	Conclusões	51
5	<i>Dinâmica dos Sedimentos Coesivos no Estuário do Tejo</i>	52

5.1	Enquadramento	52
5.2	Modelação do transporte de sedimentos em suspensão.....	53
	Conclusões	58
6	<i>Conclusões Gerais.....</i>	59
7	<i>Sugestões para o segundo ano de projecto.....</i>	61
7.1	Amostragem Clássica	61
7.2	Amostragem com Sensores	65
7.3	Modelação Matemática	69
7.4	Gestão de Dados.....	70
8	<i>ANEXOS</i>	71
8.1	Coordenadas das Estações de Amostragem	71
8.2	Nível de maré aproximado durante a amostragem	73
8.3	Resultados da Amostragem Clássica.....	77
8.3.1	Mapas de Concentração.....	77
8.3.2	Evolução Temporal.....	114
8.4	Resultados da Amostragem com Sensores.....	153
8.4.1	7ª Campanha de amostragem (Novembro de 2004)	153
8.4.2	8ª Campanha de amostragem (Dezembro de 2004).....	155
8.4.3	9ª Campanha de amostragem (Janeiro de 2005).....	157
8.4.4	10ª Campanha de amostragem (Fevereiro de 2005)	159
8.4.5	11ª Campanha de amostragem (Março de 2005)	161
8.4.6	12ª Campanha de amostragem (Abril de 2005).....	163
8.5	Características das descargas de águas residuais urbanas	165
8.6	Complemento à Validação dos Resultados do Modelo.....	167
8.6.1	Séries Temporais de Propriedades Químicas e Biológicas.....	167
8.6.2	Mapas de Distribuição de Bactérias Coliformes Termotolerantes.....	178

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema geral de estações de amostragem no Estuário do Tejo.....	5
Figura 2. Esquema de diagonais consideradas no Estuário do Tejo.....	7
Figura 3. Embarcação de Recreio MARETEC.....	9
Figura 4. Sonda Multiparamétrica utilizada no sistema de mapeamento.....	9
Figura 5. Resultados de Amostragem Clássica: Turvação vs. Sólidos Suspensos Totais.....	12
Figura 6. Resultados de Amostragem Clássica: Turvação vs. Clorofila- <i>a</i>	13
Figura 7. Representação Esquemática do Sistema de Mapeamento.....	17
Figura 8. Componentes do sistema de mapeamento instalados na embarcação MARETEC.....	17
Figura 9. Componentes do sistema de mapeamento: <i>a</i>) medidor de caudal; <i>b</i>) sonda multiparamétrica.....	18
Figura 10. Componentes do sistema de mapeamento: <i>a</i>) datalogger; <i>b</i>) GPS (modelo SIMRAD CE33).....	18
Figura 11. Batimetria da aplicação de larga escala.....	24
Figura 12. Batimetria utilizada na aplicação do Estuário do Tejo.....	24
Figura 13. Descargas consideradas na simulação da qualidade da água no Estuário do Tejo.....	25
Figura 14. Variação do caudal do rio Tejo imposta na simulação do modelo (Janeiro de 2004 até Abril de 2005).....	26
Figura 15. Campo de velocidade no Estuário do Tejo em situação de enchente.....	27
Figura 16. Campo de velocidade no Estuário do Tejo em situação de vazante.....	28
Figura 17. Campo residual de velocidade no Estuário do Tejo.....	28
Figura 18. Fluxo residual no Estuário do Tejo.....	29
Figura 19. Evolução da concentração de oxigénio dissolvido (mg/l) na estação ST53.....	30
Figura 20. Evolução da concentração de nitrato (mgN/l) na estação ST53.....	31
Figura 21. Evolução da concentração de amónia (mgN/l) na estação ST53.....	32
Figura 22. Evolução da concentração de clorofila- <i>a</i> (ug Clo- <i>a</i> /l) na estação ST53.....	33
Figura 23. Localização geográfica dos pontos de descargas considerados nas simulações com o modelo MOHID.....	34
Figura 24. Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST12).....	38
Figura 25. Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST63).....	38
Figura 26. Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST81).....	39
Figura 27. Imagem Meris de clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) para 20 de Janeiro de 2004.....	43
Figura 28. Imagem Meris de clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) para 17 de Maio de 2004.....	43
Figura 29. Imagem Meris de clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) para 14 de Agosto de 2004.....	44
Figura 30. Imagem Meris de clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) para 22 de Dezembro de 2004.....	44
Figura 31. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m ³) para 20 de Janeiro de 2004.....	45
Figura 32. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m ³) para 17 de Maio de 2004.....	45
Figura 33. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m ³) para 14 de Agosto de 2004.....	45

Figura 34. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m^3) para 22 de Dezembro de 2004.....	45
Figura 35. Identificação da área de integração dos valores de clorofila.....	46
Figura 36. Série temporal dos valores médios de clorofila obtidos pelo sensor Meris para uma área específica do estuário.....	47
Figura 37. Identificação das estações e perfil horizontal para validação das imagens Meris.....	47
Figura 38. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 18 e 19 de Maio de 2004.....	48
Figura 39. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 22 e 23 de Setembro de 2004 ³	48
Figura 40. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 16 e 17 de Novembro de 2004 ³	48
Figura 41. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 21 e 22 de Dezembro de 2004 ³	49
Figura 42. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 16 de Novembro de 2004.....	49
Figura 43. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 17 de Novembro de 2004.....	50
Figura 44. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 20 de Dezembro de 2004.....	50
Figura 45. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 21 de Dezembro de 2004.....	50
Figura 46. Caracterização dos sedimentos no Estuário do Tejo (adaptado de Calvário, 1982 <i>in</i> Garcia, 1997).....	54
Figura 47. Evolução da massa total de sedimentos em suspensão em período de maré viva (de Clippele, 1998).....	55
Figura 48. Evolução da massa total de sedimentos em suspensão em período de maré morta (de Clippele, 1998).....	55
Figura 49. Localização das estações de amostragem de sedimentos utilizadas em Martins e Duffner (1982).....	56
Figura 50. Dados de Campo (Martins and Duffner, 1982) vs. MOHID (Pina, 2001).....	56
Figura 51. Concentração de Sedimentos em Suspensão no dia 20 de Julho de 20004: imagem de Satélite (14-15h) vs. resultados do MOHID sem ondas (15h) vs. MOHID com ondas (15h).....	58
Figura 52. Estações de amostragem no Estuário do Tejo do programa de monitorização sugerido para o próximo ano de projecto.....	63
Figura 53. Esquema de Amostragem proposto para as campanhas de amostragem com sensores do Estuário do Tejo.....	67
Figura 54. Ferramenta WebGIS para gestão e pesquisa de dados obtidos nas campanhas de monitorização da SIMTEJO.....	70

Índice de Tabelas

Tabela 1. Parâmetros Analisados e Métodos de Análise Utilizados.	10
Tabela 2. Classificação INAG.	15
Tabela 3: Caudal descarregado nos diferentes locais de descarga.....	35
Tabela 4: Concentrações descarregados nos diferentes locais de descarga.	36
Tabela 5. Média de valores de clorofila para a área estabelecida.....	46
Tabela 6. Tipologia das Estações de Amostragem sugeridas para o segundo ano de projecto.....	61
Tabela 7. Coordenadas dos pontos de amostragem efectuados.....	71

1 Introdução

Em Fevereiro de 2004 deu-se início ao projecto de “Monitorização Ambiental dos Meios Receptores da SIMTEJO”, acordado entre a SIMTEJO SA e o IMAR. Inserido no projecto encontra-se o programa de monitorização do Estuário do Tejo que consiste numa fase inicial na caracterização do estuário, em termos de nutrientes e de actividade trófica, na coluna de água e nos sedimentos, com especial ênfase na zona ribeirinha, de influência directa das descargas. Este trabalho será continuado nos anos seguintes por rotina, com recolha de amostras para análise em laboratório e com medidas em contínuo recorrendo a sensores.

Durante este primeiro ano de projecto foram realizadas 12 campanhas de amostragem no estuário do Tejo. Na 7ª campanha de amostragem (Novembro de 2004) deu-se início à utilização do sistema de mapeamento, constituído por uma sonda multiparamétrica que permite registar em contínuo valores de pH, Turvação, Salinidade, Temperatura, Oxigénio Dissolvido e Clorofila-*a*, complementando os resultados obtidos através da amostragem clássica. Para além das campanhas de amostragem, a monitorização do Estuário do Tejo é ainda apoiada pela modelação matemática. Foi utilizado o MOHID Water Modelling System, desenvolvido e mantido no Instituto Superior Técnico, como ferramenta de modelação. O MOHID constitui um sistema modular que permite simular os principais processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem em sistemas aquáticos.

Este relatório tem como objectivos descrever o trabalho realizado pelo Maretec/IST durante o primeiro ano de projecto (Fevereiro de 2004 a Abril de 2005) e fazer uma avaliação dos resultados da amostragem, sugerindo possíveis alterações à estratégia que tem vindo a ser adoptada. Alguns dos resultados da ultima campanha do projecto (Julho de 2005) encontram-se nos gráficos contidos em anexo, embora não se apresente a sua análise completa. Porque os resultados desta campanha apenas se encontram disponíveis em data posterior à entrega da primeira versão deste documento, eles foram objecto de análise no respectivo relatório de campanha.

O documento encontra-se dividido em 4 capítulos, ao longo dos quais são evidenciadas as principais conclusões:

No **Capítulo 2** é descrita a estratégia de amostragem seguida durante as campanhas de monitorização (localização das estações, parâmetros e métodos de análise utilizados), sendo apresentados e discutidos os resultados da amostragem clássica (distribuição espacial e evolução temporal dos parâmetros analisados) e ainda os resultados da amostragem com sensores (em utilização desde Novembro de 2004).

No **Capítulo 3** é feito um resumo alargado do trabalho de modelação desenvolvido ao longo do primeiro ano do projecto e apresentada a aplicação do modelo operacional para o estuário do Tejo que permite fornecer diariamente, via WEB, previsões das condições hidrodinâmicas e de qualidade da água no estuário.

O **Capítulo 4** descreve a utilização de um novo tipo de amostragem por detecção remota através do Sensor Meris a bordo do Satellite Envisat da ESA (European Space Agency). São apresentados os resultados obtidos por satélite e a necessária validação com os dados obtidos *in situ* no contexto da amostragem clássica e também através do sistema de mapeamento.

O **Capítulo 5** descreve um estudo desenvolvido em paralelo pelo IST/MARETEC, que focado na dinâmica de sedimentos no Estuário do Tejo, permitirá a médio prazo melhorar o comportamento do modelo e complementar os resultados obtidos através de amostragem.

O **Capítulo 6** refere as principais conclusões do trabalho efectuado e por último no **Capítulo 7** apresentam-se algumas considerações sobre o trabalho futuro, em termos de amostragem, modelação e gestão de dado.

Em **Anexo**, para além das coordenadas das estações de amostragem, são apresentados de forma ampla gráficos com os resultados da amostragem clássica (distribuição espacial e evolução temporal dos diferentes parâmetros), resultados da amostragem com sensores e gráficos com os resultados da modelação (comparação dos resultados do modelo com os resultados da amostragem clássica) para todas as estações.

2 Campanhas de Amostragem

As campanhas de amostragem foram realizadas seguindo, sempre que possível, periodicidade mensal e envolvem a medição parâmetros não mensuráveis com sensores e de parâmetros mensuráveis com sensores para demonstração da qualidade dos dados por eles fornecidos. São descritas neste capítulo as estações de amostragem consideradas e a metodologia utilizada durante as campanha, bem como os resultados obtidos.

2.1 Estações de Amostragem

De forma geral, podemos distinguir na campanha de monitorização do Estuário do Tejo duas componentes:

- (i) **Componente Estuário**, constituída por 30 estações localizadas no interior do estuário, cuja amostragem requer a utilização da embarcação MARETEC (à excepção da estação ST92 amostrada por terra, na Ponte de Muge);
- (ii) **Componente Descargas**, constituída por 9 estações localizadas junto a pontos de descarga considerados significativos (amostradas a partir de Outubro de 2004).

As estações de amostragem foram escolhidas de forma a obter a caracterização da qualidade da água em toda a área do Estuário do Tejo, dando-se particular atenção à área de maior influência das descargas da SIMTEJO SA e às zonas adjacentes aos locais onde se pretendem instalar as estações de monitorização da qualidade de água em contínuo. As várias estações estão inseridas numa série de rectas fictícias (diagonais), normais à margem norte do estuário do Tejo (Figura 2). A nomenclatura adoptada corresponde a ST para a análise de todos os parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos, SM para a análise apenas dos parâmetros microbiológicos e EF para os pontos onde se pretende instalar as estações fixas de monitorização em contínuo e onde são analisados todos os parâmetros. O primeiro algarismo refere-se à diagonal a que a estação de amostragem diz respeito e o segundo à ordem em que esta se encontra no sentido da margem norte para a margem sul, excepção feita aos dois pontos da terceira transversal em que a ordem aparece invertida por erro de atribuição. Este erro provém da primeira campanha de amostragem realizada em Fevereiro, não tendo a situação sido rectificadada para evitar futuros erros de integração de valores de diferentes períodos ou entidades, ficando desta forma cada nomenclatura associada apenas uma posição geográfica. Os pontos EF1 e EF2 referem-se à localização das estações fixas no cais de Alcântara Este e no cais da Matinha, respectivamente. A nomenclatura das estações de descarga

foi adoptada pela SIMTEJO SA na sequência da visita de reconhecimento das principais descargas, onde a letra representa o subsistema a que pertence a descargas (A: Subsistema de Alcântara; B: Subsistema de Beirolas e C: Subsistema de Chelas). A amostragem no ponto ST92, uma vez que implica uma logística diferente da dos outros pontos, é efectuada sempre que possível, e como acordado em reunião entre a SIMTEJO SA e o IMAR, em dias de outras campanhas de amostragem que o grupo MARETEC tenha que efectuar próximo do ponto em causa. O principal objectivo da estratégia de amostragem para este ponto é medir a variação ao longo do tempo (escala anual) da qualidade de água do maior contribuinte de água doce do estuário (Rio Tejo), objectivo esse que não é afectado por um desfasamento em relação às datas de amostragem nos outros pontos. A Figura 1 representa a localização de todas as estações de amostragem pertencentes ao programa de monitorização no Estuário do Tejo.



Figura 1. Esquema geral de estações de amostragem no Estuário do Tejo.

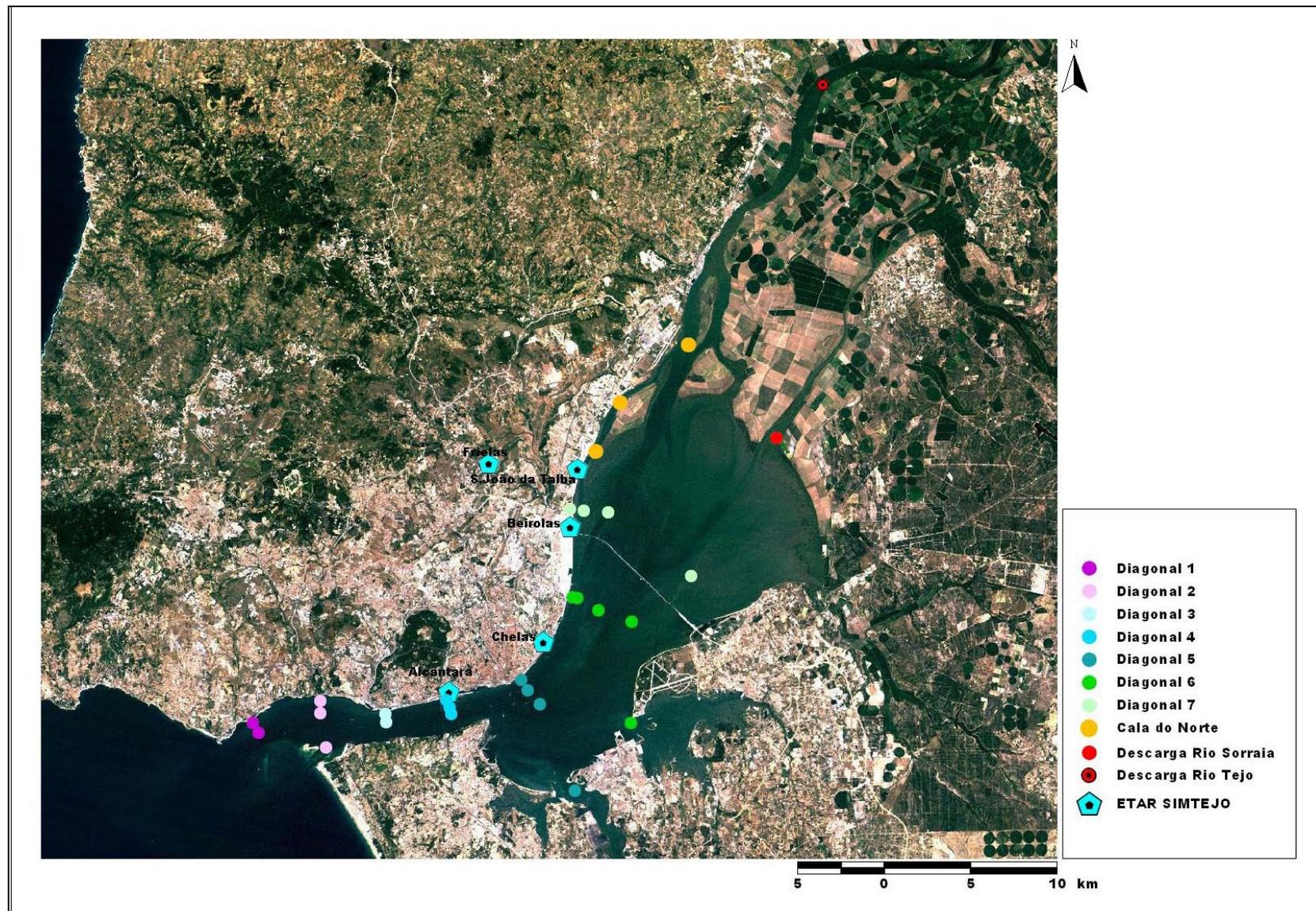


Figura 2. Esquema de diagonais consideradas no Estuário do Tejo.

2.2 Planeamento e Execução da Amostragem

A campanha de amostragem no Estuário do Tejo decorre em dois dias consecutivos, com recurso à embarcação de recreio “MARETEC” ilustrada na Figura 3. As amostras são recolhidas em frascos próprios, entregues pela entidade responsável pelas análises, Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico (LAIST). Todas as amostras são acondicionadas conforme indicado pelas entidades responsáveis pela análise e entregues no laboratório no próprio dia da recolha.



Figura 3. Embarcação de Recreio MARETEC.

A localização das estações de amostragem é efectuada com recurso a um GPS, modelo SIMRAD CE33 com um erro de posição no plano horizontal inferior a 8 metros.

Na campanha referente ao mês de Novembro foi iniciada a utilização do sistema de mapeamento, que permite registar de forma contínua valores de salinidade, pH, temperatura, turvação, oxigénio dissolvido e clorofila-*a* ao longo de todo o percurso percorrido, evidenciado na Figura 4.



Figura 4. Sonda Multiparamétrica utilizada no sistema de mapeamento.

As datas das campanhas são escolhidas tendo em consideração apenas as condições meteorológicas. A Tabela 1 lista os parâmetros analisados bem como os métodos de análises utilizados.

Tabela 1. Parâmetros Analisados e Métodos de Análise Utilizados.

Físico-Químicos	
Temperatura (Sonda Instalada na Embarcação)**	(1)
pH a 20°C (POT)	(1)
Salinidade (COND)*	(1)
Oxigénio Dissolvido (O2) (VOL) (mg/l)	(1)
Azoto Amoniacal (NH4) (EAM) (mg/l)	
Azoto Kjeldahl (N) (Dest/EAM) (mg/l)	
Nitrato (NO3) (EAM/UV) (mg/l)	
Azoto Orgânico (N) (mg/l)	
Óleos+Gorduras (IV) (mg/l)	
Hidrocarbonetos (IV) (mg/l)	
Fósforo Total (P) (EAM) (mg/l)	
Carbono Orgânico Total (TOC) (Pers/Oxid)* (mg C/l)	
Turvação (TURB) (NTU)	(1)
Sólidos Suspensos Totais (SST) (GRV) (mg/l)	
Carência Química de Oxigénio (CQO) (VOL)	
Microbiológicos	
Bactérias Coliformes (por 100 ml)	
Bactérias Coliformes termotolerantes (por 100 ml)	
Escherichia coli (por 100 ml)	
Enterococos Intestinais (por 100 ml)	
Biológicos	
Clorofila a (ug/l)	(1)
*Método não acreditado	
**Com registos desde Outubro de 2004	
(1) Parâmetro medido no sistema de mapeamento	

Notas Adicionais

O programa de monitorização sofreu ao longo do projecto algumas alterações no sentido de melhor se adequar aos objectivos inicialmente propostos:

- Desde Outubro de 2004 foi iniciado o registo de valores de temperatura fornecidos pela sonda instalada na embarcação;
- Em Julho de 2004 deixaram de ser amostrados os parâmetros Sólidos Totais (ST) e Sólidos Sedimentáveis. Conforme referido no relatório semestral apresentado à SIMTEJO, através da análise dos valores obtidos na monitorização, foi verificada uma relação directa entre a Salinidade e ST, não sendo por esta razão necessária a monitorização deste parâmetro. Relativamente ao parâmetro Sólidos Sedimentáveis verificou-se que este apresentava em todas as campanhas valores inferiores ao limite de detecção, pelo que monitorização deste parâmetro cessou.
- Em Outubro de 2004 deu-se início à monitorização dos parâmetros microbiológicos (Bactérias Coliformes, Bactérias Coliformes Termotolerantes, Escherichia Coli e Enterococos Intestinais) junto das principais descargas existentes na margem Norte do estuário.

2.3 Resultados da Amostragem Clássica

Em Anexo (secção 8.3) encontram-se algumas figuras que permitem a análise da distribuição espacial e evolução temporal dos resultados obtidos através de amostragem clássica nas campanhas de monitorização efectuadas. Em termos gerais conclui-se:

- (i) Os valores de pH encontram-se dentro da gama de valores correspondente a águas de Classe A (6.5 e 8.5) de acordo com classificação definida pelo INAG (http://snirh.inag.pt/snirh/dados_sintese/qual_ag_anual/classificacao.html). Inseridas na Classe A encontram-se as águas consideradas como isentas de poluição, aptas a satisfazer potencialmente as utilizações mais exigentes em termos de qualidade.
- (ii) Os valores de salinidade no interior do estuário dependem do balanço entre caudal das fontes de água doce e a maré, pelo que a salinidade é mais elevada nas zonas mais a jusante do estuário do que nas zonas próximas das descargas dos rios, confirmado pelos resultados obtidos nas diversas campanhas de amostragem.
- (iii) Apesar do reduzido número de registos de temperatura (apenas desde Outubro de 2004) é notória uma significativa variação sazonal, com uma diminuição significativa nos meses de Inverno (entre Novembro e Fevereiro), aumentando de novo entre Março e Abril. Esta variação é coincidente com a variação prevista tendo em conta o facto de a radiação solar ser menos intensa durante os meses de Inverno.
- (iv) Os menores valores de oxigénio dissolvido são em geral encontrados nas estações próximas de zonas de descargas, nomeadamente, ST41 (Alcântara), ST51 (Terreiro do Paço), ST71 (Trancão) e ST81 (Cala do Norte). Nestas estações as baixas concentrações de oxigénio indicam um efeito importante dos processos de mineralização associados às grandes cargas de matéria orgânica com origem nas descargas pontuais existentes. Estas condições são consideradas como situações pontuais, não se estendendo a todo o estuário, onde as concentrações de oxigénio encontradas se encontram dentro de gama de valores considerada como não problemática em termos de eutrofização (> 6 mg/l), de acordo com os níveis estabelecidos nas recomendações OSPAR.

- (v) Coincidente com a situação prevista, o parâmetro Sólidos Suspensos Totais (SST) apresenta valores mais elevados nas zonas de montante. As concentrações encontradas são fortemente dependentes dos processos de ressuspensão e deposição que por sua vez são afectados pelos ciclos maré e pelo efeito das ondas.
- (vi) O parâmetro turvação depende de vários factores que controlam a disponibilidade de luz na água (sedimentos, clorofila, matéria orgânica, etc...). A Figura 5 e Figura 6 representam, respectivamente, a relação entre os valores de turvação e sólidos suspensos totais e turvação e clorofila-*a*. Verifica-se para o Estuário do Tejo que os sedimentos contribuem de forma mais significativa para atenuação da luz na coluna de água, encontrando-se o parâmetro turvação bem correlacionado com a concentração de sedimentos presente. Pelo contrário, a relação turvação/clorofila não apresenta uma tendência clara. Este resultado corrobora com algumas hipóteses apresentadas na literatura que indicam a concentração de sedimentos como o factor mais importante de atenuação da luz na coluna de água no Estuário do Tejo. No caso do Estuário do Tejo, a relação entre os processos de produção primária local, o transporte e os processos que controlam a concentração de sedimentos são complexos e não linear e as medidas de clorofila de um determinado local podem não ser indicativas da produção local mas sim do transporte de zonas de maior produção, o mesmo tipo de raciocínio pode ser aplicado aos sedimentos.

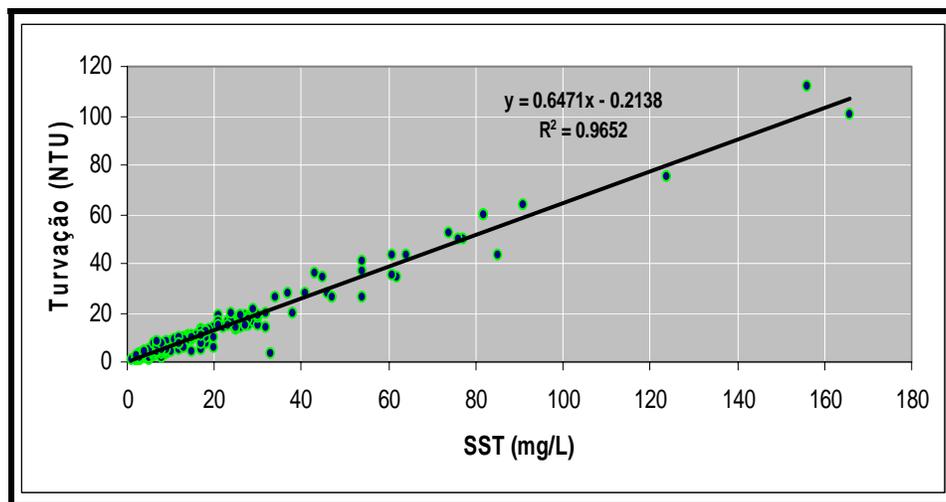


Figura 5. Resultados de Amostragem Clássica: Turvação vs. Sólidos Suspensos Totais.

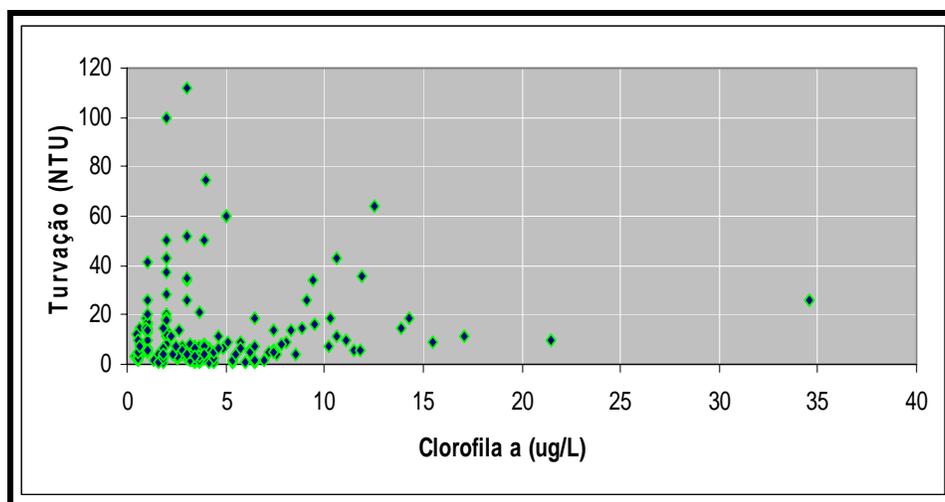


Figura 6. Resultados de Amostragem Clássica: Turvação vs. Clorofila-a.

- (vii) Em relação ao parâmetro amónia, os valores mais significativos estão associados aos pontos onde existem descargas significativas de águas residuais (Diagonal 4 – frente a Alcântara) e ainda na Diagonal 7 – frente ao Trancão. Nas restantes estações a concentração baixa de forma muito significativa devido ao importante efeito de diluição, associado ao transporte no interior do estuário e também, em certa medida devido ao consumo por parte dos organismos fotossintéticos, bem como o efeito do processo de nitrificação.
- (viii) As maiores concentrações de nitrato registam-se na zona montante do estuário, sendo os picos mais importantes situados na zona das descargas dos Rios (Tejo, Trancão e Sorraia), com valores que podem ser cerca de uma ordem de grandeza superiores aos encontrados no interior do estuário. Estes resultados permitem concluir que grande parte do *input* total de nitrato no estuário, é proveniente das descargas dos rios, com uma contribuição significativa das descargas de origem agrícola. Note-se no entanto que em algumas da campanha foi possível detectar valores elevados de nitrato na zona da Cala do Norte, não sendo até ao momento explicável tento em conta os diversos tipos de dados em análise. Para diversas estações os resultados de laboratório indicam valores inferiores ao limite de quantificação do método de análise, em particular a partir de Setembro de 2004. Desta forma encontra-se dificultada a identificação de um padrão sazonal da propriedade apenas em termos de amostragem clássica. É no entanto possível verificar uma tendência de diminuição de concentração entre Fevereiro e Julho de 2004, possivelmente relacionada com a diminuição de caudal dos rios afluentes. O facto de o ano hidrológico de 2004/2005 ter sido considerado pelas diversas entidades como um ano extraordinariamente seco corrobora com esta hipótese.

- (ix) O azoto *kjeldhal* é uma medida da quantidade de amónia e azoto orgânico total, reflectindo-se desta forma a sua variação sazonal como a combinação da variação destas duas propriedades. Em termos globais as concentrações de azoto kjeldhal são mais elevadas durante os meses de Primavera e Verão na sequência do incremento de matéria orgânica presente no sistema, devido ao aumento da produção primária. No entanto, as descargas de rios e ribeiras e também em certa medida as descargas de águas residuais são fontes importantes de azoto orgânico, justificando-se assim os valores mais elevados desta propriedade obtidos nas estações localizadas junto às margens, próximas de descargas significativas, em alguns períodos do ano.
- (x) A concentração de fósforo total é, em geral, uniforme ao longo do estuário, com algumas excepções nas estações próximas das descargas do Rio Trancão (ST71) e ETAR de Alcântara (ST41) em alguns períodos do ano (Maio e Dezembro de 2004 e Fevereiro de 2005). Os valores mais elevados existentes nestas duas estações e em determinados períodos do ano poderão por uma lado reflectir alterações ao nível das actividades agrícolas durante um período anterior à campanha ou por outro lado estar relacionado com um aumento de concentração deste nutriente nas descargas residuais urbanas.
- (xi) A concentração de carbono orgânico total apresenta, à semelhança de clorofila-*a*, um aumento progressivo ao longo dos meses de Verão, sendo as gamas de concentração mais elevadas no mês de Junho. Mais uma vez as concentrações não são uniformes no estuário, apresentando diferenças acentuadas entre as diferentes zonas, sendo as concentrações mais elevadas atingidas nas zonas próximas das descargas dos Rios (Tejo, Trancão e Sorraia).
- (xii) Da análise às concentrações de clorofila-*a*, torna-se evidente a importância do ciclo sazonal (Verão/Inverno) da intensidade luminosa nos organismos fotossintéticos, com um aumento de concentração entre os meses de Maio, Junho, atingido um pico em Julho/Agosto. Os resultados relativos às campanhas indicam ainda uma acentuada distribuição espacial como resultado das diferentes condições existentes nas várias zonas do estuário. As zonas de montante do estuário, em particular a zona de sapal localizada na parte Este do estuário (frente a Alcochete), são zonas onde a produção primária se encontra favorecida, associando o elevado tempo de residência da água com a baixa profundidade e a existência de nutrientes (INAG, 2002).

- (xiii) Os parâmetros Óleos&Gorduras e Hidrocarbonetos, apresentam uma distribuição espacial semelhante, com valores mais elevados registados na proximidade das descargas, em particular nas estações ST41 (Alcântara) e ST71 (Rio Trancão) que apresentam em algumas campanhas valores acima do valor máximo admissível de 100 µg/l, referenciado na legislação (Anexo XXI do Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto).
- (xiv) Relativamente aos parâmetros de contaminação fecal a análise dos resultados permite distinguir uma distribuição espacial típica, com valores em geral mais elevados junto à margem Norte do estuário, nos locais próximos das descargas. Ao longo de uma mesma diagonal as concentrações são significativamente atenuadas, devido não só ao efeito de diluição mas também devido à mortalidade dos microorganismos ao longo do seu transporte. As estações pertencentes às diagonais mais próximas da zona de embocadura (Diagonal 1, 2 e 3) são em geral aquelas que possuem níveis de contaminação fecal dentro dos valores recomendados pela legislação (Tabela 2). Note-se que a designação adoptada neste projecto é diferente à considerada pelo decreto-lei: o parâmetro Coliformes Totais corresponde a Bactérias Coliformes, Coliformes Fecais corresponde a Bactérias Coliformes Termotolerantes e ao parâmetro Estreptococos Fecais corresponde neste projecto a designação de Enterococos Intestinais. A opção de alteração das designações prende-se com a necessidade de clarificação do parâmetro analisado. Quanto às restantes diagonais mais a montante no estuário o gradiente de concentração é mais significativo, atingindo as estações mais próximas da margem Norte valores sistematicamente superiores aos valores máximos admissíveis atribuídos pela legislação, em particular as estações ST41 (Alcântara), ST51 (Terreiro do Paço), ST61 (Cais da Matinha) e ST71 (Rio Trancão). Da análise da evolução temporal apresentada pelos parâmetros microbiológicos não é possível distinguir um padrão de variação típico sendo, no entanto, possível identificar a ocorrência de valores de concentração superiores à média no mês de Novembro, em geral em todas as estações de amostragem.

Tabela 2. Classificação INAG: Classificação dos Cursos de Água Superficiais de acordo com as suas Características de Qualidade para Usos Múltiplos (http://snirh.inag.pt/snirh/dados_sintese/qual_ag_anual/classificacao.html).

Parâmetro	Unidade	Classe A (Sem poluição)	Classe B (Fracamente poluído)	Classe C (Poluído)	Classe D (Muito Poluído)
Coliformes Totais	/100ml	≤ 50	51-5000	5001-50000	≥ 50001
Coliformes Fecais	/100ml	≤ 20	21-2000	2001-20000	≥ 20001
Estreptococos Fecais	/100ml	≤ 20	21-2000	2001-20000	≥ 20001

Conclusões

De um modo geral pode-se dizer que grande parte dos parâmetros amostrados apresenta um gradiente de concentração decrescente de montante para jusante como resultado do efeito da diluição. Em termos de nitrato as concentrações mais elevadas são registadas nas proximidades das descargas dos rios Tejo, Trancão e Sorraia, enquanto que concentrações de amónia e fósforo total mais importantes se apresentam junto das descargas de Alcântara (ST41) e Rio Trancão (ST71), possivelmente indicando uma forte componente de águas residuais urbanas. O parâmetro clorofila-*a* apresenta uma vincada variação espacial e sazonal coincidente com descrições existentes na literatura. As concentrações mais elevadas apresentam-se na zona de montante, na região de sapal existente na zona Este do estuário (frente a Alcochete), onde as baixas profundidades e o elevado tempo de residência favorecem a produção primária. Esta produção, que se reflecte em termos de aumento de concentração de clorofila-*a* tem início nos meses de Maio, Junho, atingindo um máximo nos meses de Julho/Agosto, seguindo o aumento da intensidade da radiação solar.

Relativamente aos parâmetros de contaminação fecal existem algumas zonas mais críticas, onde os resultados das análises revelam sistematicamente valores superiores aos valores máximos admissíveis referenciados na legislação, tais como: ST41 (Alcântara), ST51 (Terreiro do Paço), ST61 (Cais da Matinha) e ST71 (Rio Trancão). É notório, no entanto, que o efeito de diluição existente é muito importante ao longo de uma mesma diagonal, pelo que as situações mais problemáticas se restringem aos locais mais próximos das descargas, não se estendendo a todo o estuário.

2.4 Sistema de Mapeamento

2.4.1 Descrição do Sistema

O sistema de mapeamento tem como objectivo o registo em contínuo de alguns parâmetros importantes no estudo de qualidade da água a partir de uma embarcação em movimento. As medições são feitas em tempo real através de uma sonda multiparamétrica e integradas com os dados adquiridos por um medidor de caudal e GPS. A Figura 7 representa de forma esquemática os componentes do sistema de mapeamento utilizado durante as campanhas de monitorização no Estuário do Tejo, em funcionamento desde Novembro de 2004. O sistema inclui um circuito de água, instalado na embarcação MARETEC, onde a água exterior é bombeada através de um orifício existente na embarcação, passando de seguida através de

um filtro, uma bomba com um débito até 12 l/min e saindo por um tubo colocado a estibordo da popa da embarcação (Figura 8). A água bombeada é então encaminhada até à câmara da sonda multiparamétrica onde estão imersos os sensores, passando pelo medidor de caudal (Figura 9). Após a passagem pela sonda a água é devolvida ao exterior. Os valores dos parâmetros de qualidade da água, coordenadas e caudal do circuito são armazenados no *datalogger* para posterior processamento da informação (Figura 10)

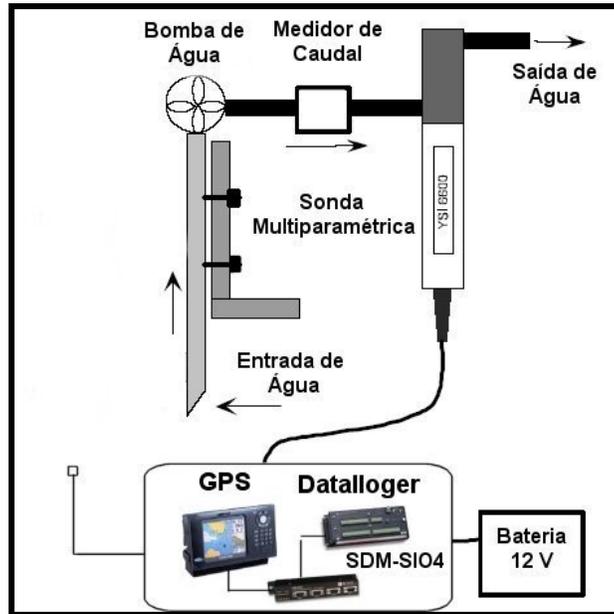


Figura 7. Representação Esquemática do Sistema de Mapeamento.



a)



b)



c)

Figura 8. Componentes do sistema de mapeamento instalados na embarcação MARETEC: a) orifício de entrada de água no circuito de água e filtro; b) bomba e c) tubo de saída.

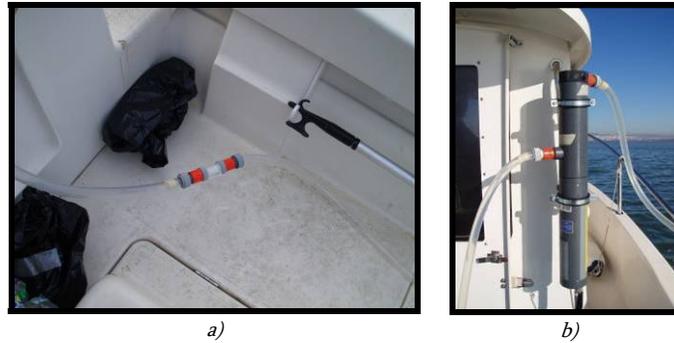


Figura 9. Componentes do sistema de mapeamento: a) medidor de caudal; b) sonda multiparamétrica.

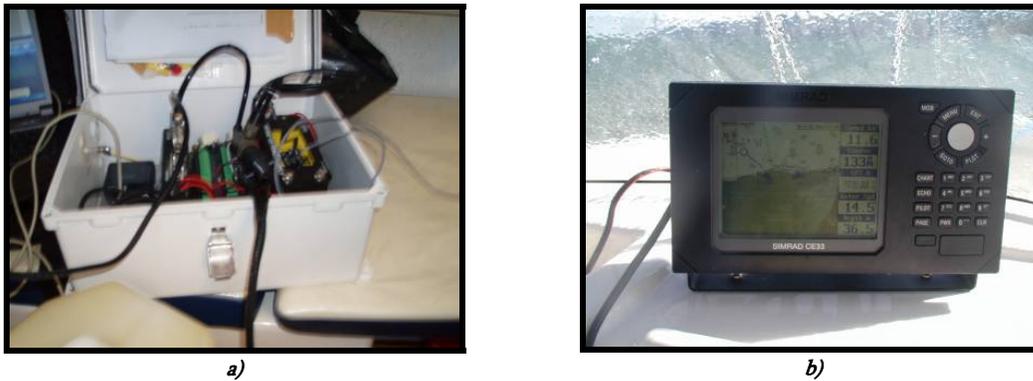


Figura 10. Componentes do sistema de mapeamento: a) datalogger; b) GPS (modelo SIMRAD CE33).

O sistema descrito encontra-se ainda em fase aperfeiçoamento, pelo que ao longo das campanhas foram sendo efectuadas sucessivas alterações no sentido de melhorar e otimizar a utilização do sistema.

2.4.2 Resultados da Amostragem com Sensores

Em anexo (secção 8.4) apresentam-se para cada uma das campanhas realizadas utilizando o sistema de mapeamento, figuras ilustrativas do percurso efectuado, bem como a comparação entre os dados de registos da sonda, dados de amostragem clássica e previsões do MOHID para o mesmo percurso. Apresentam-se nesta secção as principais conclusões relativas à utilização sistema de mapeamento. Para uma análise mais detalhada dos resultados obtidos sugere-se a consulta dos respectivos relatórios de campanha. Tendo em conta as várias utilizações do sistema de mapeamento nas campanhas de amostragem conclui-se:

- (i) Os registos de pH e temperatura fornecidos pela sonda são muito aproximados aos valores obtidos em laboratório e valor registado através da sonda instalada no barco, respectivamente, sendo de forma geral coincidentes.

- (ii) O parâmetro salinidade teve durante as primeiras utilizações do sistema de mapeamento alguns desvios relativamente aos valores obtidos em laboratório, em particular na região de jusante do estuário, onde são característicos valores de salinidade mais elevados. Atribui-se este desvio a possíveis erros de calibração da sonda, que terão sido solucionados após uma cuidada revisão dos procedimentos de calibração do sensor. Foi verificada uma melhoria nos registos de salinidade, face aos resultados obtidos em laboratório, a partir de Fevereiro de 2005.
- (iii) Ao longo das várias utilizações do sistema foi detectada uma tendência para uma subestimação dos valores de turvação registados pela sonda, face aos valores em laboratório. Maiores desvios foram detectados durante as três últimas utilizações do sistema de mapeamento (Fevereiro, Março e Abril de 2005). Tratando-se de um sensor óptico este é um sensor mais sensível a factores externos presentes no meio envolvente durante o processo de calibração (condições de laboratório), sendo igualmente mais susceptível à descalibração durante a utilização. Mais atenção deverá ser dado ao procedimento de calibração e validação deste sensor, no sentido de minimizar ou por ventura corrigir alguns possíveis erros sistemáticos que ocorram durante o processo.
- (iv) O parâmetro oxigénio dissolvido apresenta sistematicamente valores inferiores aos valores obtidos em laboratório, excepto em algumas campanhas cujos resultados indicam uma falha na calibração do sensor (Fevereiro e Abril de 2005). Este desvio, que se supõe sistemático (com a continuidade da amostragem poderá ser possível validar ou refutar esta hipótese), poderá dever-se a um desvio provocado pelo esquema de funcionamento do sistema. O sistema de bombagem de água para o interior do barco, apesar de ter um funcionamento muito satisfatório, bombeando um caudal suficiente segundo as indicações do manual de utilização da sonda, provoca alguma turbulência no interior das mangueiras. Esta turbulência à qual estão associadas algumas bolhas de ar poderá ter alguma influência na concentração de oxigénio dissolvido presente na água. A continuidade da amostragem permitirá estimar este desvio sistemático, no sentido de ser possível corrigir os valores de oxigénios registados pela sonda utilizando um factor de correcção característico do esquema de funcionamento.

- (v) O parâmetro clorofila é um dos parâmetros com maior variabilidade no interior do estuário, quer espacialmente, ao longo do estuário, quer de forma diária e sazonal. Assim, a comparação dos resultados da sonda relativamente aos resultados em laboratório encontra-se dificultada, embora exista de forma geral, boa relação entre as variações verificadas. Por outro lado, o facto de em algumas das campanhas de monitorização, e para algumas estações de amostragem, os resultados de laboratório se apresentarem inferiores aos valores limites de quantificação do método utilizado, torna essa tarefa mais difícil. Qualitativamente é possível concluir que os valores registados pela sonda se encontram próximos da gama de valores indicada pelo laboratório mas, quantitativamente será necessário proceder a uma análise estatística mais pormenorizada. Salienta-se, no entanto, que as tendências apresentadas quer pela sonda quer pelos dados em laboratório são similares, apresentando-se de um modo geral concentrações mais elevadas a montante do estuário e durante os meses de Verão, concordante com a tendência descrita na literatura.

Sistema de Mapeamento

Conclusões

O sistema de mapeamento revela, em geral, bons resultados, apresentando registos próximos dos valores obtidos em laboratório para grande parte dos parâmetros em estudo. A utilização de sensores ópticos, como é o caso da medição de turvação e clorofila implicam maiores desvios face aos valores de laboratório, possivelmente, com origem nas condições da sala de laboratório onde é efectuada a calibração dos sensores. No sentido de minimizar este tipo de erros, novos procedimentos para a calibração dos sensores serão estudados e analisados e as condições do laboratório melhoradas. Relativamente ao parâmetro oxigénio dissolvido, este apresenta o que parece ser um desvio sistemático face aos valores obtidos em laboratório, que se supõe ser característico do esquema de funcionamento utilizado, cujo coeficiente de correcção se pretende estimar no decorrer do próximo ano de projecto. Durante o primeiro ano de projecto o sistema de mapeamento foi sendo optimizado e melhorado, pelo que agora os procedimentos para manuseamento e funcionamento do sistema a partir da embarcação se encontram bem definidos. Apesar dos resultados satisfatórios a utilização do sistema de mapeamento carece ainda de vários tipos de optimizações ao nível das metodologias possíveis para o tratamento e visualização de resultados que serão objecto de estudo durante o segundo ano de projecto.

3 Modelação Ecológica

Apesar da evolução que se tem verificado nos últimos anos na recolha de dados de campo, estes fornecem ainda apenas uma visão discreta dos sistemas aquáticos. Ao reproduzirem os processos que condicionam a variabilidade dos parâmetros de qualidade da água, os modelos numéricos apresentam-se como a melhor solução para dar continuidade espacial e temporal aos valores medidos. Este tipo de ferramentas numéricas tem ainda a vantagem adicional de possuir um carácter preditivo que permite o estudo de diferentes cenários e teste da eficácia das políticas de gestão delineadas.

Com a generalização dos sistemas automáticos de aquisição de dados e com a vulgarização de dados de detecção remota encontram-se criadas as bases para a implementação operacional de modelos numéricos à semelhança do que se verifica na modelação atmosférica. Nesse sentido o modelo MOHID (www.mohid.com) em desenvolvimento no IST desde 1985, foi convertido num sistema operacional capaz de fornecer previsões diárias das condições hidrodinâmicas e propriedades biogeoquímicas para o estuário do Tejo, disponíveis através de uma interface na internet (www.mohid.com/tejo-op). Nesta página o utilizador pode explorar os resultados da modelação numérica, previsões oceanográficas e meteorológicas, dados obtidos por estações automáticas, dados de campo de diversas fontes e textos com a descrição do meio receptor.

Neste capítulo, é apresentada uma descrição da arquitectura geral e do funcionamento do sistema de modelação operacional do estuário do Tejo, e mostrados alguns resultados comparativos entre o modelo e os dados de campo provenientes das campanhas de amostragem realizadas ao longo do projecto.

3.1 MOHID Water Modelling System

Para assegurar a componente de modelação, foi utilizado o MOHID Water Modelling System como ferramenta de modelação integrada, capaz de simular todos os processos físicos e biogeoquímicos num sistema costeiro. O sistema MOHID apresenta três ferramentas distintas, que resultam da interligação dos vários módulos, ou classes, que o constituem: MOHID Water, MOHID Land e MOHID Soil. MOHID Water é responsável pela modelação dos processos hidrodinâmicos, simulação de fenómenos de dispersão (abordagens lagrangiana e euleriana), propagação de ondas, transporte de sedimentos, qualidade da água/processos biogeoquímicos na coluna de água e trocas com o fundo; MOHID Land permite simular os processos à escala da bacia hidrográfica, tendo em consideração processos como a infiltração e escoamento sub-superficial e, por último, MOHID Soil simula o fluxo de água através de meios porosos.

Actualmente o sistema de modelação operacional contempla apenas a ferramenta MOHID Water, encontrando-se as restantes ferramentas ainda em fase de desenvolvimento, não permitindo ainda a sua aplicação operacional.

A circulação é simulada no MOHID Water recorrendo ao módulo hidrodinâmico que gera e actualiza a informação do escoamento, resolvendo as equações primitivas do movimento no espaço tridimensional para fluidos incompressíveis. Assume-se o equilíbrio hidrostático, bem como a aproximação de Boussinesq. O modelo é formulado pelo método da aproximação por volumes finitos com uma discretização vertical genérica, que permite a implementação simultânea de vários tipos de coordenadas verticais. Desta forma, o modelo permite simular os principais mecanismos físicos de forçamento tais como gradientes de densidade (fluxos baroclínicos), maré, vento e entradas de água doce. O cálculo da evolução das propriedades de qualidade da água é feito com recurso a um módulo específico – Modulo Water Quality. Este módulo é responsável pelo cálculo dos termos relativos às fontes e poços, específicos para cada propriedade fundamental, em cada uma das células da malha e em cada instante. As fontes e poços associados a cada propriedade dependem dos processos químicos e biológicos em que está envolvida e encontram-se associados aos ciclos biogeoquímicos do azoto, fósforo e oxigénio. Em traços gerais encontram-se descritos no modelo os principais processos de qualidade da água existentes no meio marinho, tais como o crescimento de fitoplâncton, dependente da concentração de nutrientes existente na coluna de água, temperatura e intensidade luminosa; o consumo de fitoplâncton pelo zooplâncton (herbivoria ou “grazing”); mineralização da matéria orgânica na coluna de água e ainda os processos de nitrificação e desnitrificação. Desta forma, é possível calcular, em cada célula da malha, o valor da concentração de azoto (nas formas de amónia, nitrato, nitrito, azoto orgânico dissolvido refractário, DONr, não refractário, DONnr, e azoto orgânico particulado, PON), fósforo orgânico e inorgânico, oxigénio dissolvido, fitoplâncton e zooplâncton além de temperatura, salinidade de concentração de sedimentos.

Actualmente encontra-se no MOHID em fase de desenvolvimento e teste (e por esse motivo ainda não incluído na aplicação operacional do Estuário do Tejo) a descrição de alguns processos responsáveis pela interacção entre os sistemas bentónico e pelágico tais como a mineralização da matéria orgânica depositada no fundo que pode contribuir de forma significativa para a regeneração de nutrientes no interior do estuário.

3.2 Implementação do Modelo

3.2.1 Malhas Computacionais

No sentido de minimizar eventuais erros associados às condições de fronteira, o modelo MOHID permite a utilização de modelos encaixados através de uma metodologia de “downscaling” da solução que permite o estabelecimento de condições fronteira para aplicações locais de pequena escala. A aplicação operacional do MOHID para o Estuário do Tejo está implementada segundo esta filosofia. O primeiro nível cobre praticamente toda a costa oeste portuguesa (Figura 11), a malha utilizada é composta por 223x168 células de cálculo, com um passo espacial constante de 0.018° (~2km), utilizando um forçamento dado pela solução global de maré e vento. Trata-se de uma aplicação bidimensional que permite estabelecer condições de fronteira de oceano aberto mais realistas para um segundo nível de aplicação – o Estuário do Tejo. A Figura 12 representa a batimetria e malha utilizada no segundo nível de aplicação operacional, composto por 162x162 células de cálculo com um passo espacial variável entre 0.02° (~2.4km) na fronteira aberta e 0.003° (~300m) no interior de estuário. Neste segundo nível são implementadas duas aplicações distintas: (i) uma aplicação tridimensional que permite uma simulação mais rigorosa das propriedades temperatura e salinidade, na qual é considerado o efeito dos gradientes de densidade no escoamento e (ii) uma aplicação bidimensional onde é calculada a evolução das propriedades relacionadas com a qualidade da água ao longo do tempo, considerando a não existência de gradientes verticais significativos. A opção de utilizar uma aplicação bidimensional para o cálculo das propriedades de qualidade da água prende-se essencialmente com exigências em termos de tempo de cálculo que uma simulação tridimensional de um grande número de propriedades implicaria. No entanto, sendo na realidade o Estuário do Tejo considerado como um estuário pouco estratificado ou parcialmente estratificado é possível considerar que os gradientes verticais existentes não são significativos em situações típicas e à escala global do estuário. Note-se ainda que a aplicação operacional do estuário do Tejo apenas contempla as propriedades pertencentes ao ciclo do azoto, uma vez que se considera este como o principal nutriente limitante do crescimento do fitoplâncton em regiões estuarinas.

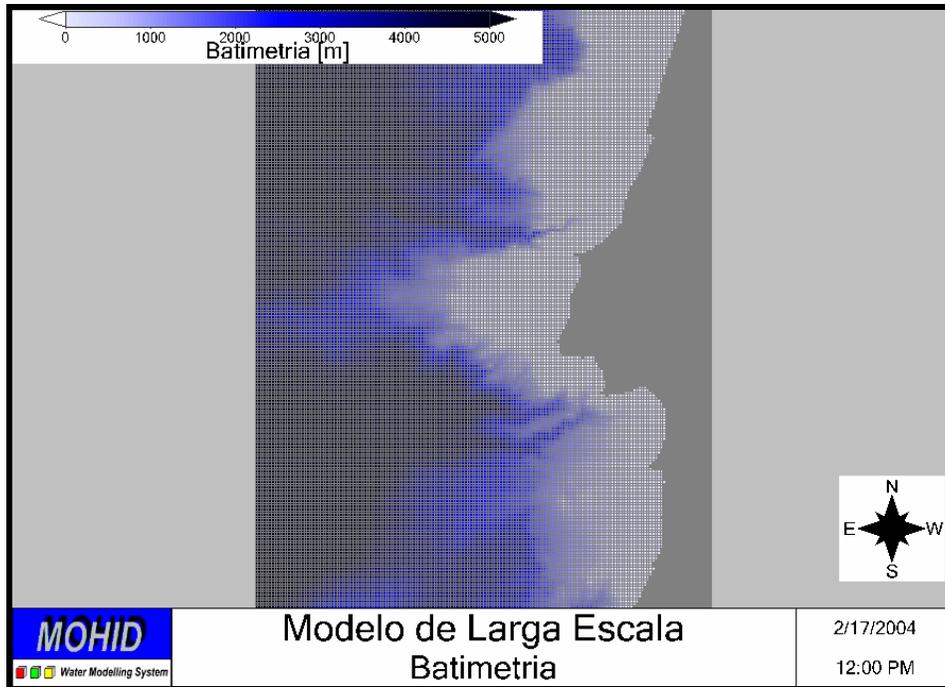


Figura 11. Batimetria da aplicação de larga escala.

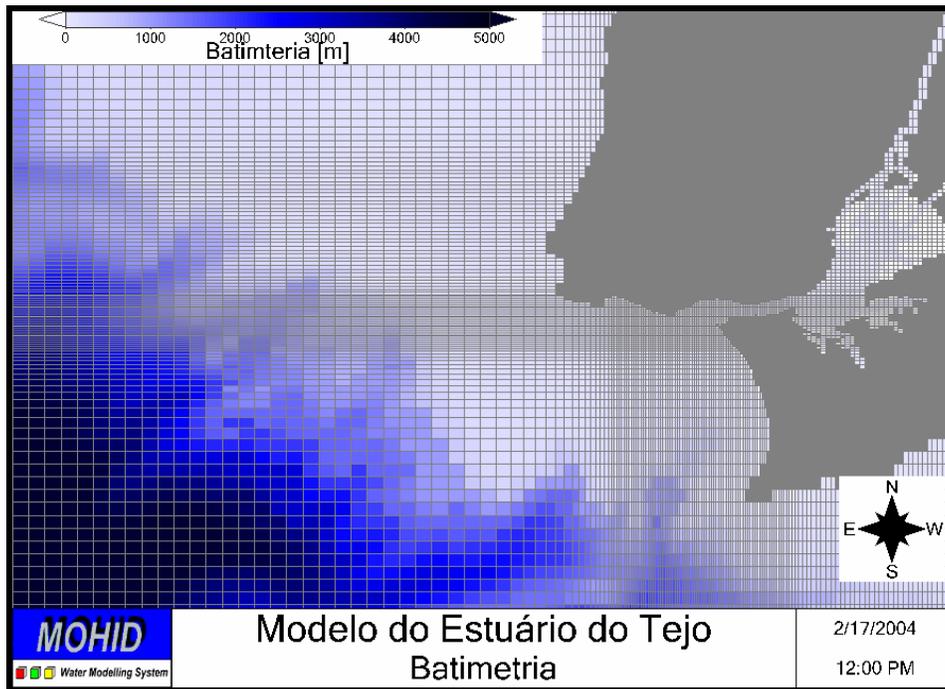


Figura 12. Batimetria utilizada na aplicação do Estuário do Tejo.

3.2.2 Condições Fronteira

O forçamento atmosférico do sistema operacional para o Tejo recorre às previsões de vento, temperatura, radiação, humidade relativa e fluxos de calor à superfície calculadas por um modelo meteorológico. O modelo em questão (<http://meteo.ist.utl.pt>) é uma aplicação operacional do modelo MM5 para a costa portuguesa, desenvolvida no Instituto Superior Técnico na Secção de Ambiente e Energia e coordenado pelo Prof. Delgado Domingos. Este é um modelo de mesoscala não hidrostático com um sistema de coordenadas que segue a topografia, resolvendo as equações de Navier-Stokes em três dimensões, a equação termodinâmica e a equação de conservação da água.

Como dito anteriormente a aplicação destinada ao cálculo da evolução das propriedades de qualidade da água possui como condição de fronteira no oceano as condições determinadas pela aplicação de larga escala, cujas condições de fronteira são baseadas nos resultados de um modelo global de maré. Quanto às trocas existentes entre a terra e o estuário (afluência dos rios e ETAR, Figura 13), estas são assumidas como uma descarga em determinadas células da malha.



Figura 13. Descargas consideradas na simulação da qualidade da água no Estuário do Tejo.

A cada uma das descargas impostas corresponde uma caracterização específica em termos de caudal e concentração de propriedades, mais ou menos precisa dependendo da quantidade de dados disponíveis. Assim em termos de caudal, para o rio Tejo o valor é calculado, desde Setembro de 2004, com base na informação hidrométrica da estação Ómnias-Santarém, disponível em tempo real

(<http://www.snirgh.inag.pt>). Para o período anterior o valor de caudal imposto corresponde a valores médios diários determinados tendo em conta dados históricos existentes, tal como acontece para a imposição do valor de caudal do rio Sorraia. Quanto ao rio Trancão a existência de um menor número de dados históricos obriga à consideração de um valor médio de caudal mensal. Em todos os rios afluentes são considerados valores médios mensais de concentração para as propriedades de qualidade da água, que resultam mais uma vez de tratamento estatístico de dados históricos anteriores disponíveis através do INAG (Instituto da Água).

Porque o rio Tejo é a principal descarga de água doce apresenta-se na Figura 14 a evolução do caudal imposto para a simulação do modelo correspondente ao período do projecto (Janeiro 2004 até Abril 2005).

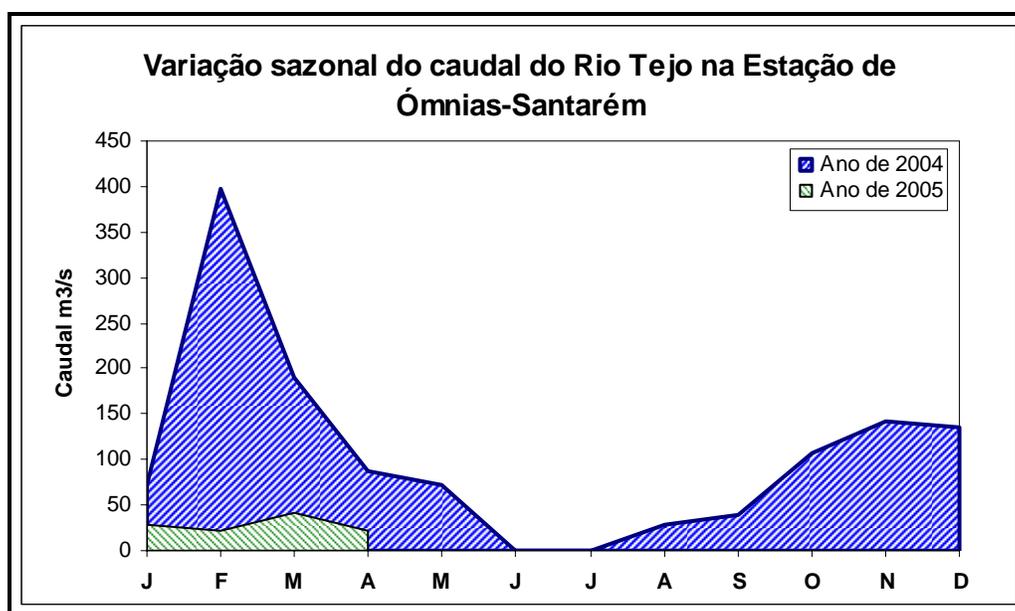


Figura 14. Variação do caudal do rio Tejo imposta na simulação do modelo (Janeiro de 2004 até Abril de 2005).

A caracterização das descargas provenientes das diversas ETAR consideradas no estudo resulta também de diversas fontes de informação: (i) dados reais, obtidos através de consulta de relatórios de funcionamento, como é o caso das estações de tratamento pertencentes à SIMTEJO, onde são realizadas mensalmente amostragens ao efluente à saída da estação; (ii) valores determinados tendo em conta dados de população equivalente disponíveis (reais ou constantes em projecto), valores típicos tabelados para as condições de efluente à entrada e percentagens de remoção típicas consoante o tipo de tratamento efectuado. Apresentam-se em anexo os valores considerados na simulação do modelo (secção 8.5).

3.3 Hidrodinâmica do Sistema

A circulação no estuário do Tejo é forçada essencialmente pela maré (semi-diurna). Na embocadura a amplitude média corresponde a 2 metros, aumentando até 2.7 em situação de maré viva média, enquanto que no interior do estuário a maré é amplificada, atingindo os 3.5 metros. As velocidades típicas são da ordem de 1 m/s. As velocidades máximas registam-se na zona do canal principal podendo atingir os 2.5 m/s em maré viva, junto à embocadura. A Figura 15 e Figura 16 representam respectivamente a distribuição de velocidades em situação de enchente e vazante para condições consideradas como típicas e a Figura 17 representa o campo de velocidades residual. Em vazante é bem visível o jacto de saída do estuário. Este jacto induz um vórtice anticiclónico depois da embocadura, na margem norte que determina a circulação residual nesta região.

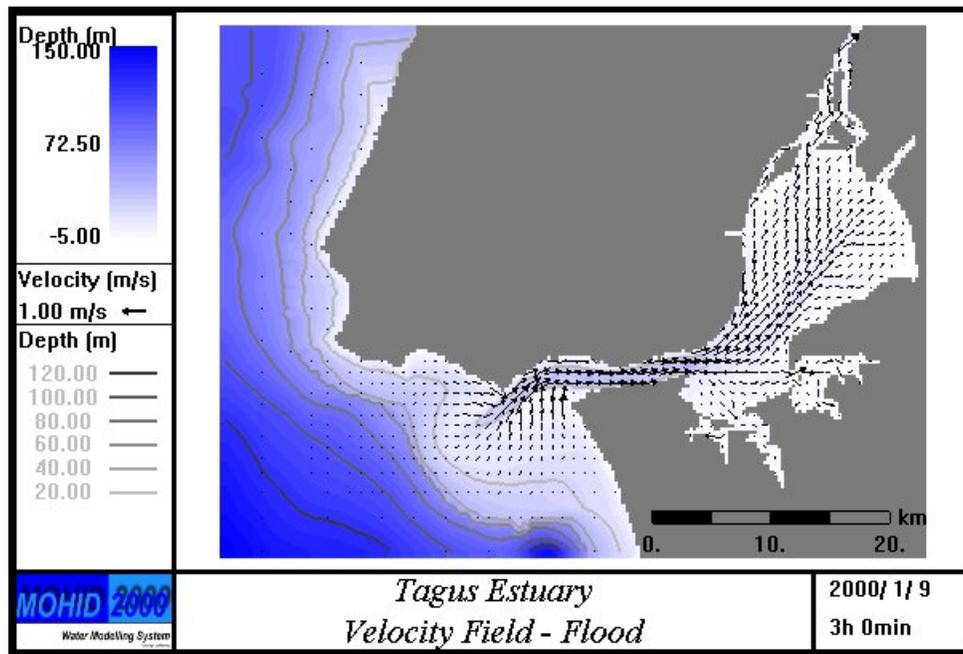


Figura 15. Campo de velocidade no Estuário do Tejo em situação de enchente.

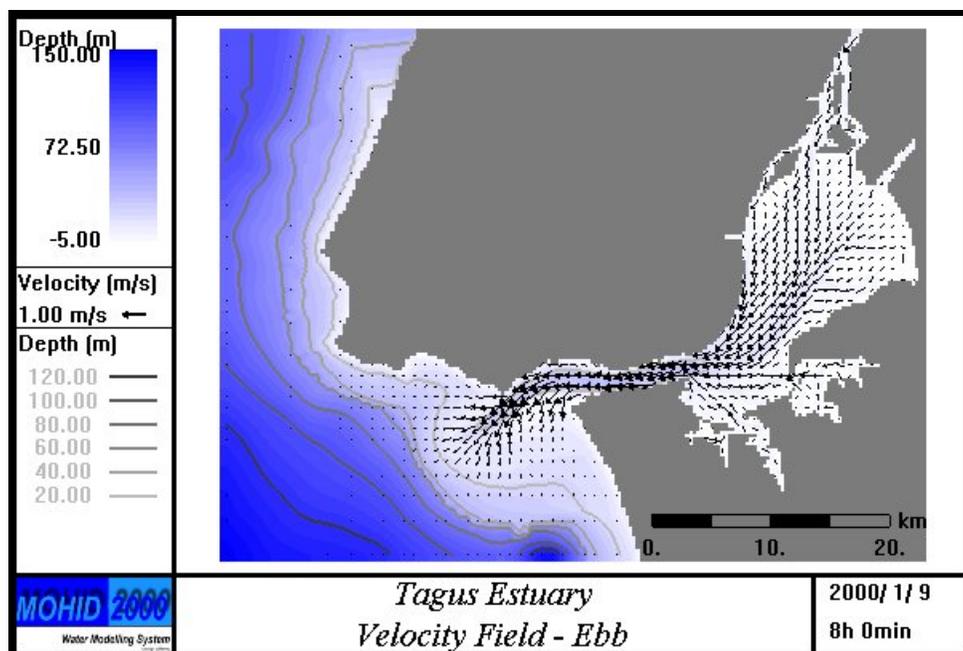


Figura 16. Campo de velocidade no Estuário do Tejo em situação de vazante.

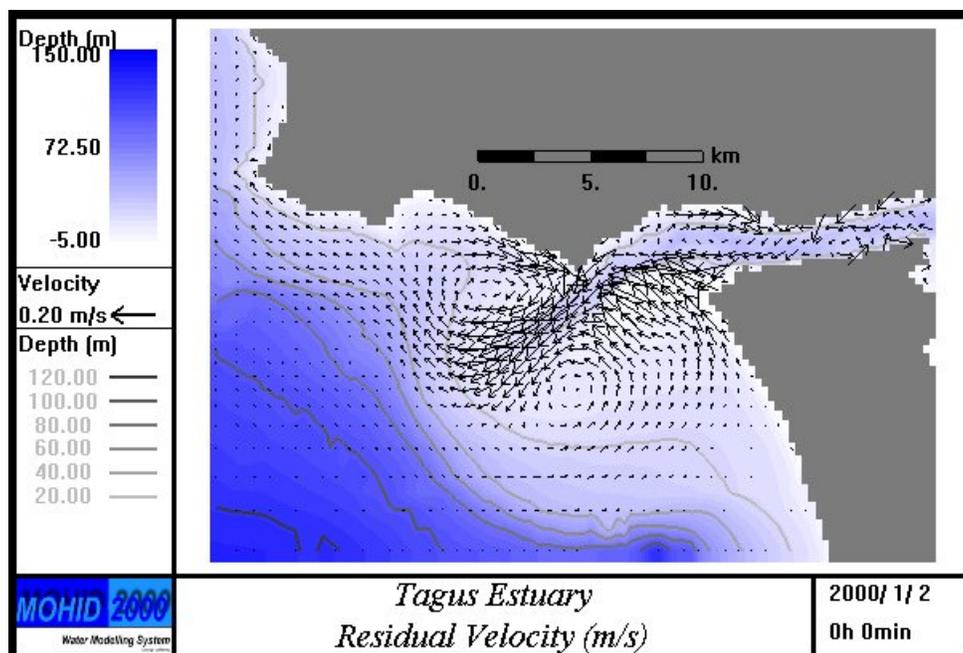


Figura 17. Campo residual de velocidade no Estuário do Tejo.

Através da Figura 18 que representa o fluxo residual [m^2/s] é possível observar um vórtice residual anti-ciclónico que ocupa o extremo de jusante da zona do canal com velocidade no sentido do interior do estuário a norte e no sentido do mar a sul. É ainda possível distinguir o jacto de saída e dois vórtices adjacentes. Em anexo (secção 8.2) encontram-se figuras referentes ao nível aproximado de maré durante o período de amostragem das campanhas realizadas entre Fevereiro de 2004 e Abril de 2005.

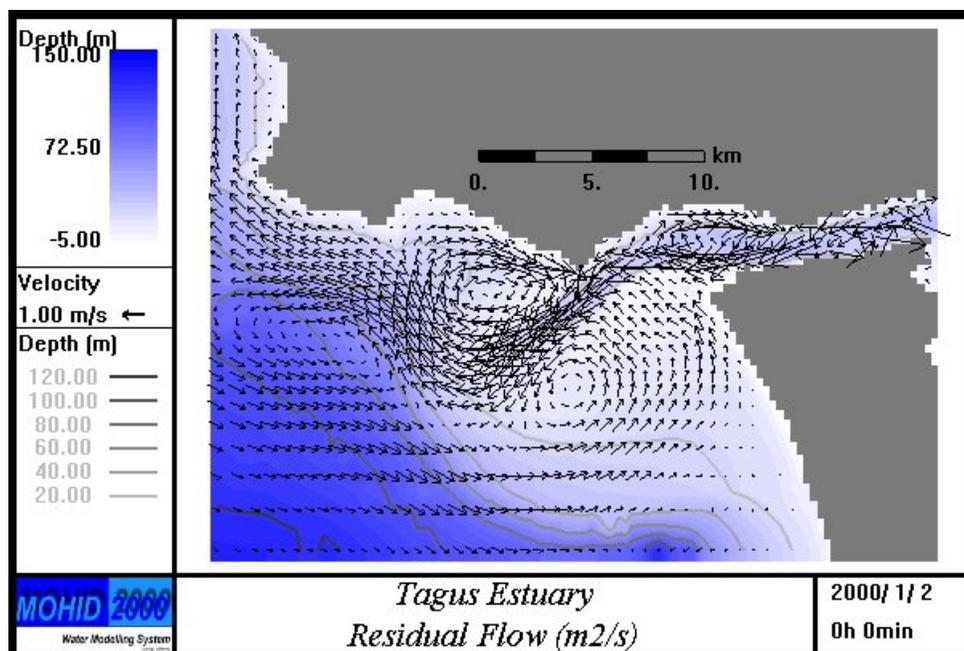


Figura 18. Fluxo residual no Estuário do Tejo.

3.4 Validação dos Resultados do Modelo

3.4.1 Propriedades Químicas e Biológicas

O sistema operacional do estuário do Tejo está em funcionamento desde Abril de 2003 tendo estabilizado os resultados em Agosto/Setembro do mesmo ano. Desde então encontra-se em sucessiva correcção, melhoramento e expansão das suas potencialidades e da sua operacionalidade. Assim, o modelo operacional gera diariamente novos resultados que devem ser avaliados e comparados com as medidas de campo. No *Relatório Geral das Campanhas de Amostragem no Estuário do Tejo dos meses de Fevereiro, Maio e Junho de 2004, Relatório Semestral e Relatório Geral do Ano de 2004* foram já apresentadas algumas comparações de resultados do Modelo Operacional com a informação recolhida nas primeiras campanhas da SIMTEJO. Neste capítulo apresentam-se apenas os resultados da comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e os valores obtidos durante o projecto para a estação de amostragem ST53, como exemplo, por se tratar de uma estação localizada no centro do estuário, para os parâmetros Nitrato, Amónia, Oxigénio Dissolvido e Clorofila-*a*. Os resultados são mostrados na forma de gráficos cartesianos, com séries temporais anuais onde se comparam os resultados do modelo com as medidas obtidas em laboratório para o mesmo instante. Em anexo (secção 8.6.1) são apresentadas figuras de comparação de resultados adicionais, para as estações pertencentes a cada uma das diagonais consideradas, organizados por diagonal e por parâmetro de forma a facilitar a consulta dos resultados.

Para a propriedade oxigénio dissolvido (Figura 19) o modelo apresenta em geral, valores ligeiramente superiores às medidas de campo em grande parte das estações de amostragem. Este desvio, já detectado em comparações anteriores, poderá em certa medida ser explicado pelas condições impostas nas descargas dos rios, valores de temperatura ou ainda devido a algum tipo de erro associado à formulação para o cálculo dos fluxos de oxigénio à superfície. Novos estudos estão a ser desenvolvidos, no sentido de minimizar eses desvios encontrados, incluindo a consideração de novas formulações para os processos em causa, não sendo ainda aconselhável a sua implementação imediata no modelo operacional, uma vez que se encontram ainda em fase de teste e aperfeiçoamento. Note-se, no entanto, que os valores se encontram dentro da mesma ordem de grandeza.

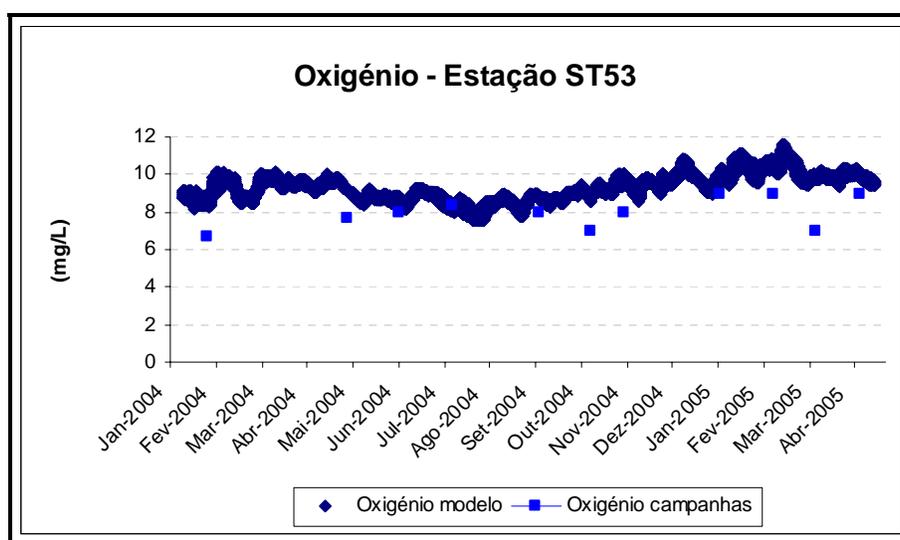


Figura 19. Evolução da concentração de oxigénio dissolvido (mg/l) na estação ST53.

No que se refere aos nitratos, constata-se que, em geral, há uma boa concordância entre os resultados do modelo e os valores obtidos em laboratório à excepção de algumas estações, em particular as estações localizadas em zonas próximas das zonas de descargas dos rios afluentes (ST71, ST82 e ST92). Esta situação coloca em evidência a necessidade de serem melhoradas as condições de fronteira, que tem vindo a ser alvo de aperfeiçoamento. Relativamente à estação ST53 (Figura 20) a comparação é bastante satisfatória verificando, no entanto, a existência de um número importante de campanhas nas quais os níveis de nitrato obtidos em laboratório se revelam abaixo dos limites de quantificação do método utilizado. Segundo a indicação do laboratório a análise deste parâmetro em águas salinas e com quantidades de matéria orgânica elevada encontra-se dificultada, uma vez que as interferências provocadas por estas substâncias impedem a identificação do nitrato existente. Assim, em diversas campanhas a concentração deste parâmetro é inferior ao limite de quantificação. A série temporal do

modelo permite identificar um padrão de variação sazonal da concentração ao longo do ano, não identificável observando apenas os dados de campo disponíveis dado o reduzido número de amostras válidas. A concentração de nitrato atinge valores mais elevados durante os períodos de Inverno, diminuindo nos meses de Primavera/Verão, nos quais a maior produção primária se encontra favorecida, implicando maiores consumos deste nutriente. Acresce ainda o facto de a estação de Inverno ser coincidente com a época típica de chuva implicando um maior caudal de descargas de águas provenientes dos rios, embora o ano hidrológico 2004/2005 tenha sido considerado por diversas entidades como um ano atípico com períodos alargados de seca.

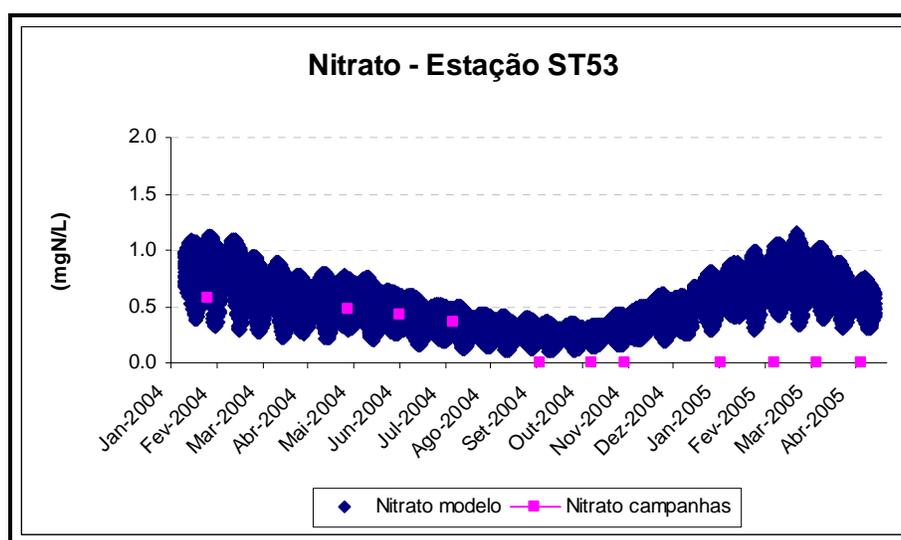


Figura 20. Evolução da concentração de nitrato (mgN/l) na estação ST53¹.

No caso da amónia (Figura 21), verifica-se que este nutriente apresenta concentrações com cerca de uma ordem de grandeza inferior às concentrações de nitrato existentes no meio. Esta diferença de valores vai de encontro à situação esperada tendo em conta que, embora o azoto possa ser assimilado pelos produtores primários a sob a forma de amónia (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), existe uma preferência pelo consumo de amónia (a forma mais reduzida). A utilização de nitrato implica uma conversão em amoníaco, o que representa para os organismos um gasto adicional de energia (Goldman and Horne, 1983).

A comparação entre os valores calculados pelo modelo e os valores resultado das análises de laboratório são bastante satisfatórias. Em termos gerais os resultados permitem identificar as zonas adjacentes aos pontos de descarga, junto à margem, como aquelas onde a concentração de amónia é mais elevada, concordante com o facto de este nutriente ter uma origem pontual associada às fontes de poluição

¹ Os valores indicados como zero correspondem a amostras com concentração inferior ao limite de quantificação do método de análise utilizado.

pontuais. A concentração de amónia diminui de forma muito significativa ao longo das diagonais, evidenciando a importância do factor de diluição existente no estuário. Em termos sazonais existe à semelhança da evolução do nitrato uma tendência para concentrações mais elevadas durante o Inverno e concentrações mais baixas durante os períodos de Primavera/Verão, a par da sazonalidade verificada na evolução sazonal da produção primária.

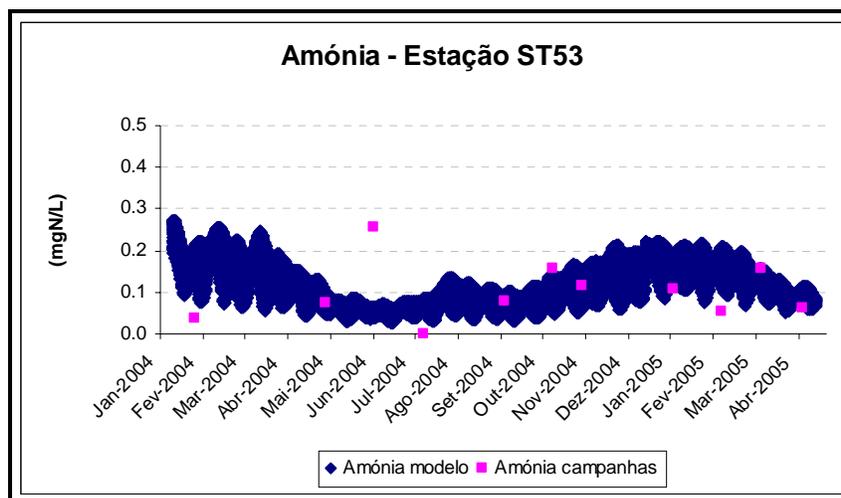


Figura 21. Evolução da concentração de amónia (mgN/l) na estação ST53.

No que se refere a Clorofila-*a*, na Figura 22 é possível observar que os resultados do modelo de certa forma acompanham a tendência verificada nos valores laboratoriais até Agosto de 2004, atribuindo maiores concentrações durante a primavera, acompanhando o aumento de radiação solar incidente característico deste período. Porque a disponibilidade de luz na coluna de água é de facto uma das condições mais importantes na limitação de produção primária no estuário do Tejo a resposta dos organismos à existência de maiores índices de radiação é bastante significativa. A partir de Julho verifica-se nos resultados do modelo uma acentuada diminuição da concentração de fitoplâncton que também ocorre dados *in situ* embora não de forma tão acentuada. Uma possível explicação para a existência desta diminuição brusca das concentrações de fitoplâncton calculadas pelo modelo poderá ser a formulação utilizada para a descrição da dinâmica entre fitoplâncton e zooplâncton. Estão em desenvolvimento no IST/MARETEC alguns testes utilizando o modelo e várias parametrizações e fecho da equação do zooplâncton, bem como pesquisas bibliográficas sobre o comportamento sazonal de zooplâncton no Estuário do Tejo, de forma a encontrar uma solução que permita corrigir o desvio detectado. O modelo MOHID foi já aplicado anteriormente ao Estuário do Tejo, com validações positivas dos resultados. Neste caso particular para a aplicação para o período correspondente ao projecto (Fevereiro de 2004 a Abril de 2005), ocorreram situações excepcionais, nomeadamente ao nível de caudal do rio e consequentemente tempo de residência

da água e abastecimento do estuário, que poderão ter potenciado este desvio, que em condições “normais” não seria detectado nos resultados.

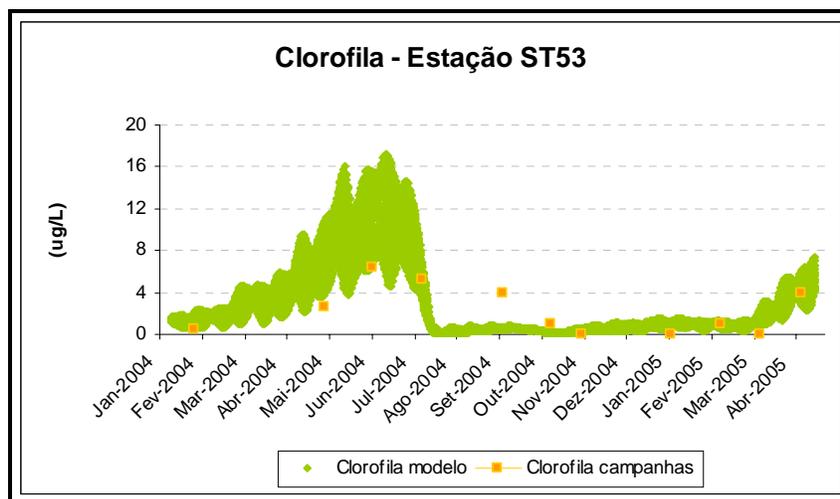


Figura 22. Evolução da concentração de clorofila-a (ug Clo-a/l²) na estação ST53.

Modelação Ecológica: Parâmetros Químicos e Biológicos

Conclusões

A modelação numérica apresenta-se como uma solução eficaz para dar continuidade espacial e temporal às campanhas de amostragem, com a vantagem adicional de possuir carácter preditivo. O modelo implementado no Estuário do Tejo permite neste momento, determinar a evolução das propriedades pertencentes ao ciclo biogeoquímico do azoto (nas formas de amónia, nitrato, nitrito, azoto orgânico dissolvido refractário, DONr, não refractário, DONnr, e azoto orgânico particulado, PON), oxigénio dissolvido, fitoplâncton e zooplâncton além de temperatura, salinidade de concentração de sedimentos. Para além dos processos biogeoquímicos e biológicos que ocorrem no estuário, a qualidade da água é determinada também pelas condições hidrodinâmicas existentes no estuário o que depende não só da sua morfologia como também da condições de descargas dos rios Tejo, Sorraia e Trancão e das descargas de ETAR. A caracterização das condições de fronteira foi, ao longo do projecto, sendo melhorada o que contribuiu para uma melhoria significativa dos resultados do modelo. Esta estratégia continuará a ser seguida no futuro, a par de novos desenvolvimentos e estudos paralelos que permitem, não só melhorar os resultados do modelo como também aumentar o conhecimento existente sobre o sistema.

² Considerando C/Chla a = 60

3.4.2 Propriedades de Contaminação Fecal

Para comparar as medidas da contaminação fecal com resultados do modelo MOHID recorreu-se ao módulo hidrodinâmico acoplado ao módulo lagrangiano. O módulo lagrangiano permite simular a dispersão de plumas e, no caso da simulação das bactérias coliformes termotolerantes (Coliformes Fecais) tem em conta a mortalidade dos organismos no ambiente marinho. Esta mortalidade depende fundamentalmente de factores como a salinidade, luz solar e temperatura da água, que o módulo lagrangiano, incluído no MOHID, permite considerar.

Uma das mais importantes dificuldades na simulação matemática das plumas fecais é o conhecimento correcto das cargas afluentes ao sistema a modelar. Em relatórios anteriores entregues à SIMTEJO foram consideradas somente 6 descargas existentes (S.João da Talha, Rio Trancão, Beírolas, Chelas, Terreiro do Paço e Alcântara). Posteriormente, na tentativa de explicar as medidas observadas, foram incluídas nas simulações do modelo 10 fontes de descarga, correspondentes as descargas das ETAR da SIMTEJO e outros pontos de descargas monitorizadas durante o programa de monitorização, representados na Figura 23.

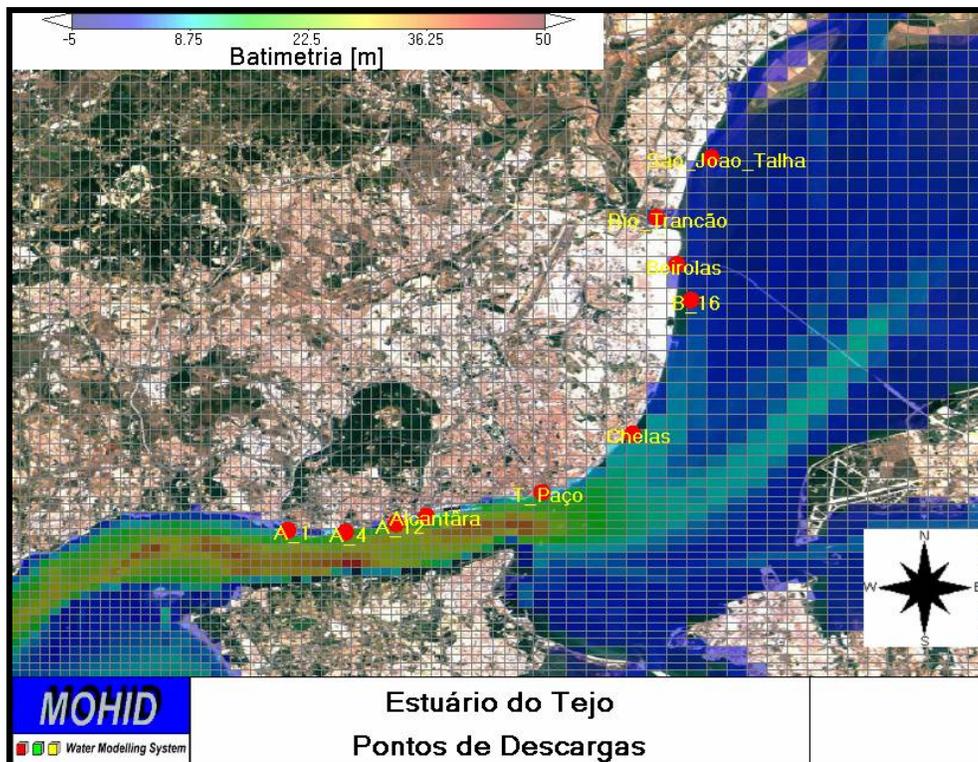


Figura 23: Localização geográfica dos pontos de descarga considerados nas simulações com o modelo MOHID.

A maior dificuldade que resta é a estimativa correcta da carga descarregada em cada ponto considerado. Sempre que possível, foram utilizados nas simulações do modelo valores obtidos através das amostragens clássicas realizadas ao longo do projecto:

- Os caudais descarregados pelas ETAR foram calculados a partir dos valores mensais fornecidos pela SIMTEJO;
- O caudal do Rio Trancão foi obtido através de uma correlação directa com o caudal medido no Rio Tejo;
- Os restantes caudais (das pequenas descargas ao longo da margem) foram considerados constantes com um valor de 0.1m³/s;
- Para as concentrações de bactérias coliformes termotolerantes foram utilizados, sempre que possível, os valores medidos. Na ausência de valores medidos foi considerado um valor médio.

A Tabela 3 e a Tabela 4 mostram os valores considerados para o caudal descarregado e a concentração das bactérias coliformes termotolerantes, respectivamente. Os valores com fundo cinzento representam valores extrapolados devido à ausência de valores medidos. Note-se que relativamente ao caudal descarregado no Terreiro do Paço o valor utilizado poderá estar subavaliado, devendo futuramente proceder-se a um ajustamento.

Tabela 3: Caudal descarregado nos diferentes locais de descarga

Campanha	Caudais [m ³ /s]									
	Alcântara	Beirolas	Chelas	S. João da Tallha	Trancão	Terreiro do Paço	A1	A4	A12	B16
Fev 2004	0.94	0.51	0.38	0.14	2.70	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Mai 2004	1.07	0.37	0.38	0.14	0.60	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Jun 2004	1.12	0.41	0.33	0.14	0.36	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Jul 2004	1.08	0.37	0.42	0.13	0.32	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Set 2004	1.19	0.39	0.39	0.13	0.51	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Out 2004	1.26	0.50	0.40	0.16	0.62	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Nov 2004	1.34	0.47	0.41	0.15	1.28	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Dez 2004	0.60	0.45	0.42	0.15	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Jan 2005	0.94	0.51	0.94	0.14	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Fev 2005	0.94	0.51	0.38	0.14	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Mar 2005	1.00	0.50	0.35	0.14	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Abr 2005	1.00	0.50	0.35	0.14	1.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Tabela 4: Concentrações descarregados nos diferentes locais de descarga (Bactérias Coliformes Termotolerantes).

Campanha	Concentrações [100u/ml]									
	Alcântara	Beirolas	Chelas	S. João da Talha	Trancão	Terreiro do Paço	A1	A4	A12	B16
Fev 2004	5.0E+06	5.3E+04	3.0E+02	3.0E+05	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05
Mai 2004	5.0E+06	5.3E+04	3.0E+02	3.0E+05	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05
Jun 2004	5.0E+06	5.3E+04	3.0E+02	3.0E+05	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05
Jul 2004	5.0E+06	5.3E+04	3.0E+02	3.0E+05	1.0E+05	1.0E+06	1.0E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+05
Set 2004	1.2E+08	5.3E+04	8.0E+02	3.8E+05	1.0E+05	5.3E+06	1.0E+07	1.0E+06	5.3E+06	1.0E+05
Out 2004	7.3E+06	9.0E+03	1.0E+01	7.3E+04	4.6E+03	8.0E+03	5.9E+05	5.3E+03	8.0E+03	4.4E+03
Nov 2004	5.0E+06	3.7E+03	4.0E+01	2.7E+05	3.4E+05	4.7E+06	5.6E+06	8.1E+03	4.7E+06	7.3E+05
Dez 2004	5.0E+06	2.6E+05	1.0E+01	2.0E+04	1.6E+05	8.1E+05	2.0E+08	4.6E+06	8.1E+05	2.1E+05
Jan 2005	3.8E+06	8.0E+03	3.1E+02	3.1E+05	1.5E+05	1.5E+03	1.0E+07	9.0E+05	1.5E+03	2.1E+04
Fev 2005	5.0E+06	5.3E+04	3.0E+02	3.0E+05	2.5E+05	3.8E+03	4.8E+06	5.5E+06	4.3E+06	4.0E+07
Mar 2005	1.0E+07	2.8E+05	9.0E+01	1.0E+07	7.8E+05	1.7E+03	1.0E+07	2.5E+05	1.3E+07	2.9E+05
Abr 2005	1.6E+06	2.8E+05	2.0E+02	2.2E+05	1.8E+05	6.7E+03	1.0E+07	2.0E+06	4.1E+06	4.1E+05

Em anexo (secção 8.6.2) apresentam-se algumas figuras de resultados do modelo MOHID em comparação com as medidas efectuadas no campo. A partir das figuras conclui-se:

- A pluma localiza-se sempre ao longo da margem norte do estuário, com uma extensão que depende da maré;
- As concentrações simuladas com o modelo MOHID são inferiores às concentrações medidas *in situ* nos sítios onde a pluma não chega. Isto pode ser facilmente explicado pelo facto de que no modelo não são consideradas todas as descargas que afluem ao Estuário do Tejo, nomeadamente as ribeiras da Costa do Estoril, a descargas do margem Sul e as descargas a montante da Cala do Norte;
- A pluma simulada nunca passa pelo ponto ST23. Isto significa que as descargas simuladas não têm influência na contaminação fecal da zona de Trafaria;
- Em frente à Ribeira do Jamor registaram-se níveis de contaminação fecal que geralmente não podem ser explicados pelas simulações do modelo, tais resultados justificam-se por não se ter introduzido na simulação descargas na zona, nomeadamente a Ribeira do Jamor;

- A ordem de grandeza das concentrações simuladas entre Alcântara e a zona da Expo está em boa concordância com as medidas feitas *in situ*, como resultado da imposição de boas condições de fronteira na região (condições de descarga), providenciadas quer pelos resultados das campanhas de amostragem, quer pelos resultados das análises fornecidas pela SIMTEJO;
- As concentrações medidas na Cala do Norte são consideravelmente superiores às simuladas pelo modelo, sugerindo que nesta zona existem mais descargas que as consideradas;
- Algumas das concentrações elevadas observadas nas margens (zona de embocadura do estuário e margem sul) não podem ser explicadas apenas pelas descargas impostas ao modelo.

Para comparar a evolução anual das medidas de laboratório e dos resultados do modelo MOHID foram elaboradas algumas séries temporais para diferentes estações de amostragem. Apresentam-se de seguida resultados para as estações ST12, ST63 e ST81.

A partir da Figura 24 até Figura 26 podem-se tirar algumas conclusões:

- No ponto ST12 as concentrações das medidas correspondem, geralmente, ao máximo simulado, reafirmando-se assim que esta zona é influenciada por mais descargas além das descargas da SIMTEJO. Note-se que nesta estação as variações temporais são grandes, uma vez que é a zona onde o estuário apresenta maiores velocidades;
- Tendo em conta a variação geral das concentrações, na estação ST63 (localizada na diagonal frente ao Cais da Matinha) o modelo consegue reproduzir bem a ordem de grandeza dos valores observados;
- Na estação ST81 (Cala do Norte), os valores simulados pelo modelo são sempre inferiores aos valores medidos, reafirmando a conclusão já apresentada, que nesta zona existirão possivelmente algumas descargas que não estão a ser consideradas na simulação e sobre as quais não existe qualquer informação.

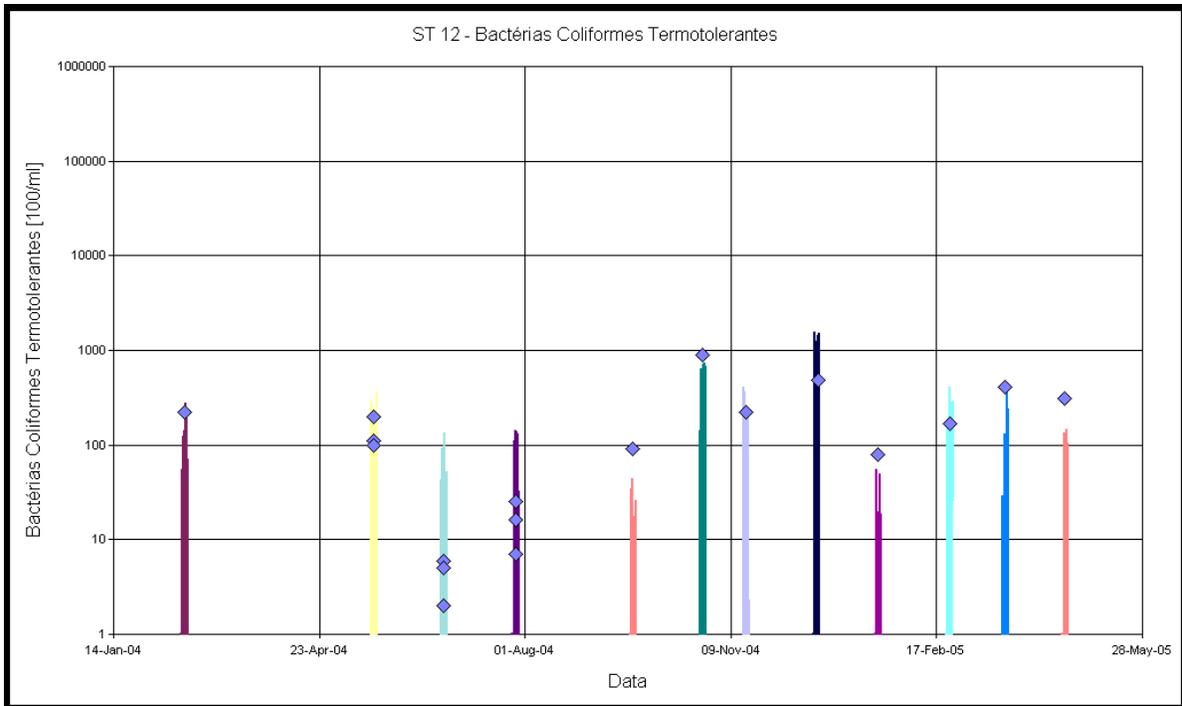


Figura 24: Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST12).

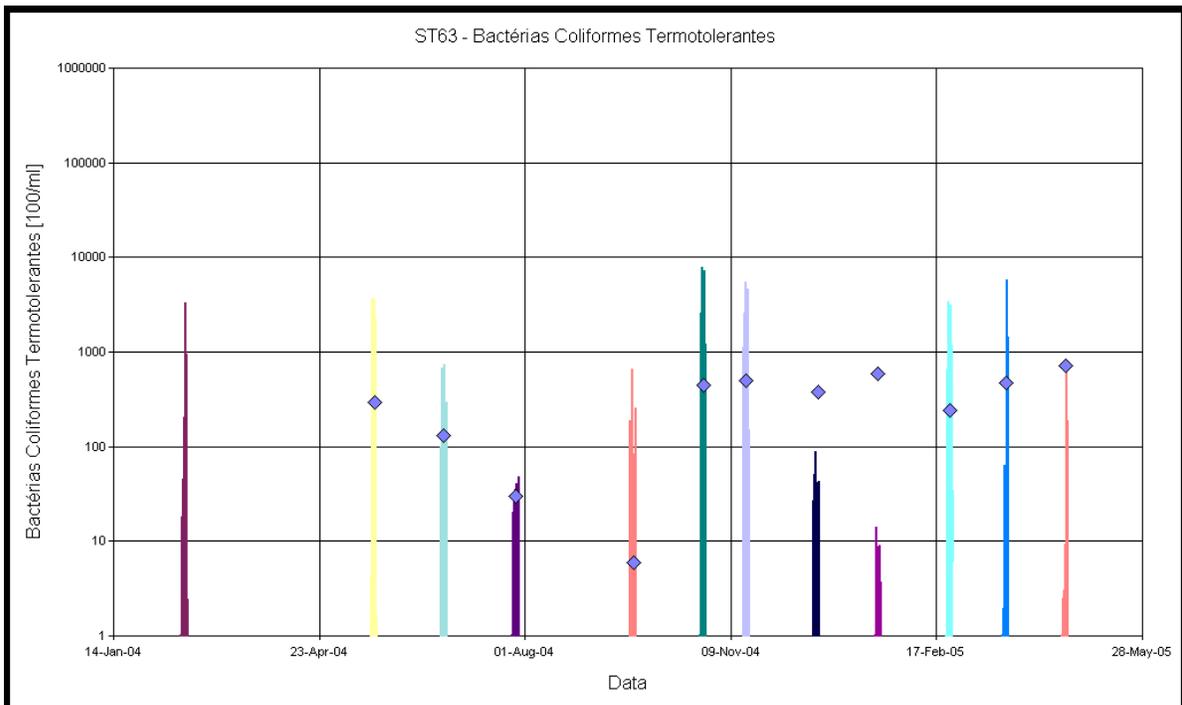


Figura 25: Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST63).

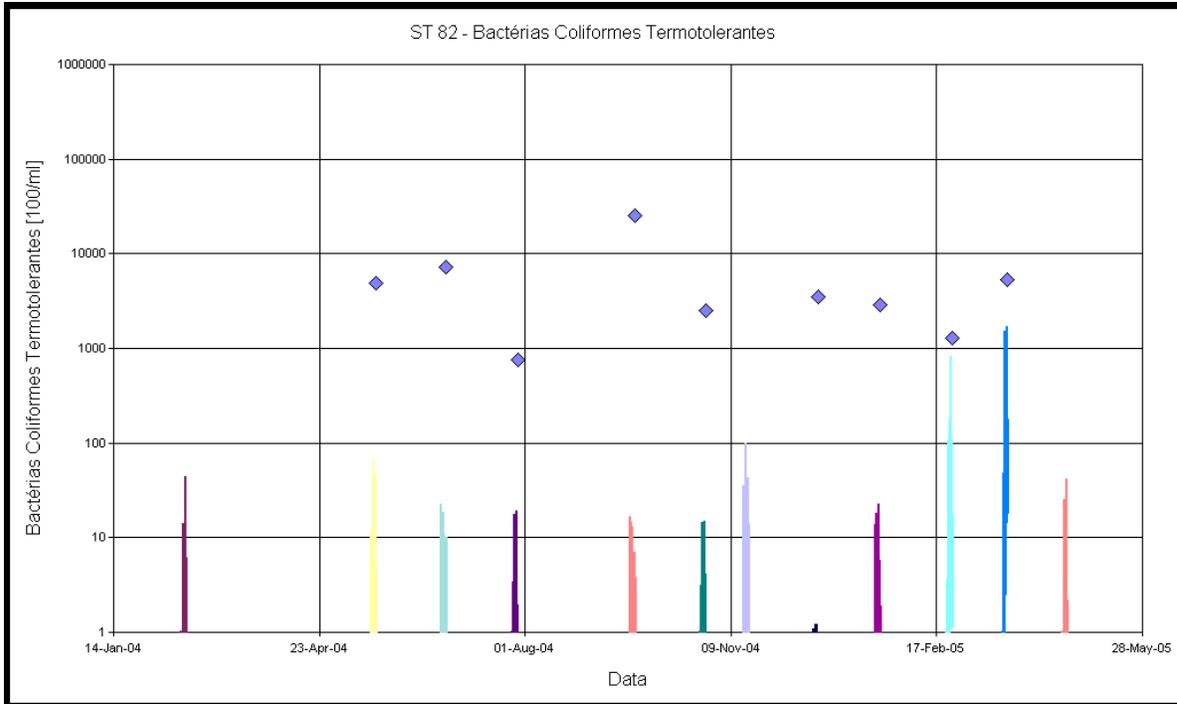


Figura 26: Comparação entre a concentração das bactérias coliformes termotolerantes simuladas e observados (ST81).

Modelação Ecológica: Parâmetros de Contaminação Fecal

Conclusões

Tendo em conta que a correcta simulação das bactérias coliformes termotolerantes depende de vários factores (estimativa das cargas, mortalidade) pode afirmar-se que o modelo consegue reproduzir bem os valores das concentrações observados nos locais sobretudo influenciados pelas descargas bem identificadas (i. e. em frente de Lisboa, entre Algés e Cais da Matinha). A zona da embocadura do estuário e a margem sul apresentam valores que não podem ser explicados somente pelas descargas provenientes da área de atendimento da SIMTEJO. Para simular correctamente as concentrações observadas na Cala do Norte, propõe-se que em futuras simulações sejam incluídas as descargas existentes nesta zona, nomeadamente as ribeiras Crós-Cós e Verdelha.

4 Monitorização por Detecção Remota (Sensor MERIS – ESA)

A utilização de imagens de satélite em zonas costeiras é uma área em expansão. Tipicamente os algoritmos utilizados são indicados para o oceano, onde 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 interesse económico concreto 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 o processamento deste tipo de informação mais eficientes. Neste momento, para além do acesso à informação de vários sensores (Seawifs, Meris, Modis), é possível também através da adaptação de ferramentas de processamento pré-existentes e da análise das grandes quantidades de informação geradas pelo sistema MOHID, processar e integrar a informação derivada das imagens de satélite.

Concretamente em relação ao trabalho desenvolvido no âmbito do projecto SIMTEJO, tal como foi já referido, a aplicação desta tecnologia em zonas costeiras é recente, sendo por isso necessário verificar se os dados obtidos por detecção remota são consistentes com as medidas locais, de forma a garantir a sua fiabilidade. À medida que forem sendo identificadas as vantagens e fraquezas deste tipo de monitorização e tendo em conta que o seu custo é incomparavelmente mais baixo do que o custo da monitorização clássica, será possível o estabelecimento de um plano de monitorização mais eficiente, no qual a detecção remota poderá assumir um papel mais relevante.

4.1 Tipo de Informação e Acesso

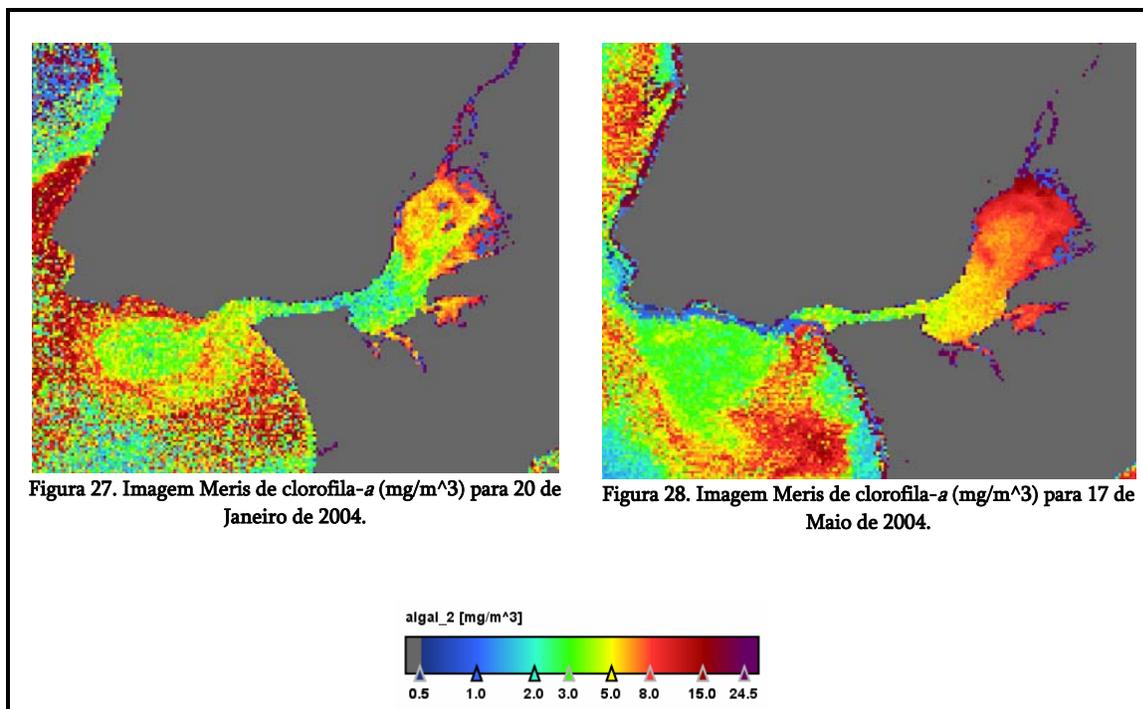
O sensor Meris é um sensor passivo, isto é, mede a radiação que é emitida pela terra sob vários comprimentos de onda. Isto implica, por exemplo, que só existam imagens válidas quando não há nuvens sobre a zona de estudo. Tipicamente, o parâmetro mais importante medido por este tipo de sensor é a clorofila, obtida como resultado de um processamento de dados que inclui correcções para eliminar os efeitos atmosféricos. Este parâmetro permite acompanhar os processos de produção primária no estuário e na superfície do mar, considerado também como indicador indirecto dos processos de transporte verticais e horizontais. Novos algoritmos têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de permitir calcular também a presença de substâncias orgânicas, matéria em suspensão e factor de extinção da luz na água. Em termos de frequência de amostragem, este sensor permite teoricamente obter uma imagem válida diariamente. O sensor da ESA - Meris - apresenta uma vantagem inegável em relação a outros sensores com os quais o Maretec também tem vindo a trabalhar como o Modis ou Seawifs 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. Isto significa que o único sensor com capacidade de descrever os processos dentro do estuário é o sensor 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. Em termos de acesso, no caso dos sensores da NASA, quer o Modis quer o Seawifs têm acesso livre e gratuito. 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.

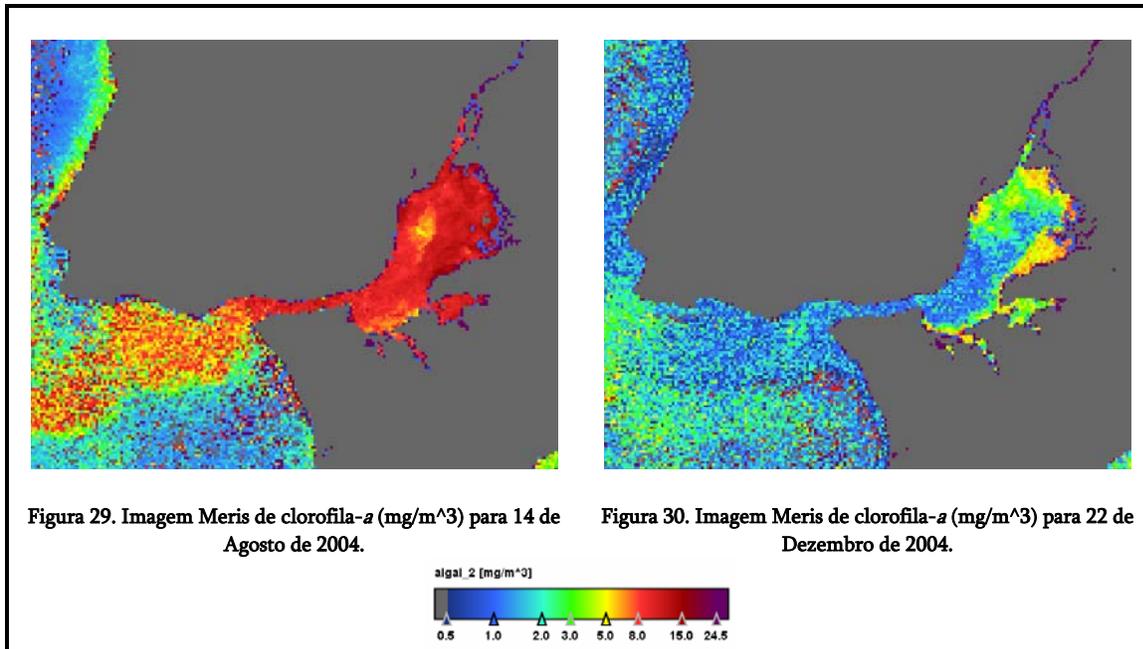
4.2 Observações de Clorofila

As figuras seguintes mostram a distribuição horizontal da clorofila no estuário para alguns dias disponíveis durante o ano de 2004. Foi usado um algoritmo específico para águas do tipo II, ou seja, águas com concentrações elevadas de matéria em suspensão, clorofila e matéria orgânica, pelo que os resultados só são válidos dentro do estuário. As figuras seguintes representam apenas uma parte de todas as imagens obtidas e disponíveis.

A distribuição de clorofila observada resulta de dois tipos de processos: (i) variação espacial na dinâmica da população e (ii) transporte de água e plâncton variável no tempo e no espaço. O primeiro é o resultado de variações horizontais no balanço local entre a produção de fitoplâncton e a sua degradação (i.e. combinações locais da altura da coluna de água, turvação, taxas de predação, etc ...). Essas condições locais

controlam as taxas de crescimento da população para uma coluna de água, com uma localização específica, determinando desta forma a possibilidade de ocorrência de um *bloom* de clorofila. O segundo processo – transporte – promove a comunicação entre às várias áreas do estuário, propagando ou controlando o *bloom* que se desenvolveu nessas áreas específicas. No caso do estuário do Tejo é possível verificar que as zonas de pequena profundidade na zona Nordeste do estuário são invariavelmente as zonas de maior concentração de clorofila, explicado pelo facto de que nestas áreas as condições referidas no primeiro processo são favoráveis ao crescimento dos organismos fotossintéticos associado ainda a um nível de nutrientes relativamente elevado e velocidades baixas. Este resultado já foi amplamente verificado quer pelas medidas realizadas no âmbito deste, e outros projectos, quer pelos resultados do sistema MOHID. As imagens permitem também perceber a evolução temporal das concentrações ao longo do ano, com concentrações mais baixas no Inverno (Figura 27 e Figura 30), um pouco mais elevadas na Primavera (Figura 28) e máximas no Verão (Figura 29). Este assunto será debatido na secção 4.4. Do ponto de vista qualitativo as observações do sensor Meris parecem corroborar o conhecimento existente sobre a distribuição e evolução temporal da clorofila no Tejo, o que representa uma primeira fase validação destes resultados.





4.3 Observações de Matéria em Suspensão

As figuras seguintes mostram a distribuição horizontal da matéria em suspensão no estuário para alguns dias do ano de 2004. Mais uma vez estas figuras representam apenas uma parte de todas as imagens obtidas e disponíveis. O interesse em conhecer a distribuição da matéria em suspensão está directamente relacionado com o facto dos *blooms* de fitoplâncton em estuários túrbidos e com áreas pouco profundas poderem variar em intensidade e duração, como resposta a diversos factores, sendo um dos principais a quantidade de luz disponível que é função da matéria em suspensão. Este é o caso do Estuário do Tejo. Os processos físicos que afectam o transporte, deposição e erosão de sedimentos no Tejo são essencialmente dois: a maré e a interacção ondas/vento. A maré determina a intensidade das velocidades do escoamento em todo o estuário e as ondas provocadas pelo vento local (uma vez que as ondas oceânicas não se propagam no interior do estuário) determinam a resuspensão de sedimentos. Este fenómeno acontece especialmente nas zonas menos profundas, onde as velocidades provocadas pelo regime de marés são mais baixas e o efeito do vento assume uma maior importância. A descarga do rio desempenha também um papel importante especialmente em situações de caudal muito elevado quando chegam ao estuário grandes quantidades de sedimentos transportados de montante. Das imagens obtidas até ao momento, nenhuma corresponde a uma situação de cheia em que poderia ser identificado o papel do rio, até porque nessas situações é provável que o céu se encontre coberto de nuvens, dificultando a obtenção das imagens. Assim sendo, as observações realizadas representam essencialmente o resultado da influência dos dois processos referidos: maré e ondas.

Nas zonas de pequena profundidade as velocidades são mais baixas, pelo que estas são normalmente zonas de deposição de sedimentos. Por outro lado é nessas zonas que o papel das ondas é mais representativo, sugerindo que sejam também estas as zonas onde iremos encontrar as maiores concentrações de matéria em suspensão. Esta hipótese é comprovada pela análise das imagens, onde é possível comprovar que os valores altos são observados nas zonas de menor profundidade. Observa-se também a diminuição de concentração na direcção do estuário para o mar, devido à mistura de água do mar com concentrações muito baixas de matéria em suspensão. Esta análise precisa de maior profundidade, sendo necessário relacionar cada imagem com o instante de maré correspondente e com o vento local. Tal como no caso da clorofila, do ponto de vista qualitativo as observações do sensor Meris parecem corroborar o conhecimento existente sobre a distribuição de matéria em suspensão no Tejo.

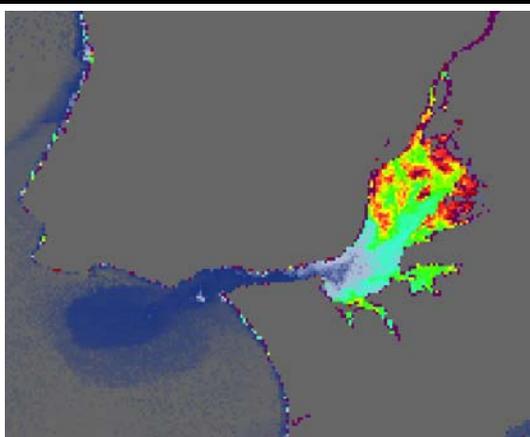


Figura 31. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m^3) para 20 de Janeiro de 2004.

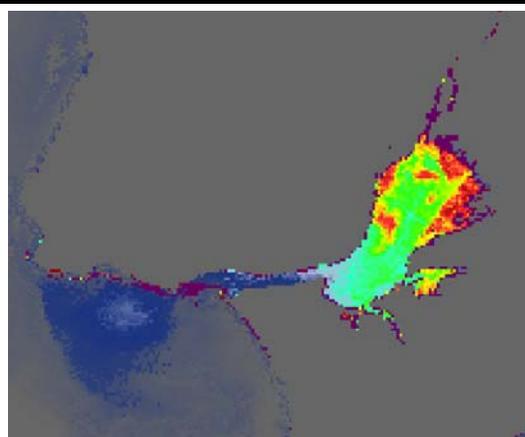


Figura 32. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m^3) para 17 de Maio de 2004.

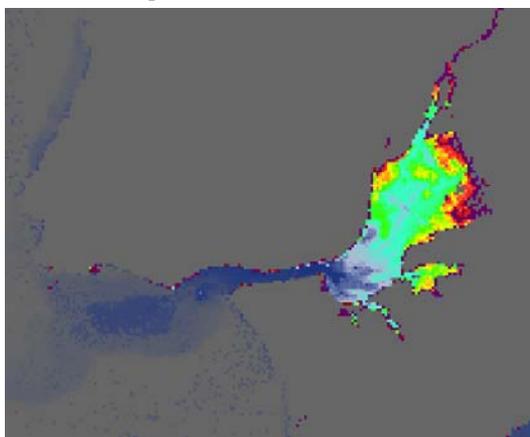


Figura 33. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m^3) para 14 de Agosto de 2004.

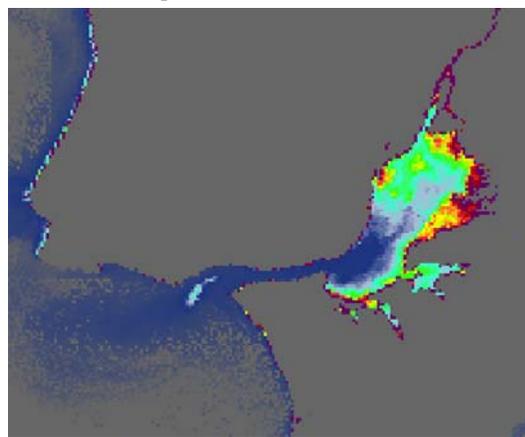


Figura 34. Imagem Meris de matéria em suspensão (g/m^3) para 22 de Dezembro de 2004.



4.4 Análise da variação sazonal de Clorofila

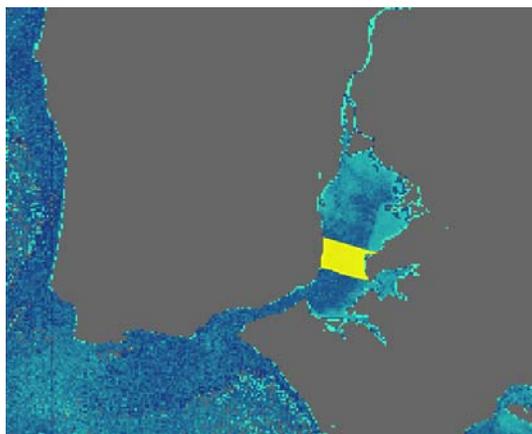


Figura 35. Identificação da área de integração dos valores de clorofila.

Tabela 5. Média de valores de clorofila para a área estabelecida.

Data	Chl a ($\mu\text{g/l}$)
14-05-2003	6.23
07-10-2003	4.33
18-11-2003	3.46
20-01-2004	3.66
12-02-2004	5.26
08-03-2004	5.44
12-04-2004	4.28
17-05-2004	6.19
29-07-2004	7.94
14-08-2004	9.98
30-08-2004	9.24
04-09-2004	10.73
15-09-2004	10.63
18-09-2004	8.69
21-09-2004	4.74
27-09-2004	7.65
01-10-2004	8.18
04-10-2004	6.34
17-11-2004	5.50
22-12-2004	1.69
17-01-2005	4.27
11-02-2005	8.51
22-03-2005	2.59

O objectivo desta análise é avaliar a evolução temporal de clorofila obtida pelo sensor Meris para uma zona específica do estuário.

A definição desta zona tem por objectivo integrar os valores de uma zona intermédia do estuário onde a produção local não seja determinante, mas também onde os gradientes devido à mistura com água do mar não sejam muito intensos, de forma a permitir a comparação de imagens para instantes de maré diferentes, embora este seja um erro que está sempre presente e que deva ser assumido. Tendo em conta o número considerável de imagens Meris reunidas é possível estabelecer uma série temporal relativamente extensa (Figura 36). Os valores apresentados (Tabela 5) representam a média dos valores de clorofila para a área estabelecida (Figura 35).

Esta evolução está fortemente ligada ao principal factor no controlo da produção no estuário que é a disponibilidade de luz, através da turbidez da água. Este tipo de comportamento sazonal também já foi referenciado nos resultados do MOHID, mas não deve ser generalizado pois poderão existir condições que favoreçam o aparecimento de *blooms* noutras ocasiões como parece ser o caso em Fevereiro de 2005. A esta observação não será com certeza alheio o facto das condições meteorológicas terem sido excepcionais durante este período, com um

número elevado de dias sol e regime de caudal do Rio Tejo perfeitamente atípico devido ao estado de seca declarada que assolou o país. Esta conclusão é consistente com as premissas apresentadas tendo em conta que estas condições criaram possivelmente em Fevereiro condições para o desenvolvimento de um bloom semelhantes às que normalmente ocorrem mais próximo do Verão.

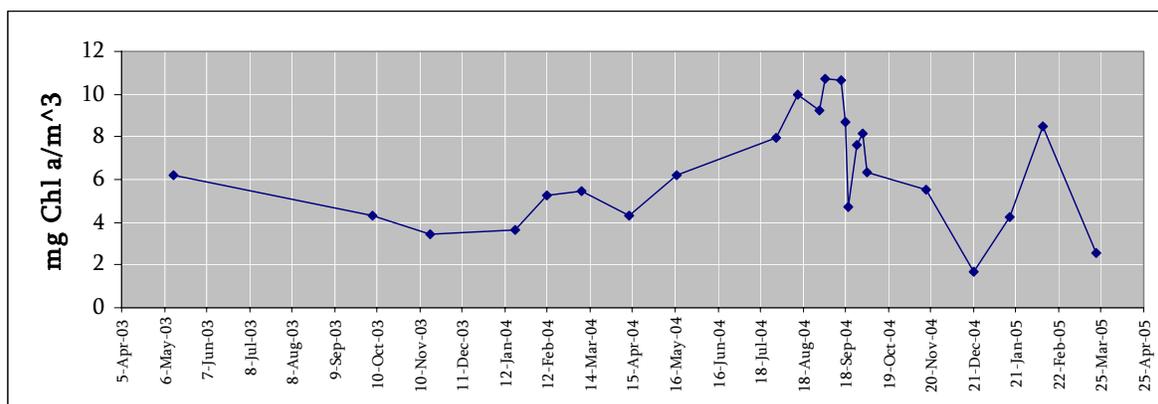


Figura 36. Série temporal dos valores médios de clorofila obtidos pelo sensor Meris para uma área específica do estuário.

4.5 Validação das imagens Meris

4.5.1 Validação utilizando amostragem clássica

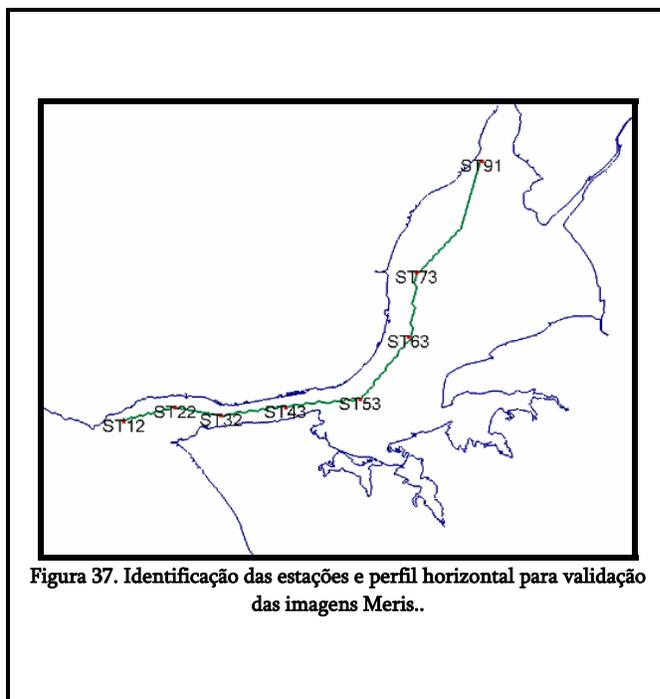


Figura 37. Identificação das estações e perfil horizontal para validação das imagens Meris..

Foi realizada uma pesquisa para seleccionar imagens Meris válidas nos dias coincidentes ou próximos das campanhas de amostragem do projecto SIMTEJO. O objectivo é verificar se as observações *in situ* têm correspondência nas observações por satélite, assumindo-se um maior grau de confiança nas observações *in situ*. A Figura 37 representa a identificação das estações de amostragem consideradas e que fazem parte de um perfil ao longo do estuário. O objectivo desta definição é obter um perfil horizontal que permita observar os gradientes de concentração para validação das imagens Meris.

Existem vários erros associados a estas observações, nomeadamente o facto das observações Meris nem sempre coincidirem com o mesmo dia das observações *in situ* e também pelo facto das campanhas de amostragem decorrem ao longo de um período de tempo longo, enquanto que a imagem Meris é uma fotografia de um determinado instante temporal. No entanto, de uma forma geral os resultados são bastante satisfatórios (Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41), os dados Meris conseguem reproduzir os valores observados com grande fiabilidade em alguns casos e em todos os casos é possível assumir que os dados Meris representam bem os gradientes observados entre as zonas de influência do rio e as zonas de influência do mar bem como a ordem de grandeza dos valores observados quer de clorofila quer de matéria em suspensão.

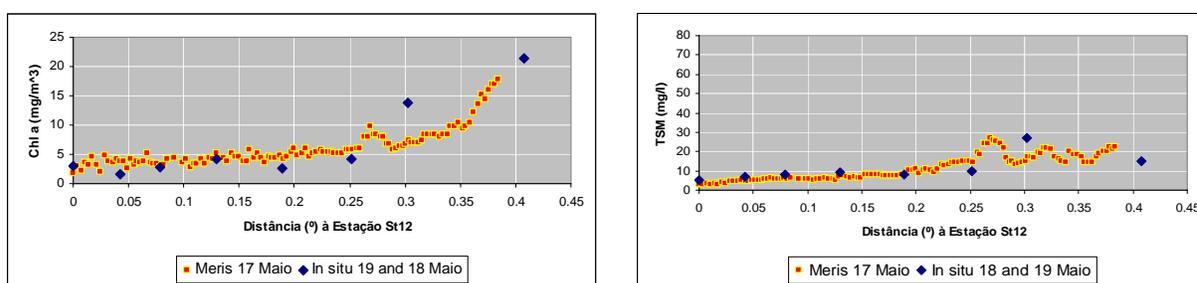


Figura 38. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 18 e 19 de Maio de 2004³.

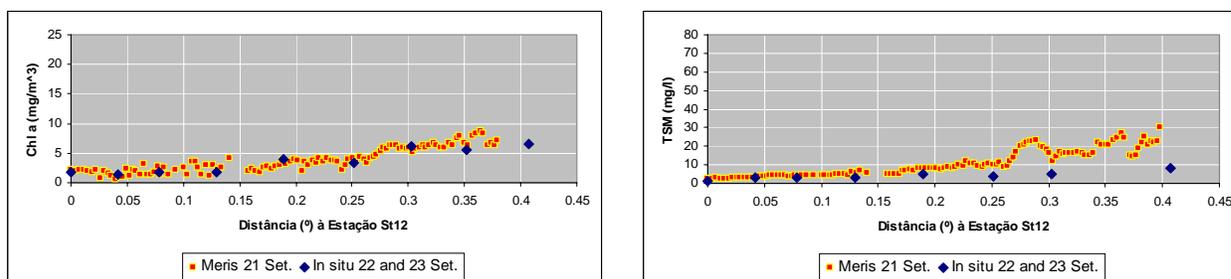


Figura 39. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 22 e 23 de Setembro de 2004³.

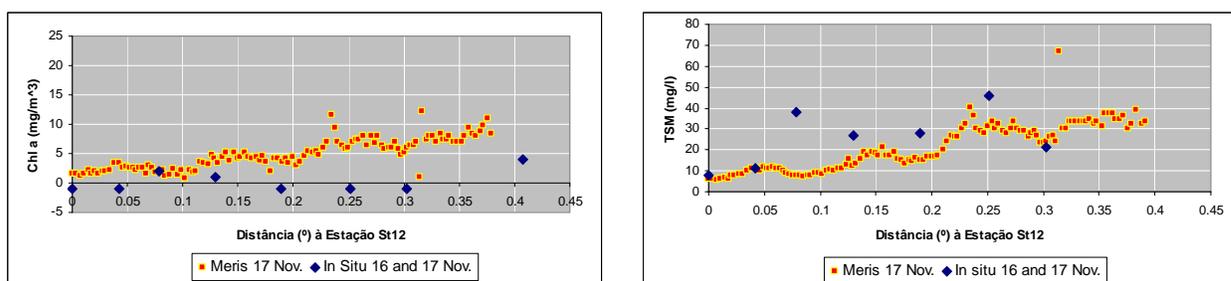


Figura 40. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 16 e 17 de Novembro de 2004³.

³ Os valores negativos correspondem a valores inferiores ao valor limite de quantificação indicado pelo laboratório.

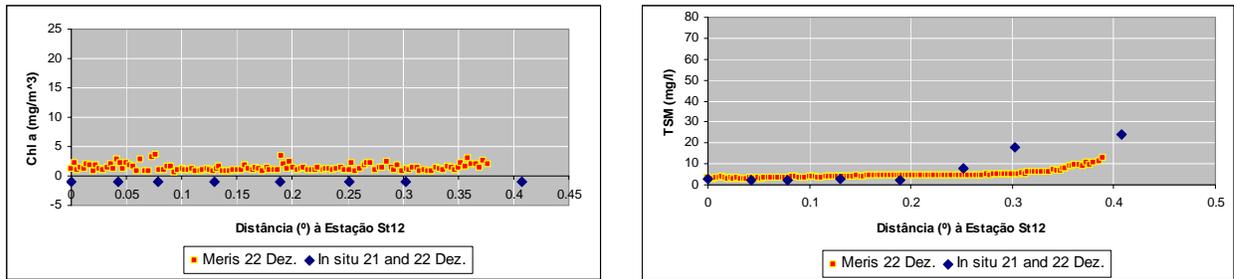


Figura 41. Dados de satélite vs. Amostragem Clássica obtidos em 21 e 22 de Dezembro de 2004³.

4.5.2 Validação utilizando amostragem com sensores

O sistema de mapeamento utilizado no programa de monitorização (apresentado na secção 2.4) tem como objectivo o registo em continuo de alguns parâmetros importantes no estudo de qualidade da água, a partir de uma embarcação em movimento. Um dos parâmetros registados é clorofila-*a*, o que permite desde logo estabelecer uma comparação com os dados obtidos por satélite. Da Figura 42 até Figura 45 apresenta-se a comparação entre os valores registados pela sonda multiparamétrica ao longo do percurso do barco e os resultados do tratamento de dados do Meris. Os resultados obtidos são bastante positivos. A análise das curvas demonstra uma maior variabilidade dos valores medidos pela sonda do que dos valores medidos pelo Meris, o que é justificado pelo facto o valor do Meris representar a integração de uma área aproximadamente quadrada com 250 m de lado. A evolução da concentração registada pelos dois sensores, segue uma mesma tendência ao longo do percurso do barco o que se revela um bom resultado em termos de validação de um e outro tipo de dados.

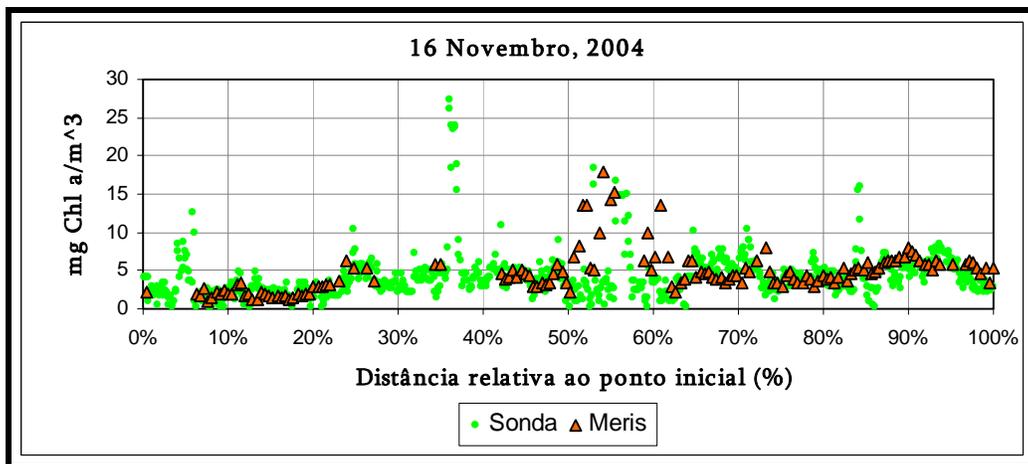


Figura 42. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 16 de Novembro de 2004.

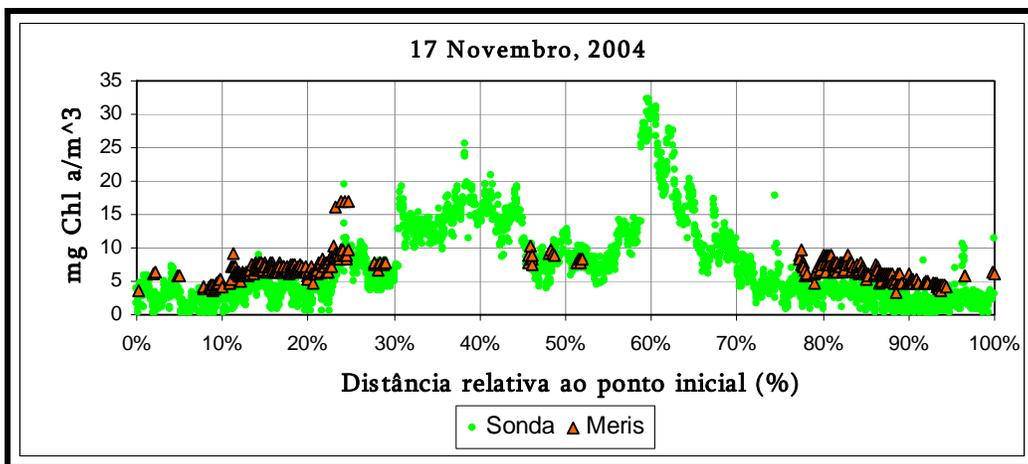


Figura 43. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 17 de Novembro de 2004.

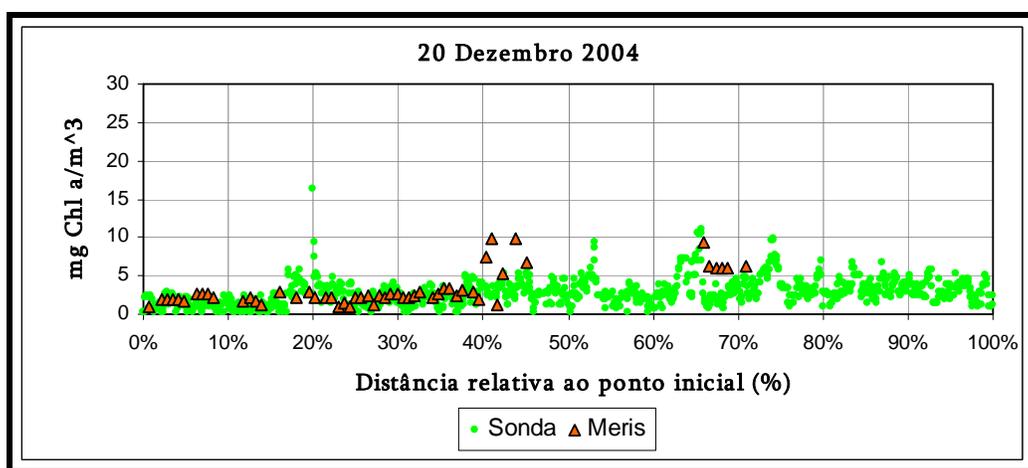


Figura 44. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 20 de Dezembro de 2004.

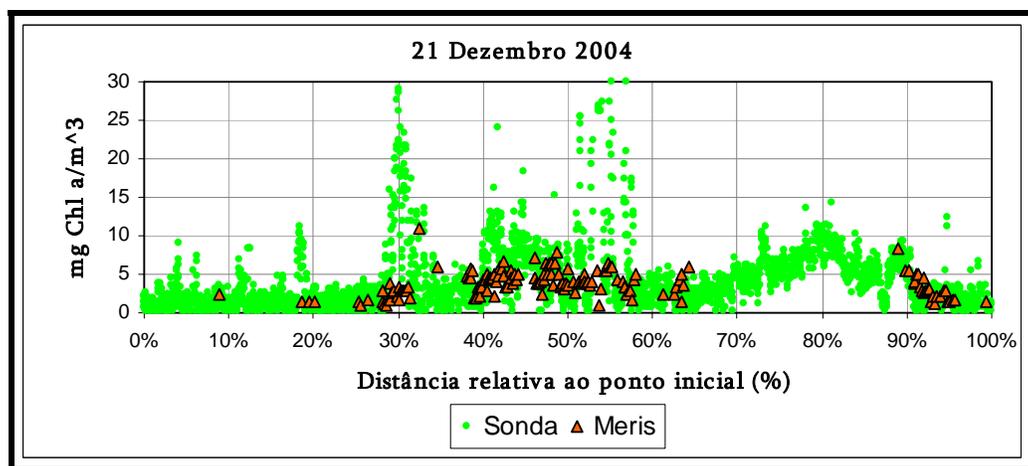


Figura 45. Dados de satélite vs. Amostragem com Sensor obtidos em 21 de Dezembro de 2004.

Conclusões

O trabalho apresentado é recente e encontra-se numa fase inicial. Os resultados obtidos atestam o potencial que este tipo de informação representa. As imagens de satélite, por si só, representam uma informação valiosa, pelo facto de proporcionarem uma visão ampla da zona de estudo permitindo o estudo e monitorização do seu funcionamento, de uma forma muito eficiente, em termos de custo e tempo. As tarefas seguintes nesta área de 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 (recentemente aprovado para os próximos 3 anos) permitirá um avanço significativo nesta área e acima de tudo dará uma contribuição relevante para o programa de monitorização da SIMTEJO.

5 Dinâmica dos Sedimentos Coesivos no Estuário do Tejo

5.1 Enquadramento

No caso de alguns estuários, em particular no Estuário do Tejo, a luz desempenha o verdadeiro papel limitante no processo de produção primária, uma vez que a disponibilidade de nutrientes é relativamente elevada ao contrário da disponibilidade de luz, seriamente afectada pela elevada concentração de matéria em suspensão na coluna de água. Por este motivo, o estudo da produção primária nos estuários deve incluir não só o estudo de processos directos como o ciclo dos nutrientes, degradação da matéria orgânica ou ciclo do oxigénio, mas também um estudo detalhado dos processos de erosão e deposição de sedimentos que condicionam o regime luminoso na coluna de água.

Os sedimentos em suspensão apresentam ainda outro papel não associado directamente à produção primária: é na matéria particulada fina (fracção dos sedimentos em suspensão) que viajam adsorvidos contaminantes orgânicos e metais pesados. A deposição destes agregados ou “flocos” no fundo da coluna de água, indisponibiliza (pelo menos temporariamente) estes poluentes no meio aquático mas a sua ressuspensão pode devolver os contaminantes para a coluna de água.

O estudo e a modelação dos processos de transporte de sedimentos em suspensão no Estuário do Tejo pelo IST–Maretec já decorre há vários anos de forma continuada. Recentemente a disponibilidade de novas fontes de informação através da detecção remota (protocolo estabelecido entre o Maretec e a ESA) e recolhas *in situ* levadas a cabo no projecto SIMTEJO vieram aumentar a capacidade de validação e interpretação dos resultados obtidos pela modelação, representando por isso uma oportunidade de melhorar o conhecimento existente e os modelos utilizados. Esta abordagem surge no contexto do que são as disposições legais actuais, nomeadamente no que diz respeito à Directiva Quadro da Água. Assim sendo, e à semelhança do que se tem passado com os processos de qualidade da água na coluna de água, deu-se início em 2004 a uma componente de aprofundamento do estudo dos processos de transporte de sedimentos do ponto de vista da modelação.

Esta secção do relatório tem como objectivo apresentar o trabalho desenvolvido até ao momento no estudo de transporte de sedimentos no Estuário do Tejo. Embora ainda não terminado, o estudo permite até ao momento concluir que o efeito das ondas na dinâmica dos sedimentos no Estuário do Tejo pode ser importante e a sua consideração nas simulações do modelo permitirá em grande medida melhorar os resultados obtidos. A informação reunida da componente sedimentar do projecto de “Monitorização Ambiental dos Meios Receptores da SIMTEJO”, será posteriormente usada para validação dos resultados

obtidos pelo modelo. Sendo o transporte de sedimentos fortemente influenciado pela componente hidrodinâmica e ondas, as observações *in situ* de sedimentos podem ser encaradas como a imagem filtrada do efeito destas componentes e portanto de forma indirecta servirem também para validação do modelo hidrodinâmico e de ondas já desenvolvidos.

5.2 Modelação do transporte de sedimentos em suspensão

O transporte de sedimentos coesivos na coluna de água é calculado através da resolução da equação de advecção-difusão. Os fluxos entre sedimento e coluna de água (fontes e poços de sedimentos em suspensão) são função da tensão de corte no fundo (devida às correntes e às ondas), das tensões de corte críticas de erosão e deposição, da concentração de sedimentos em suspensão e de parâmetros do modelo.

O algoritmo de cálculo utilizado para determinar o fluxo de deposição de sedimentos é o proposto por Krone (1962), que relaciona a probabilidade de deposição de uma partícula com o fluxo de deposição F_{DEP} , para calcular a massa de sedimentos depositados M_D [ML⁻²]:

$$\begin{cases} \frac{dM_D}{dt} = (C_{W_S})_B \left(1 - \frac{\tau}{\tau_D}\right) & se \quad \tau < \tau_D \\ \frac{dM_D}{dt} = 0 & se \quad \tau > \tau_D \end{cases}$$

em que τ é a tensão de corte junto ao fundo [ML⁻¹T⁻²], τ_D [ML⁻¹T⁻²] é a tensão de corte crítica de deposição e \underline{B} significa “junto à interface coluna de água – sedimento”.

Tal como para a deposição, considera-se que a erosão acontece quando a tensão de corte junto ao fundo é superior a uma tensão de corte crítica de erosão. O algoritmo clássico para calcular o fluxo erosivo F_{ERO} e a correspondente massa erodida por unidade de área num determinado período de tempo, M_E [ML⁻²], é atribuído a Partheniades (1965):

$$\begin{cases} \frac{dM_E}{dt} = E \left(\frac{\tau}{\tau_E} - 1 \right) & se \quad \tau > \tau_E \\ \frac{dM_E}{dt} = 0 & se \quad \tau < \tau_E \end{cases}$$

onde τ é a tensão de corte junto ao fundo [ML⁻¹T⁻²], τ_E é a tensão de corte crítica de erosão [ML⁻¹T⁻²] e \underline{E} uma constante de erosão [ML⁻²T⁻¹], que depende das características físico-químicas dos sedimentos.

Os sedimentos presentes no fundo constituem a camada erodível de sedimentos. Os sedimentos finos geralmente ocorrem em zonas de deposição i.e. em zonas de baixa profundidade com correntes fracas, enquanto que os sedimentos mais grosseiros são encontrados em zonas mais profundas ou com correntes mais intensas (Figura 46).

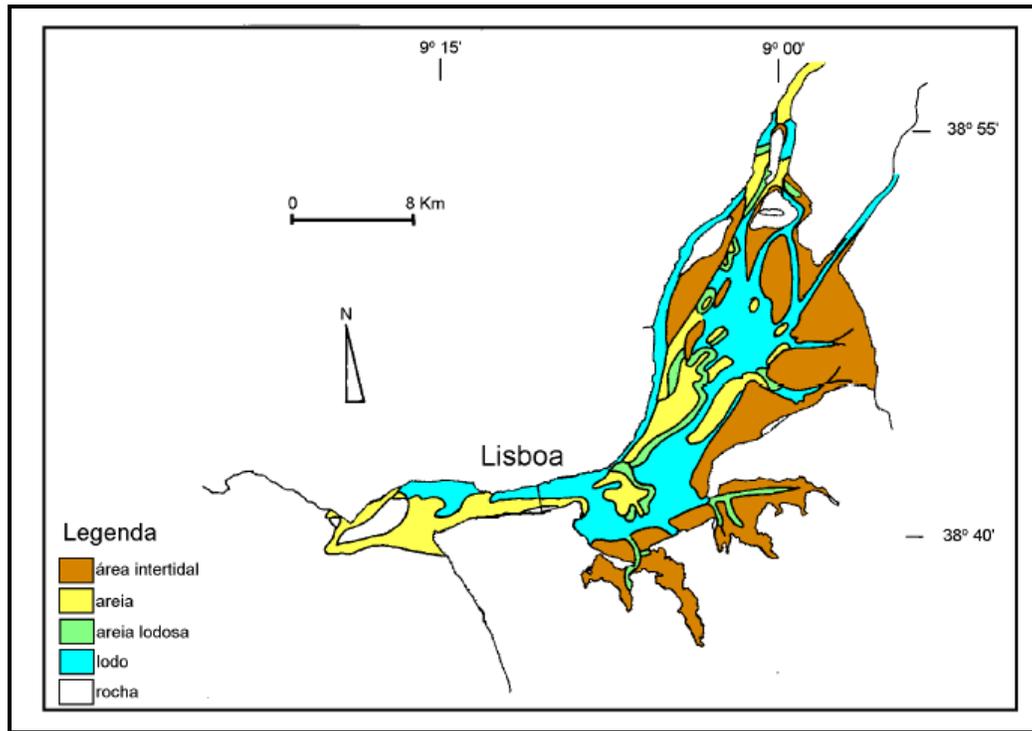


Figura 46. Caracterização dos sedimentos no Estuário do Tejo (adaptado de Calvário, 1982 *in* Garcia, 1997).

A Figura 47 e Figura 48 representam resultados do modelo em termos de massa total de sedimentos em suspensão presente na coluna de água durante períodos de maré viva e maré morta, respectivamente, obtidos por de Clippele (1998). Verifica-se que a massa total de sedimentos apresenta flutuações que acompanham o ciclo de maré (maré cheia/ maré vazia e maré viva/maré morta). Este ciclo interfere na intensidade das correntes no fundo, determinando conseqüentemente o ciclo de erosão/deposição, que por sua vez se encontra correlacionado com a propriedade turbidez. Desta forma, os processos de erosão/deposição de sedimentos são particularmente importantes nas extensas áreas intertidais do estuário, determinando a localização da turbidez máxima nas zonas superiores do estuário.

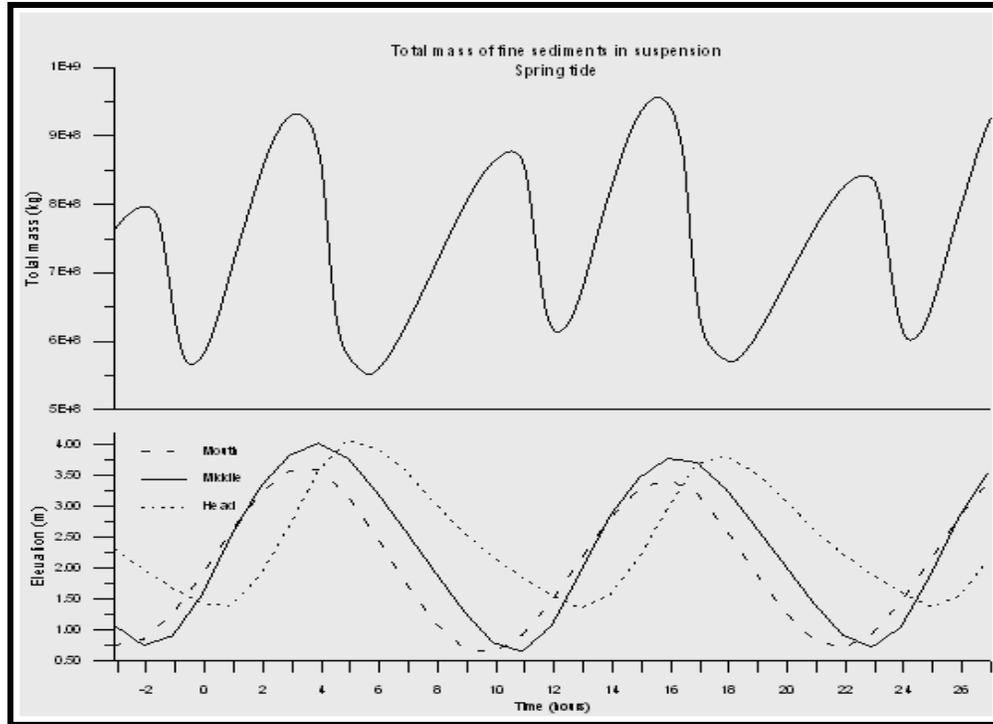


Figura 47. Evolução da massa total de sedimentos em suspensão em período de maré viva (de Clippele, 1998).

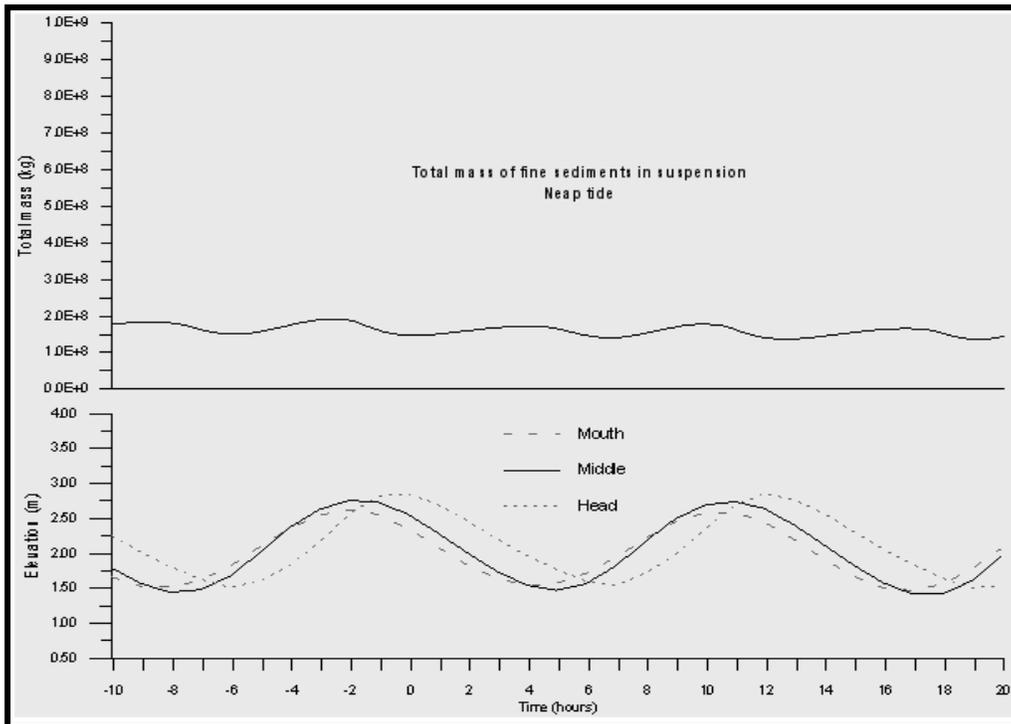


Figura 48. Evolução da massa total de sedimentos em suspensão em período de maré morta (de Clippele, 1998).

Em Pina (2001) foi introduzida uma componente de ondas no Sistema MOHID que, embora com algumas limitações, permite estudar o efeito das ondas na ressuspensão de sedimentos. A Figura 50 representa uma comparação entre os resultados obtidos em Pina (2001) e os dados de campo obtidos por Martins e Duffner (1982) para algumas estações de amostragem cuja localização é representada na Figura 49.

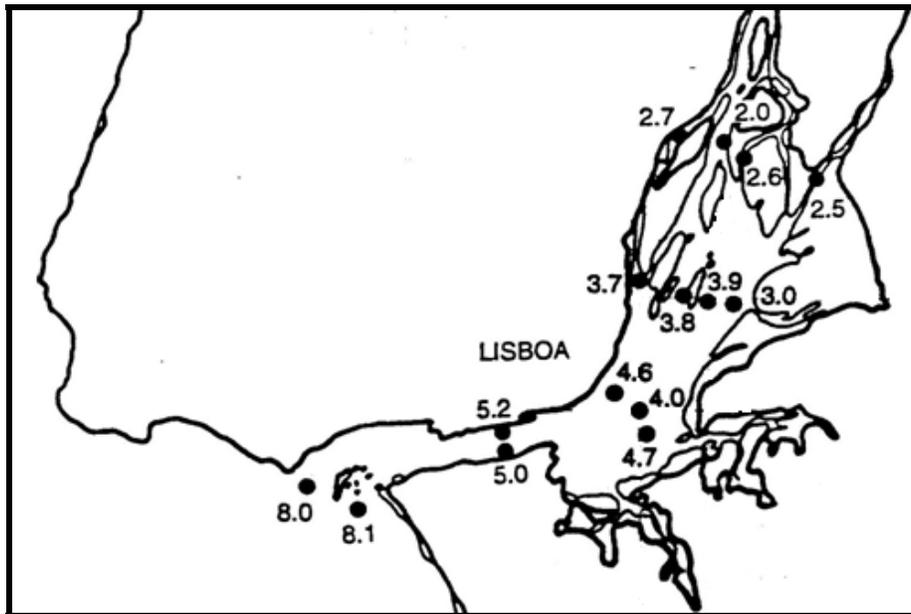


Figura 49. Localização das estações de amostragem de sedimentos utilizadas em Martins e Duffner (1982).

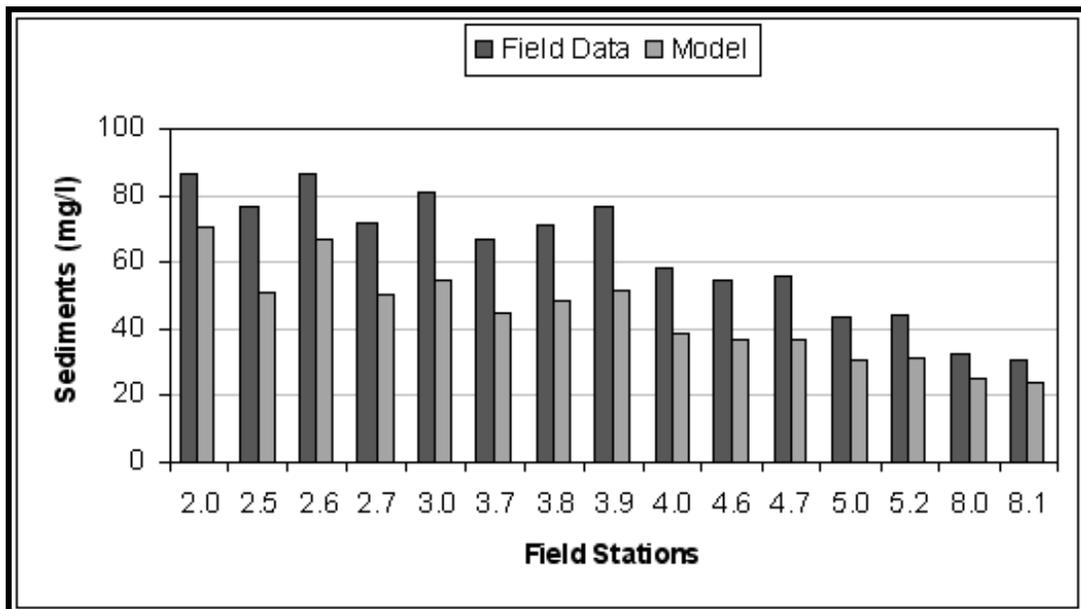


Figura 50. Dados de Campo (Martins and Duffner, 1982) vs. MOHID (Pina, 2001).

O Estuário do Tejo possui algumas características que sugerem a importância do efeito das ondas na ressuspensão de sedimentos, tais como a existência de extensas áreas intertidais, que contabilizam cerca de 1/3 da área total do estuário, e o facto de apresentar larguras típicas de 10-15km nas direcções dominantes do vento (N-NE). As zonas intertidais ficam assim bastante susceptíveis à acção do vento, geração de ondas e ressuspensão de sedimentos de fundo. Com o objectivo de melhorar o desempenho do modelo na simulação da dinâmica dos sedimentos no Estuário do Tejo, optou-se por desenvolver mais a fundo a questão da influência do efeito das ondas. Novos desenvolvimentos permitiram a implementação de um modelo de geração de ondas acoplado ao MOHID que considera, não só a influência da batimetria existente mas também o *fetch*⁴ na simulação das ondas. Este estudo pretende testar a hipótese de que as ondas geradas localmente no Estuário do Tejo, por efeito do vento, têm um peso importante na dinâmica de sedimentos e consequentemente na produção primária e na mobilização de poluentes.

A Figura 51 representa os resultados do modelo (com e sem a componente de geração de ondas) em comparação com uma imagem de satélite (MERIS) para o dia 20 de Julho de 2004, coincidindo com um episódio de vento forte de Nordeste que provocou a ressuspensão de sedimentos do fundo. A imagem de satélite foi obtida entre as 14 e 15h do dia 20 de Julho de 2004 sendo apresentados os resultados do modelo obtidos para as 15h desse mesmo dia. A escala de cores apresentada, entre 0 a 35 mg de sedimentos/l, é igual nas três figuras e considera classes de 5 em 5mg/l. Verifica-se uma diferença de comportamento do modelo com e sem a componente de geração de ondas e que a primeira simulação permite um melhor ajuste à distribuição evidenciada na imagem de satélite. O estudo efectuado permite ainda identificar a zona intertidal do Samouco, Alcochete, como a zona onde os fenómenos como a ressuspensão de sedimentos são mais intensos.

⁴ O *fetch* é o comprimento de acção do vento. Num determinado ponto o *fetch* pode ser visto como o comprimento da linha imaginária à superfície da água (na direcção do vento), que vai desde a zona onde se começa a fazer sentir o vento até esse ponto.

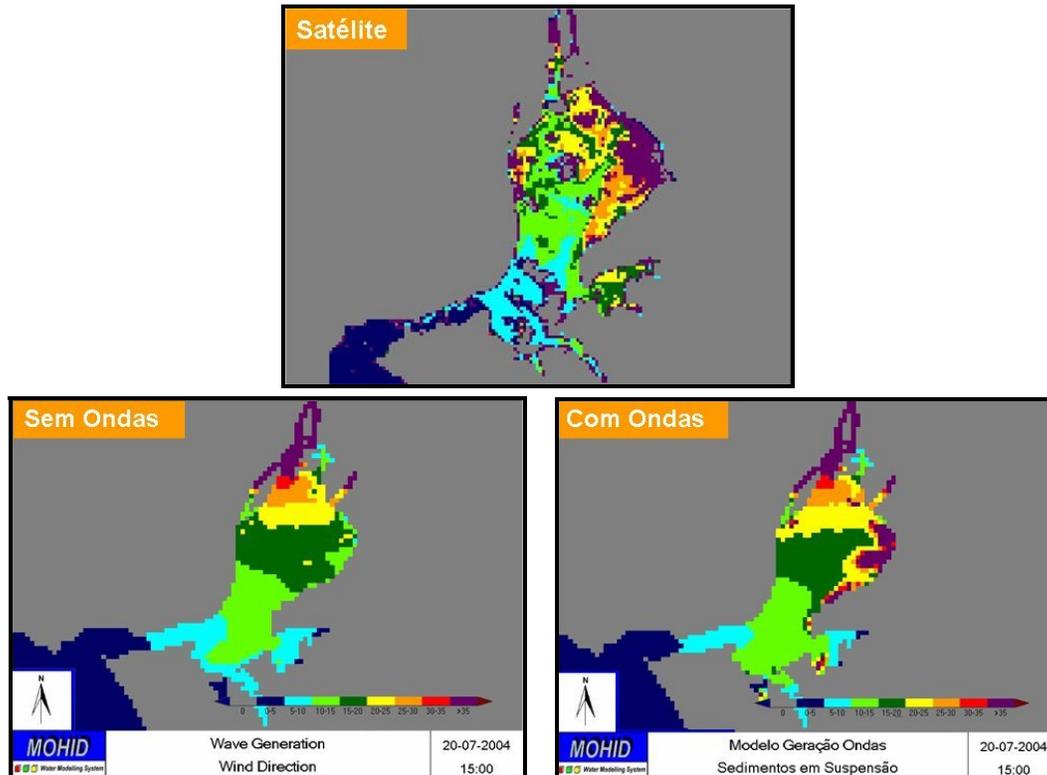


Figura 51. Concentração de Sedimentos em Suspensão no dia 20 de Julho de 2004: imagem de Satélite (14-15h) vs. resultados do MOHID sem ondas (15h) vs. MOHID com ondas (15h).

Dinâmica dos Sedimentos Coesivos no Estuário do Tejo

Conclusões

O modelo de geração de ondas desenvolvido permite até ao momento descrever qualitativamente, o processo de ressuspensão e a distribuição espacial das concentrações de sedimentos na coluna de água e no fundo. A continuidade do trabalho ao longo do próximo ano permitirá de forma mais realista simular e quantificar os fenómenos de ressuspensão de sedimentos devido ao efeito local das ondas. Este poderá ter um papel importante na evolução local da produção primária e mobilização de poluentes, sendo a sua quantificação fundamental para os balanços globais do estuário.

6 Conclusões Gerais

A maioria dos parâmetros amostrados apresenta um gradiente decrescente de montante para jusante, devido ao efeito da diluição. As concentrações mais elevadas de nitrato são registadas em locais próximos das descargas dos Rios Tejo e Trancão, enquanto que as concentrações mais elevadas de amónia e fósforo total são registadas na proximidade das descargas das ETAR e Rio Trancão. A clorofila-*a* apresenta uma vincada variação espacial e sazonal, sendo as concentrações mais elevadas atingidas nas zonas mais a montante do estuário, nos meses de Verão. Os níveis de contaminação microbiológica mais elevados são registados na proximidade das descargas, numa estreita faixa junto da margem Norte do estuário, cuja extensão depende fundamentalmente do efeito de maré.

A comparação entre resultados do modelo e campanhas de amostragem é positiva, embora alguns processos precisem ainda de ser afinados no modelo. No entanto, este reflecte as principais tendências observadas nas medidas e consegue simular os processos biológicos principais nomeadamente a produção primária, o consumo de nutrientes e a mineralização da matéria orgânica.

Neste momento existe a percepção de que observações locais com baixa frequência temporal não resolvem a variabilidade ambiental nas escalas espacio-temporal apropriadas para as necessidades actuais e que a detecção remota pode ser extremamente útil, tendo sido por essa razão incluída esta componente no programa de monitorização do Estuário do Tejo.

Mas os dados de campo e dados de satélite sozinhos podem não ser suficientes para satisfazer os objectivos do utilizador. 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 sistema MOHID funciona igualmente como uma fonte de informação, com as suas margens de erro, onde estes processos são traduzidos por equações matemáticas. Apesar das inerentes margens de erro, quando 3 fontes de informação independentes entre si proporcionam uma mesma imagem dos processos em estudo e permitem tirar conclusões consistentes, a confiança nos resultados obtidos aumenta consideravelmente. As exigências presentes em termos legislativos impõem a necessidade de criação de um sistema completo de suporte à decisão, incluindo capacidades sinópticas, analíticas e predictivas que surgem como resultado da conjugação das diversas fontes de informação existentes. É este tipo de trabalho que tem vindo a ser desenvolvido no projecto SIMTEJO com o modelo MOHID.

7 Sugestões para o segundo ano de projecto

Após o primeiro ano de projecto considera-se que o número de dados e elementos disponíveis é já suficiente para permitir uma avaliação do esquema de amostragem seguido até ao momento e estabelecer algumas sugestões para o trabalho futuro. As sugestões apresentadas são baseadas no trabalho descrito no relatório de “Avaliação do Programa de Monitorização Ambiental do Estuário do Tejo” apresentado à SIMTEJO em Dezembro de 2004, incorporando também algumas conclusões e sugestões decorrentes das campanhas seguintes ao relatório. Para uma descrição detalhada da metodologia e análises efectuadas sugere-se a consulta do referido relatório, apresentando-se nesta secção, apenas uma síntese das sugestões propostas.

7.1 Amostragem Clássica

A figura da página seguinte (Figura 52) permite visualizar as estações de amostragem sugeridas para o próximo ano de projecto, evidenciando o tipo de parâmetros analisados. Sugere-se uma frequência de amostragem mensal em todas as estações, no sentido de complementar os resultados obtidos até ao momento. A Tabela 6 lista a tipologia das estações de amostragens sugeridas, evidenciando os parâmetros objecto de análise em laboratório.

Tabela 6. Tipologia das Estações de Amostragem sugeridas para o segundo ano de projecto.

Designação	Parâmetros Analisados	N.º de Estações de Amostragem
Estações Totais	Físico-Químicos ⁵ e Microbiologia	6
Estações Totais c/TOC	Físico-Químicos e Microbiologia e Carbono Orgânico Total	3
Estações Semi-Totais	Físico-Químicos e Microbiologia excepto Óleos & Gorduras, Hidrocarbonetos e Oxigénio Dissolvido	10
Estações de Microbiologia	Microbiologia	7
Estações de Descarga	Microbiologia	11 + Cala do Norte (ainda a definir)

⁵ pH, Salinidade, Oxigénio Dissolvido, Azoto Amoniacal, Azoto Kjeldhal, Nitrato, Azoto Orgânico, Fósforo Total, Óleos & Gorduras, Hidrocarbonetos, Sólidos Suspensos Totais, Clorofila *a*.

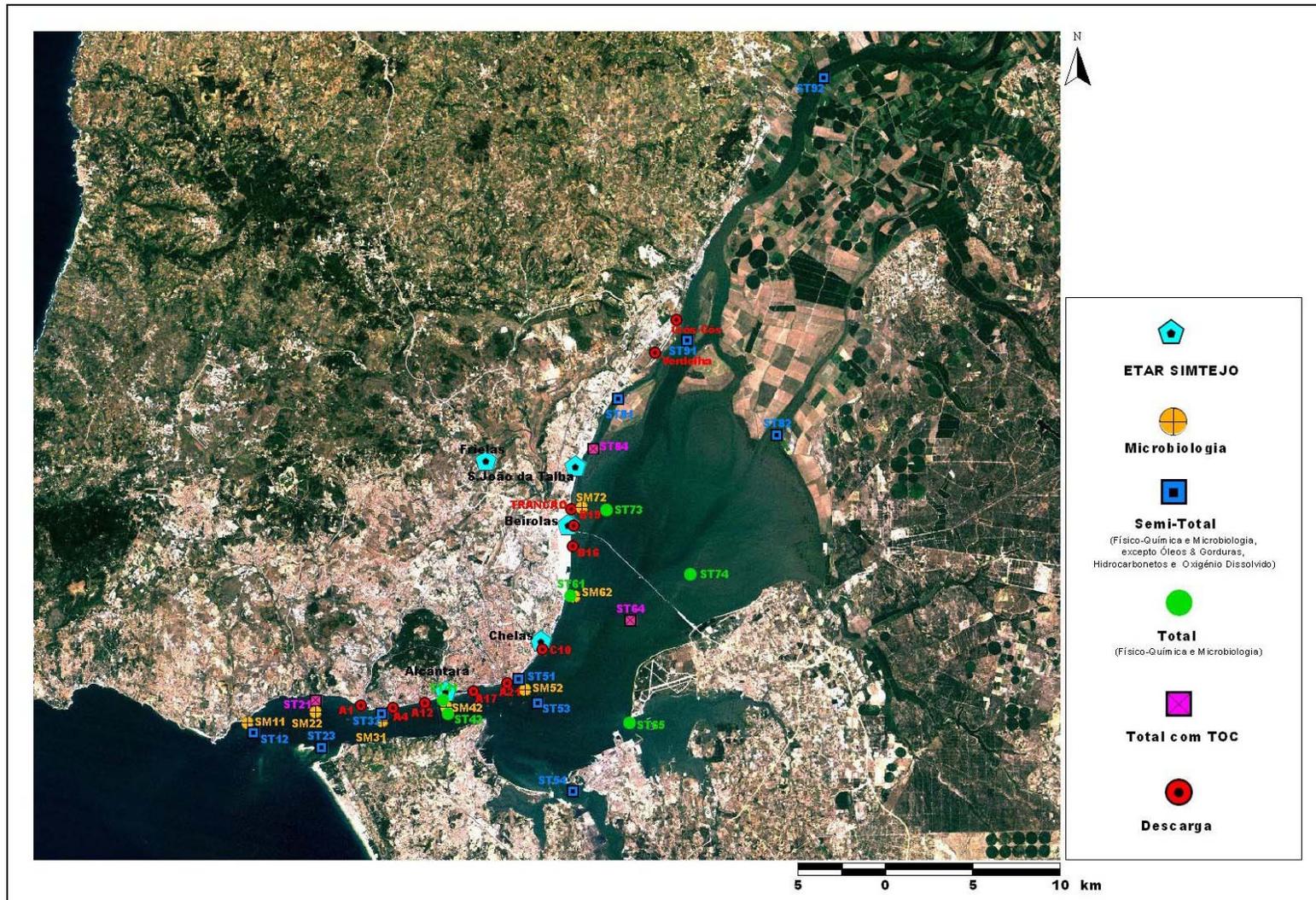


Figura 52. Estações de amostragem no Estuário do Tejo do programa de monitorização sugerido para o próximo ano de projecto.

7.2 Amostragem com Sensores

Propõe-se a realização mensal de perfis horizontais ao longo de trajectórias idênticas às representadas na Figura 53, que consistem basicamente num percurso em forma de zig-zag desde a secção S. Julião da Barra/Bugio, até à região dos mouchões, a partir da qual se seguirá ao longo dos canais por questões de navegabilidade. Se possível sugere-se efectuar dois perfis num único 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. Se possível 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 8 perfis verticais para caracterizar a estratificação da coluna de água ao longo do estuário. Serão ainda colhidas três amostras para análise em laboratório dos parâmetros registados pela sonda (pH, Salinidade, Oxigénio Dissolvido, Clorofila *a*, Turvação e ainda Sólidos Suspensos Totais) de modo a verificar a calibração dos sensores.

Os perfis verticais serão de preferência, 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, mostrado 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.

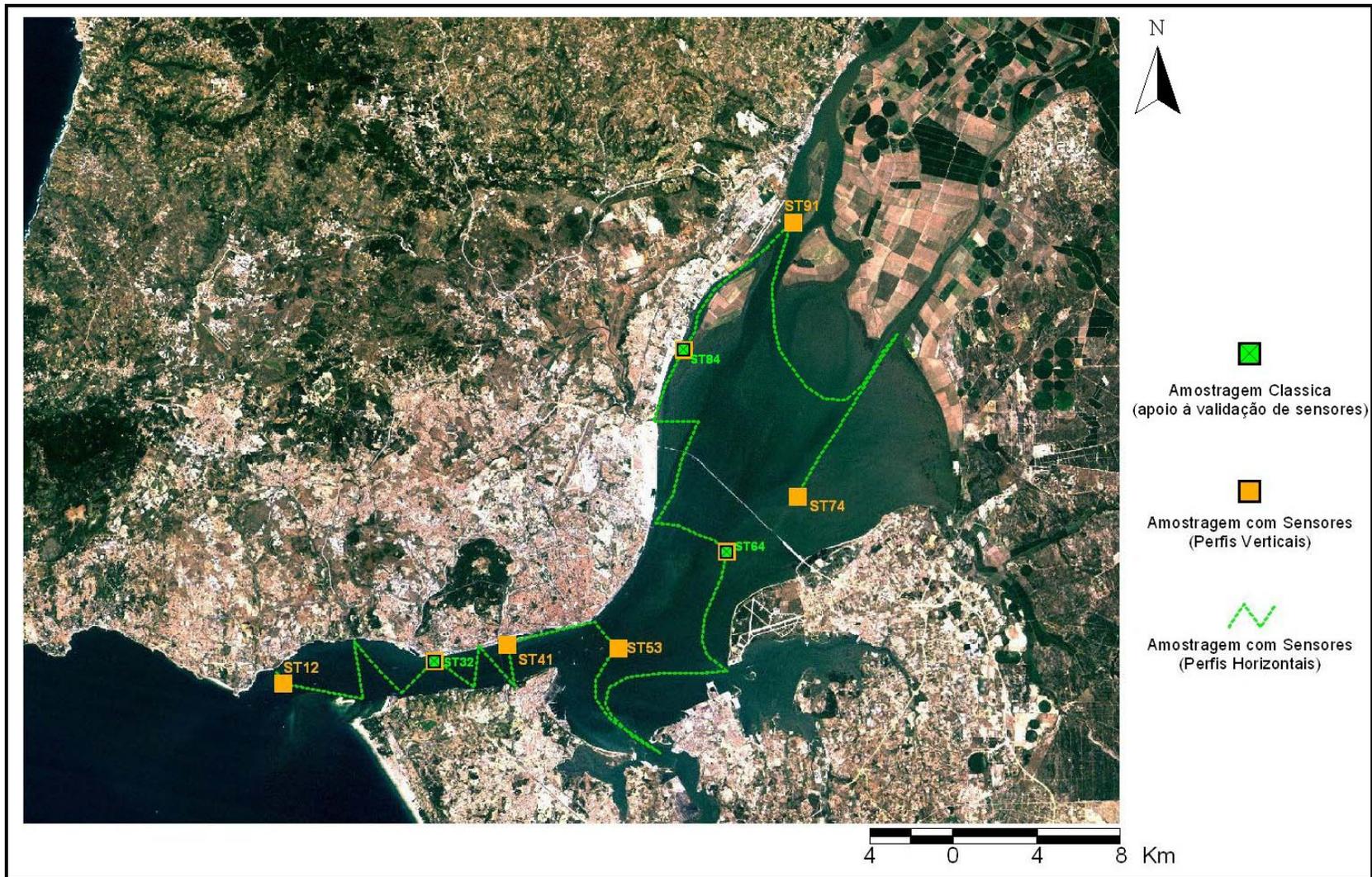


Figura 53. Esquema de Amostragem proposto para as campanhas de amostragem com sensores do Estuário do Tejo.

7.3 Modelação Matemática

Em termos de modelação operacional propõe-se no segundo ano de projecto fazer a melhoria contínua do modelo, desenvolvendo trabalho especialmente nos seguintes aspectos:

- Melhoria dos processos incluídos no modelo, por inclusão dos novos conhecimentos adquiridos no contexto do programa de monitorização ou obtidos a partir da literatura.
- Melhoria 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 impactos 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.

7.4 Gestão de Dados

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 54) 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.

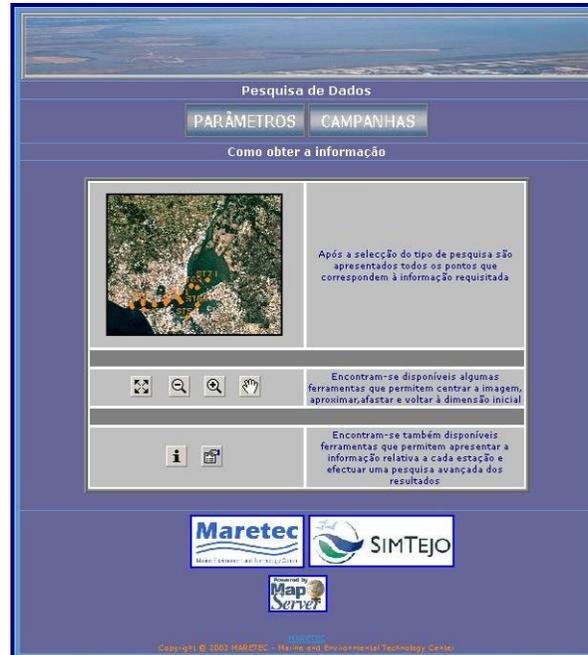


Figura 54. Ferramenta WebGIS para gestão e pesquisa de dados obtidos nas campanhas de monitorização da SIMTEJO.

As potencialidades associadas a este tipo de ferramentas são muito elevadas e, neste sentido, sugere-se ao longo do próximo ano de projecto ampliar e melhorar as ferramentas 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 de diversos tipos de informação

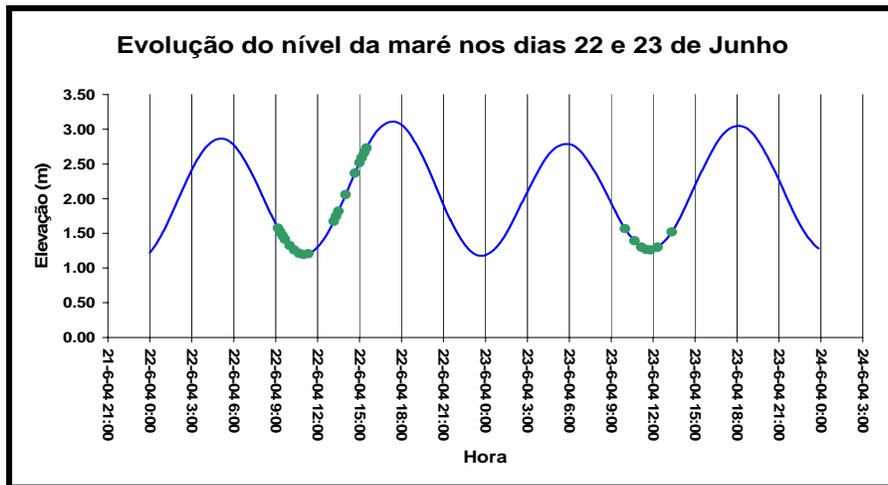
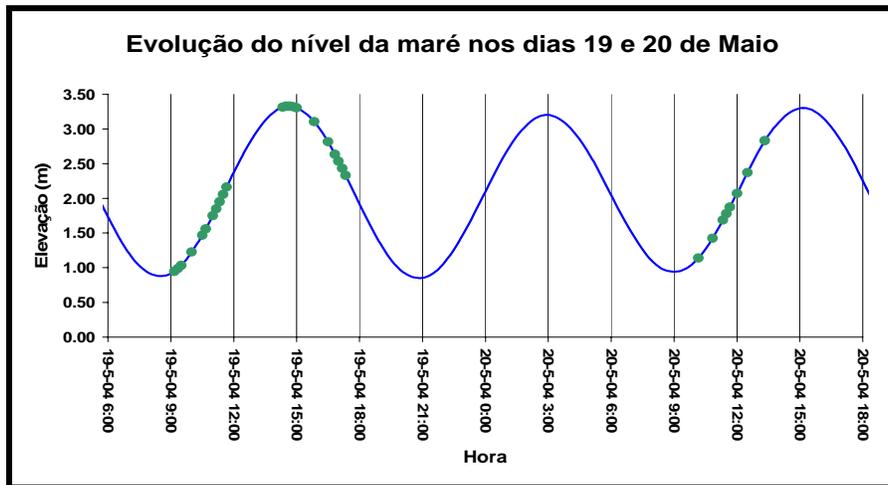
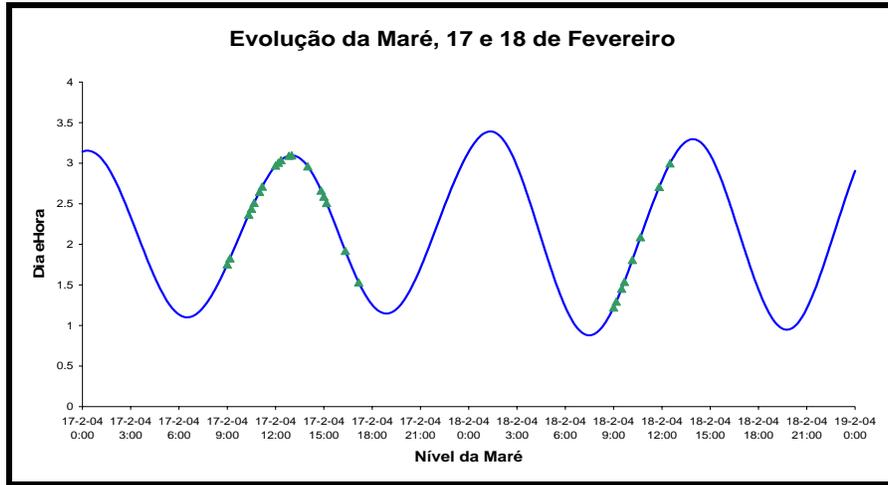
8 ANEXOS

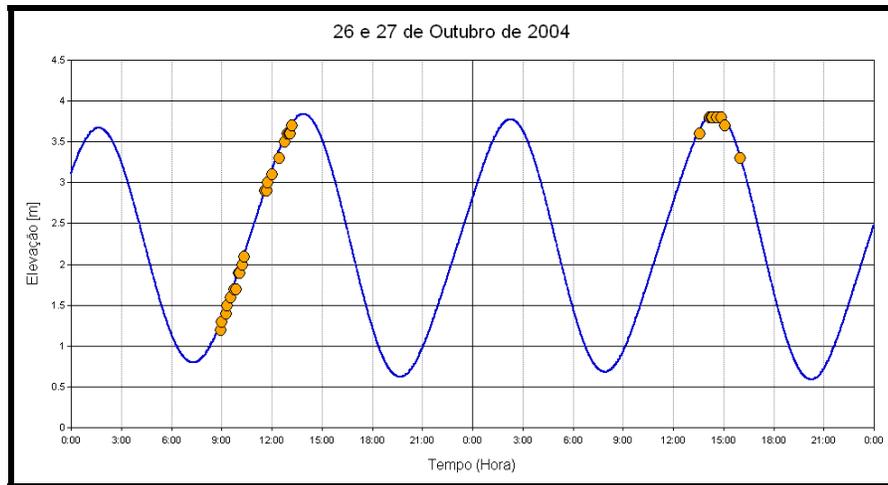
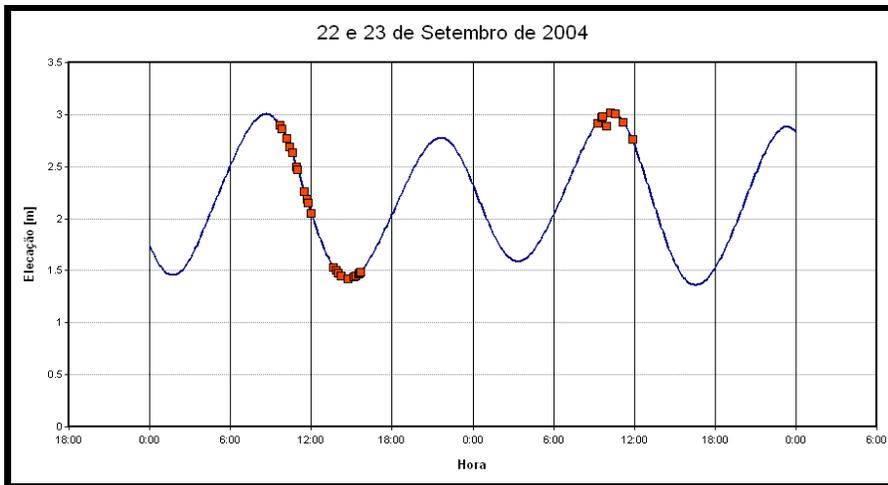
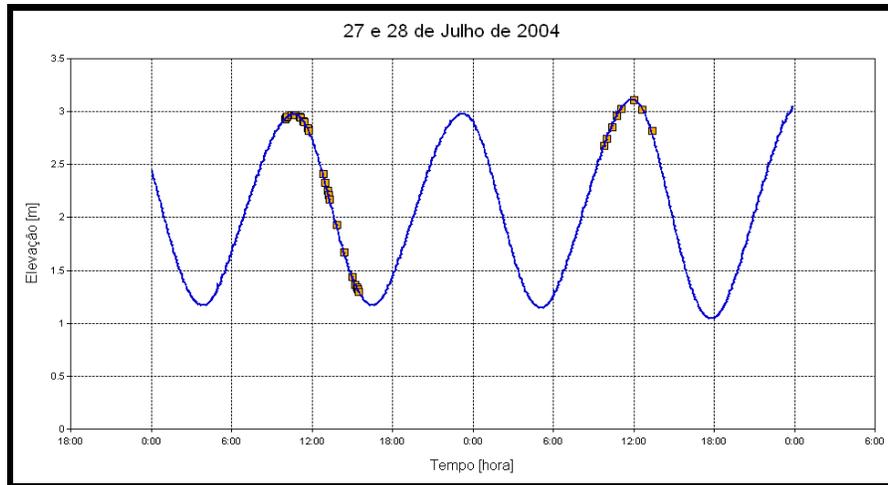
8.1 Coordenadas das Estações de Amostragem

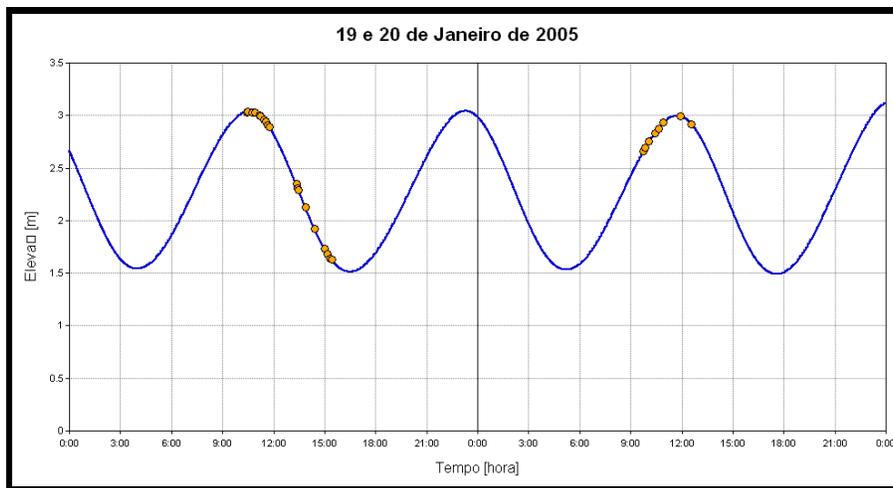
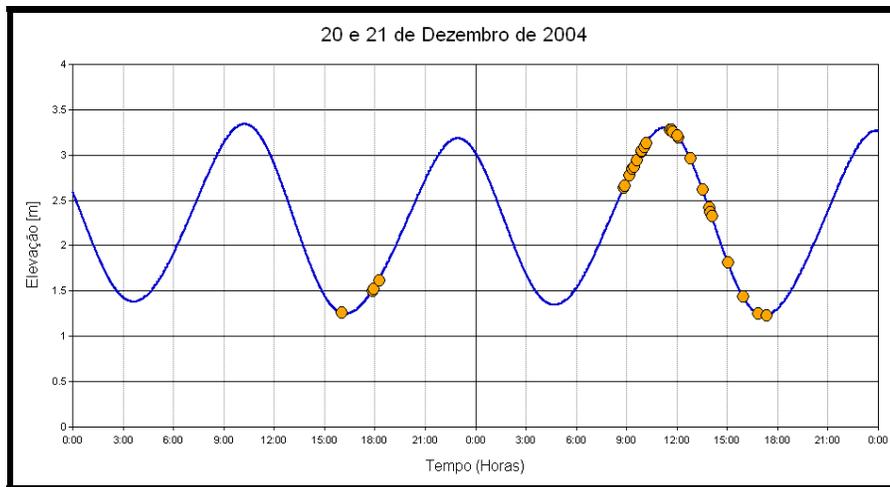
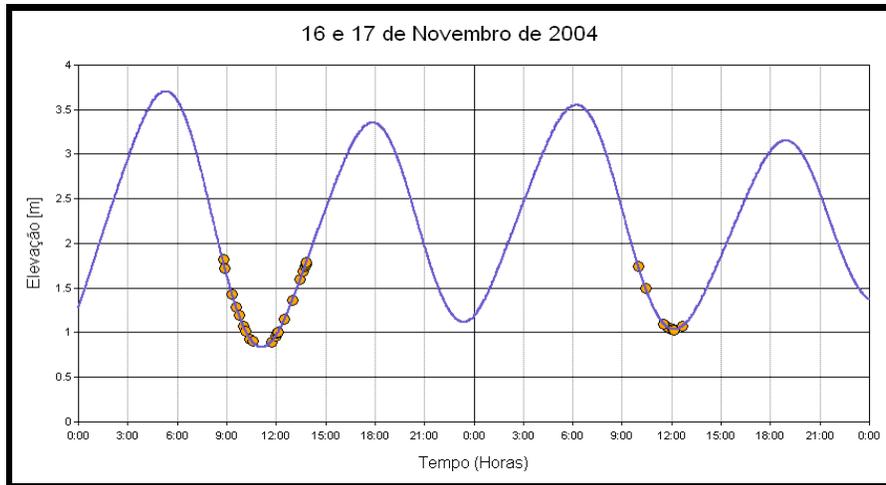
Tabela 7. Coordenadas dos pontos de amostragem efectuados

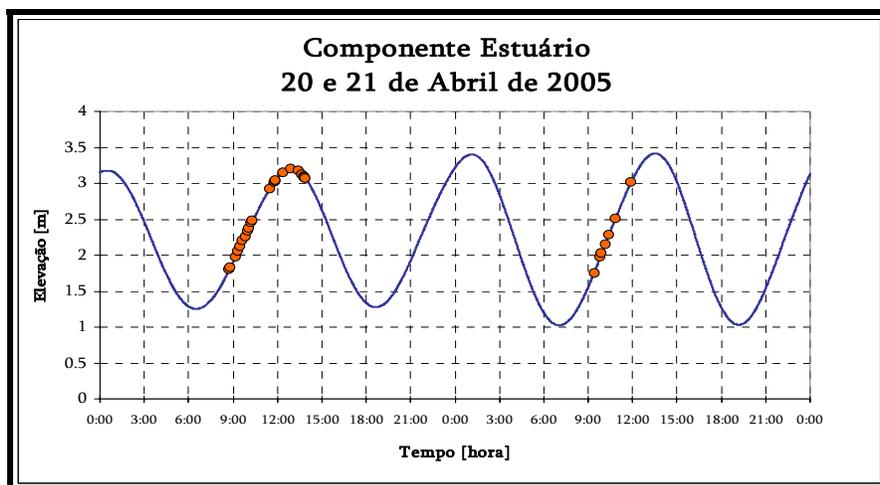
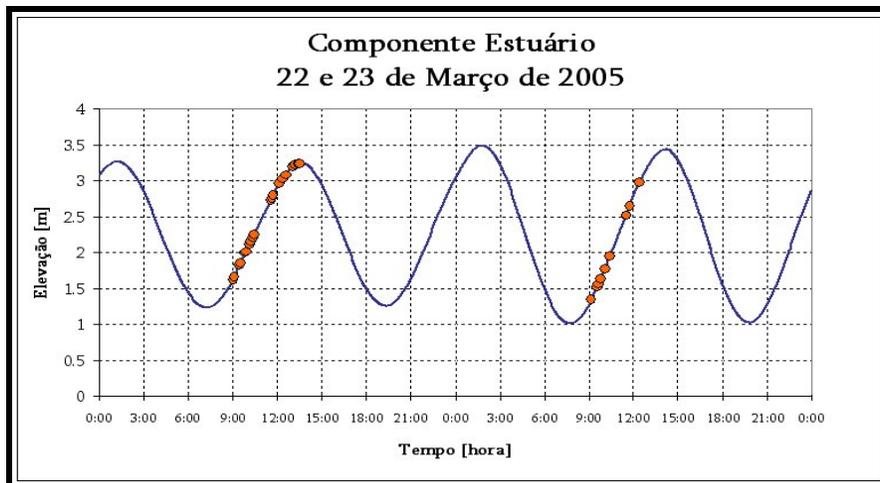
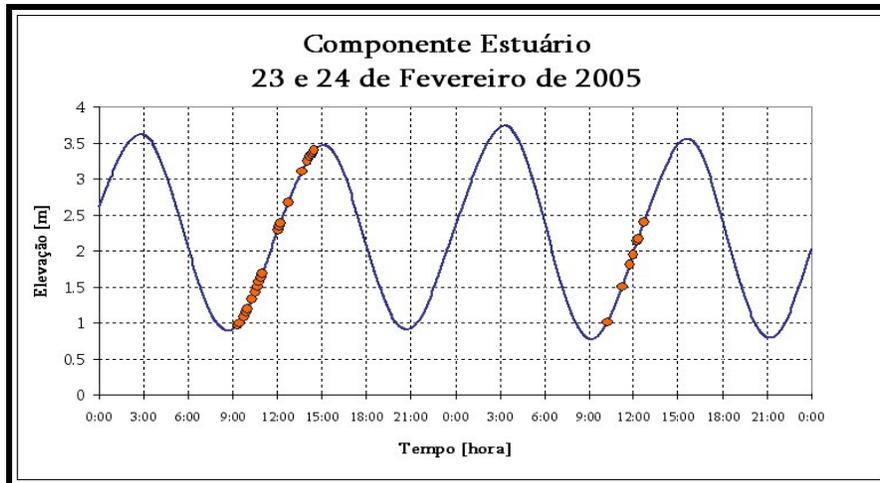
Nome	Descrição	Posição Geográfica					
		Projecção de Gauss do Datum Geodésico Hayford de Lisboa Militar		WGS84 (World Geodesic Datum)		Projecção de Gauss do Datum Geodésico Hayford de Lisboa Antigo	
		X	Y	Latitude	Longitude	X	Y
EF1	Estação Fixa 1 (SimTejo)	110389	193031	38.7002	-9.1632	-89611	-106969
EF2	Estação Fixa 2 (SimTejo)	116492	198349	38.7487	-9.0937	-83508	-101651
SM11	Estação Microbiológica 11	98101	191446	38.6846	-9.3042	-101899	-108554
SM31	Estação Microbiológica 31	105786	191518	38.6861	-9.2159	-94214	-108482
SM42	Estação Microbiológica 42	109433	192342	38.6939	-9.1741	-90567	-107658
SM52	Estação Microbiológica 52	113951	193314	38.7031	-9.1223	-86049	-106686
SM62	Estação Microbiológica 62	116799	198624	38.7512	-9.0902	-83201	-101376
SM72	Estação Microbiológica 72	117191	203671	38.7967	-9.0863	-82809	-96329
ST12	Estação Total 12	98415	190876	38.6795	-9.3005	-101585	-109124
ST21	Estação Total 21	101972	192719	38.6965	-9.2599	-98028	-107281
ST22	Estação Total 22	101981	192031	38.6903	-9.2597	-98019	-107969
ST23	Estação Total 23	102304	190050	38.6725	-9.2557	-97696	-109950
ST32	Estação Total 32	105756	191941	38.6899	-9.2163	-94244	-108059
ST41	Estação Total 41	109272	192755	38.6976	-9.1760	-90728	-107245
ST43	Estação Total 43	109524	191953	38.6904	-9.1730	-90476	-108047
ST51	Estação Total 51	113592	193928	38.7086	-9.1265	-86408	-106072
ST53	Estação Total 53	114682	192551	38.6963	-9.1138	-85318	-107449
ST54	Estação Total 54	116701	187555	38.6515	-9.0900	-83299	-112445
ST61	Estação Total 61	116539	198660	38.7515	-9.0932	-83461	-101340
ST63	Estação Total 63	118044	197945	38.7452	-9.0758	-81956	-102055
ST64	Estação Total 64	119950	197281	38.7394	-9.0538	-80050	-102719
ST65	Estação Total 65	119909	191442	38.6868	-9.0536	-80091	-108558
ST71	Estação Total 71	116948	203674	38.7967	-9.0891	-83052	-96326
ST73	Estação Total 73	118597	203579	38.7960	-9.0701	-81403	-96421
ST74	Estação Total 74	123393	199923	38.7635	-9.0145	-76607	-100077
ST81	Estação Total 81	119244	209923	38.8532	-9.0634	-80756	-90077
ST82	Estação Total 82	128324	207860	38.8354	-8.9586	-71676	-92140
ST91	Estação Total 91	123192	213248	38.8835	-9.0183	-76808	-86752
ST84	Estação Total 84	117886	207084	38.8275	-9.0787	-82114	-92916
ST92	Estação Total 92	147776	237480	39.1536	-8.7368	-52224	-62520
PONTOS DE DESCARGA							
A1	Subsistema de Alcantara, ponto de descarga nº1 (Frente à Praça de Algés, ao lado da Doca Pesca.)	104570	192410	38.6943	9.2298	-95430	-107590
A4	Subsistema de Alcantara, ponto de descarga nº4 (Frente à Exposição do Mundo Português.)	106395	192277	38.6925	9.2091	-93605	-107723
A12	Subsistema de Alcantara, ponto de descarga nº12 (Frente à Cordoaria Nacional)	108226	192589	38.6962	9.1882	-91774	-107411
A17	Subsistema de Alcantara, ponto de descarga nº17 (Antigo Cais de Embarque; Buddha Bar)	111018	193224	38.7022	9.1560	-88982	-106776
A21	Subsistema de Alcantara, ponto de descarga nº21 (frente ao Terreiro do Paço)	112911	193708	38.7066	9.1343	-87089	-106292
C10	Subsistema de Chelas, ponto de descarga nº10 (junto ao LIDL, entre as Estações Elevatórias 10 e 11)	115044	195511	38.7225	9.1100	-84956	-104489
B16	Subsistema de Beirolas, ponto de descarga nº16 (início do caminho dos pinheiros)	116760	201489	38.7774	9.0911	-83240	-98511
B19	Subsistema de Beirolas, ponto de descarga nº19 (após a Ponte Vasco da Gama)	116945	202597	38.7869	9.0892	-83055	-97403
TRANCÃO	Junto à foz do Rio Trancão	116608	203600	38.7962	9.0927	-83392	-96400

8.2 Nível de maré aproximado durante a amostragem





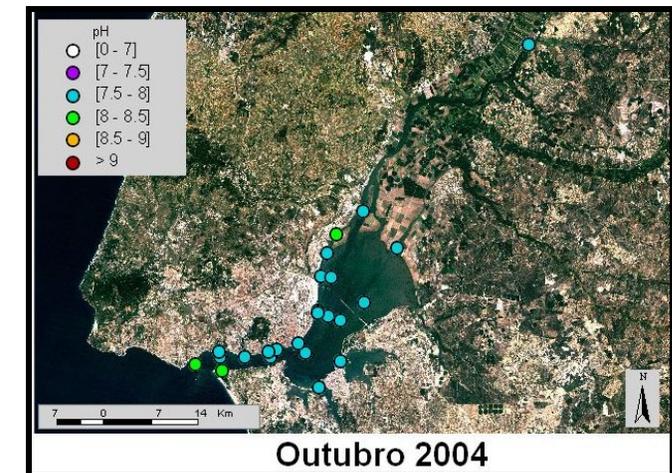
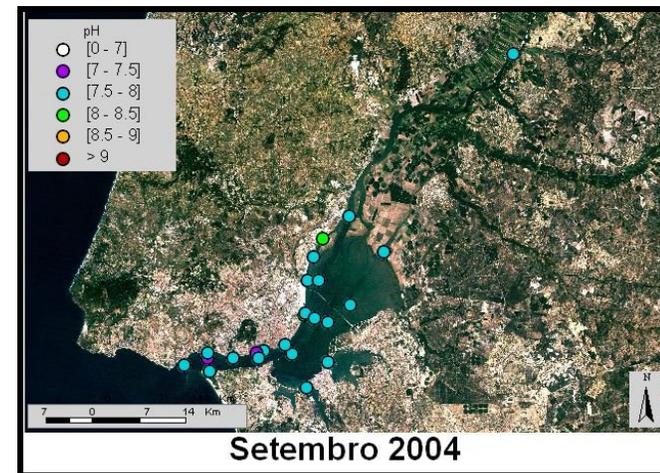
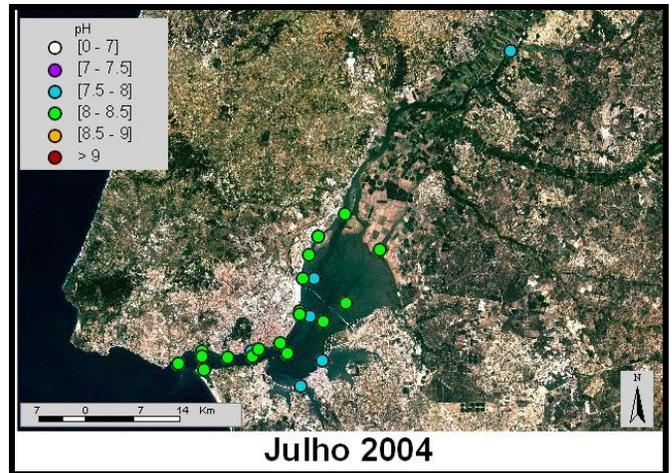
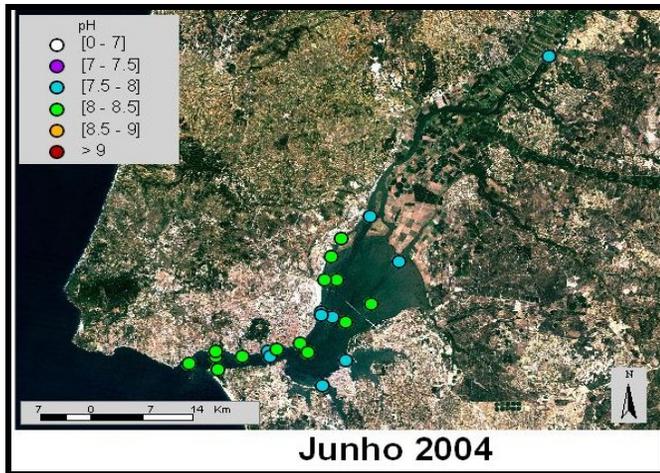
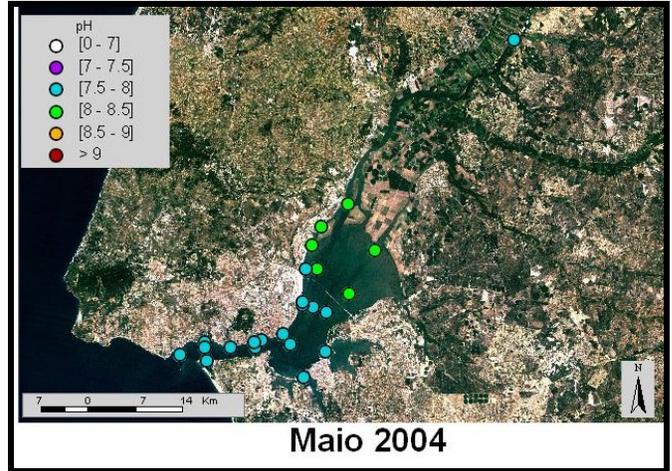
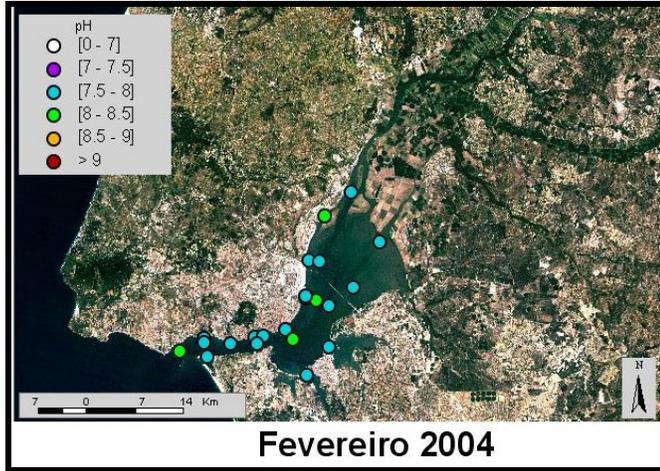


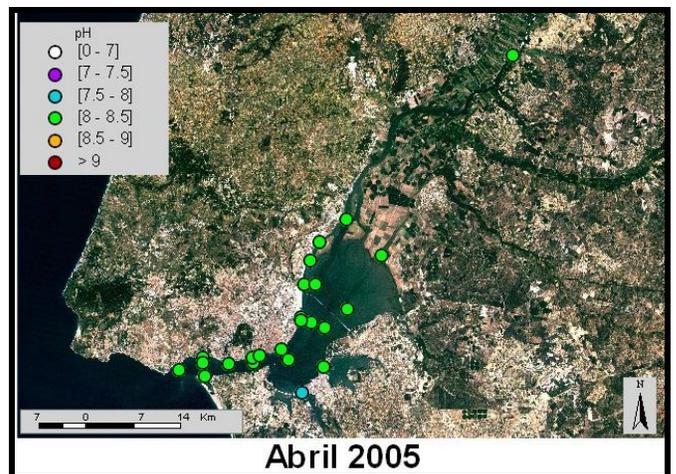
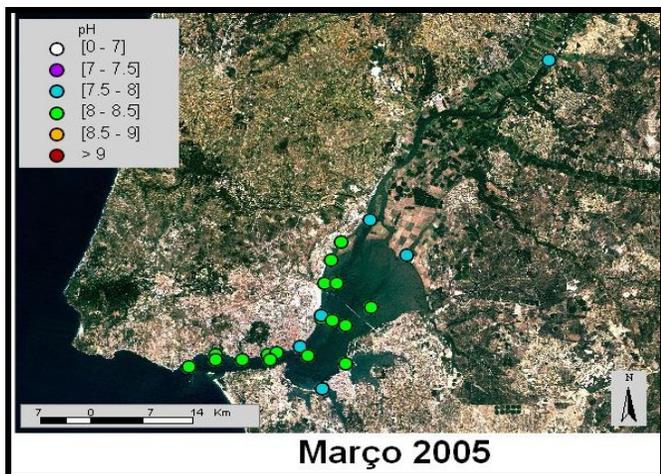
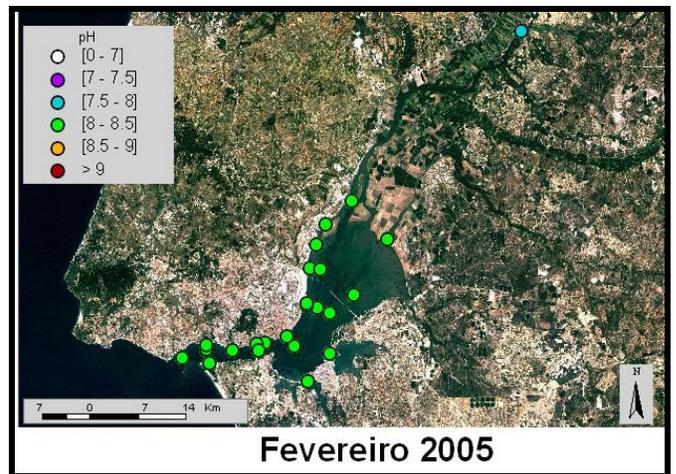
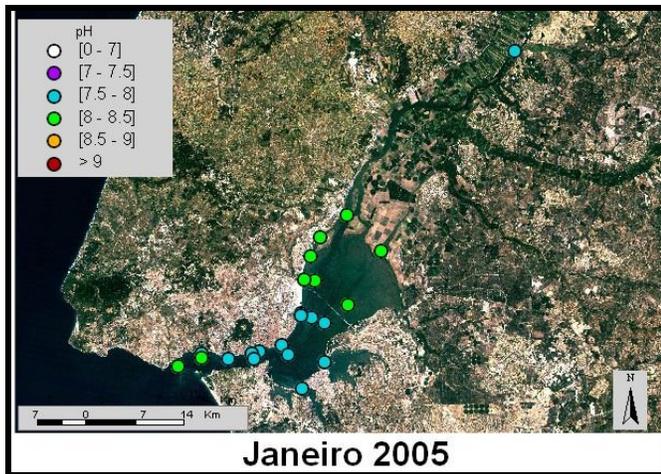
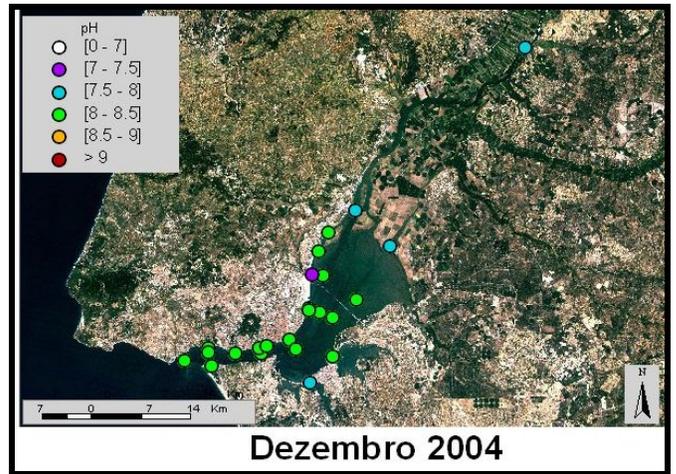
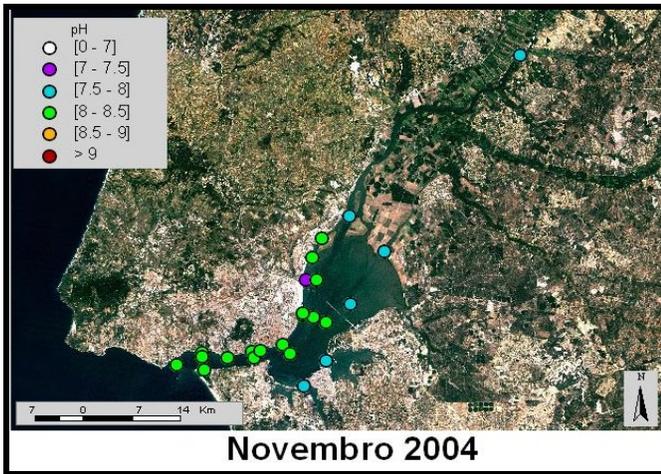


8.3 Resultados da Amostragem Clássica

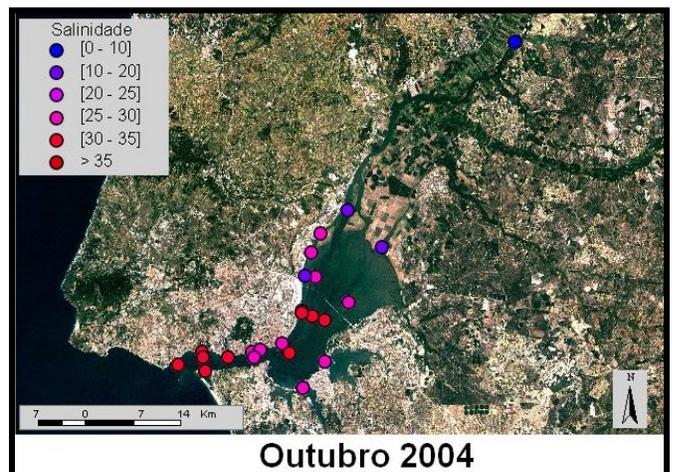
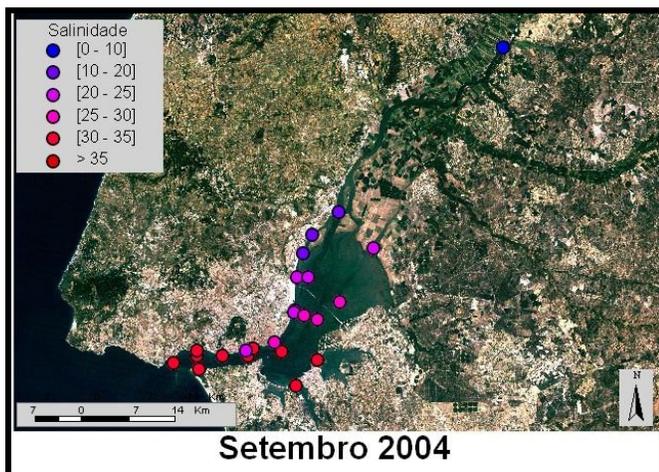
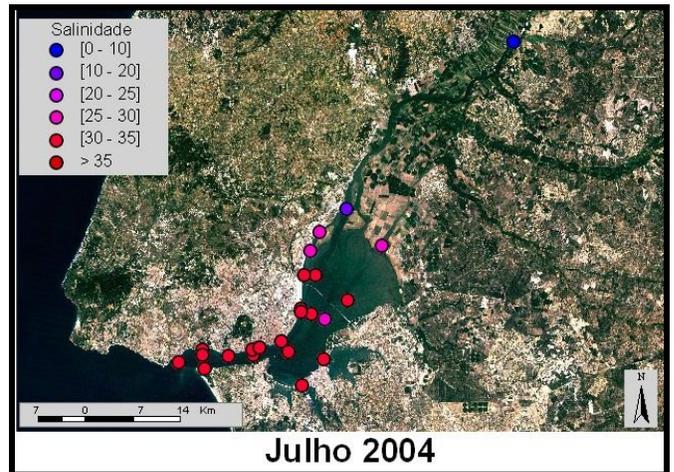
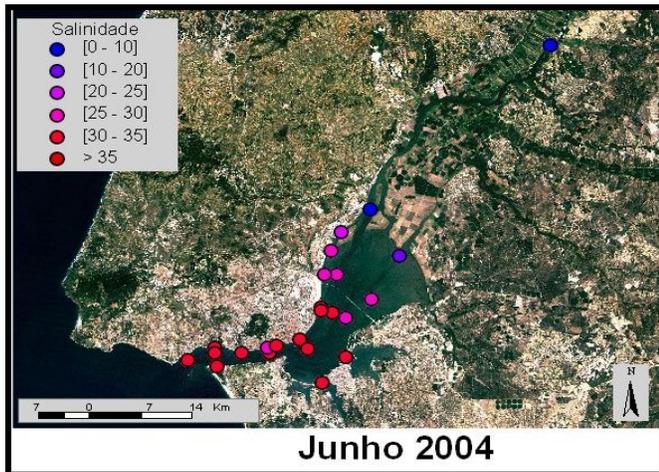
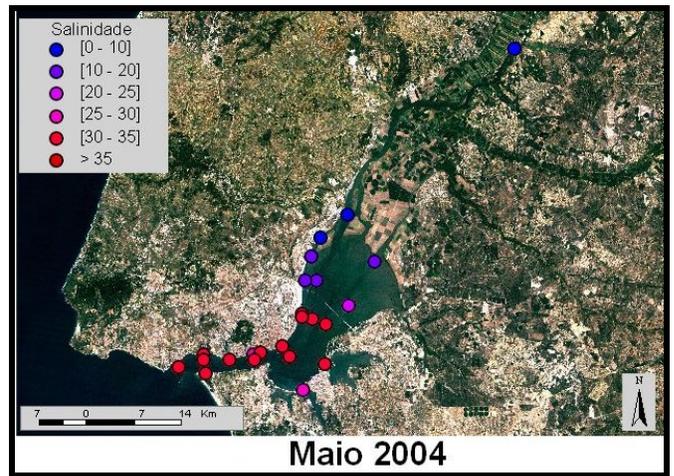
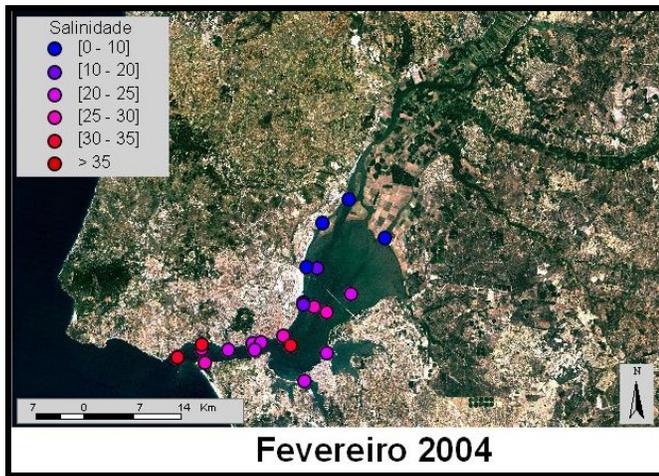
8.3.1 Mapas de Concentração

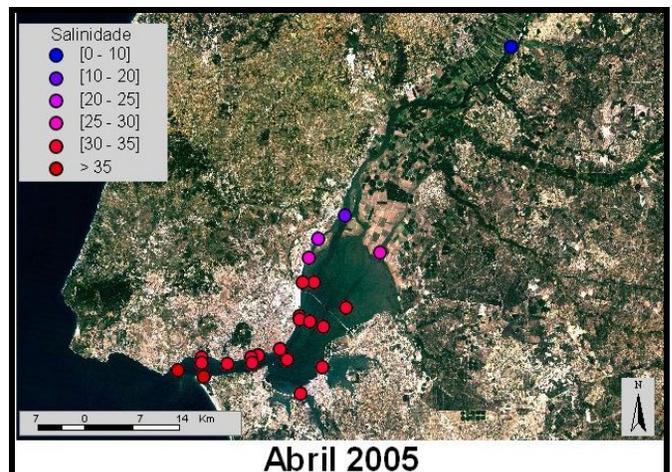
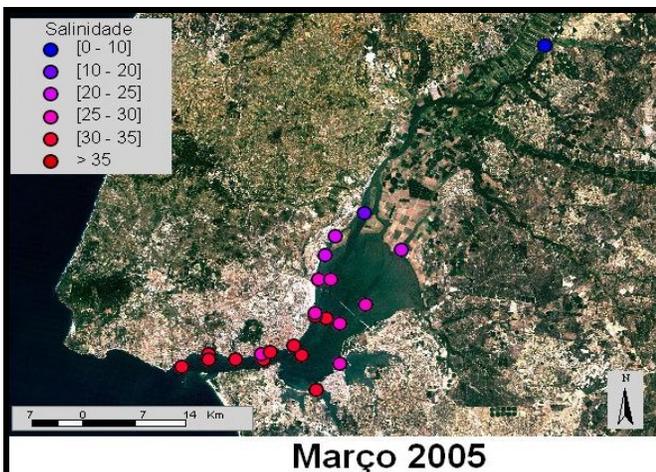
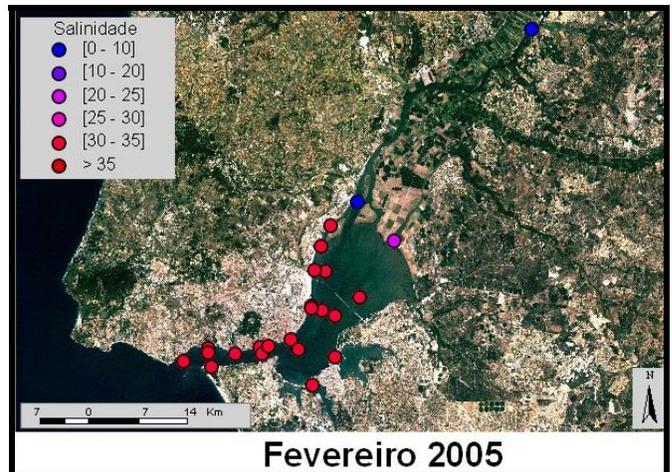
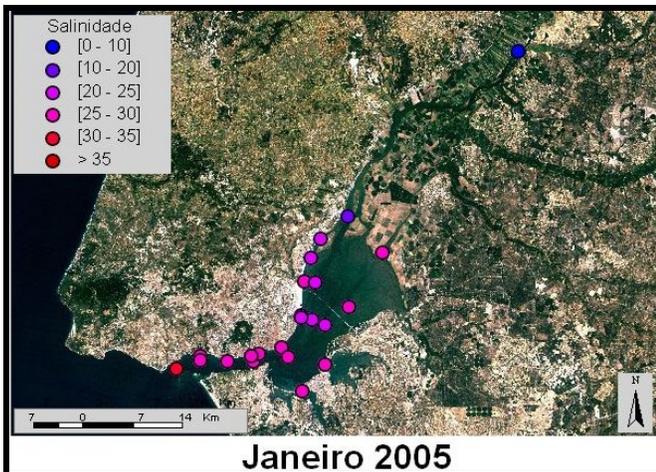
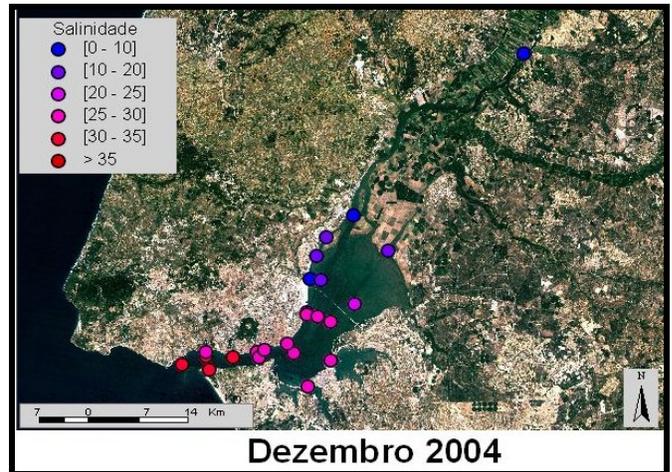
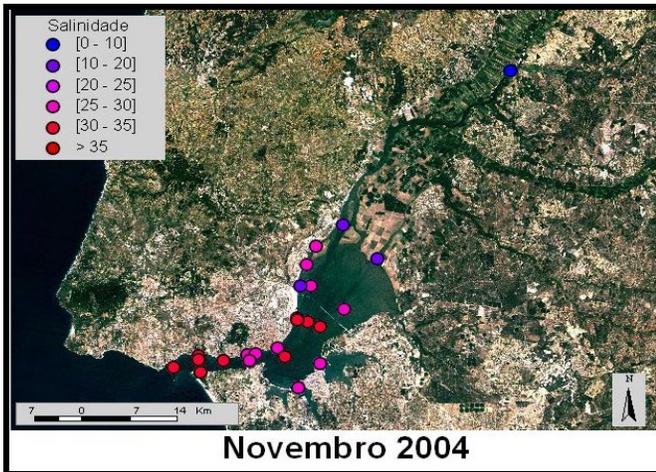
8.3.1.1 pH



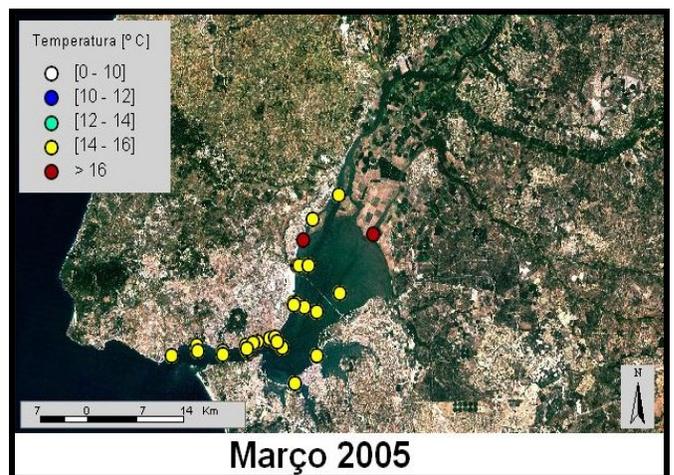
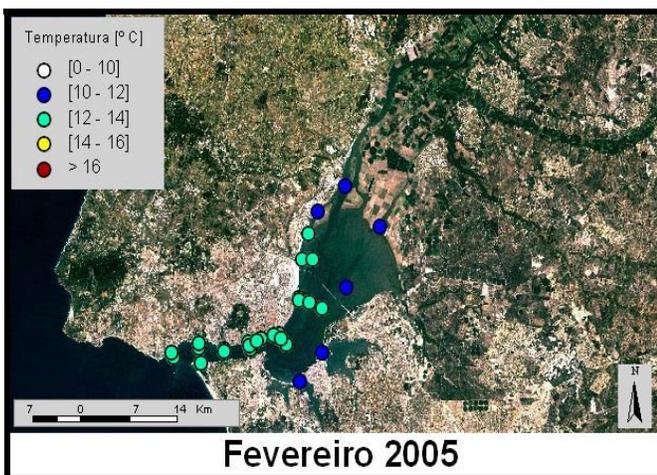
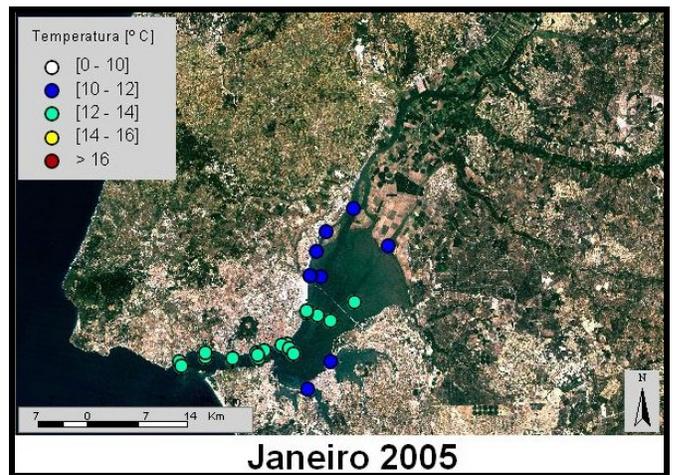
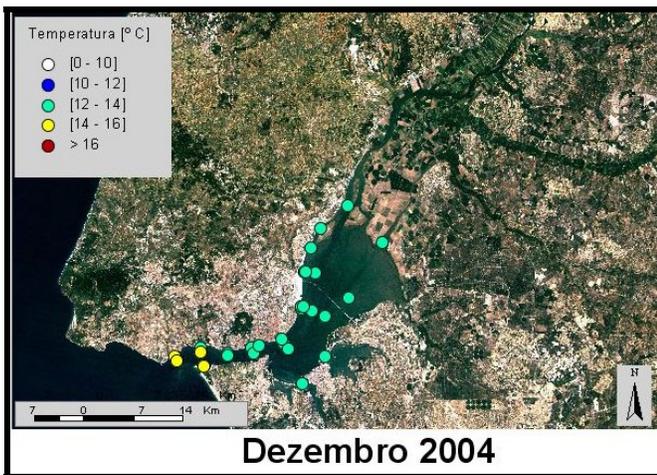
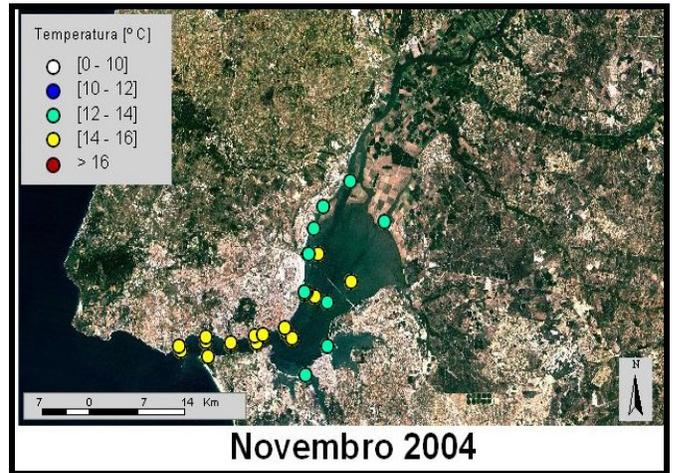
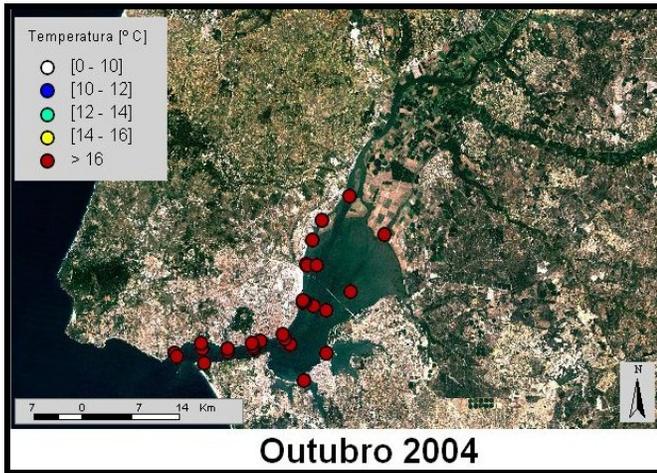


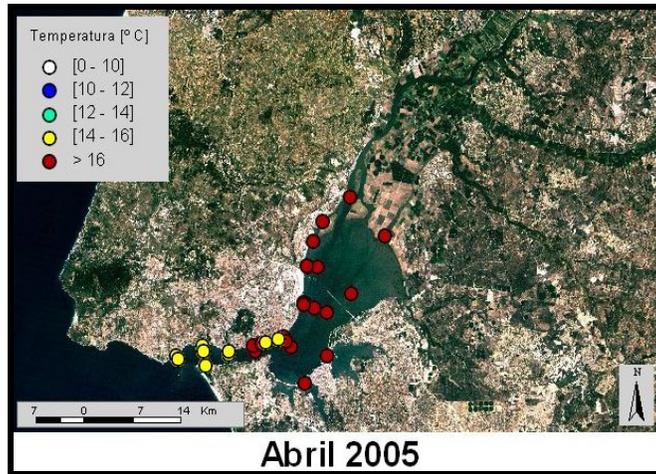
8.3.1.2 Salinidade



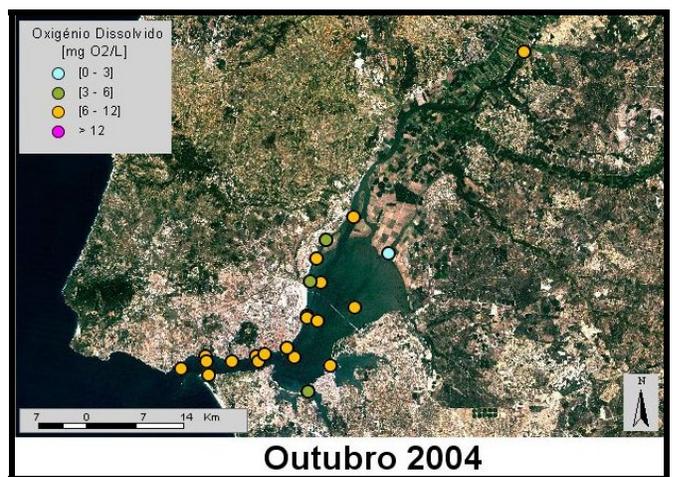
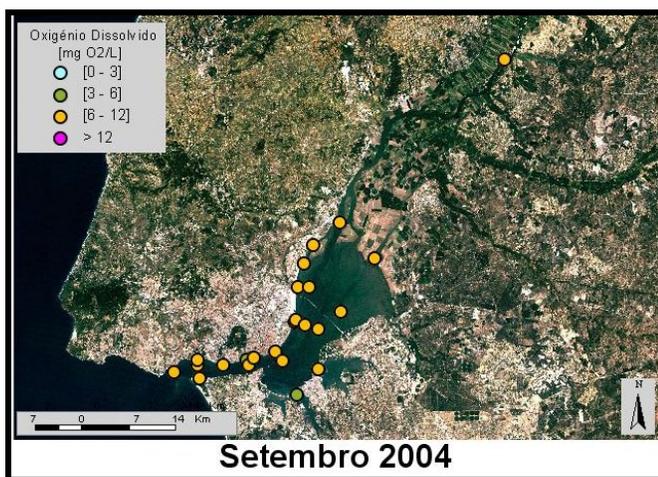
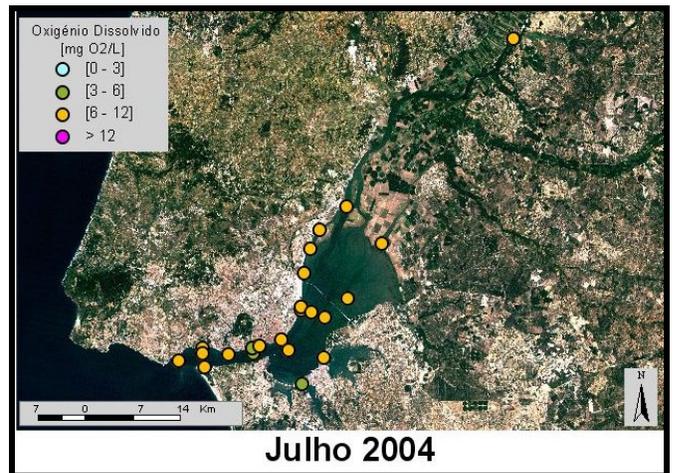
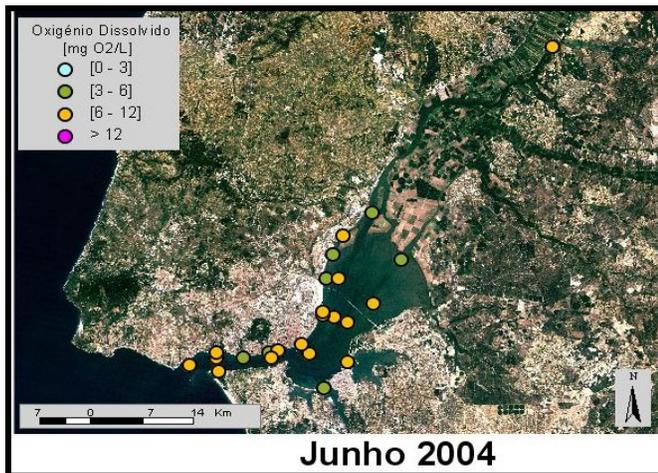
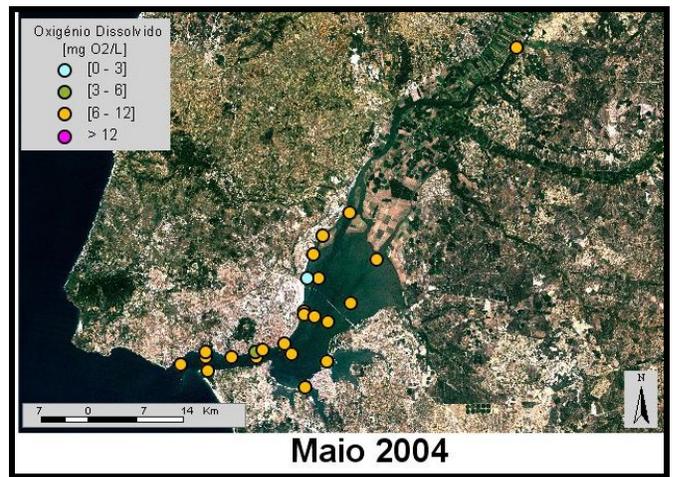
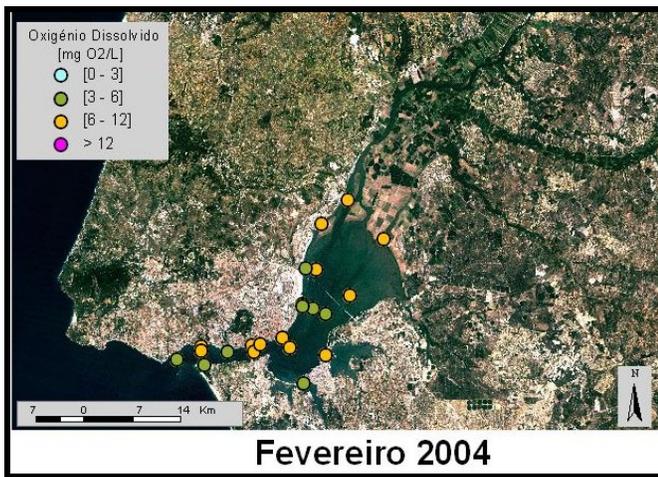


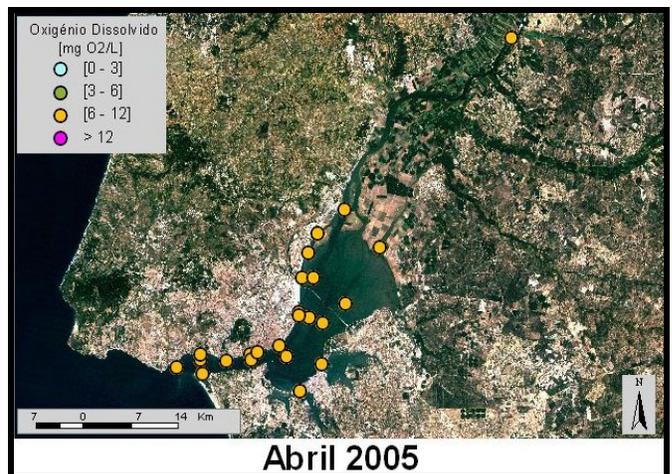
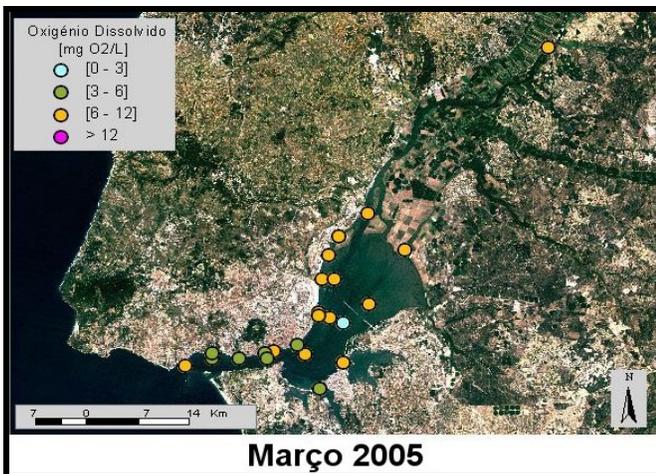
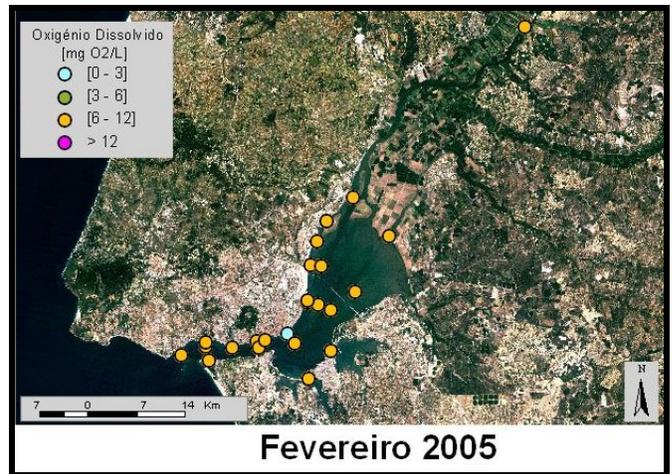
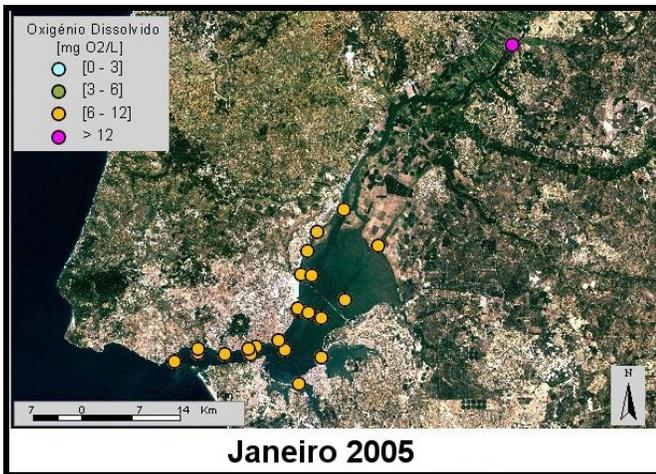
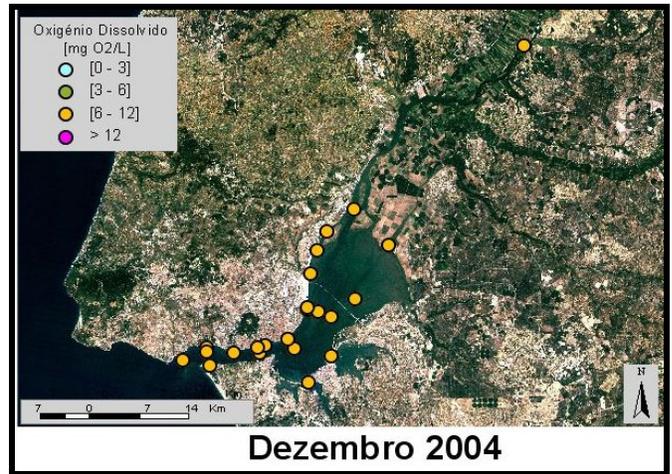
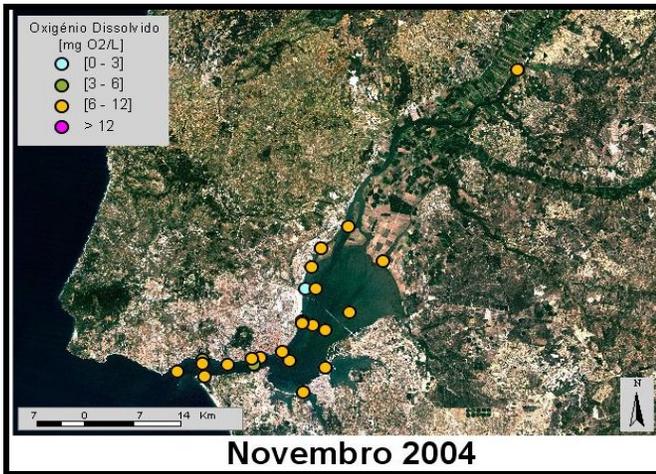
8.3.1.3 Temperatura [°C]



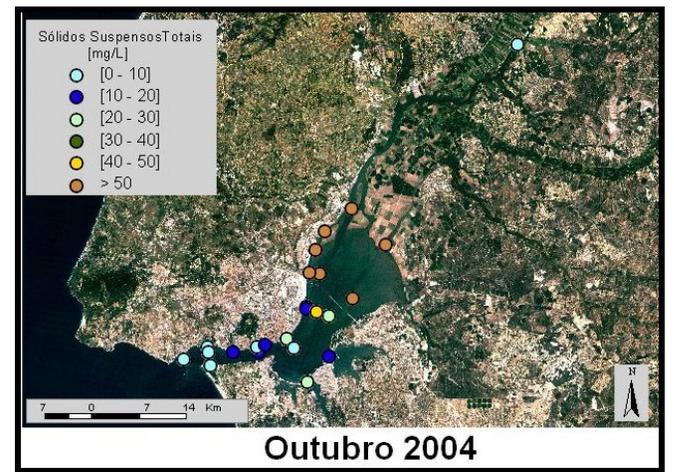
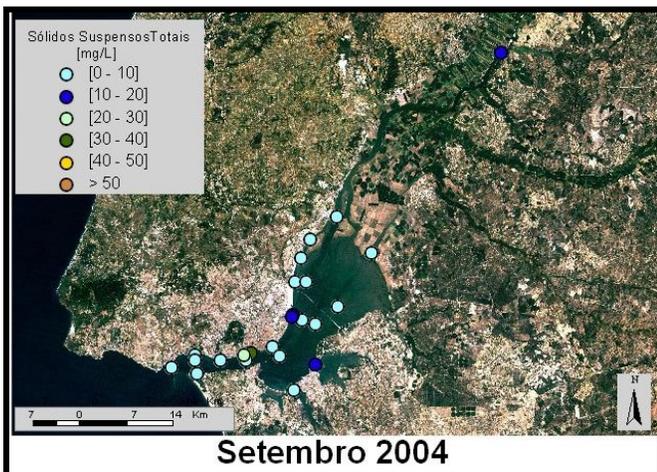
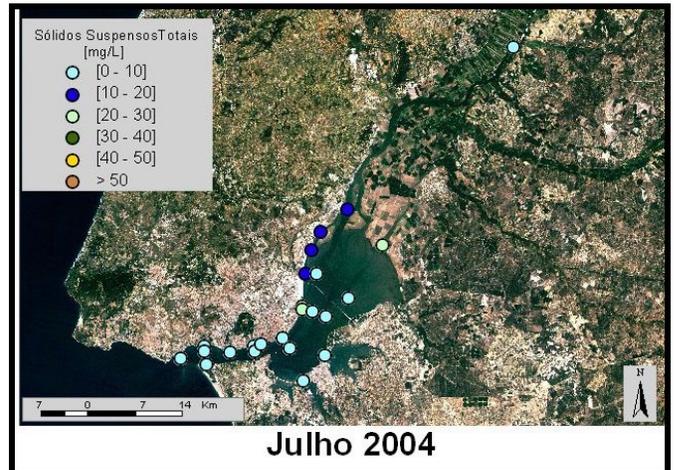
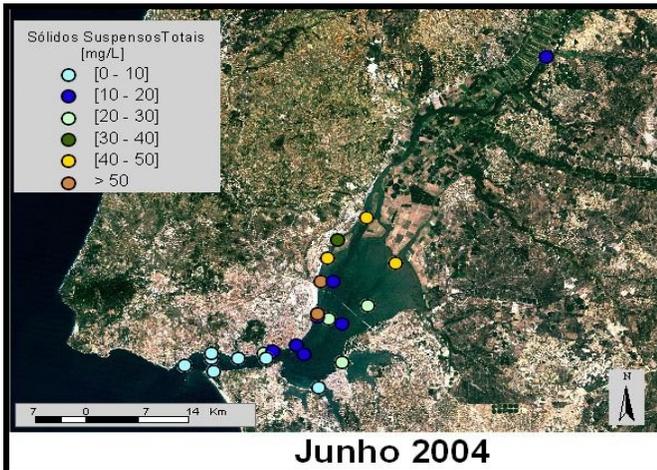
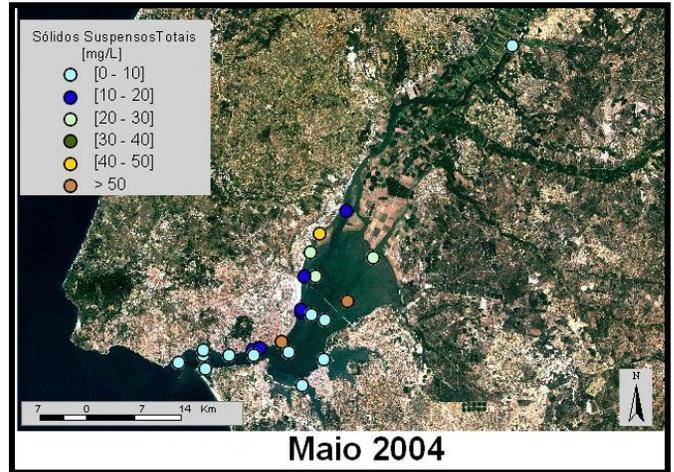
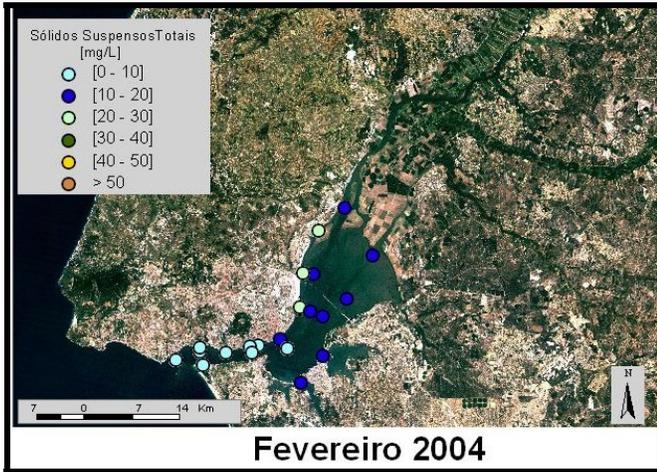


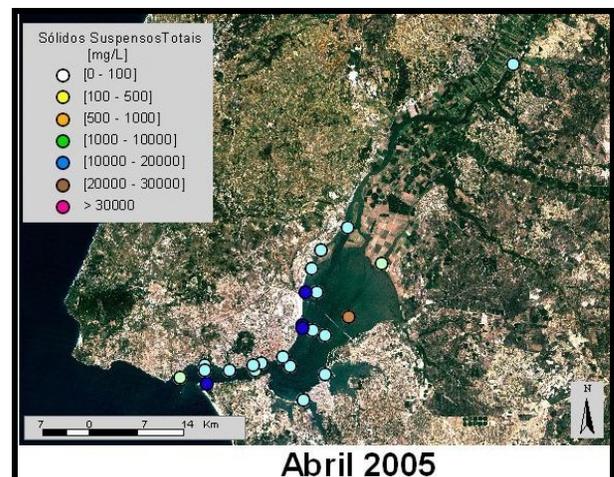
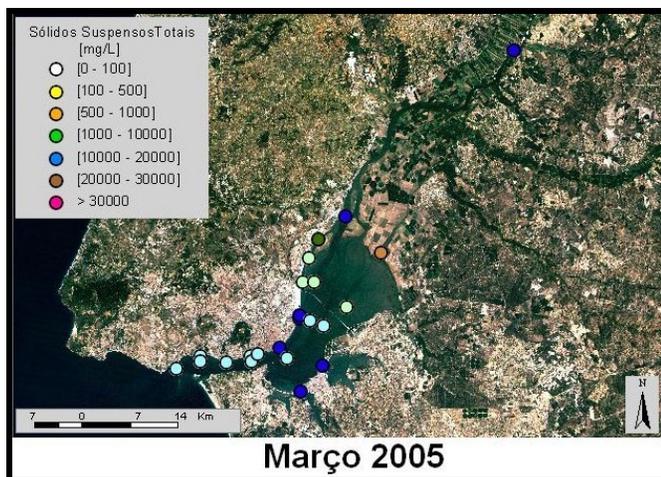
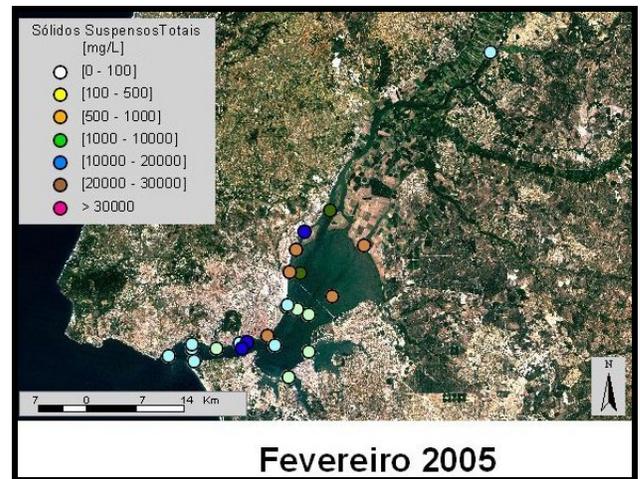
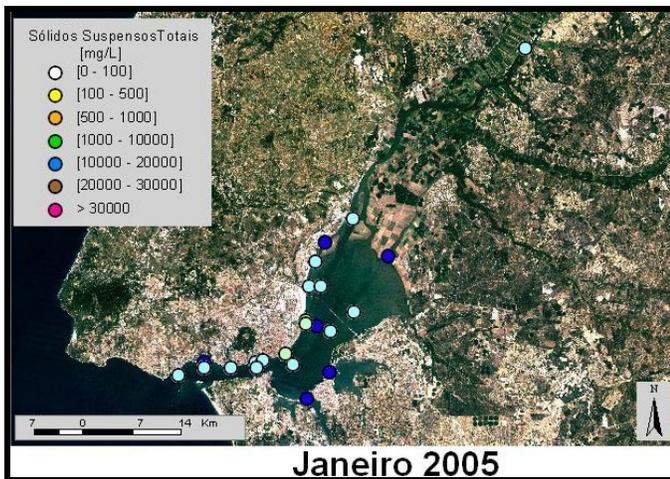
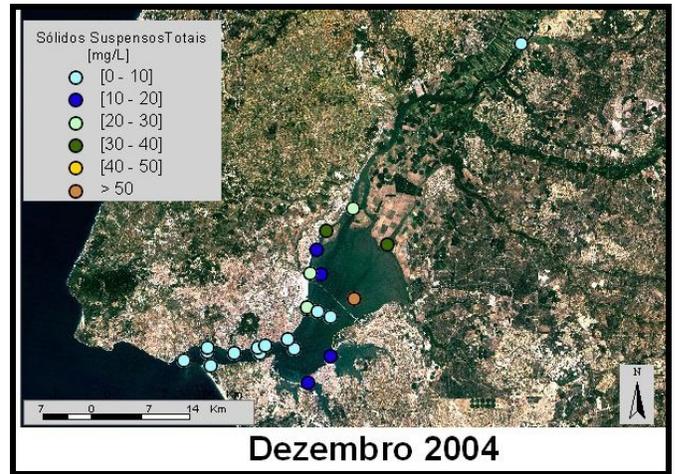
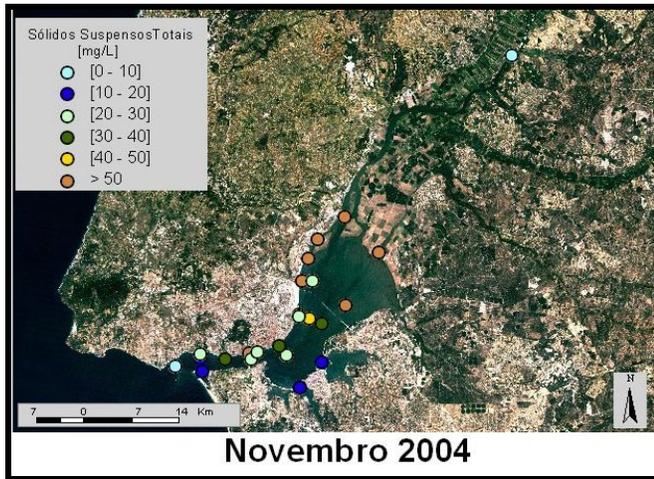
8.3.1.4 Oxigénio Dissolvido [mg O₂/l]



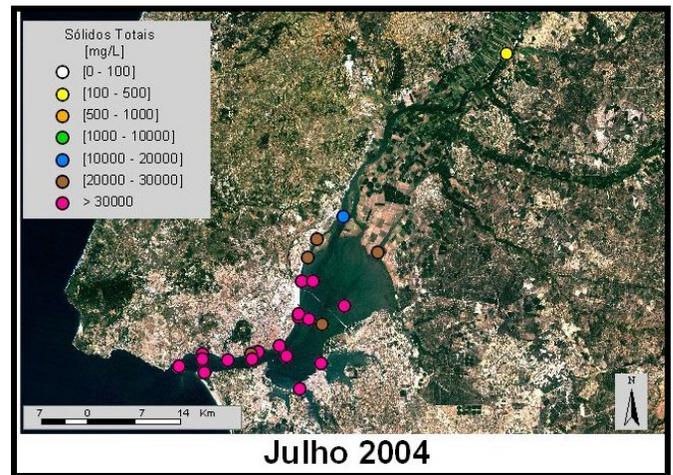
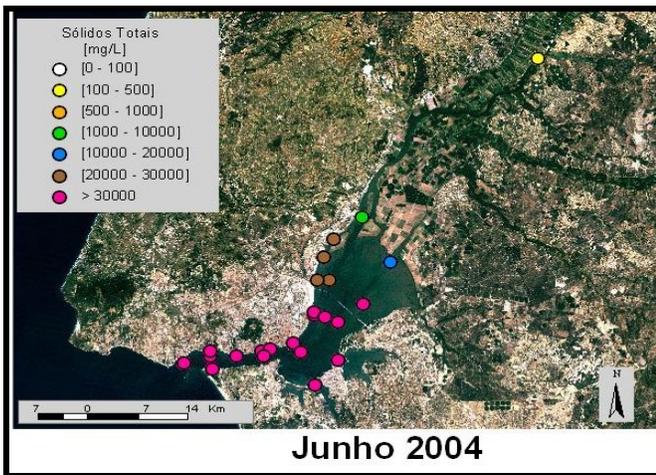
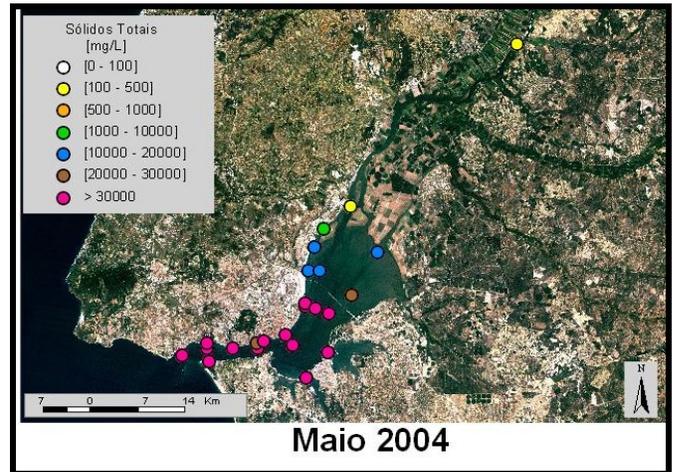
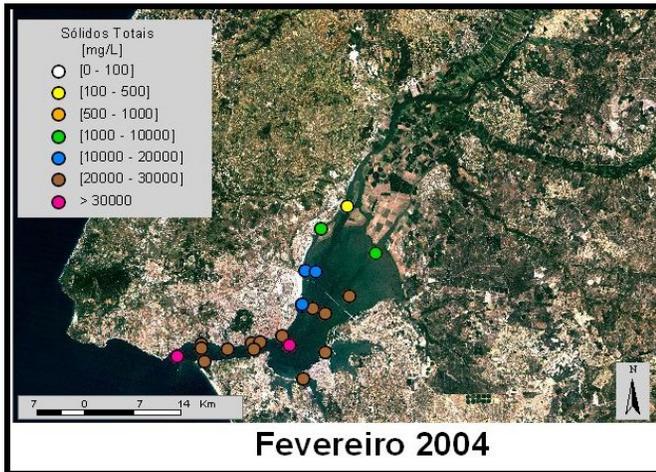


8.3.1.5 *Sólidos Suspensos Totais [mg/l]*

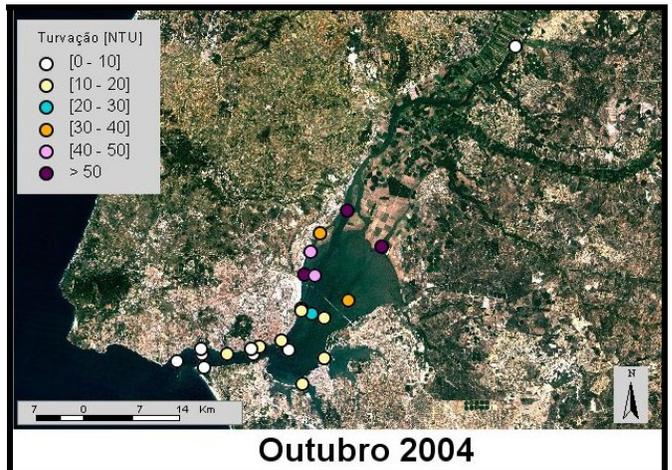
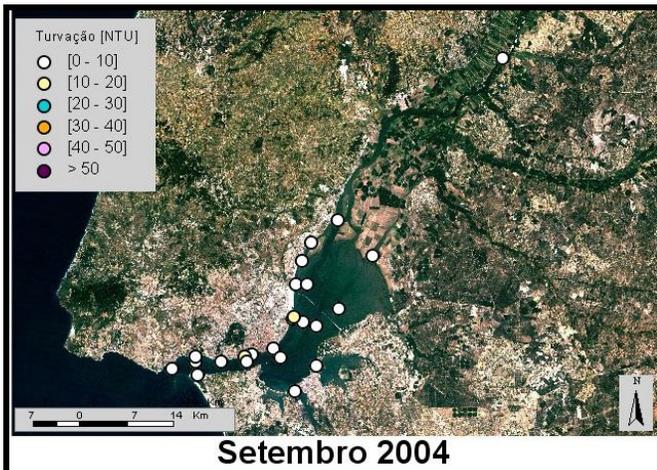
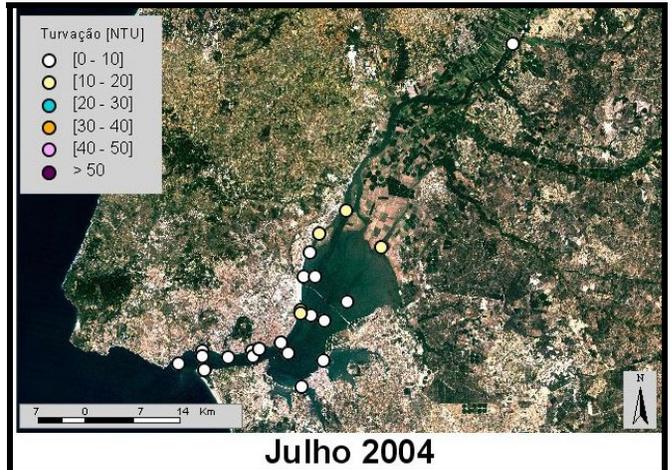
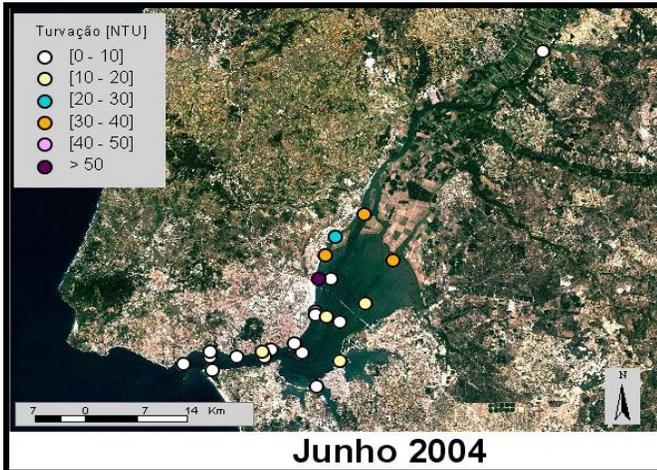
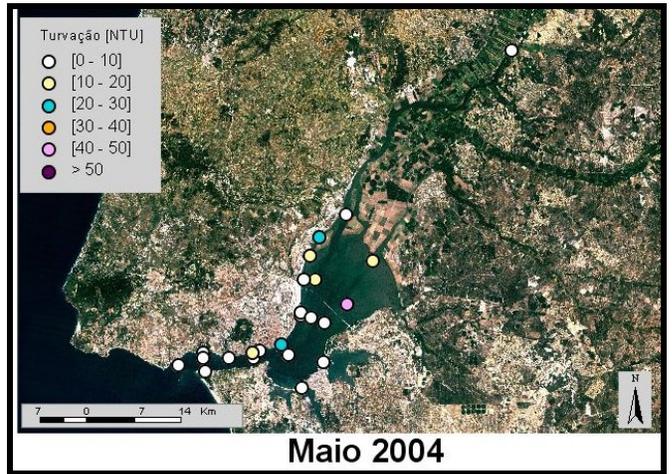
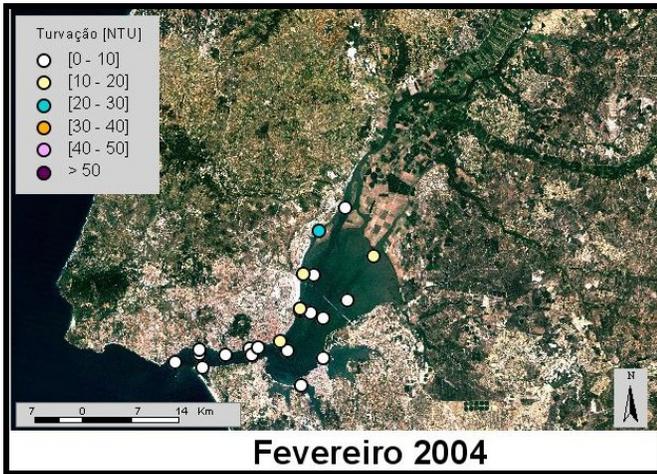


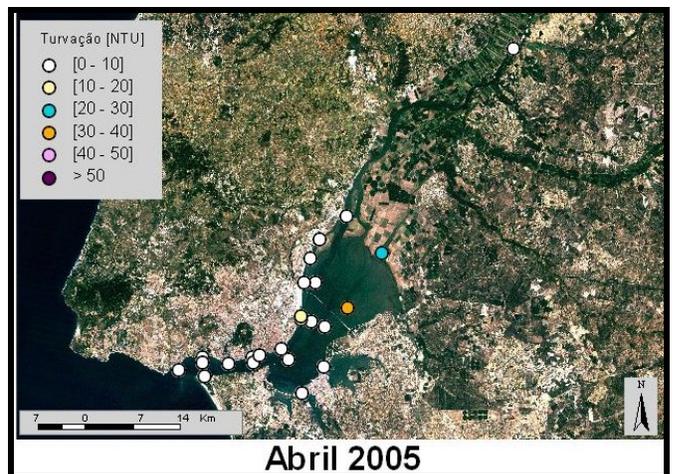
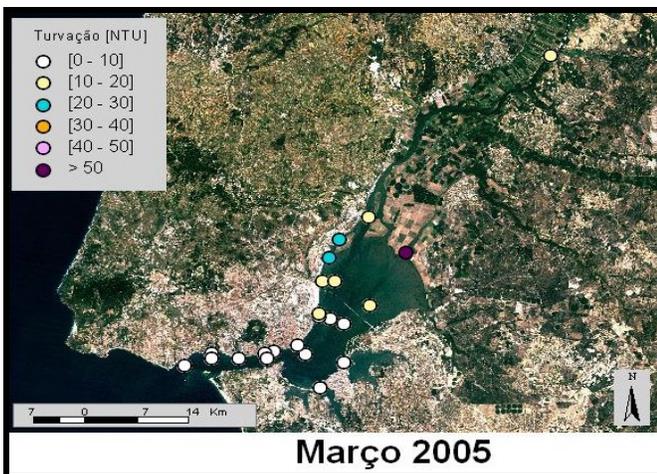
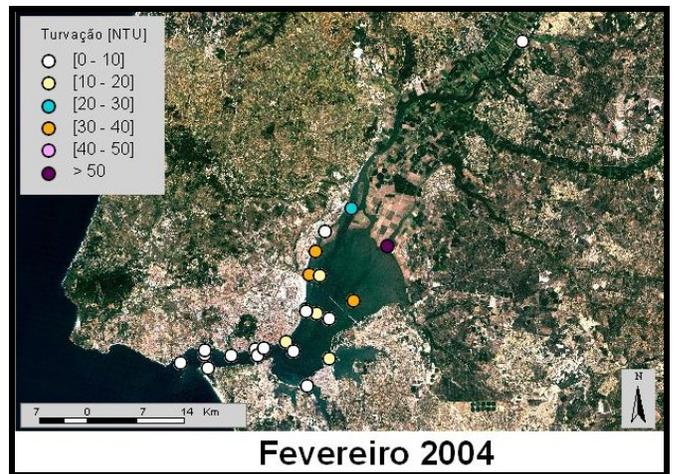
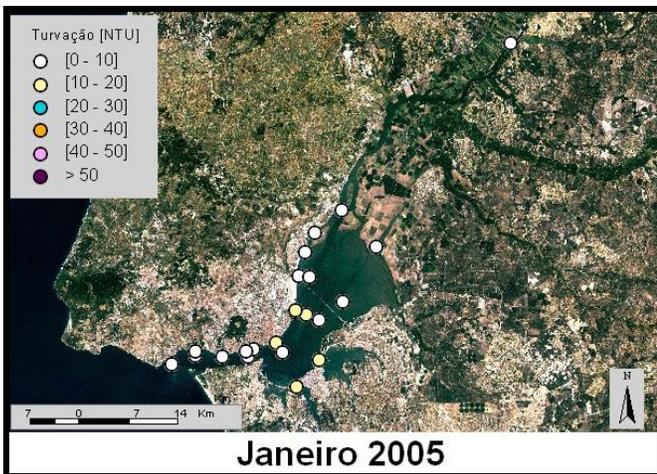
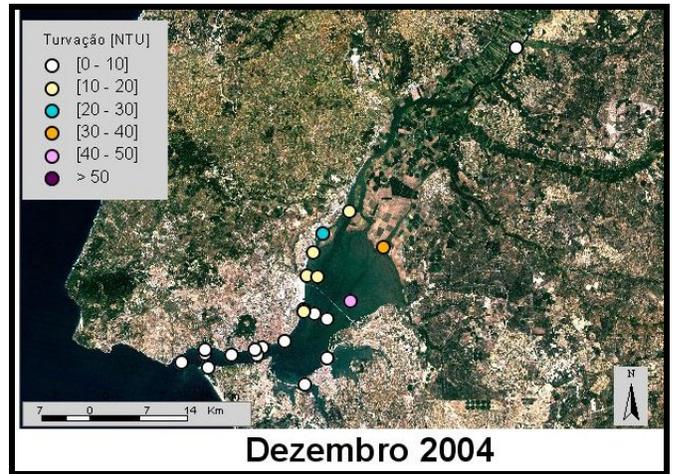
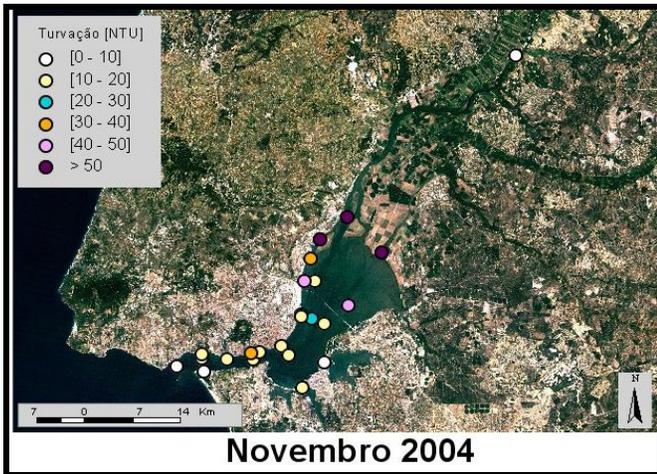


8.3.1.6 *Sólidos Totais [mg/l]*

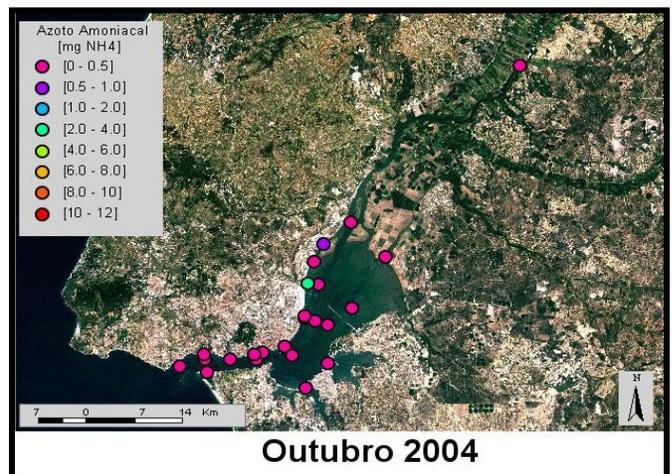
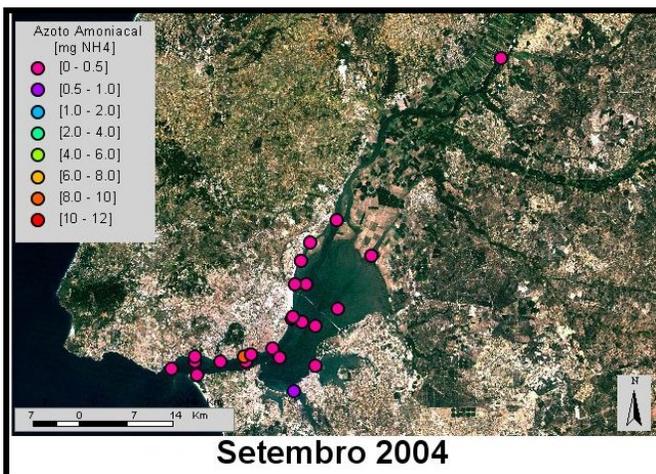
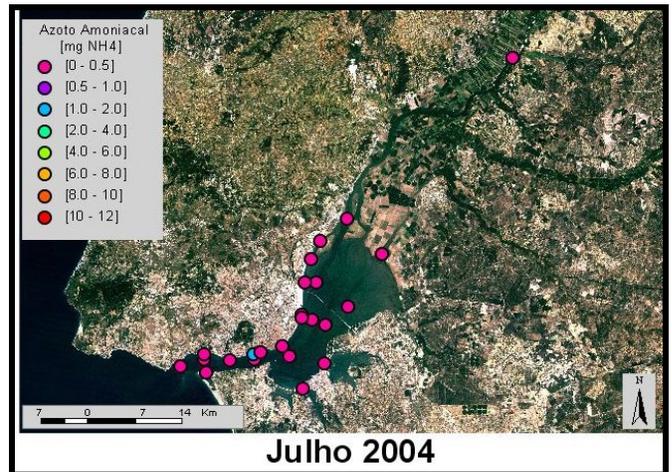
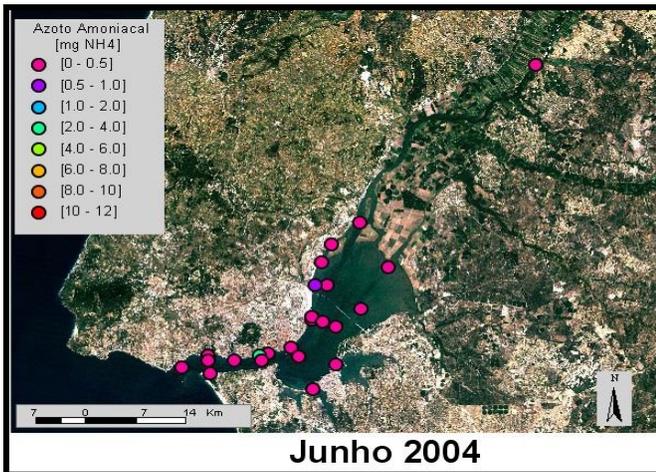
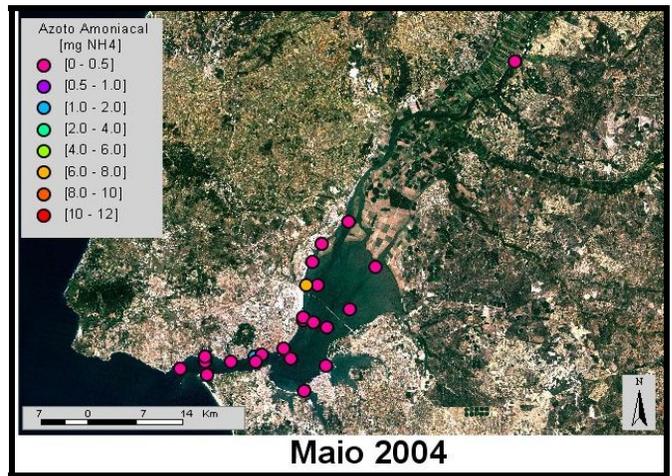
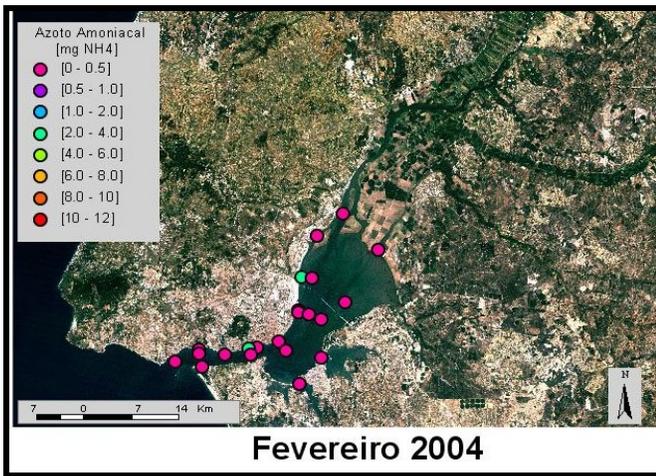


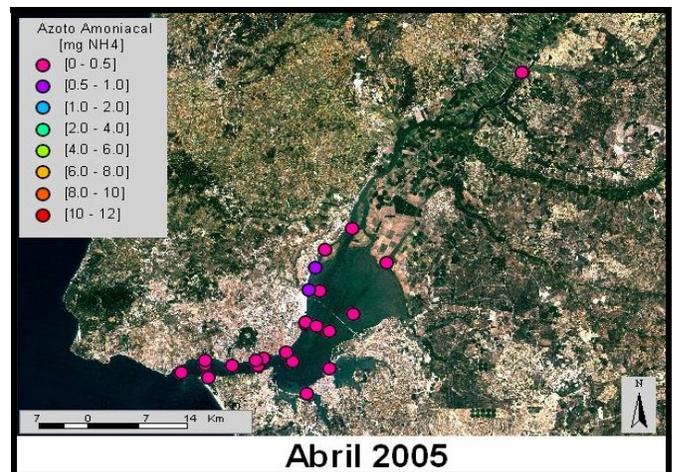
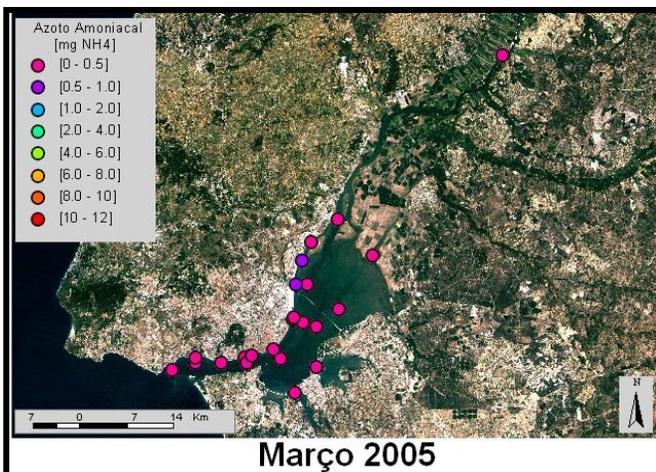
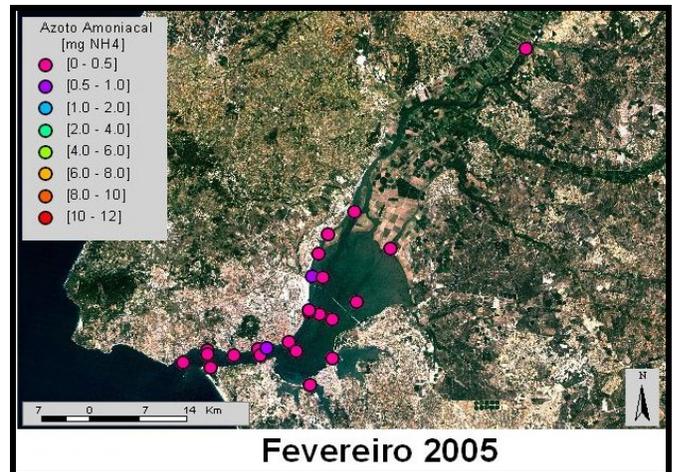
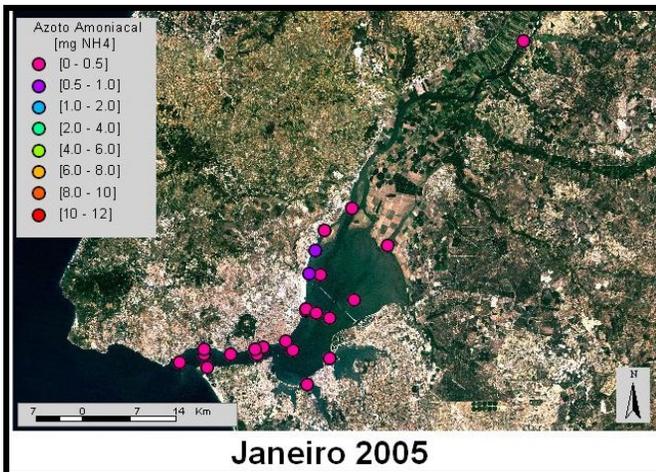
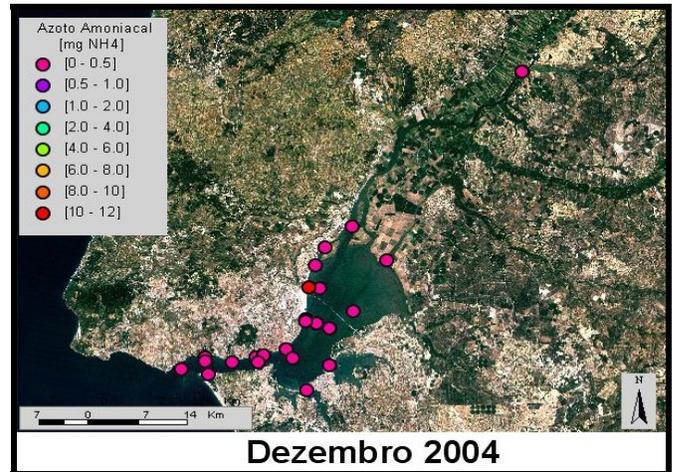
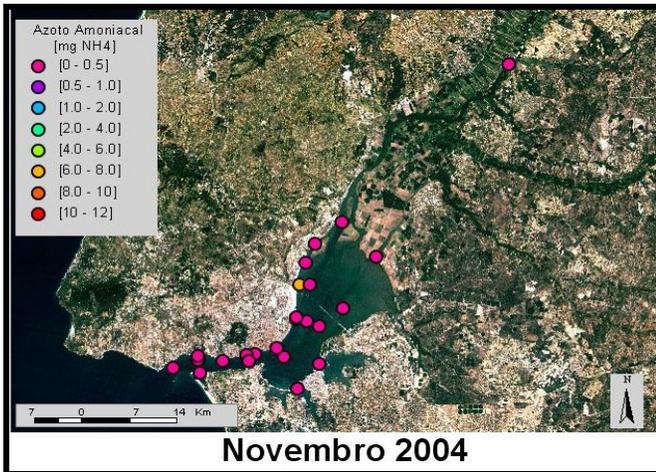
8.3.1.7 Turvação [NTU]



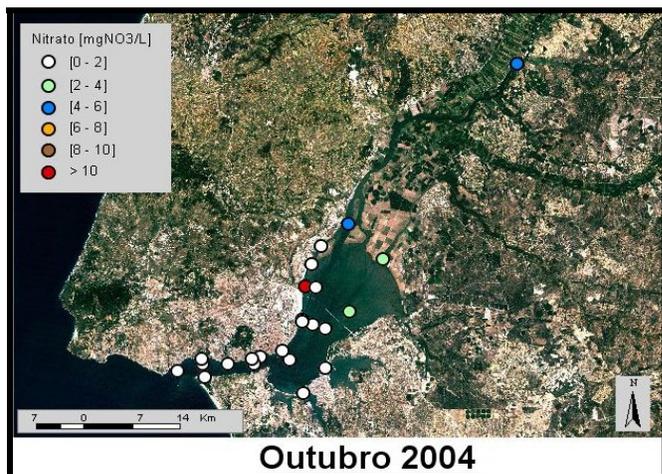
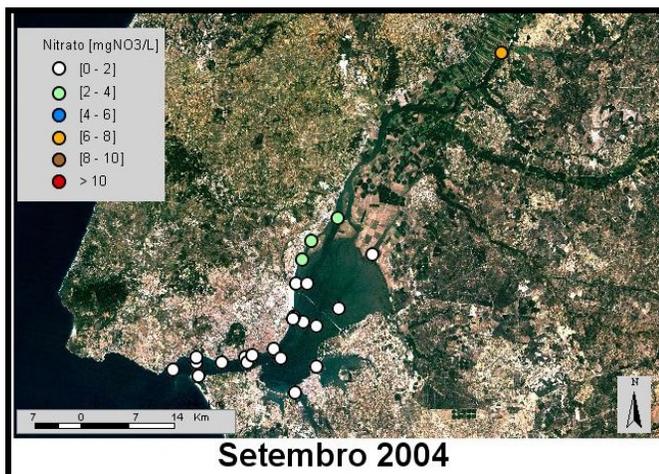
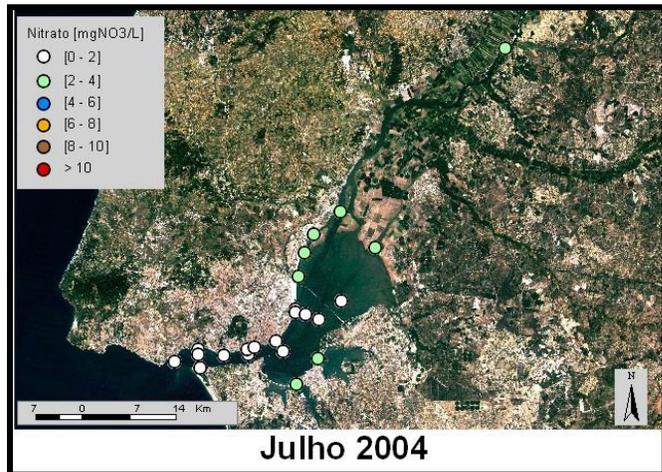
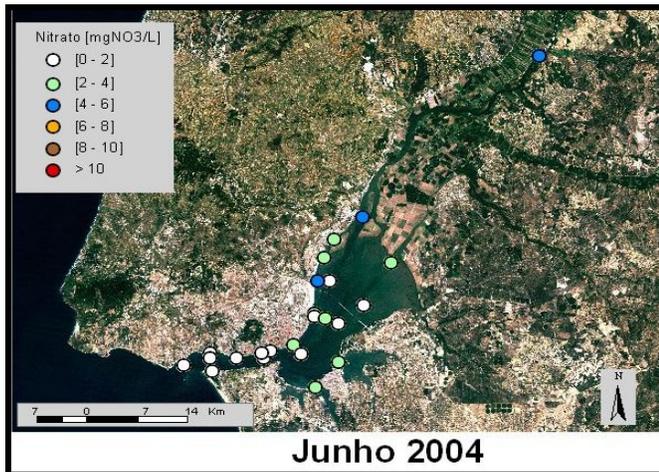
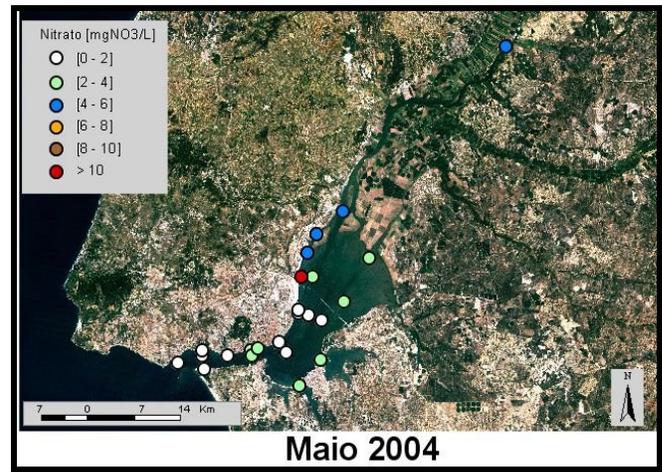
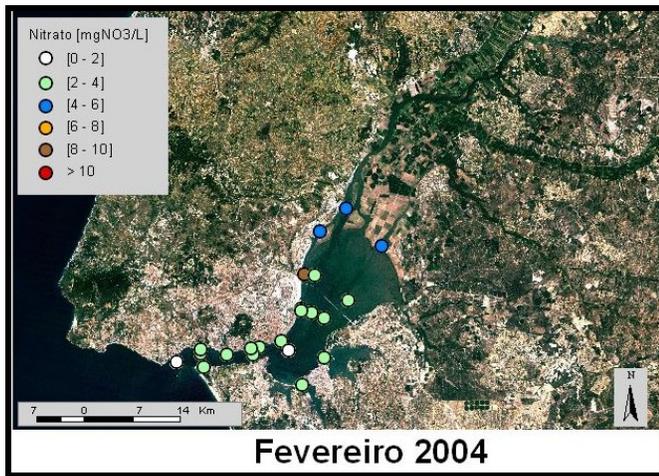


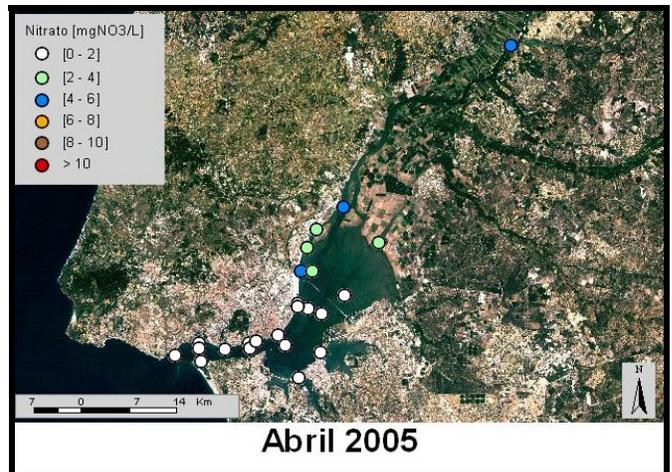
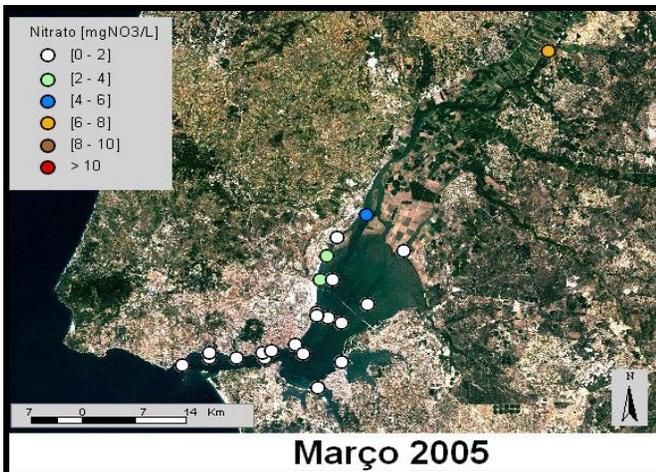
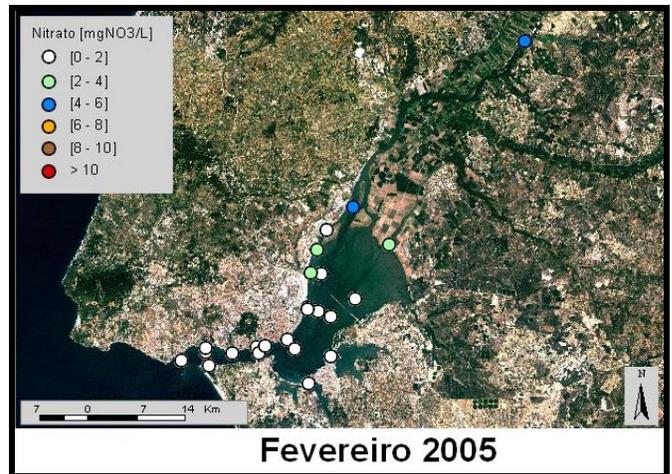
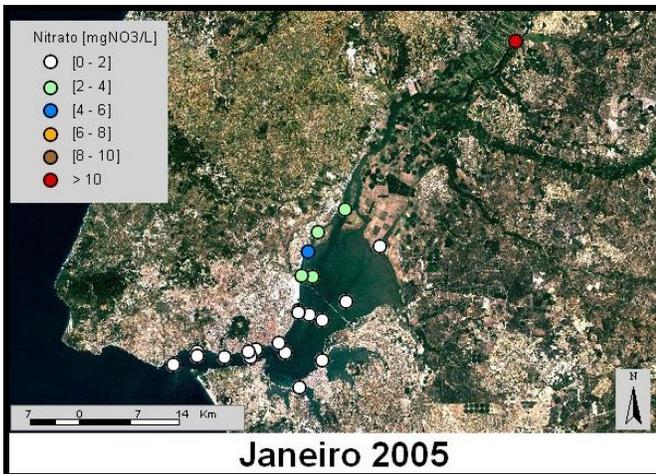
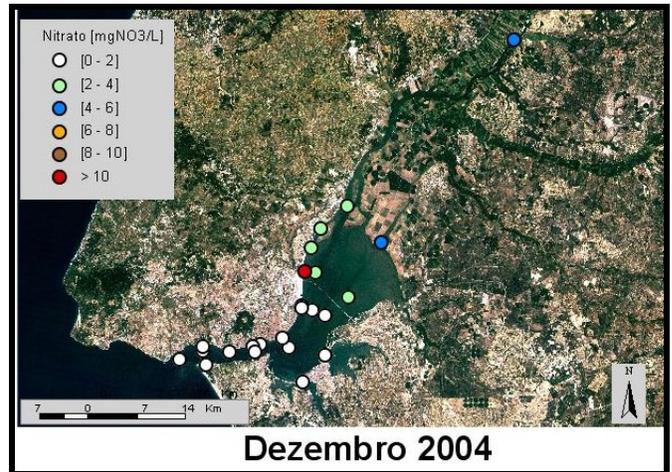
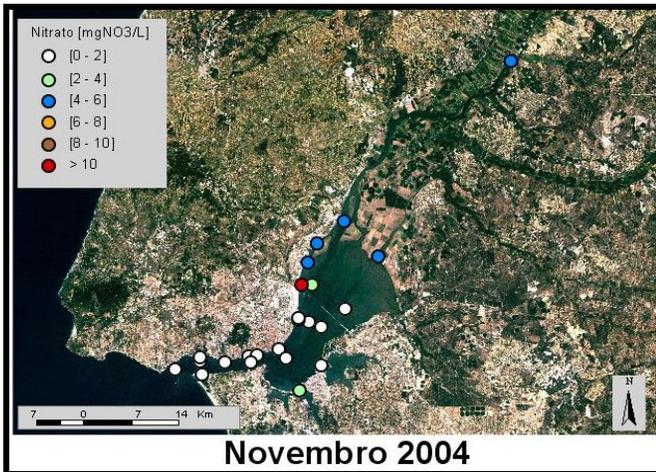
8.3.1.8 Azoto Amoniacal [mg NH₄/l]



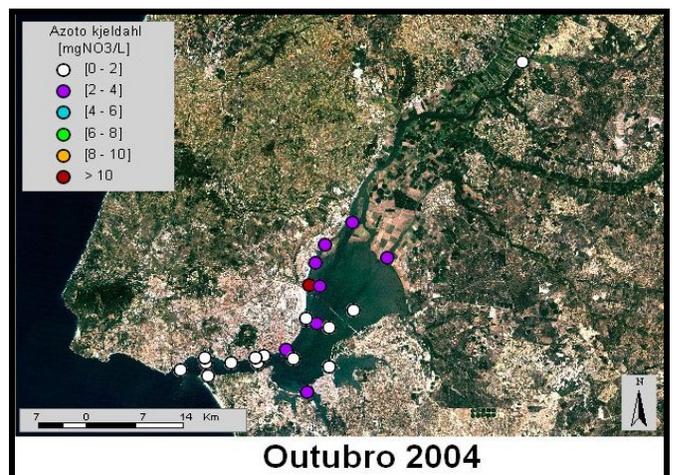
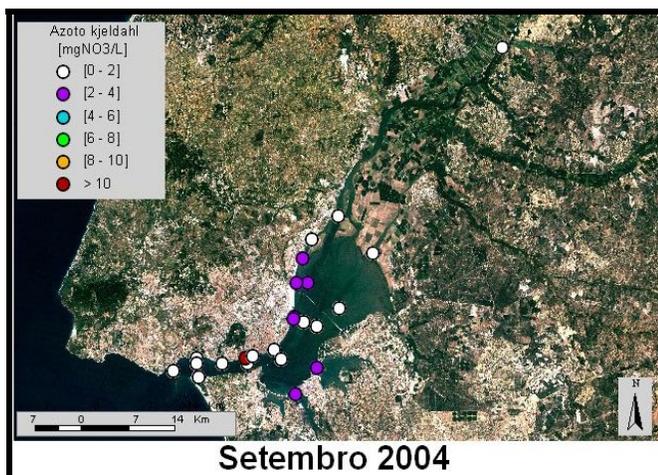
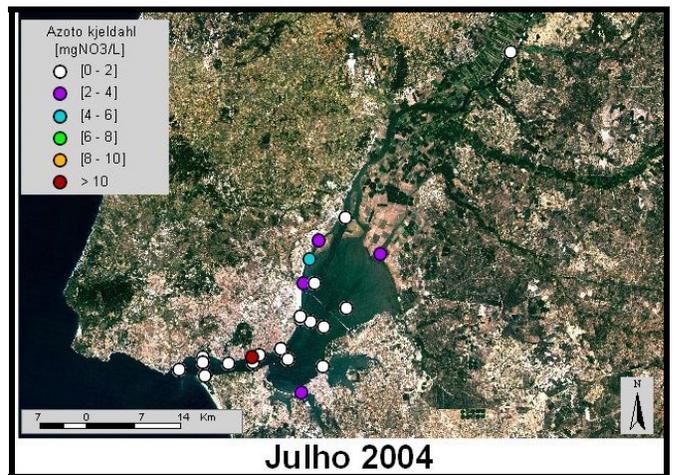
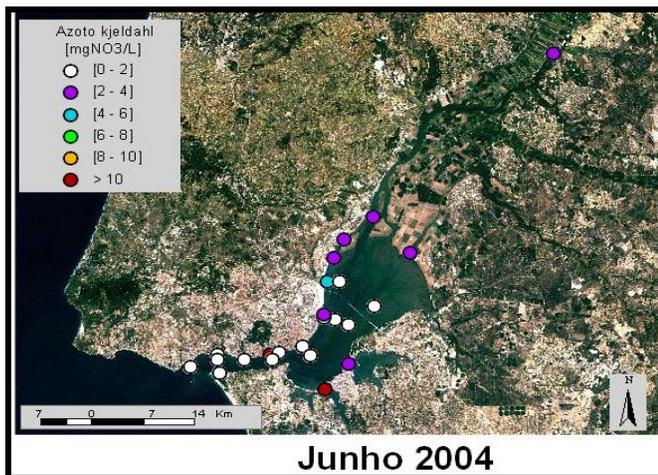
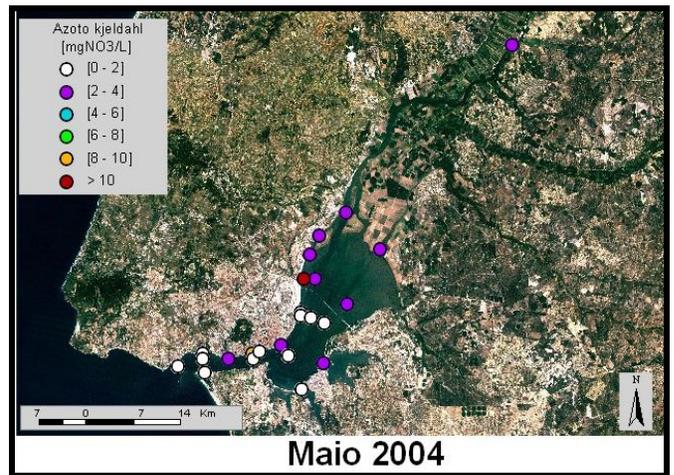
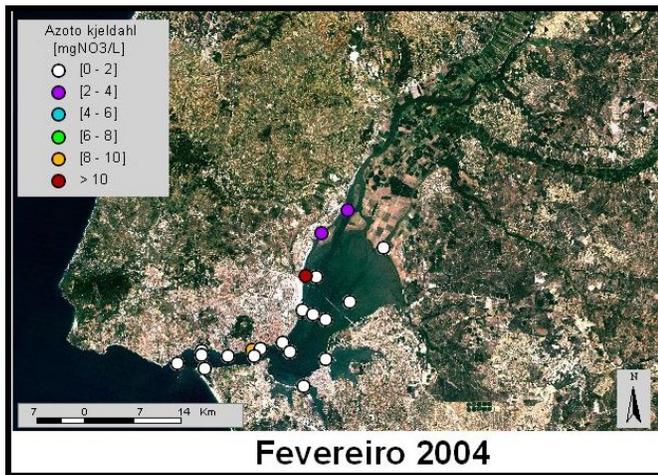


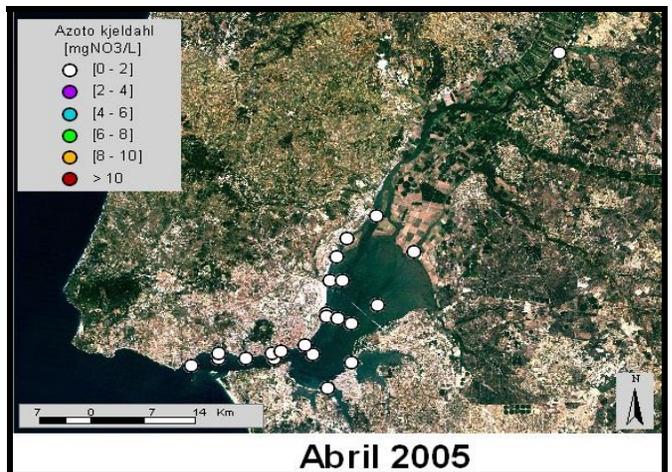
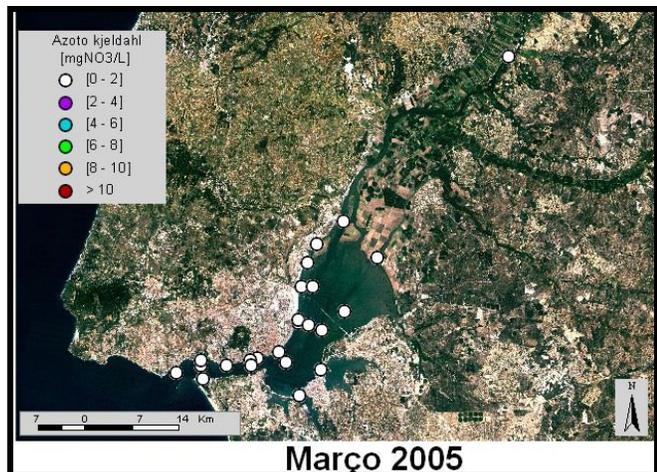
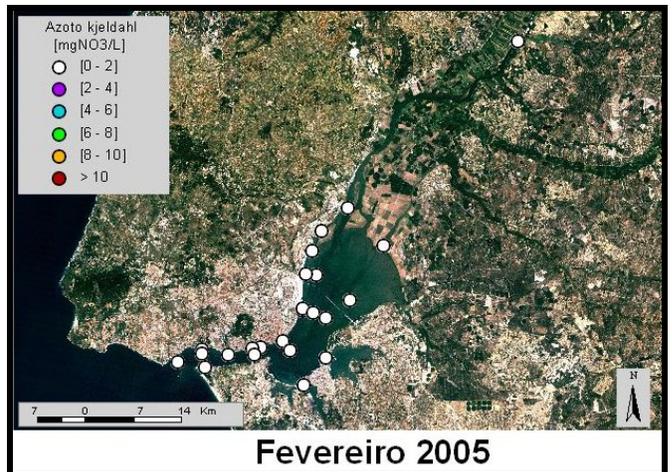
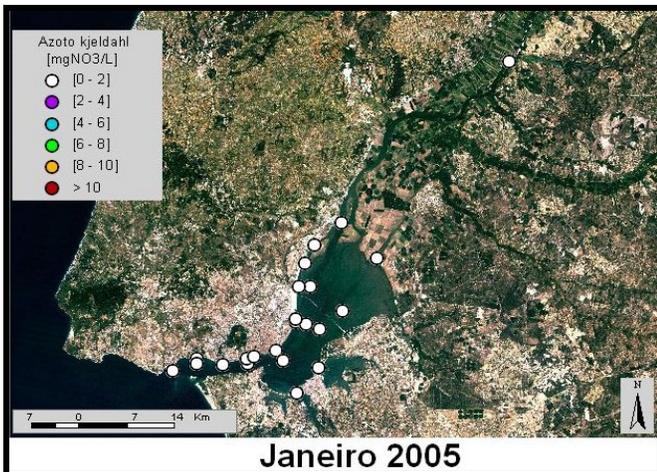
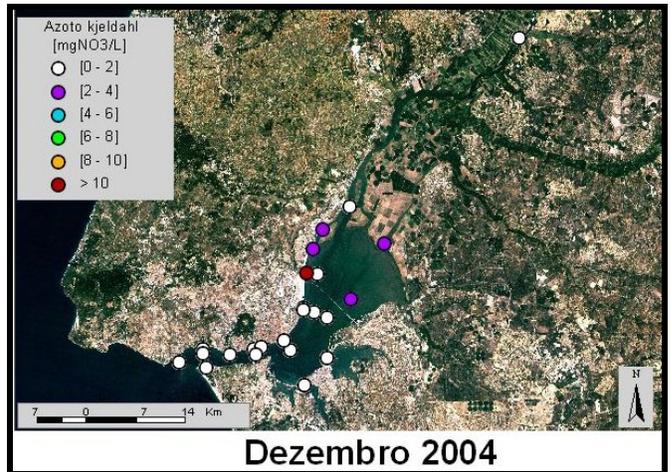
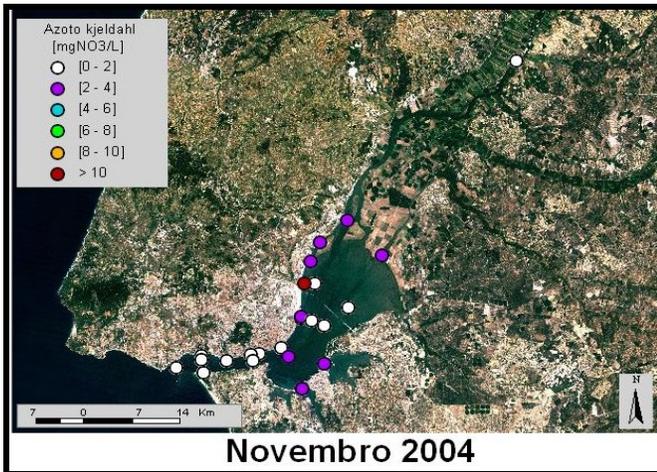
8.3.1.9 Nitrato [mg NO₃/l]



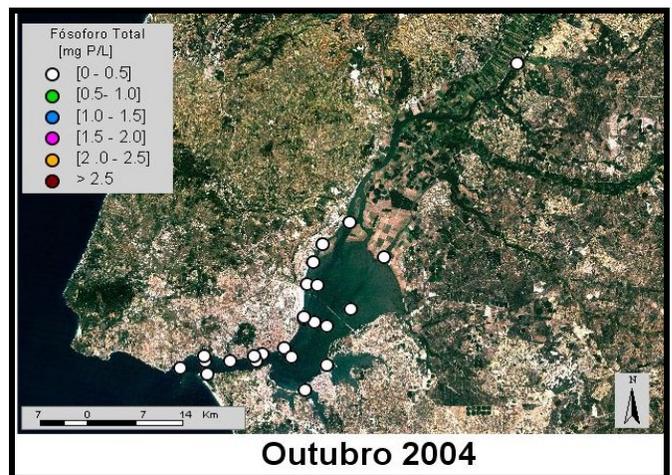
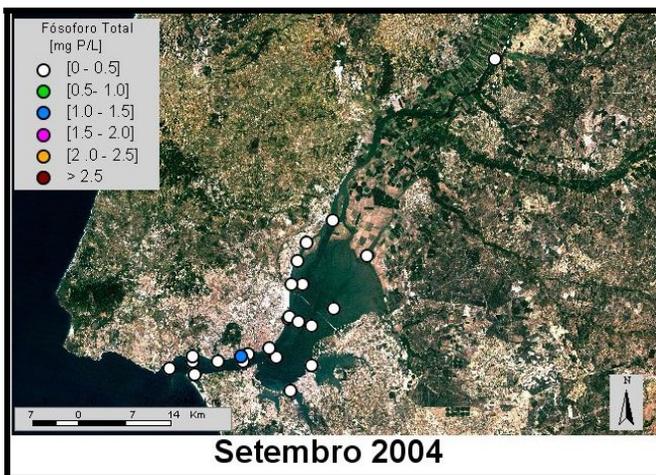
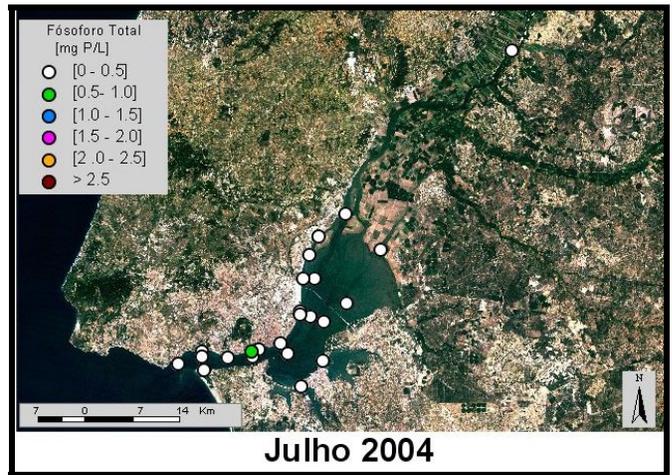
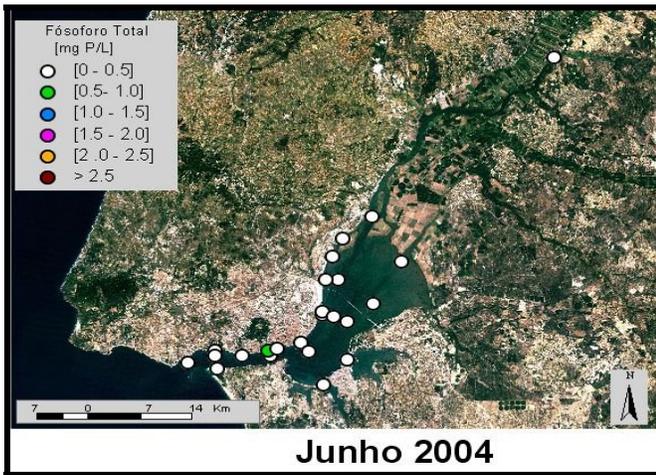
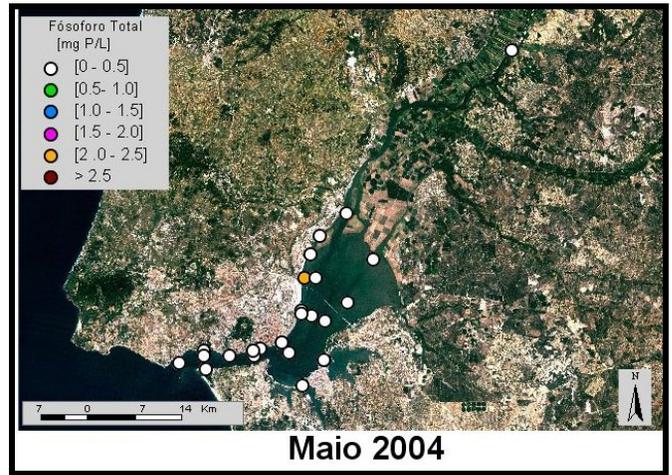
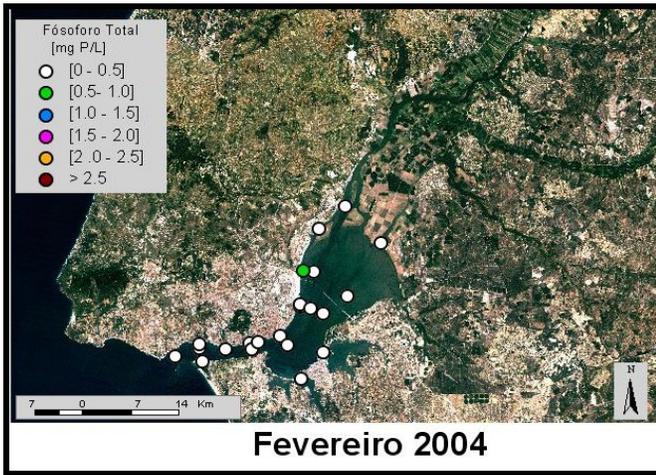


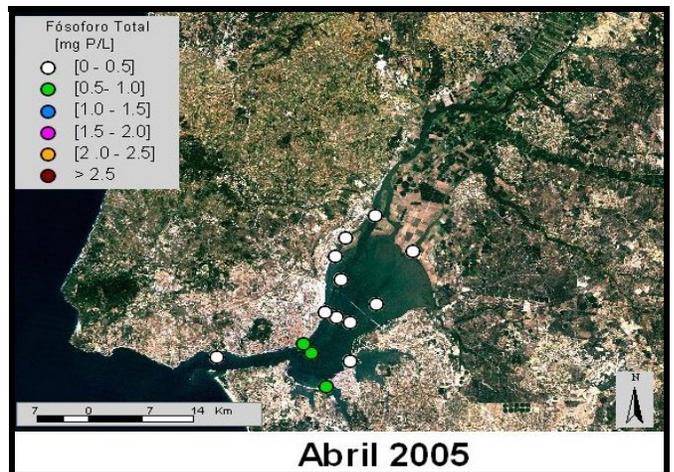
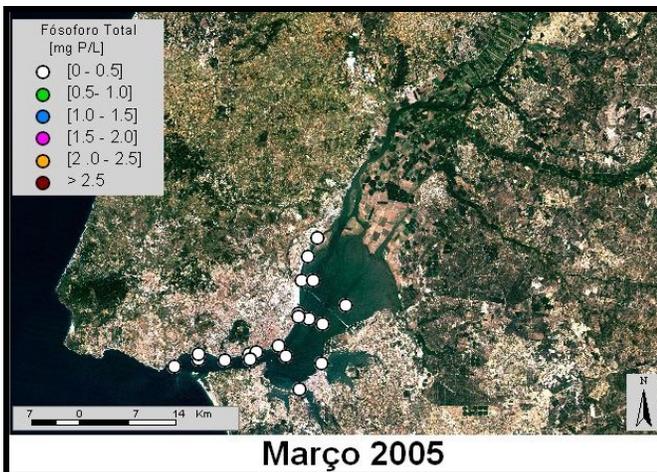
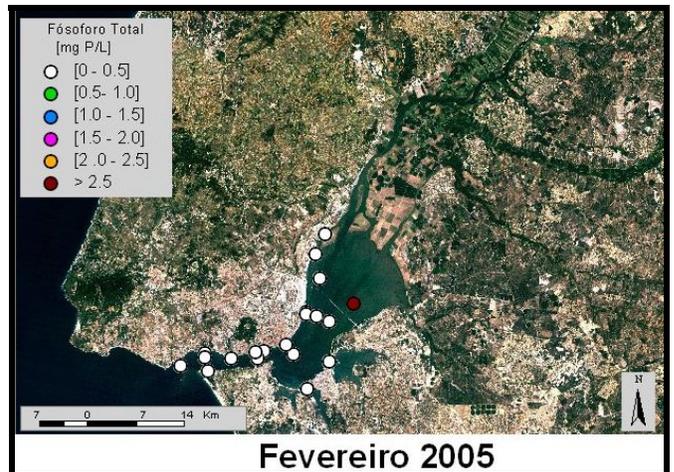
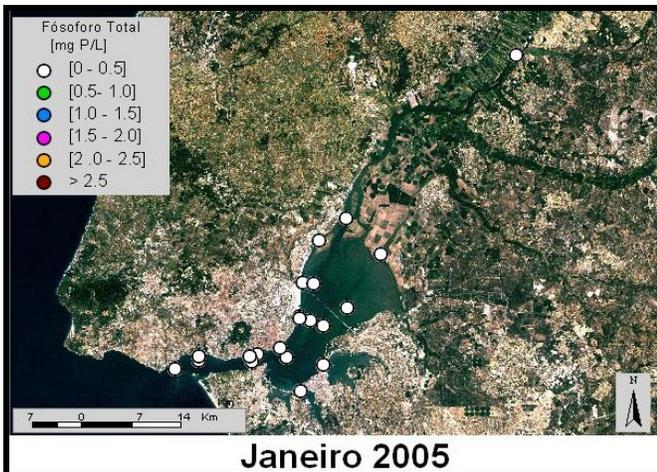
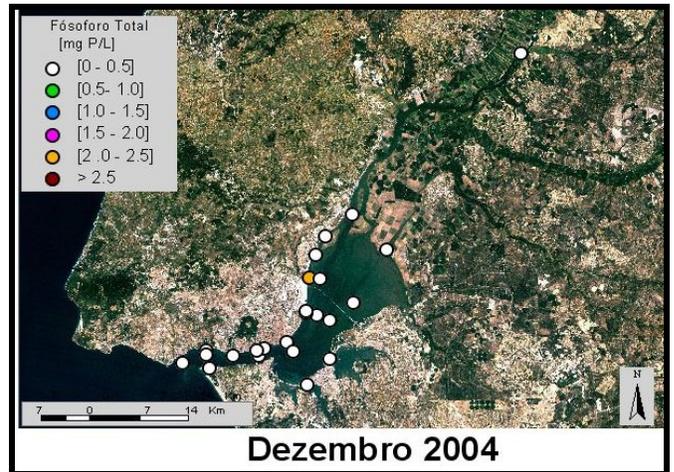
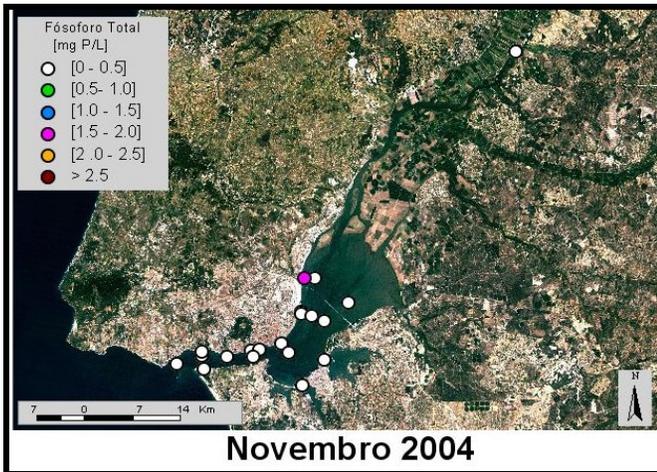
8.3.1.10 Azoto Kjeldahl [mg NO₃/l]



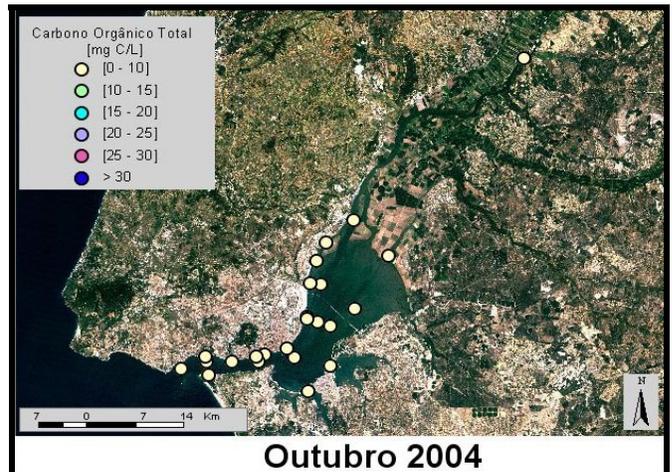
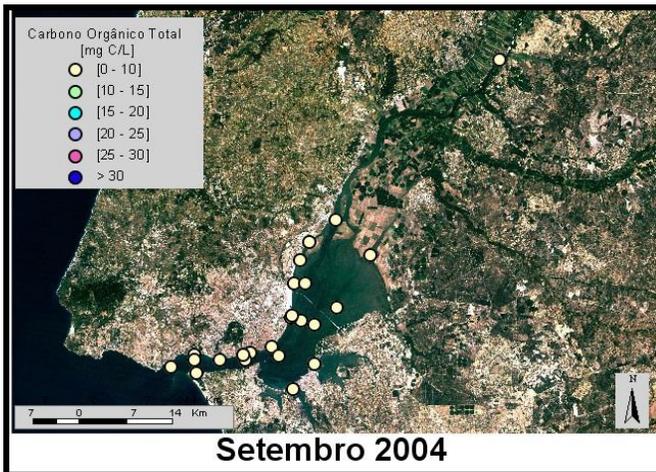
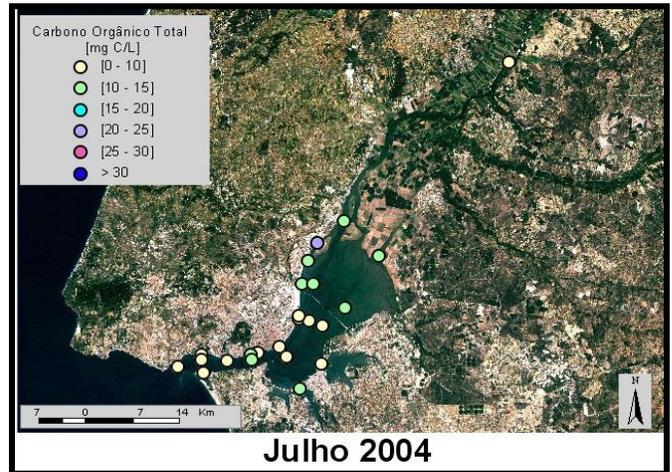
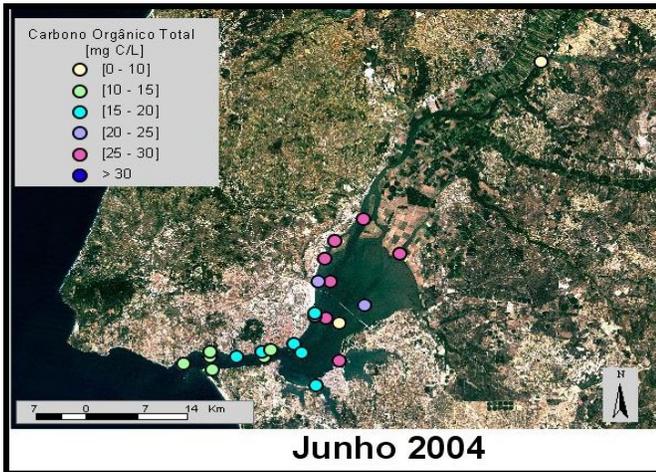
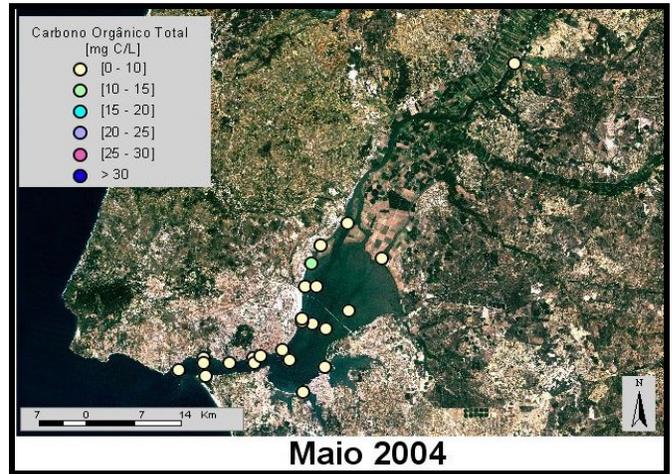
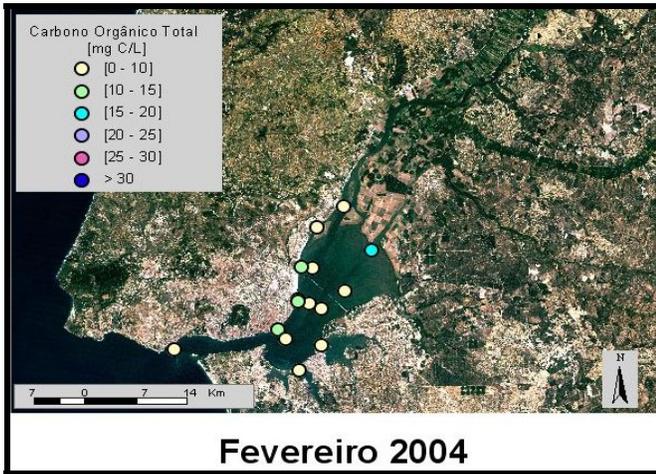


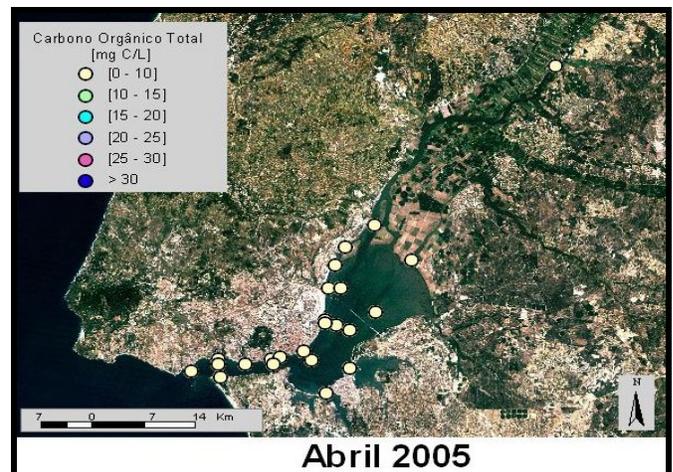
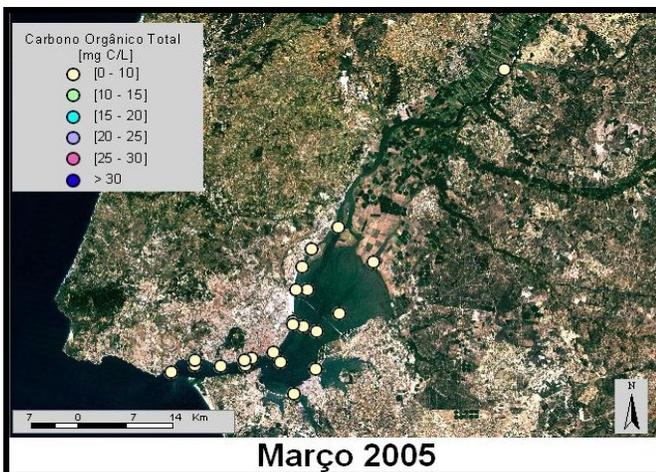
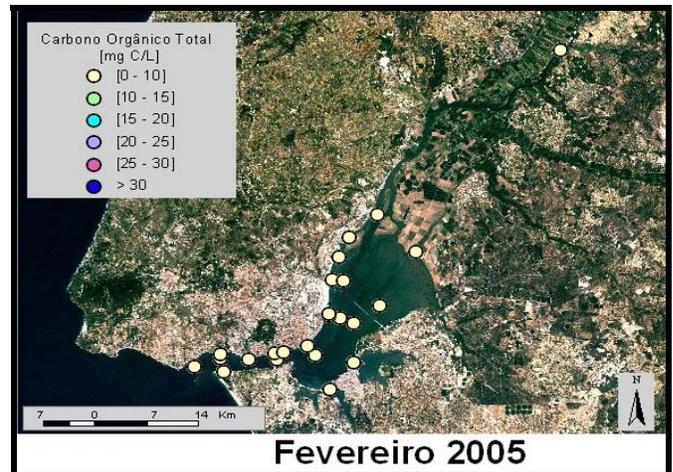
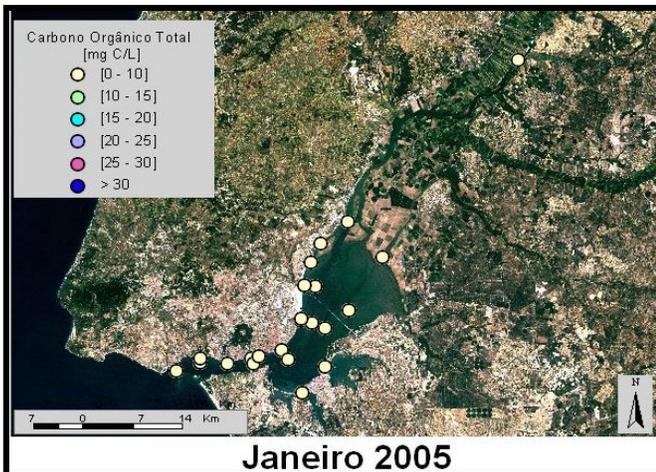
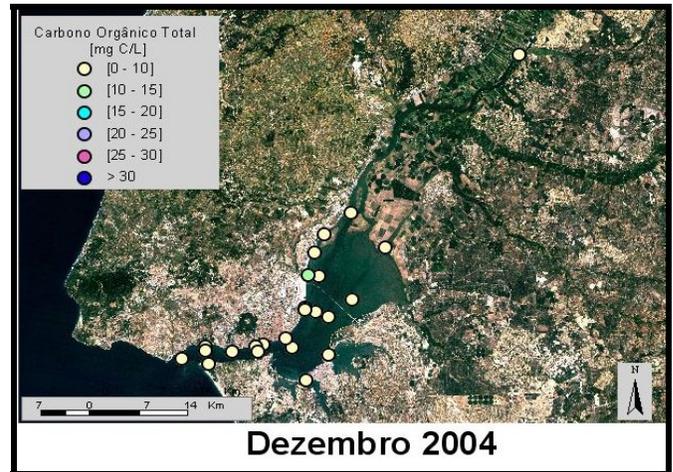
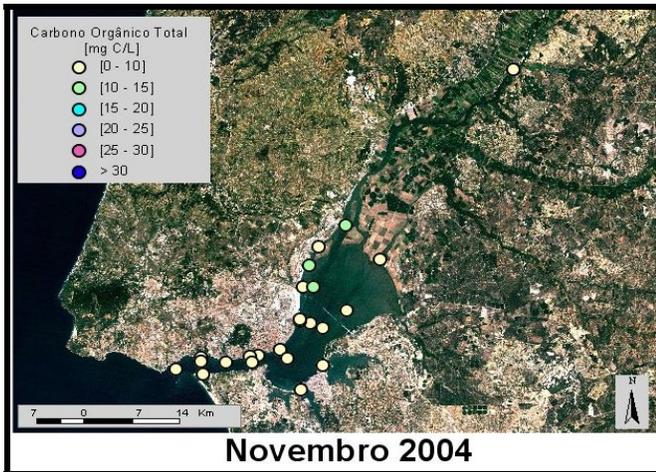
8.3.1.11 Fósforo Total [mg P/l]



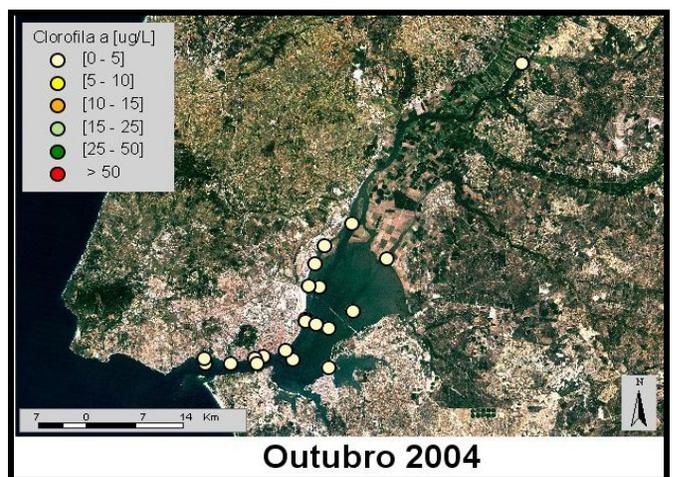
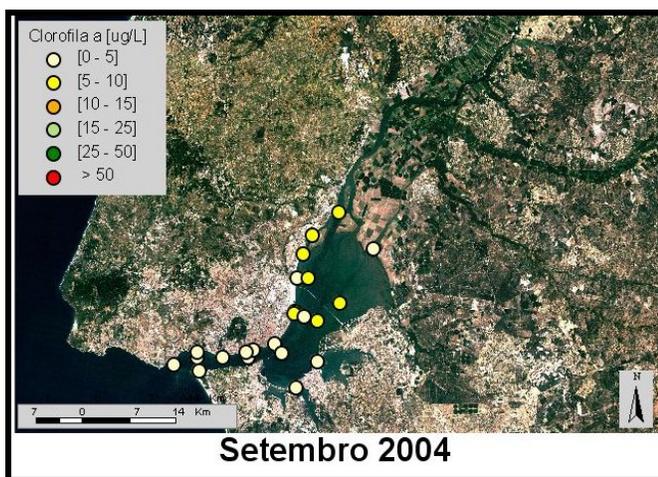
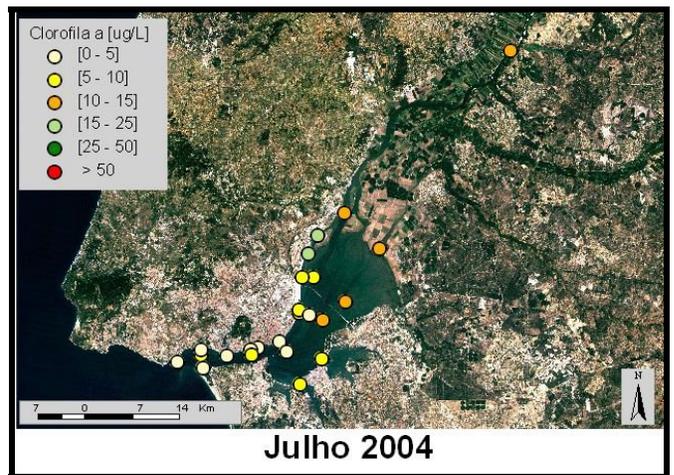
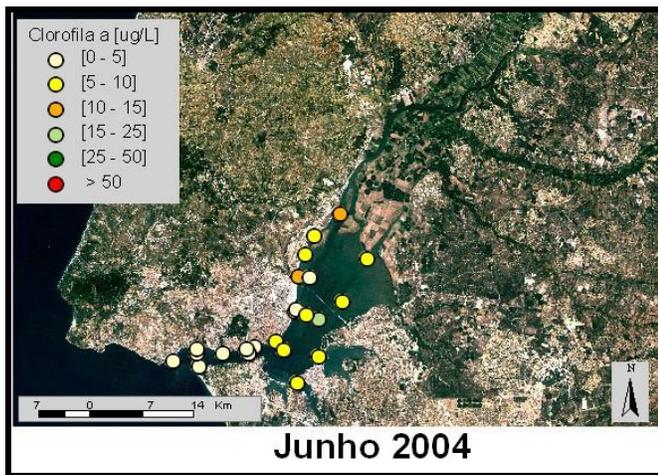
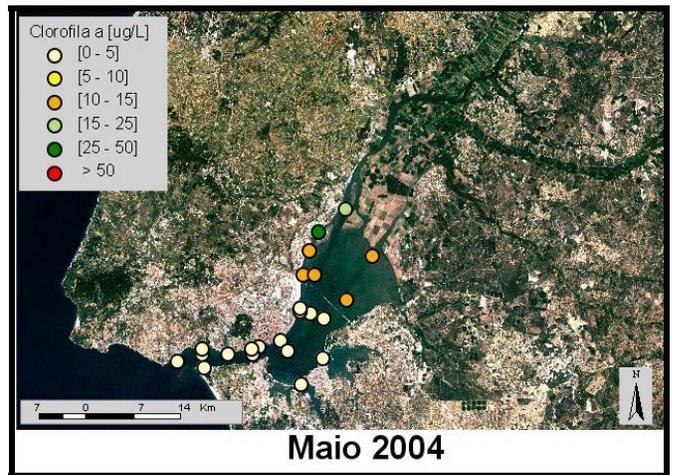
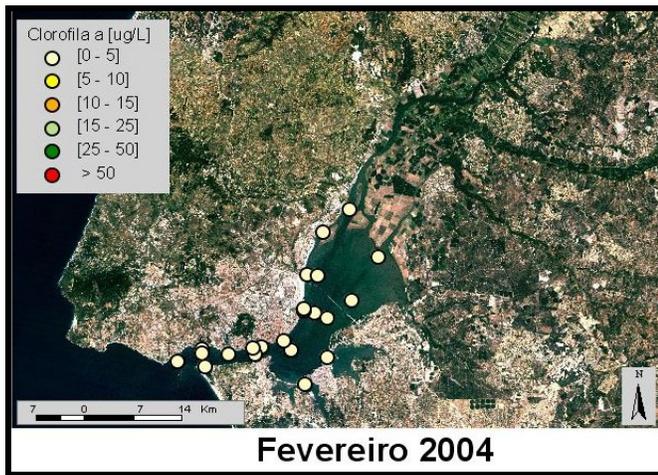


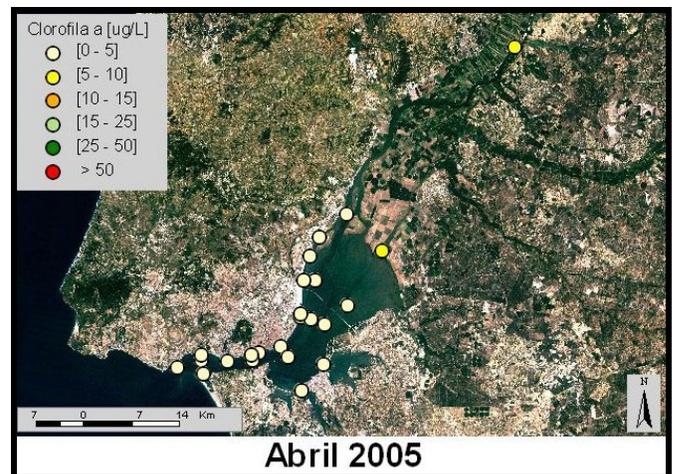
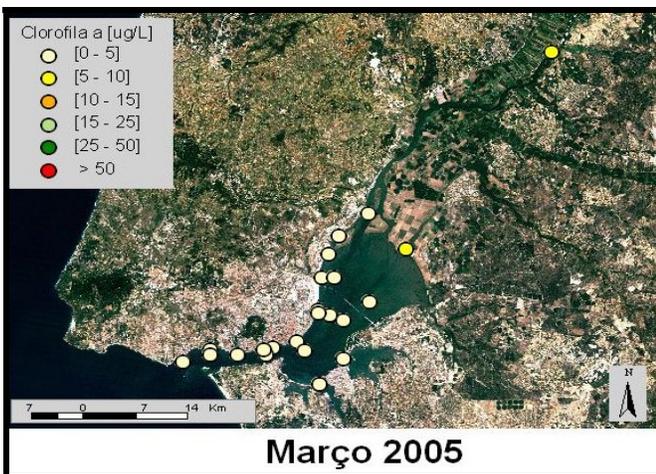
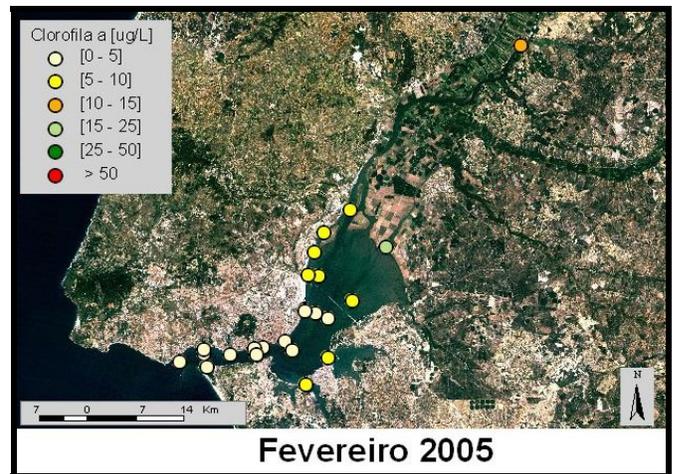
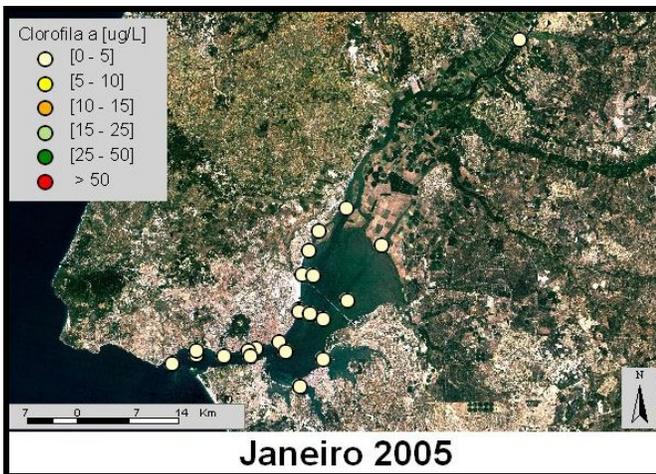
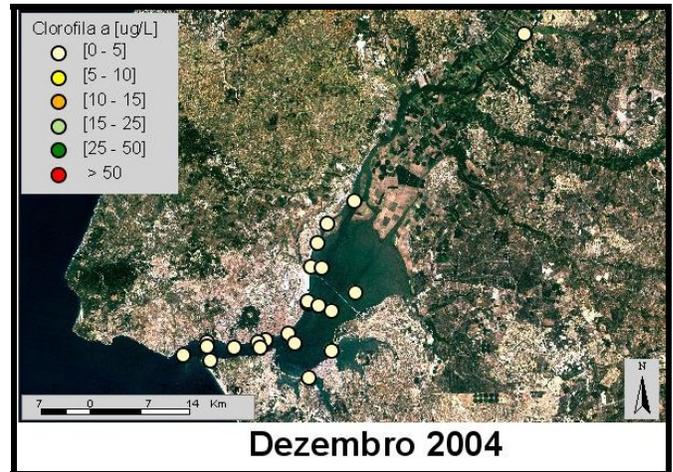
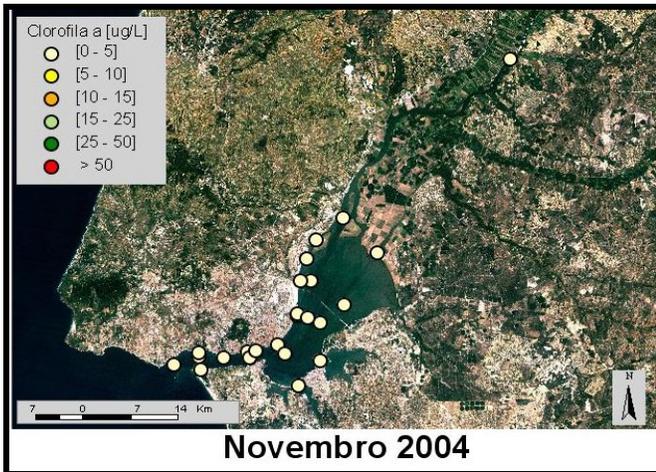
8.3.1.12 *Carbano Orgânico Total [mg P/l]*



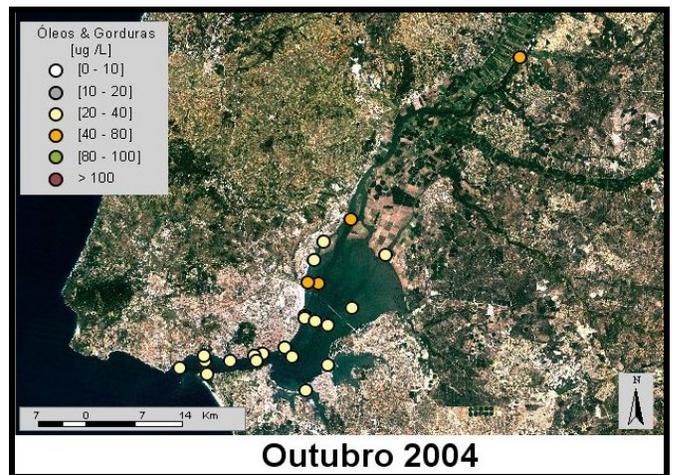
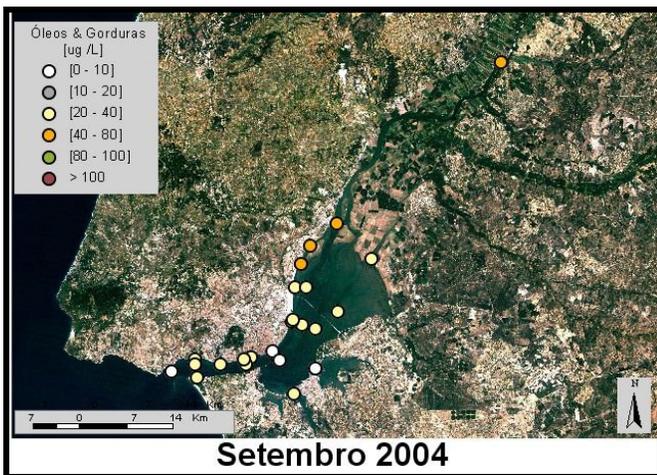
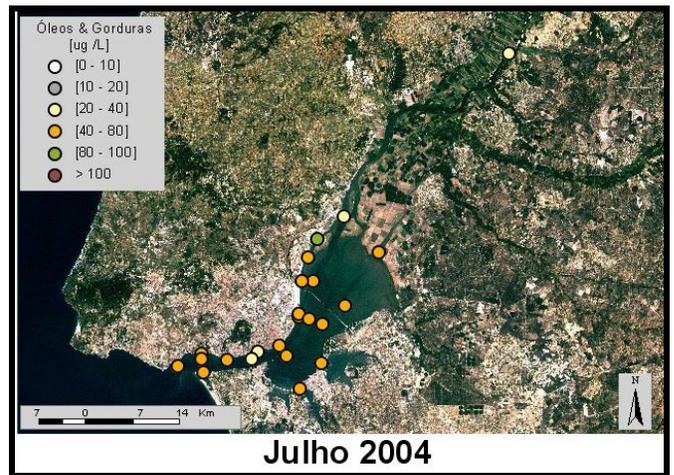
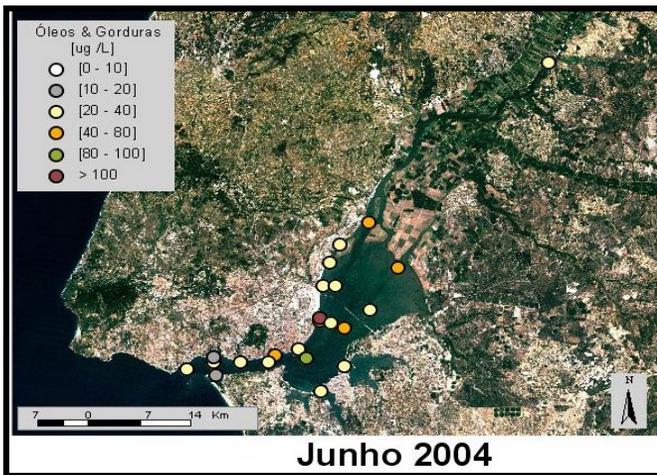
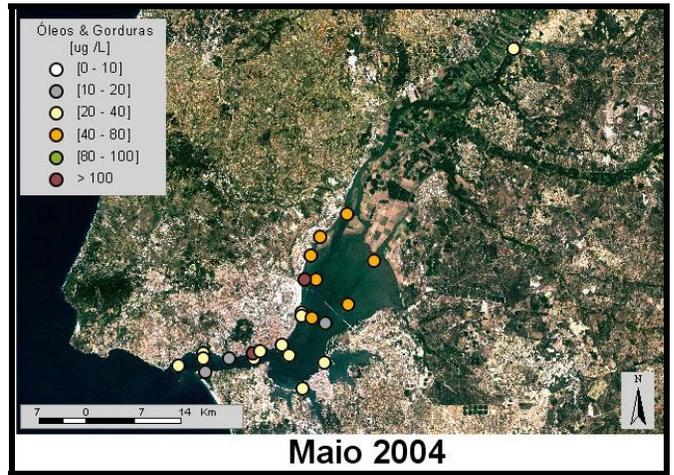
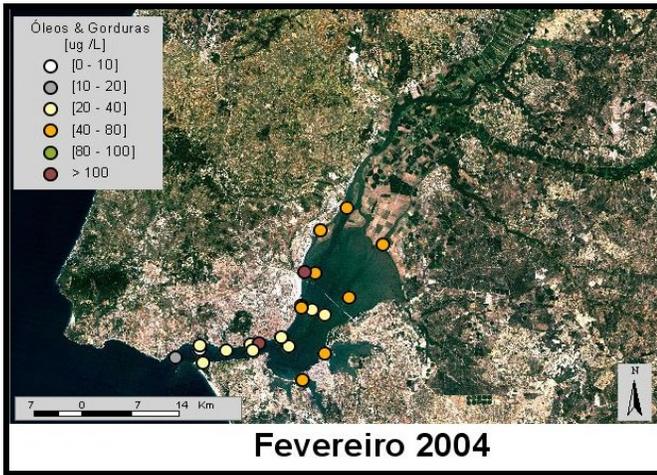


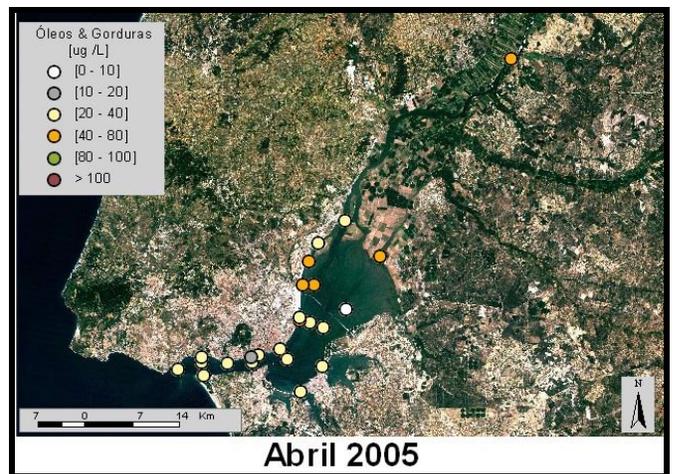
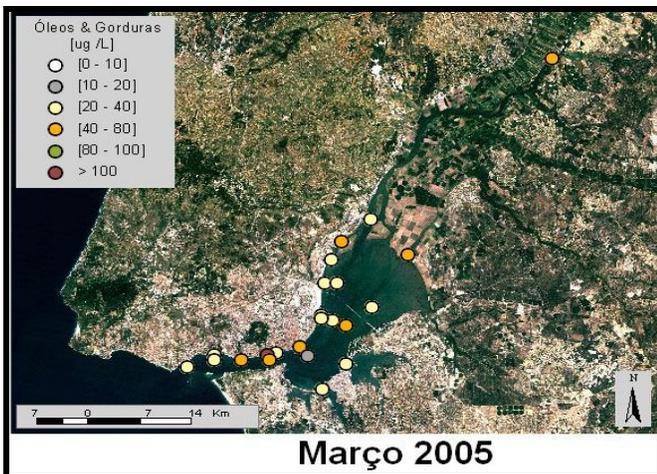
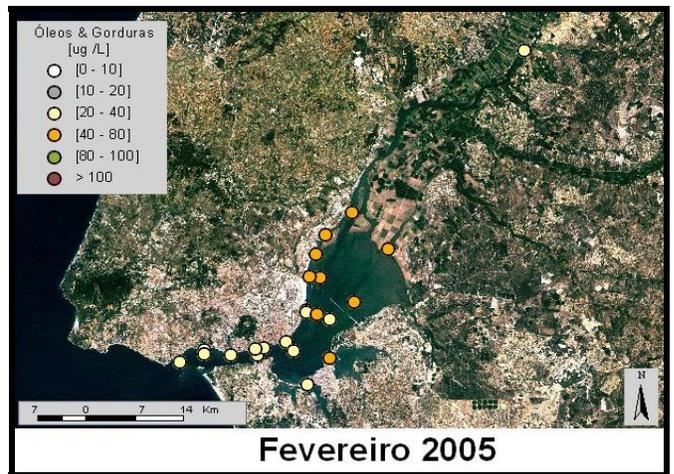
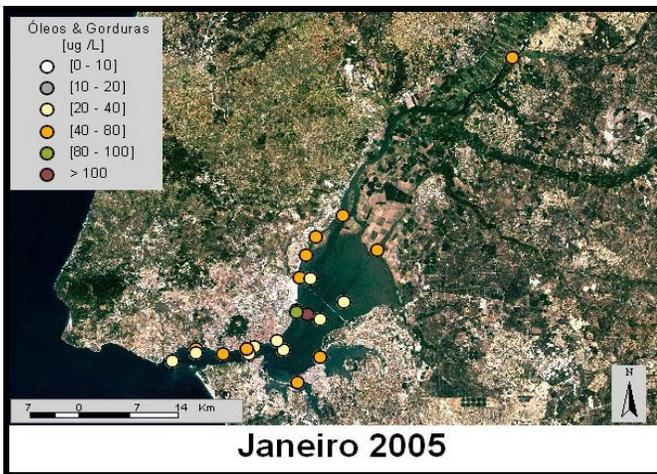
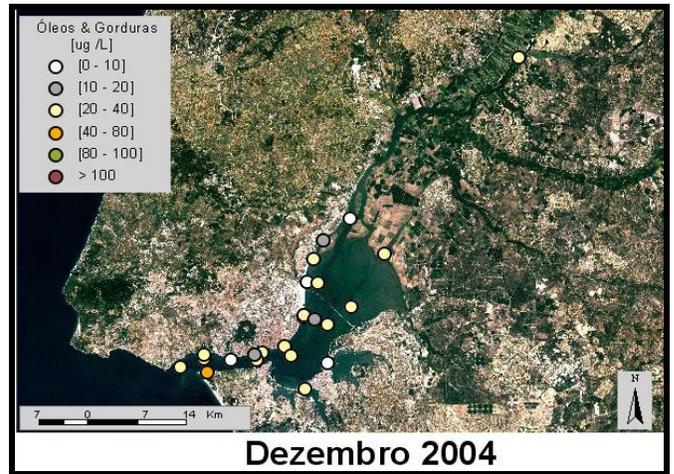
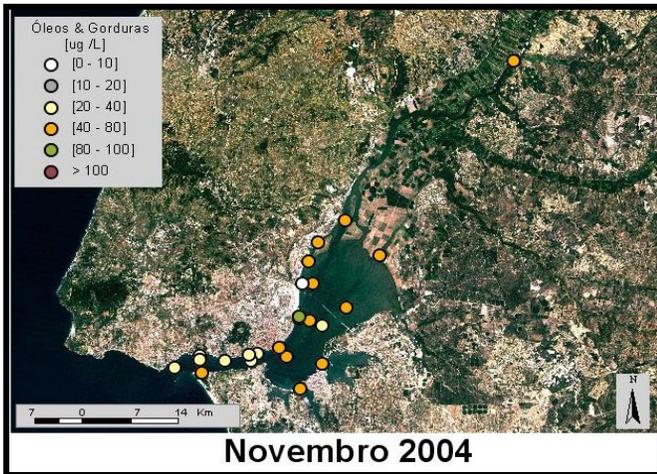
8.3.1.13 *Clorofila a*



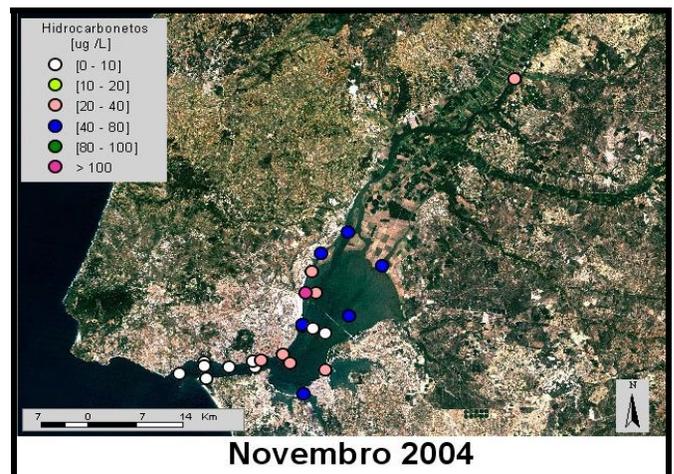
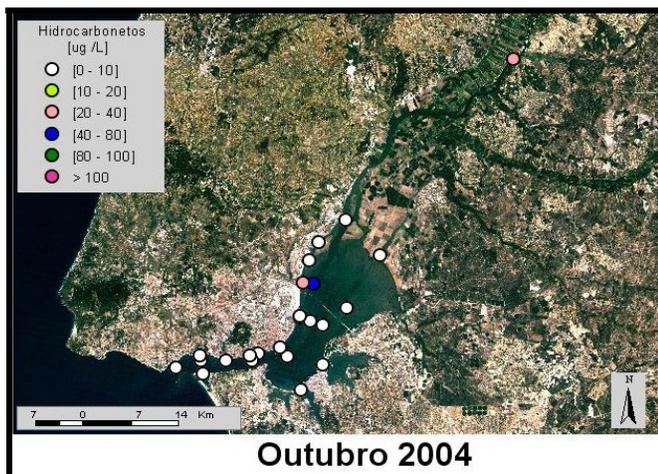
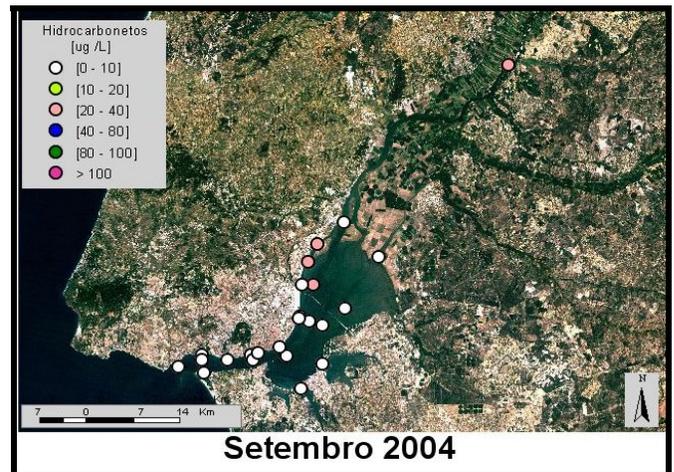
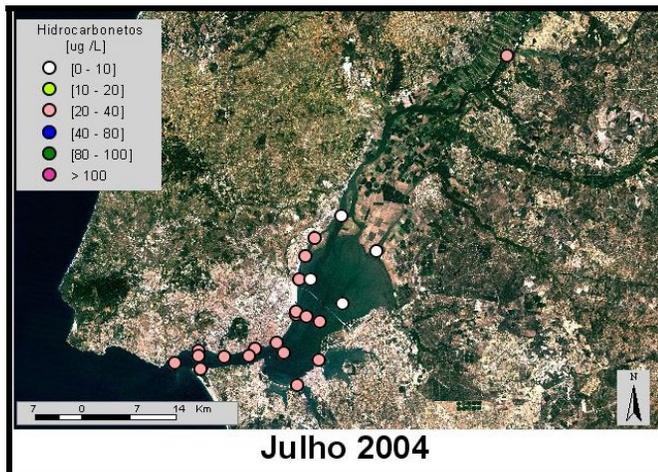
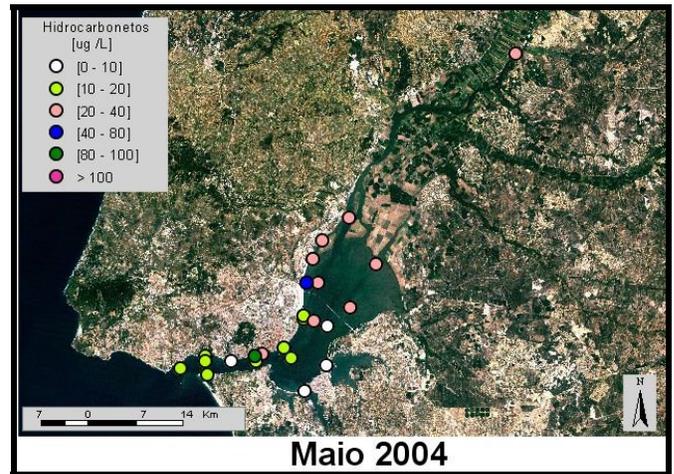
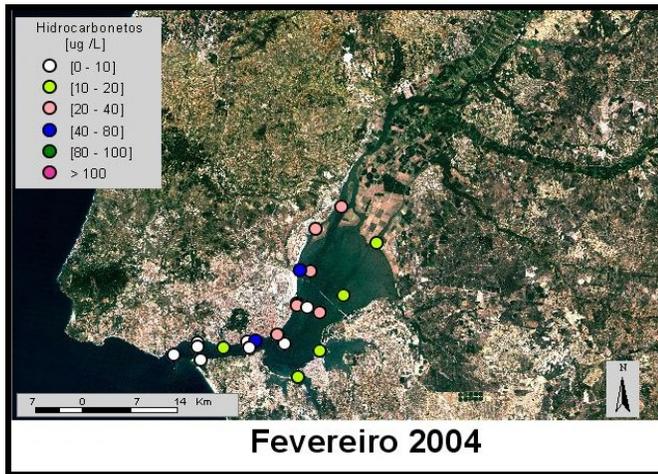


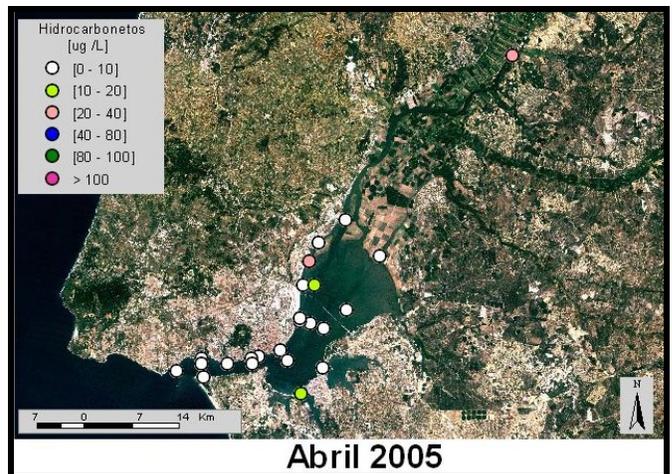
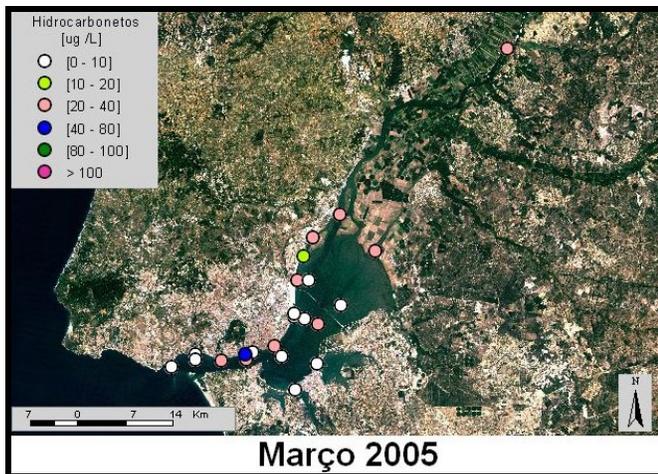
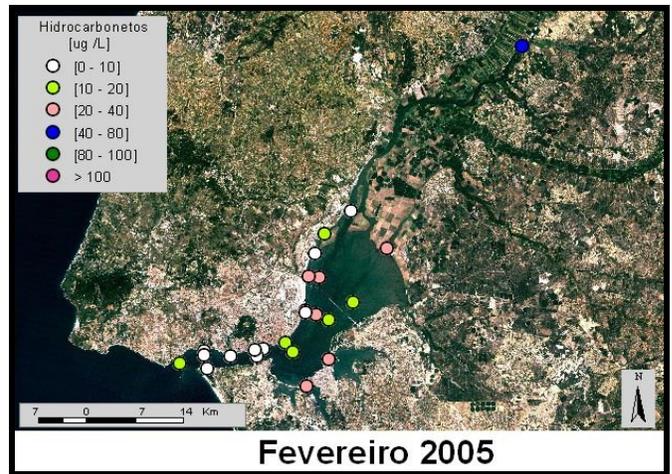
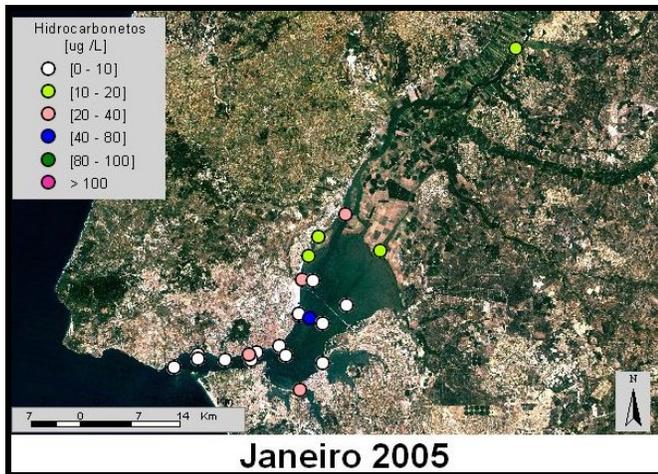
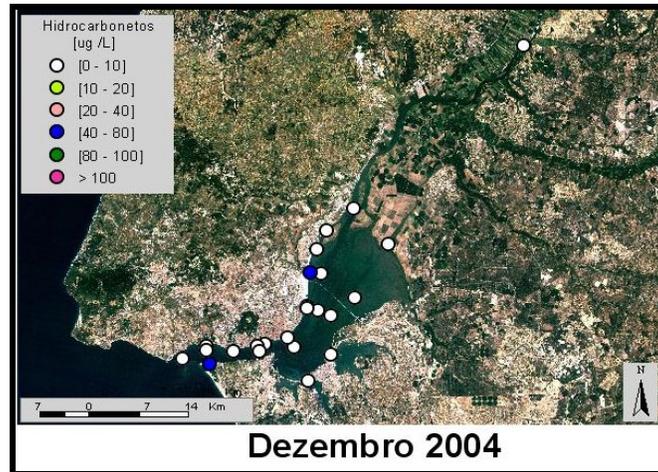
8.3.1.14 Óleos e Gorduras [$\mu\text{g/l}$]



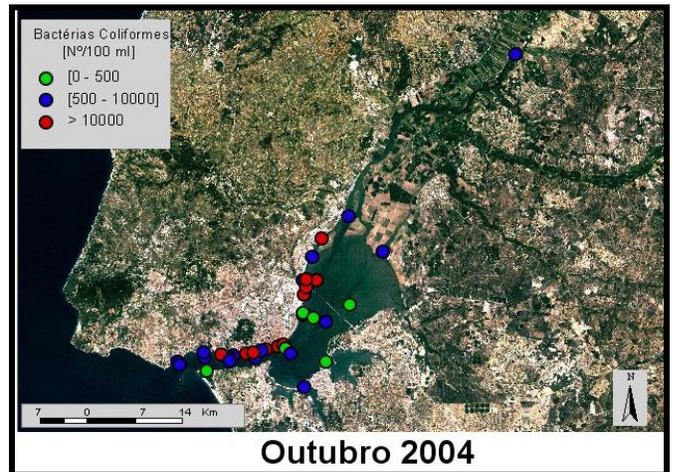
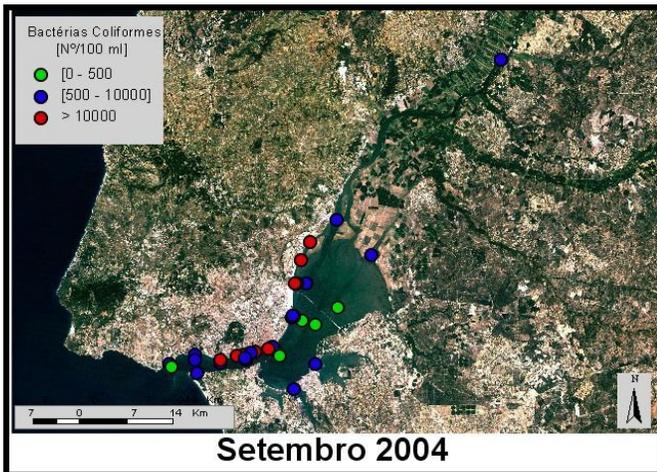
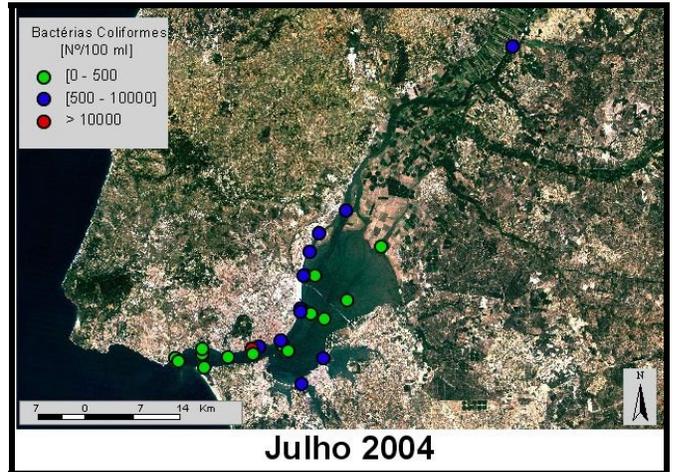
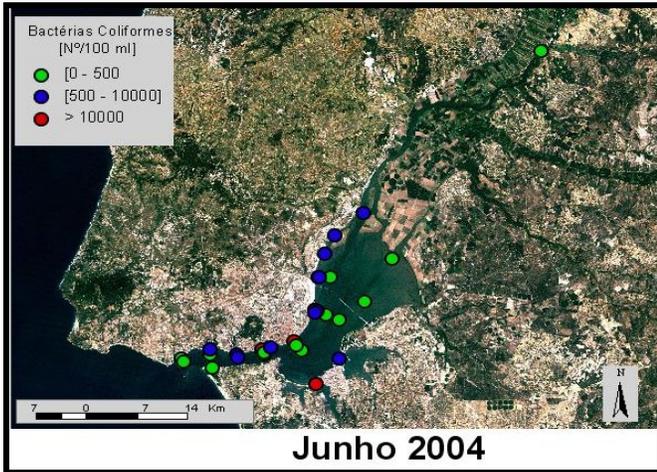
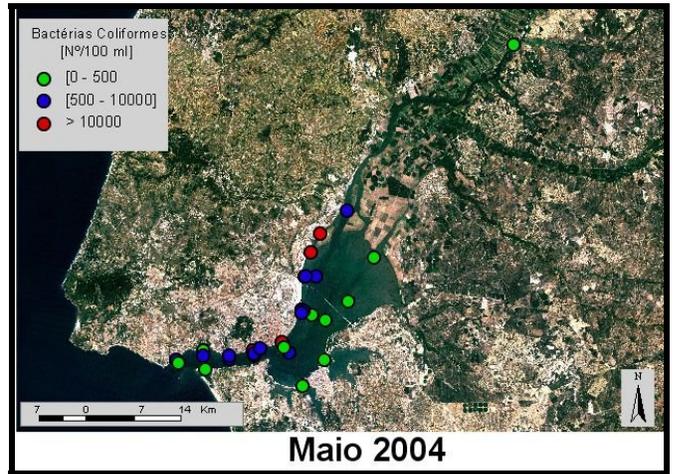
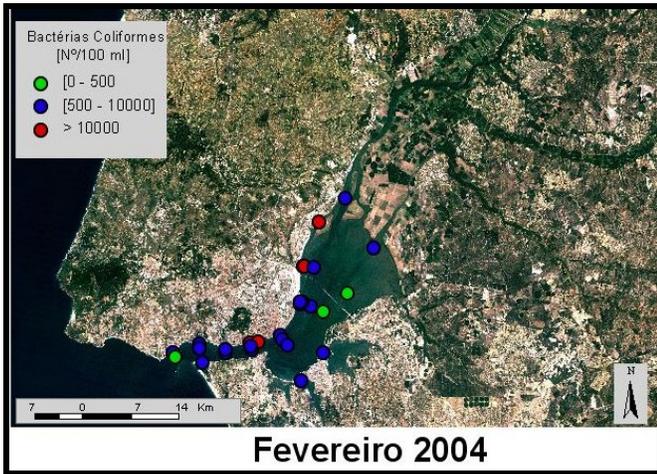


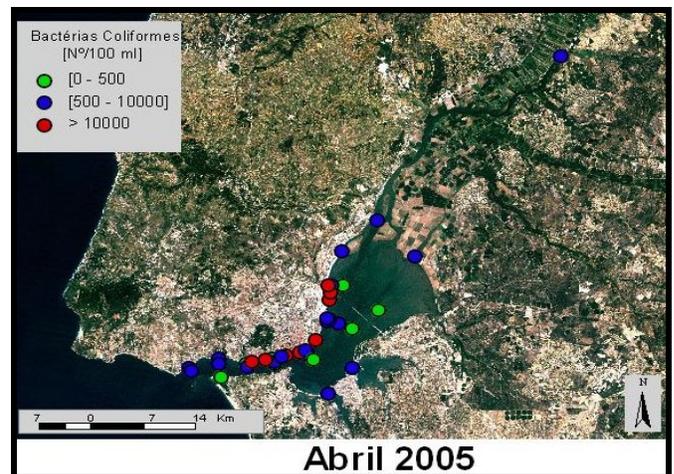
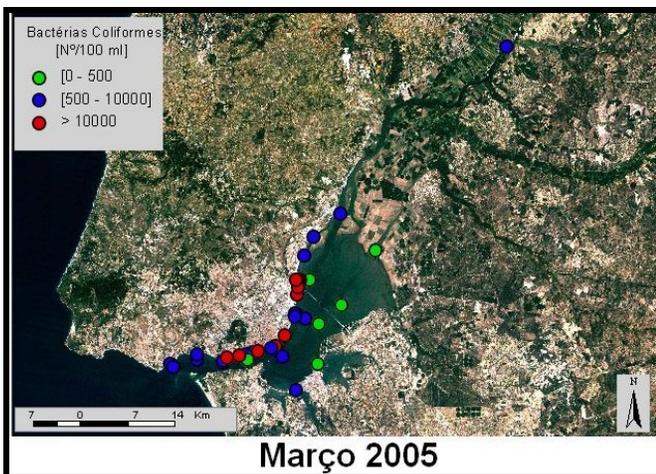
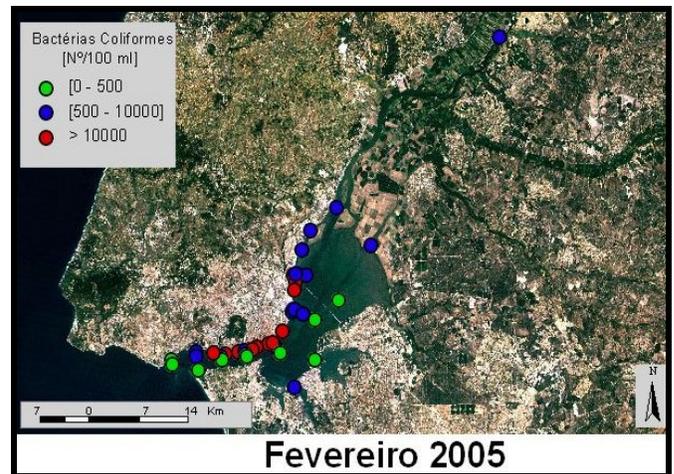
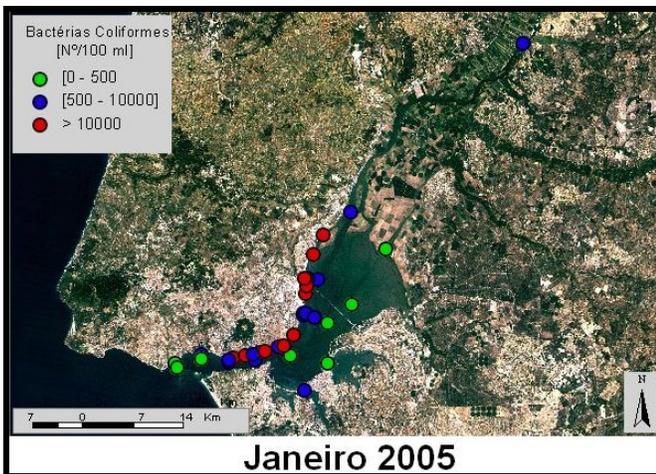
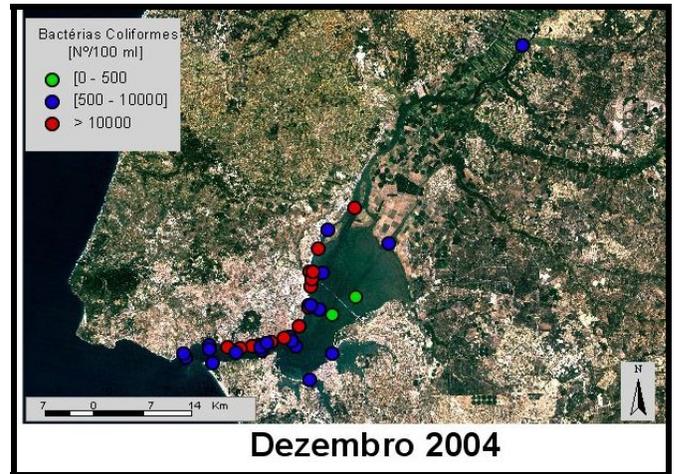
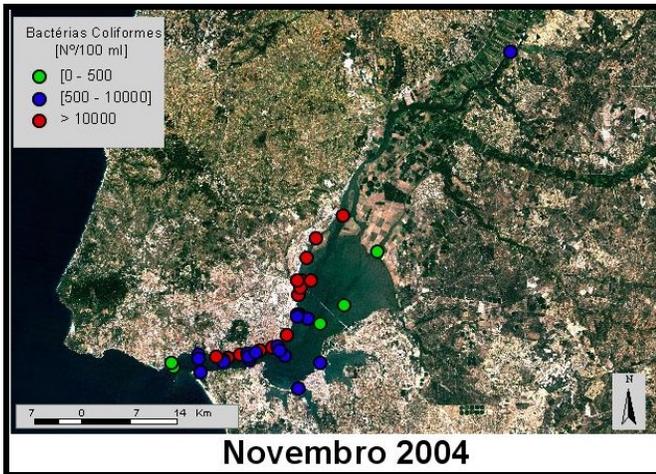
8.3.1.15 Hidrocarbonetos [$\mu\text{g/l}$]



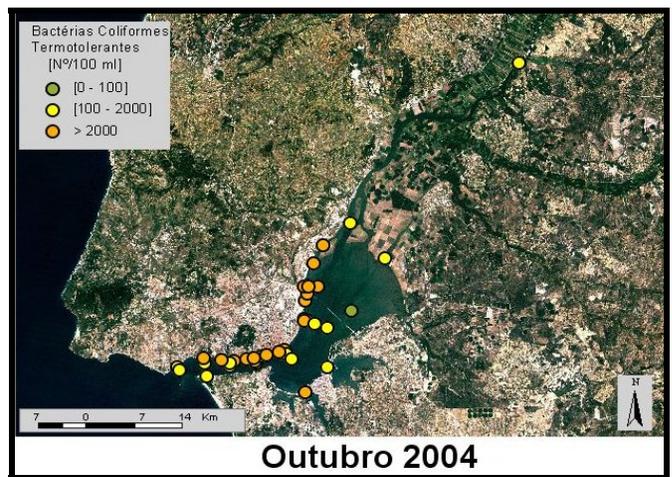
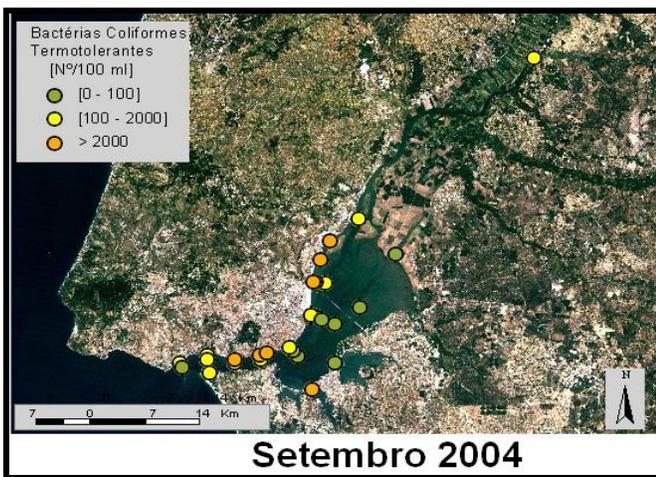
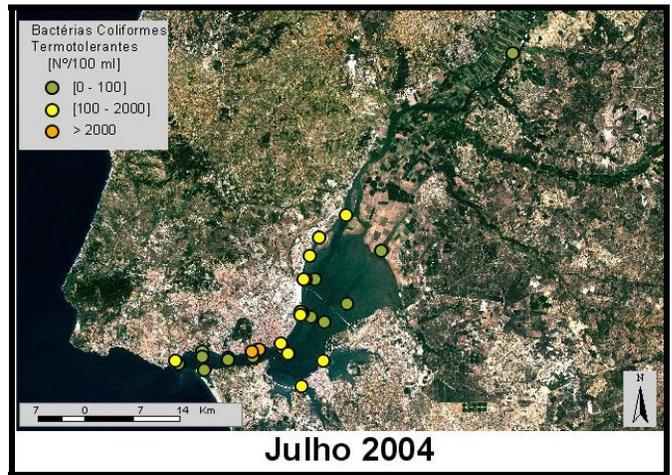
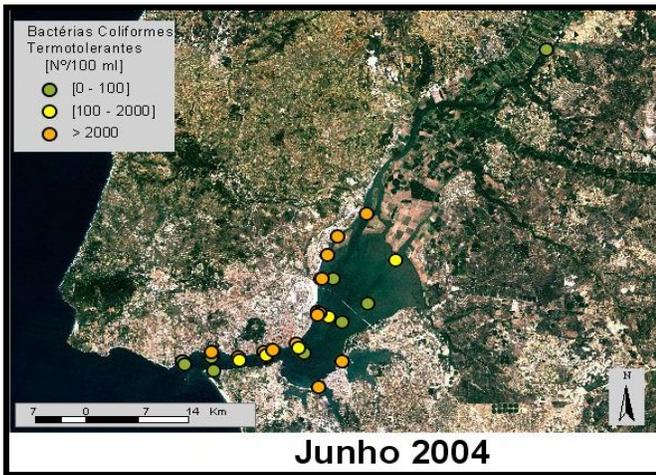
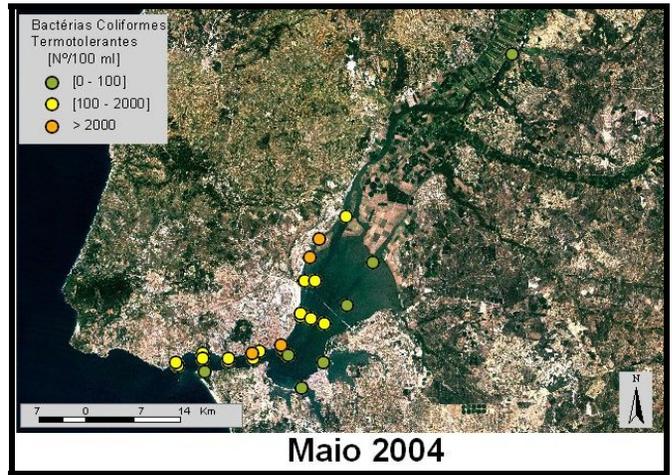
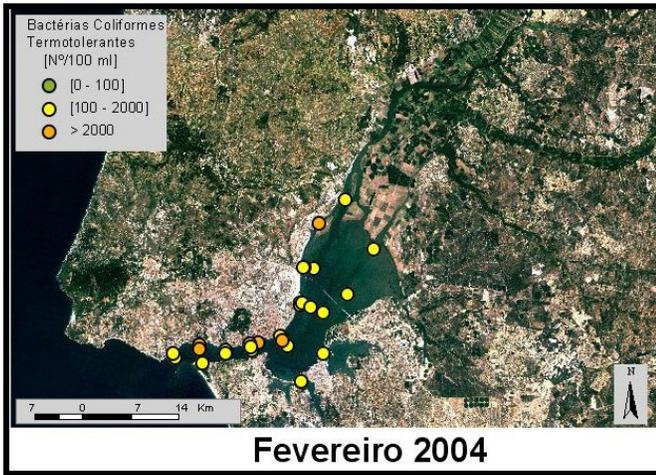


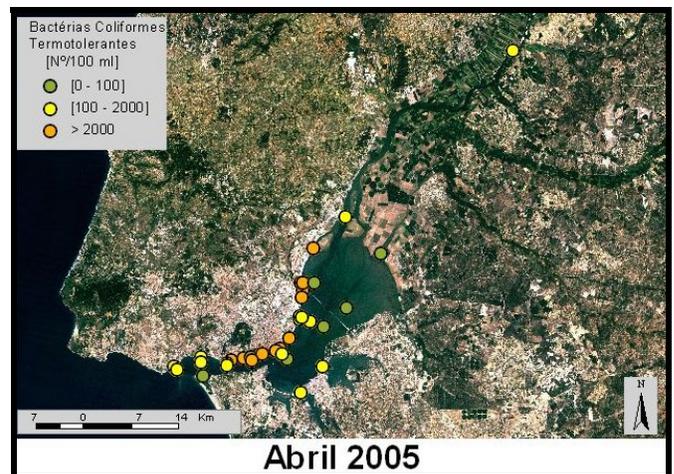
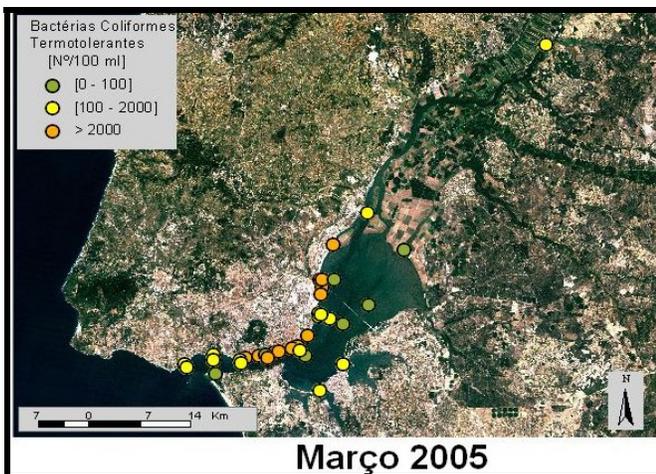
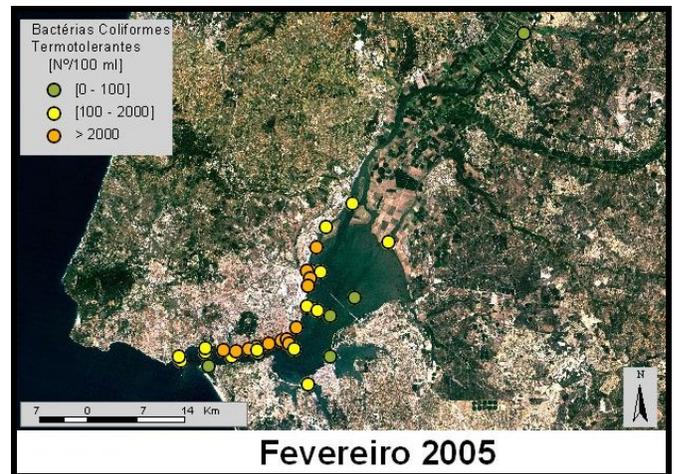
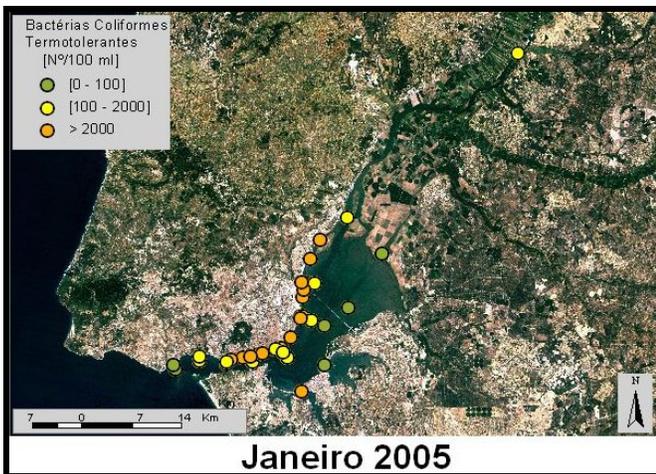
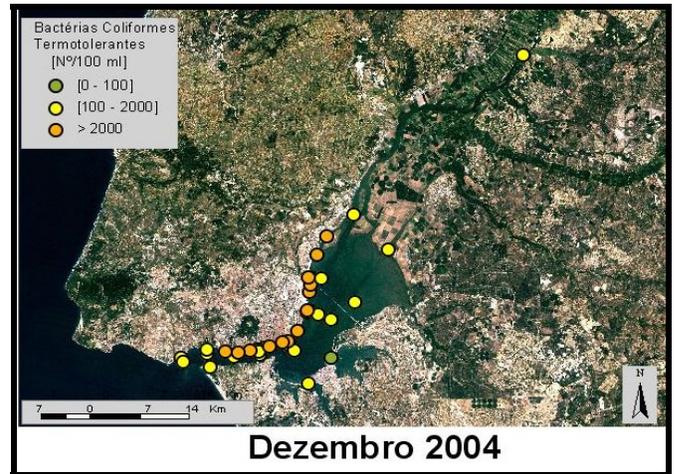
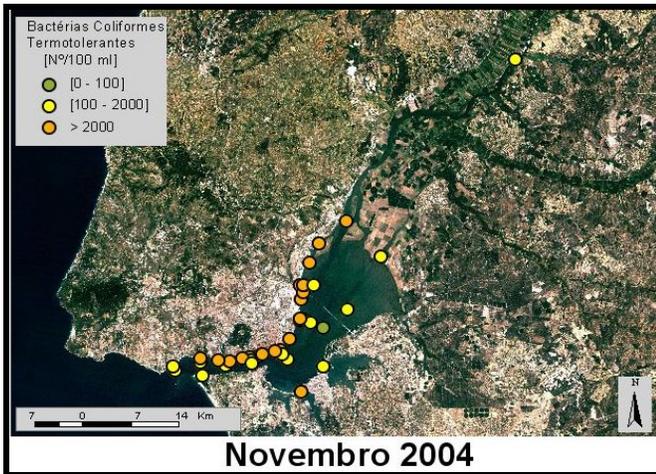
8.3.1.16 Bactérias Coliformes [organismos/100ml]



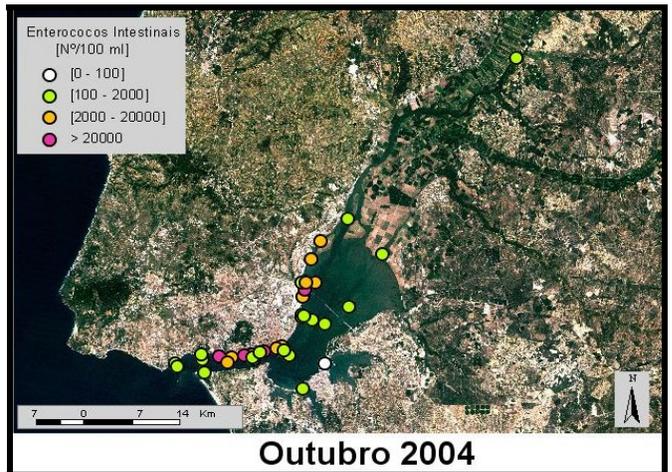
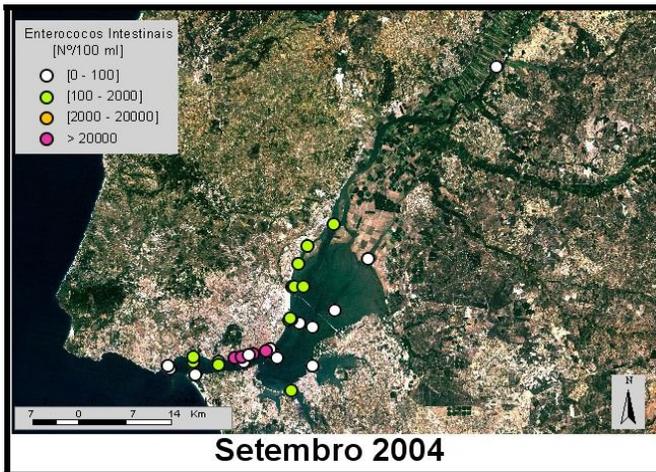
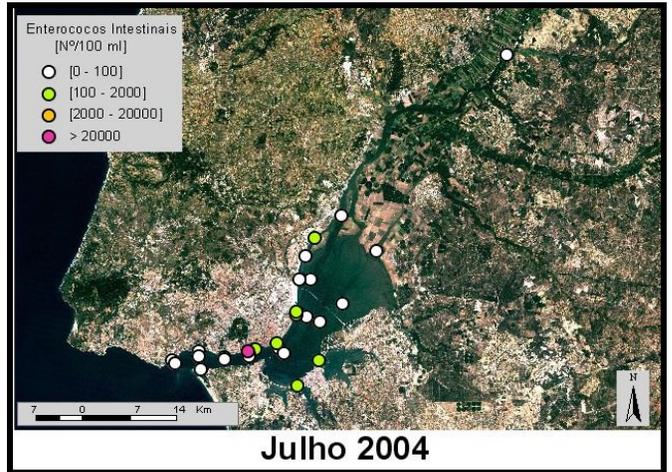
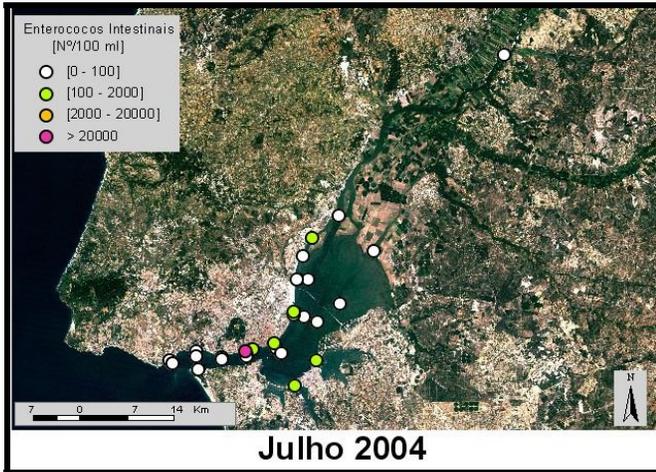
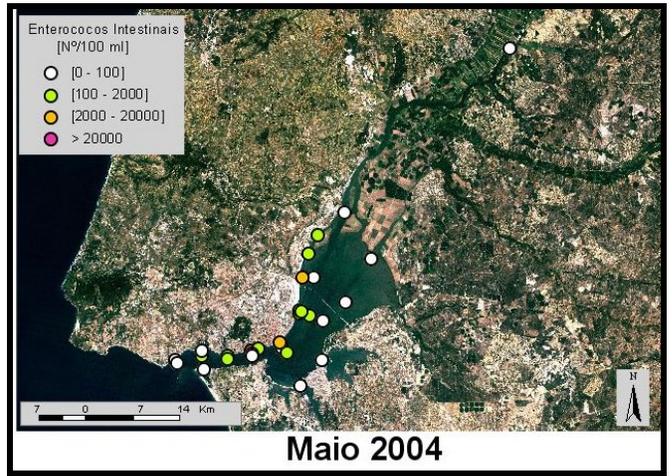
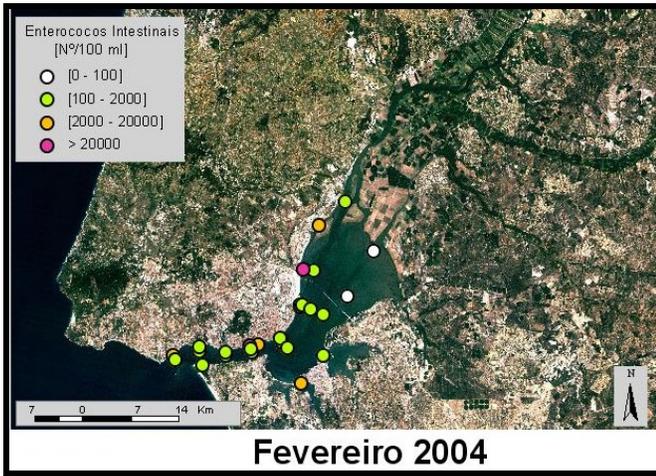


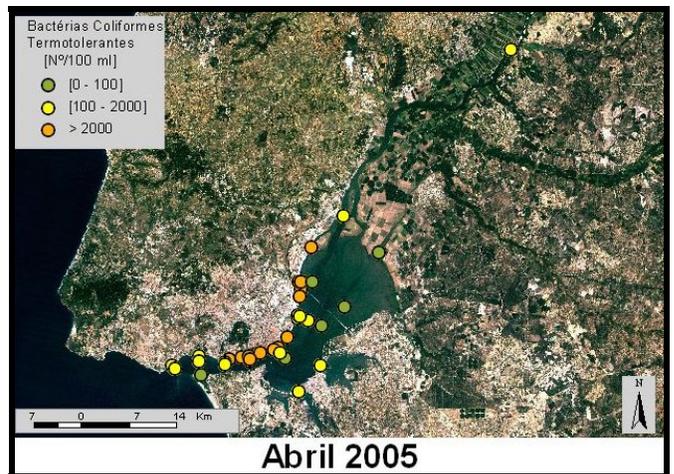
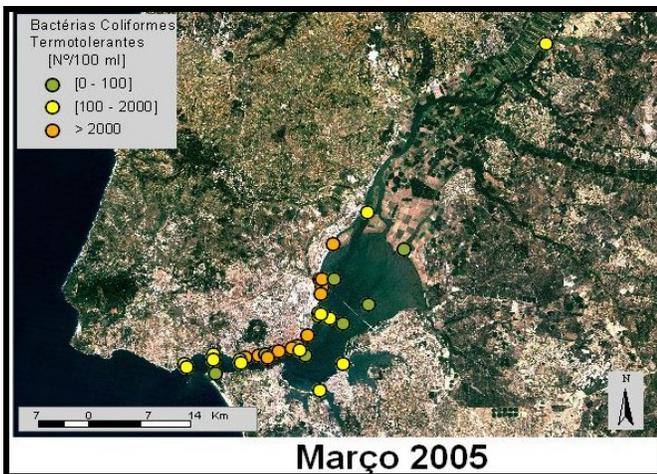
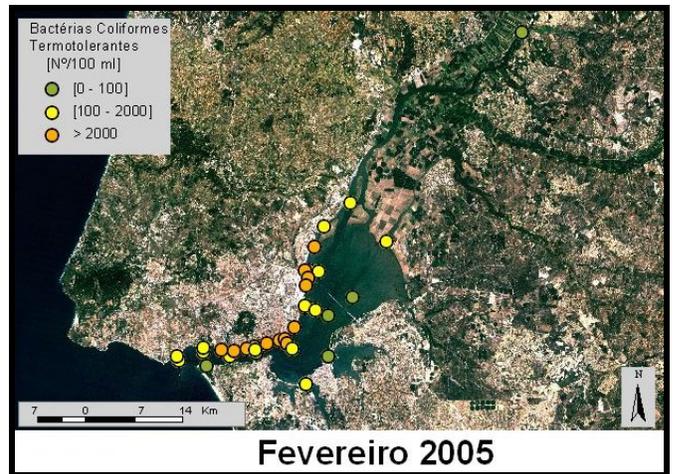
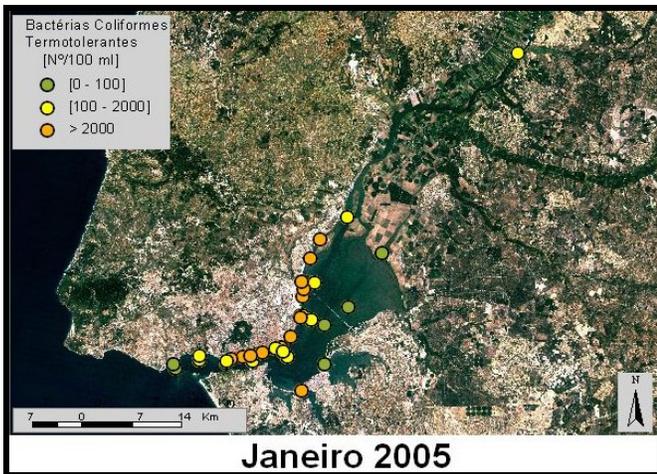
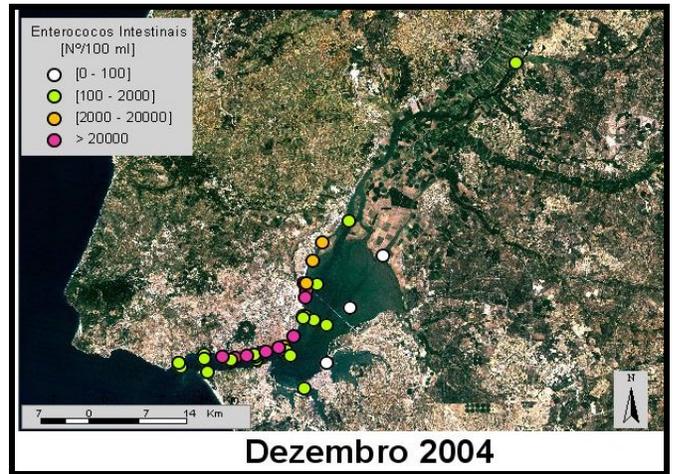
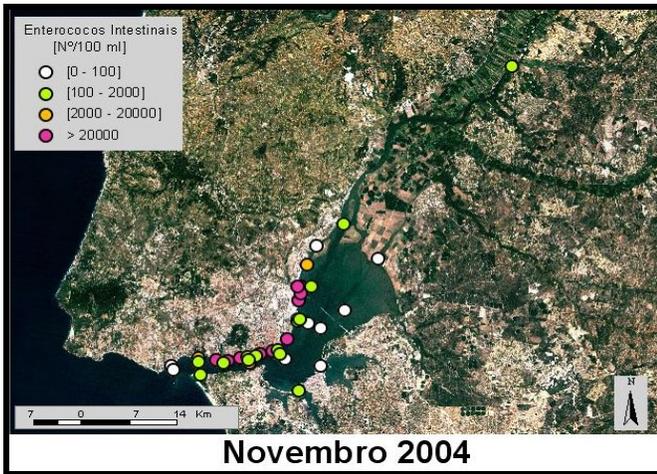
8.3.1.17 Bactérias Coliformes Termotolerantes [organismos/100ml]



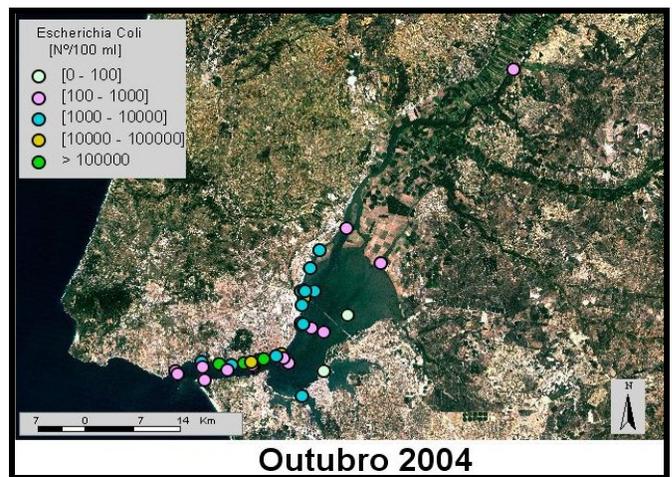
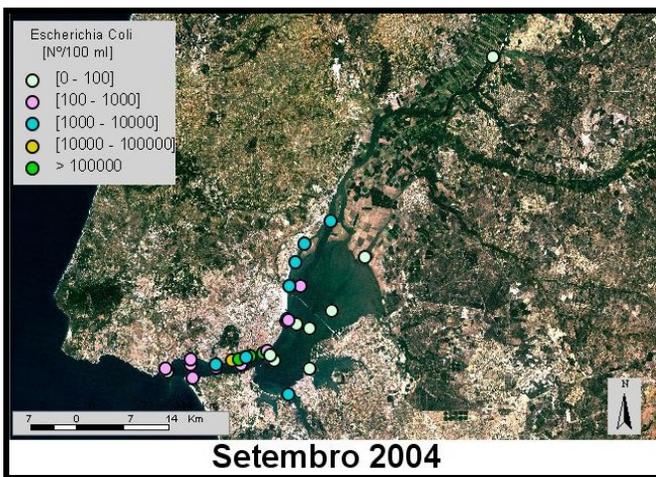
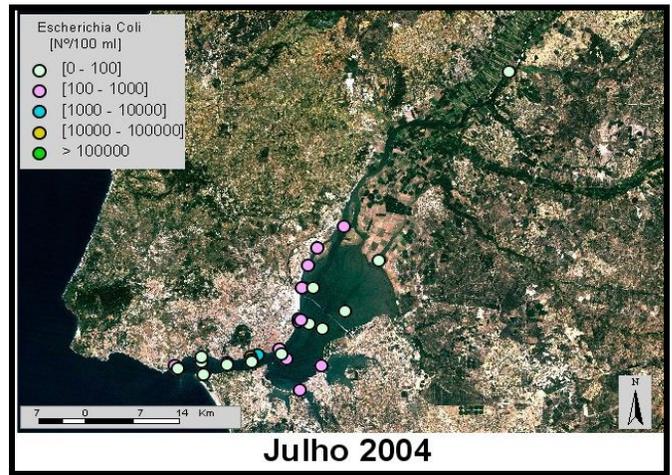
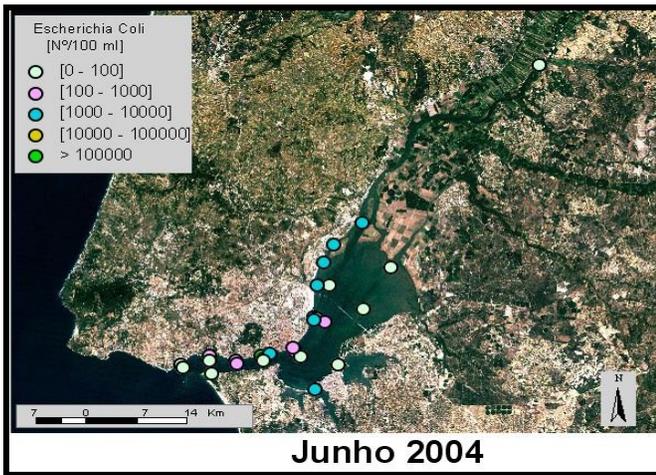
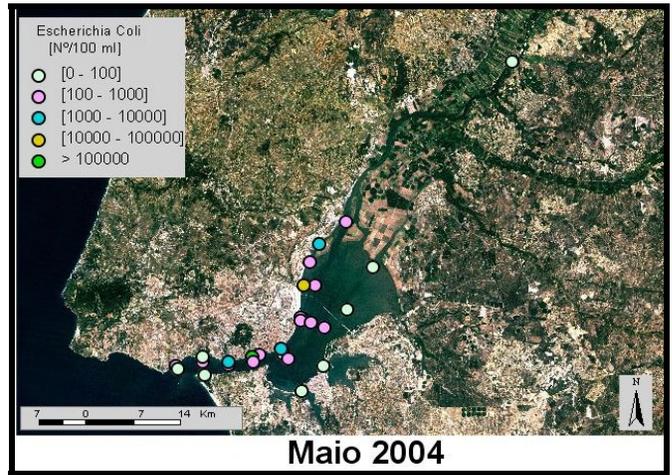
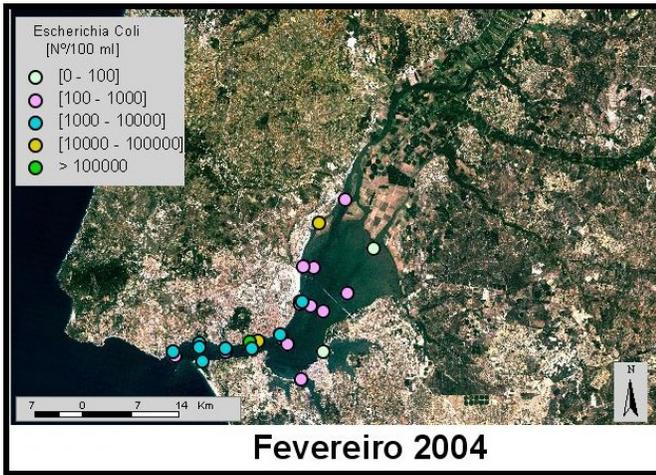


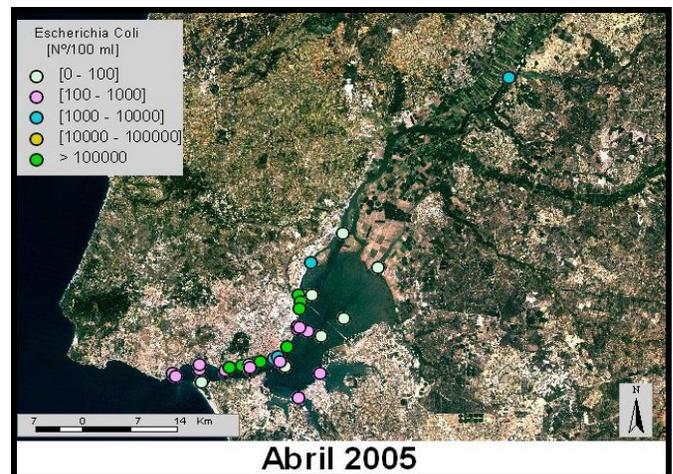
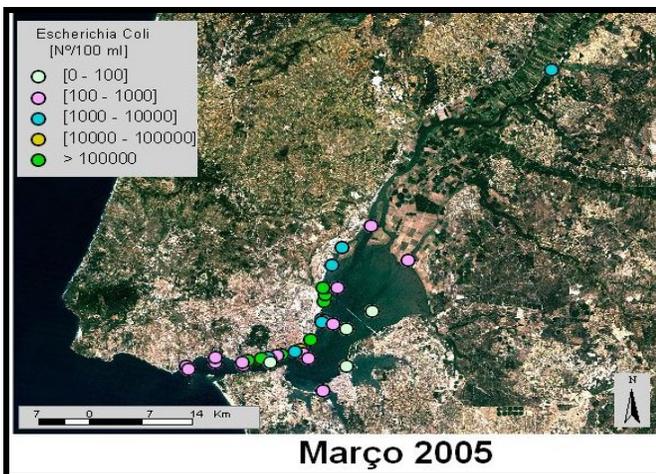
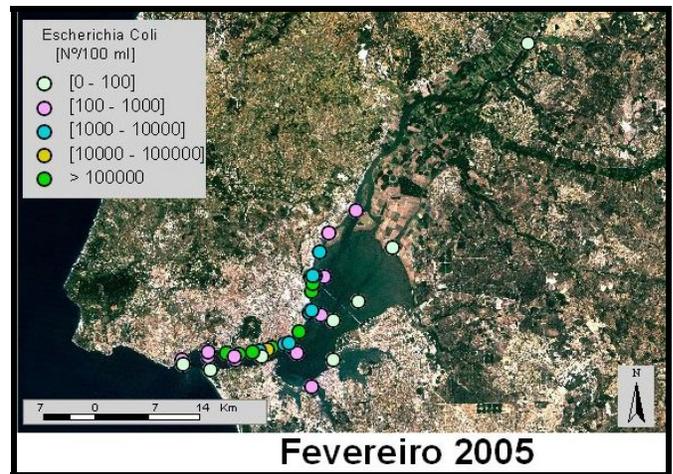
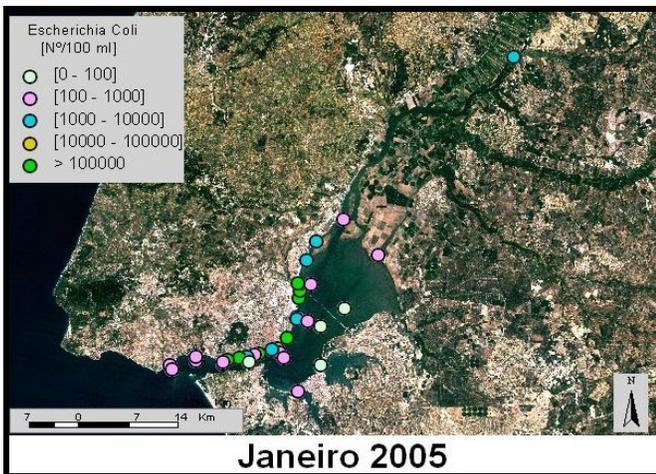
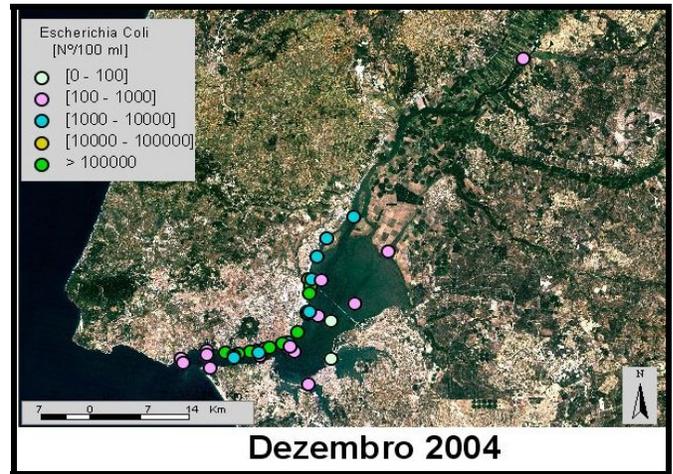
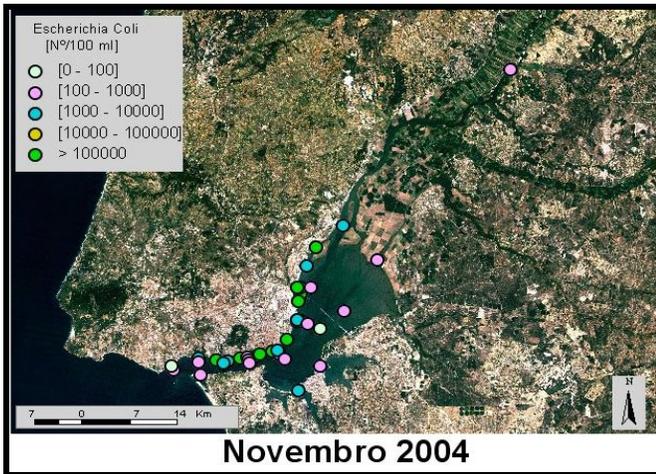
8.3.1.18 *Enterococos Intestinais* [organismos/100ml]





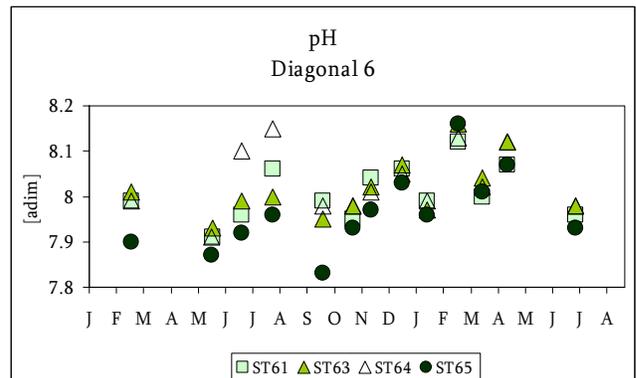
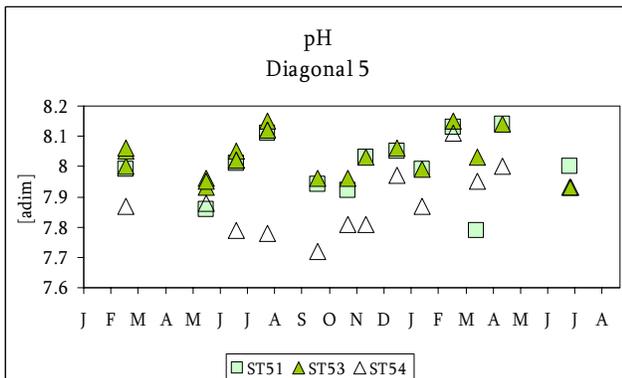
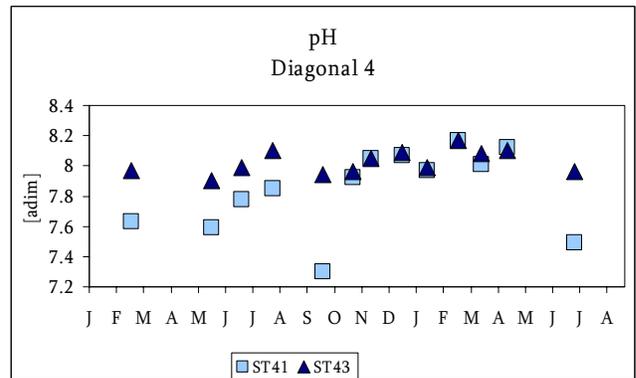
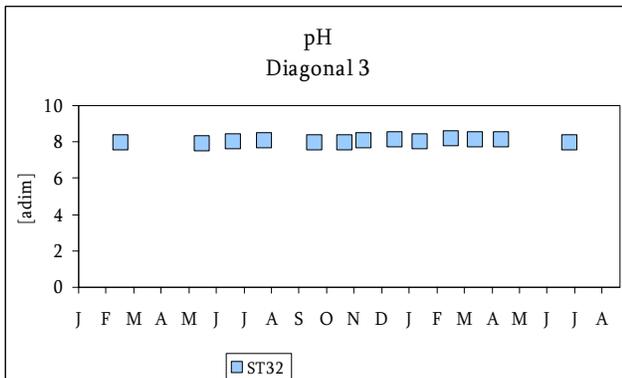
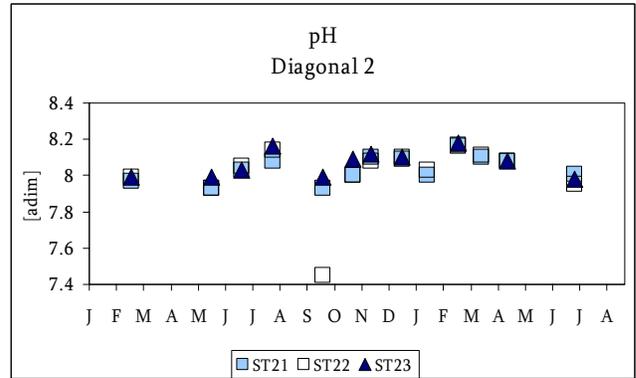
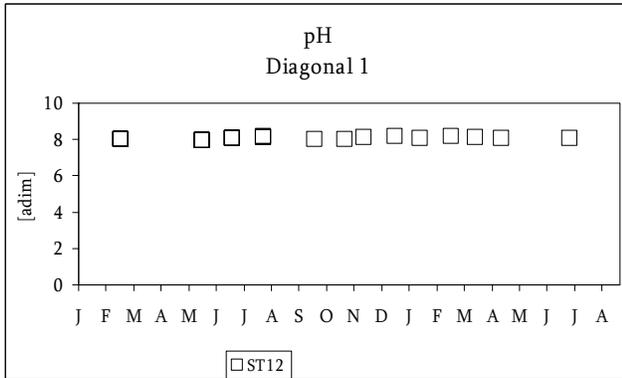
8.3.1.19 *Escherichia Coli* [organismos/100ml]

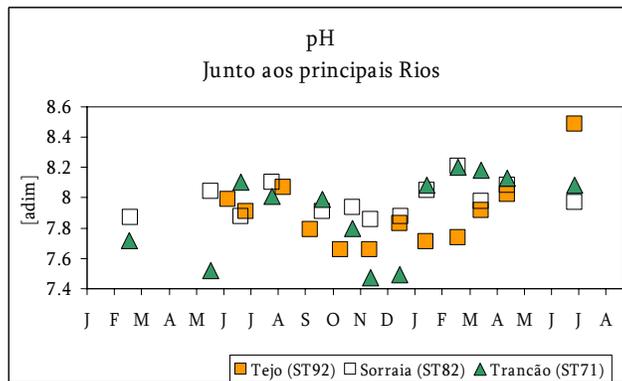
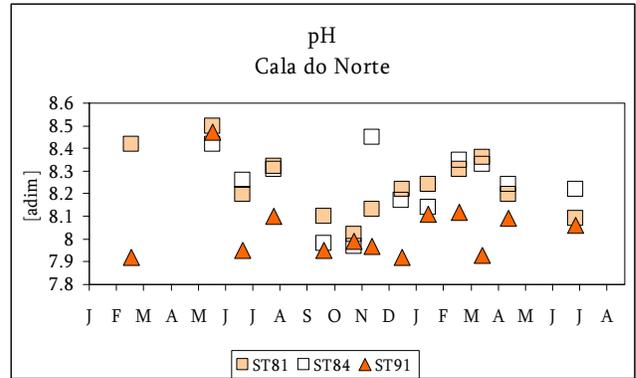
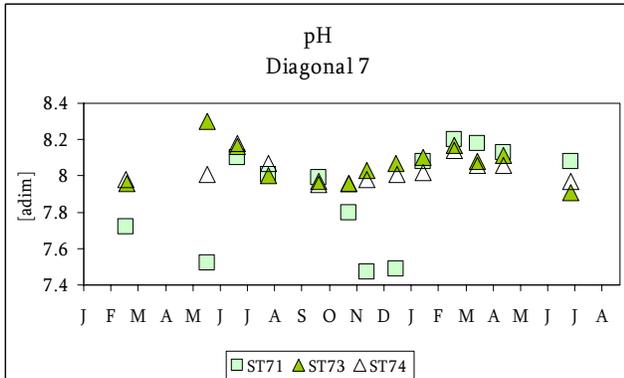




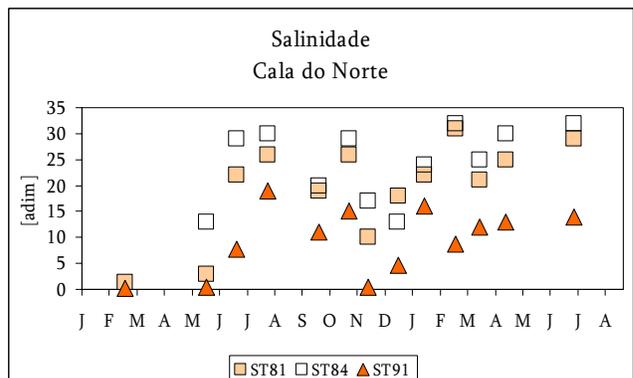
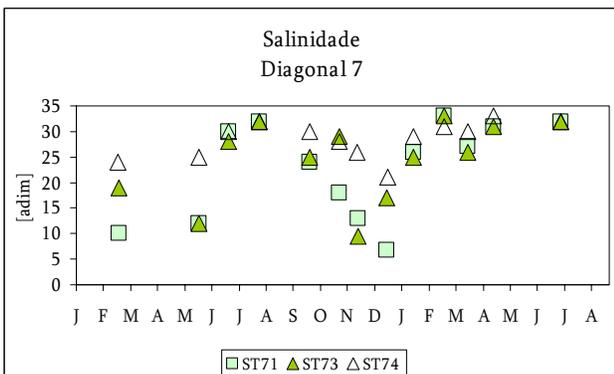
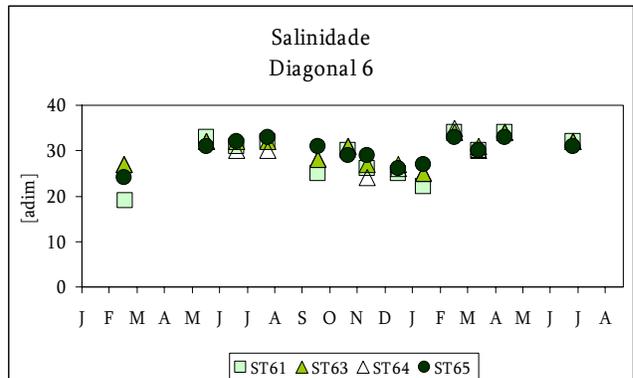
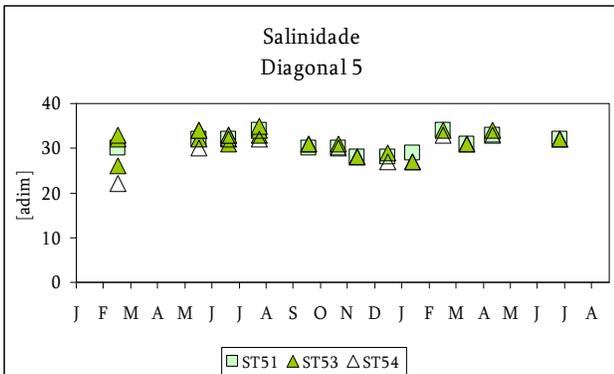
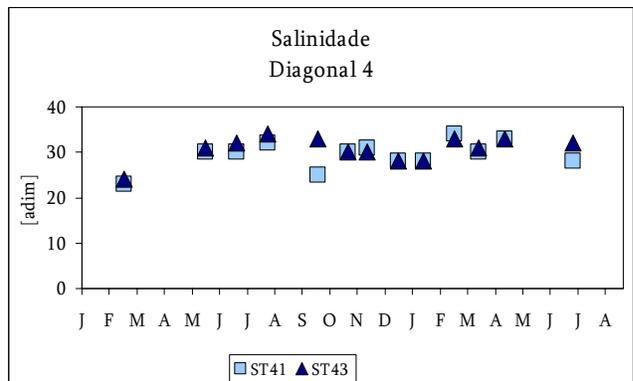
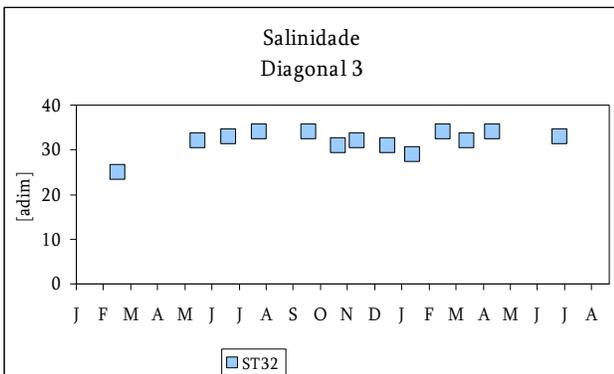
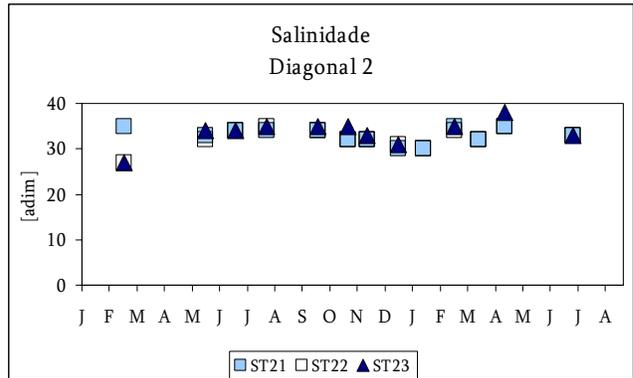
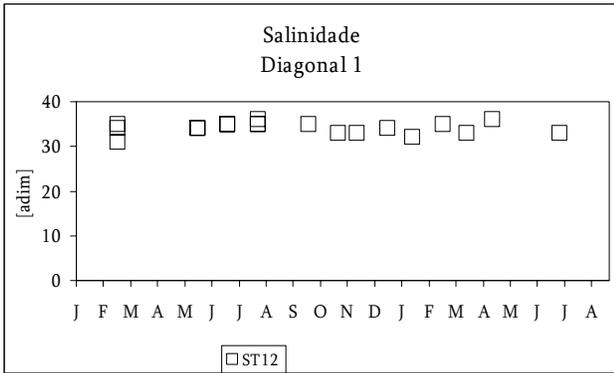
8.3.2 Evolução Temporal

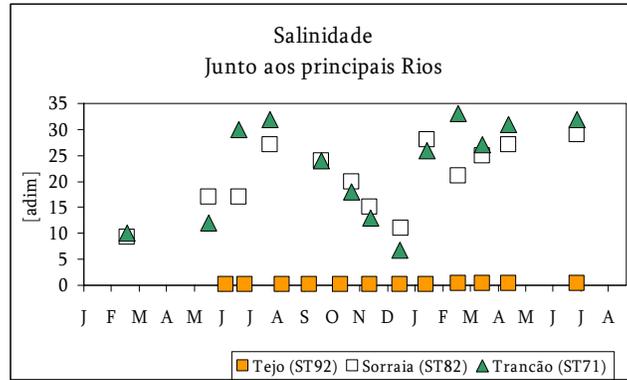
8.3.2.1 pH



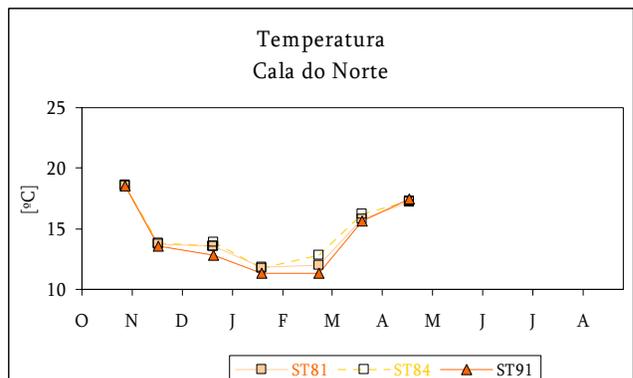
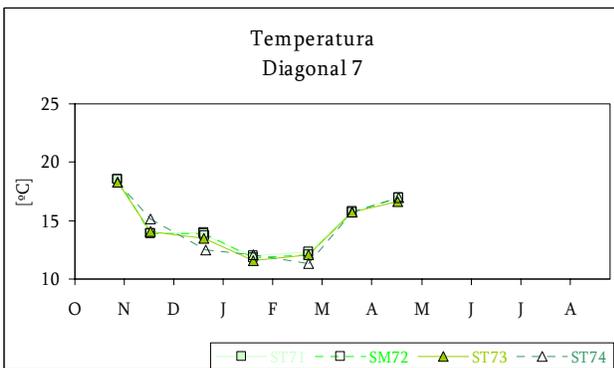
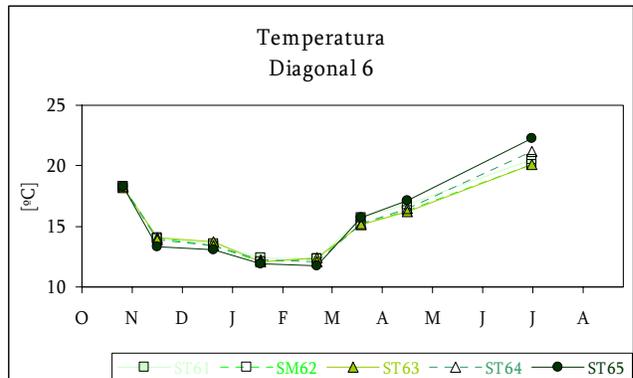
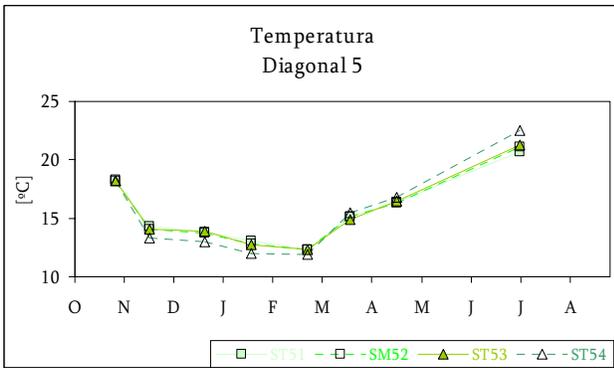
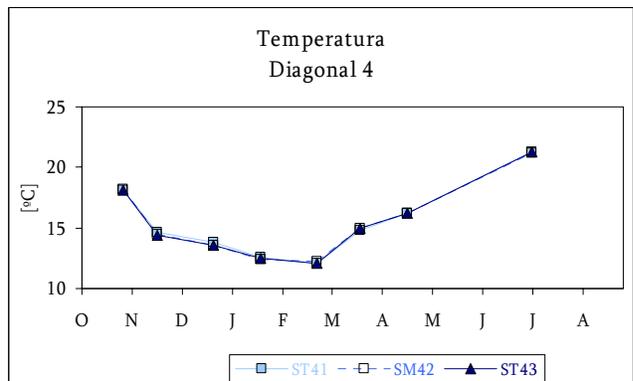
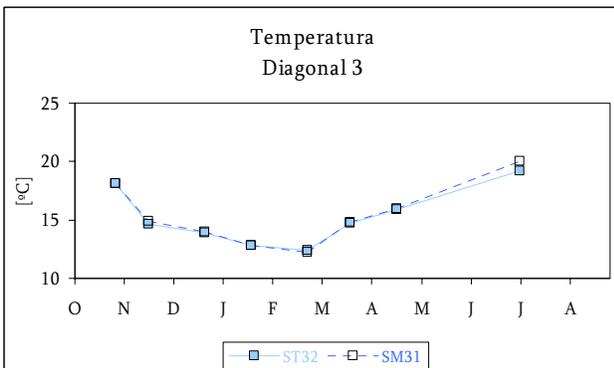
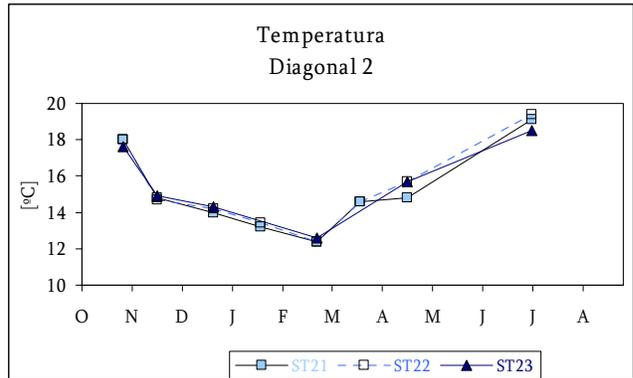
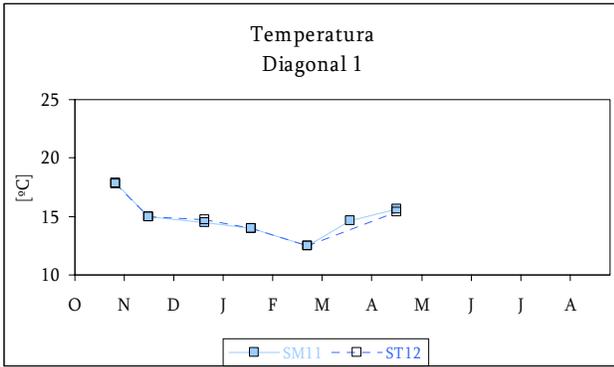


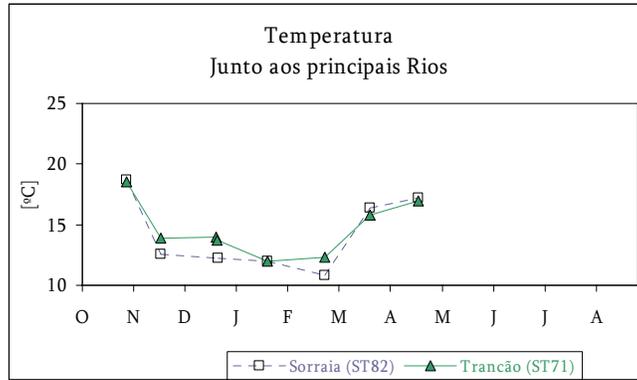
8.3.2.2 Salinidade



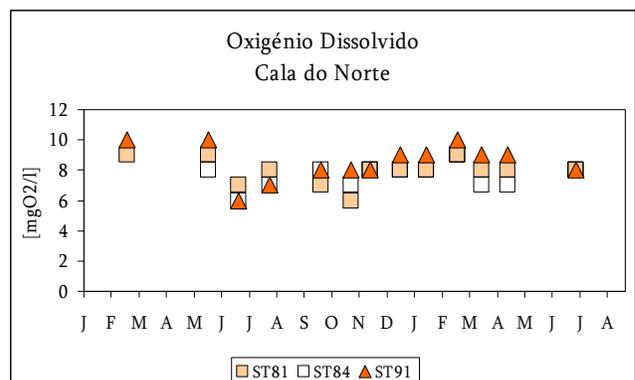
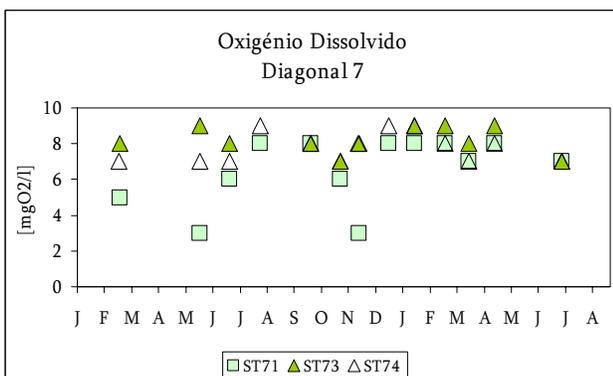
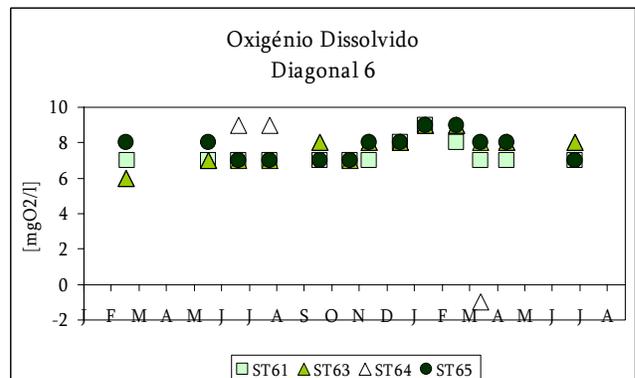
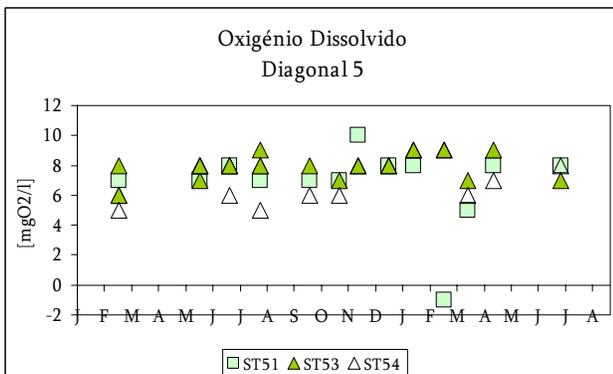
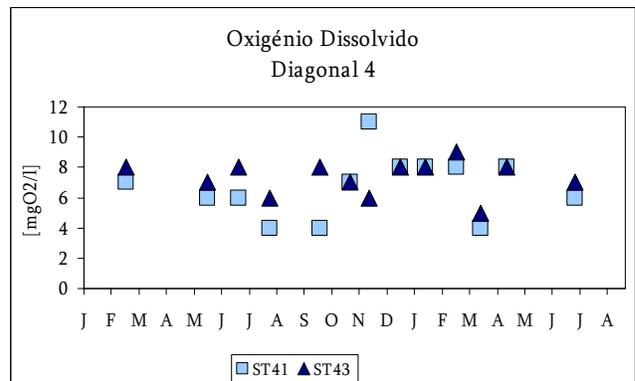
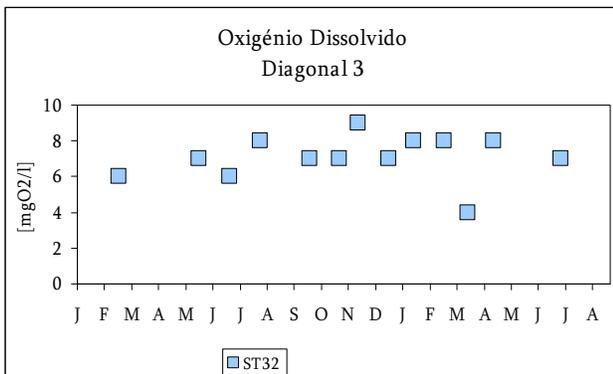
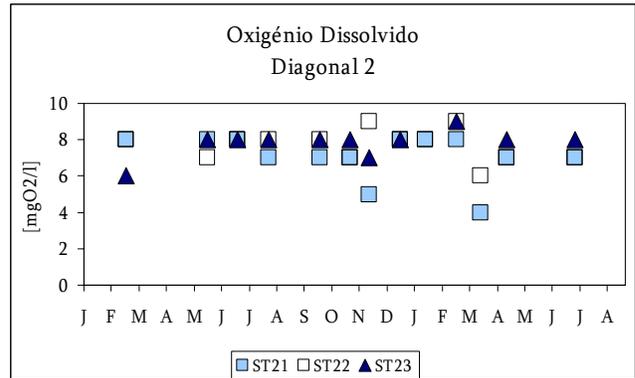
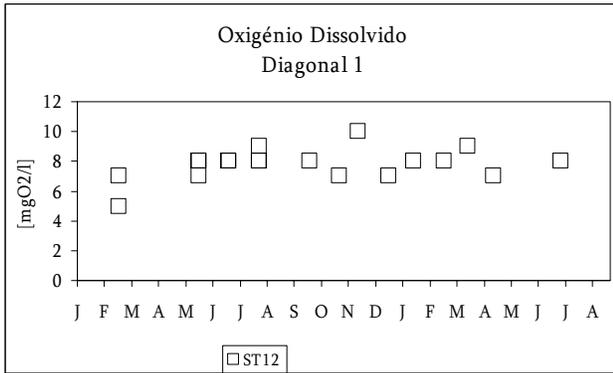


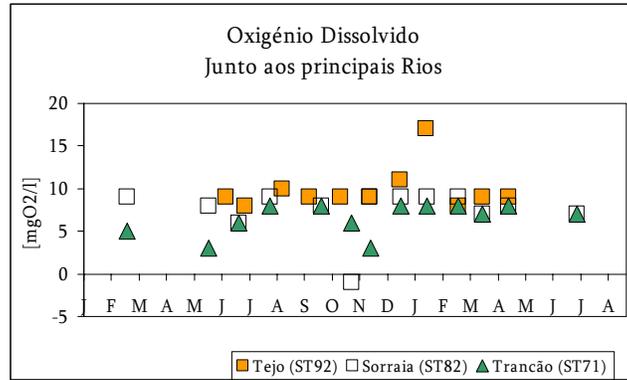
8.3.2.3 Temperatura [°C]



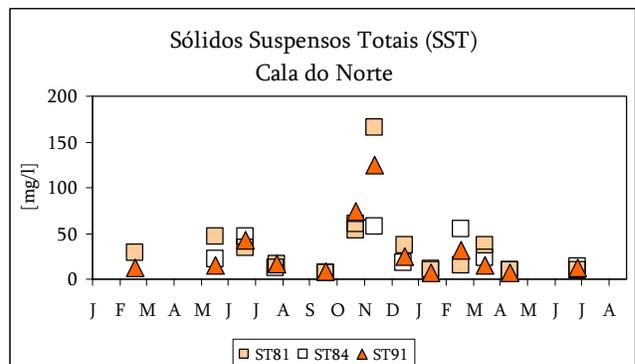
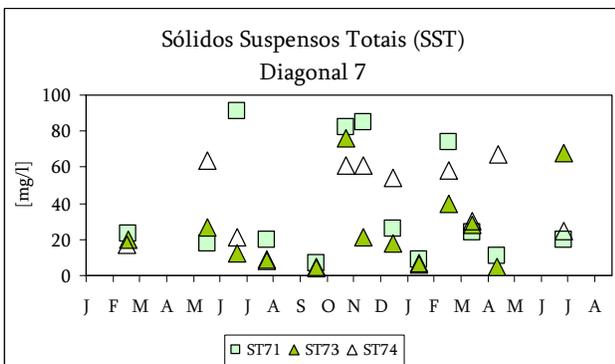
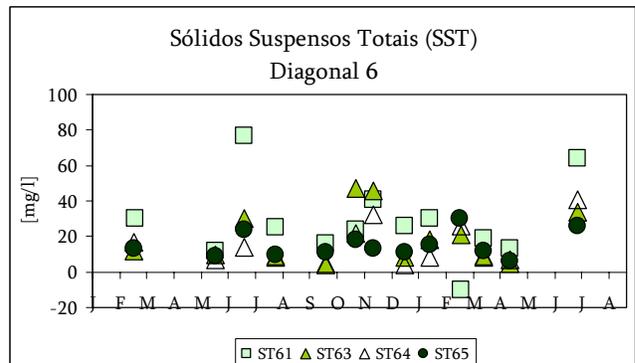
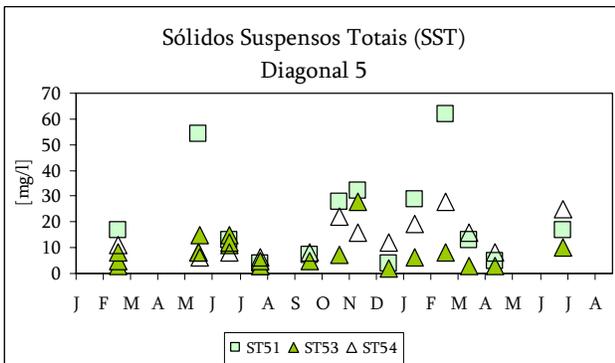
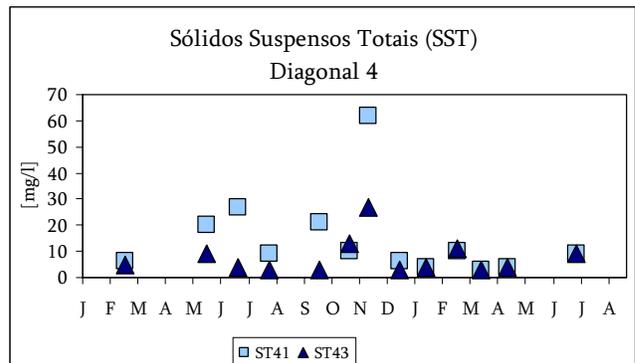
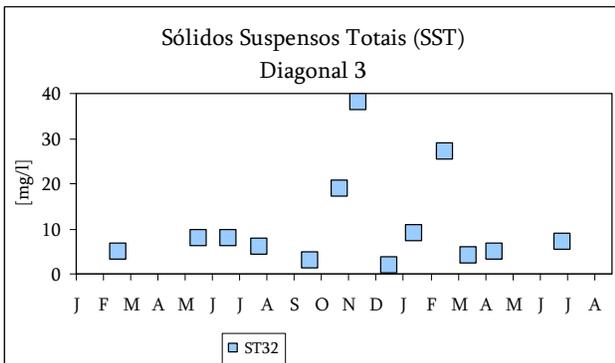
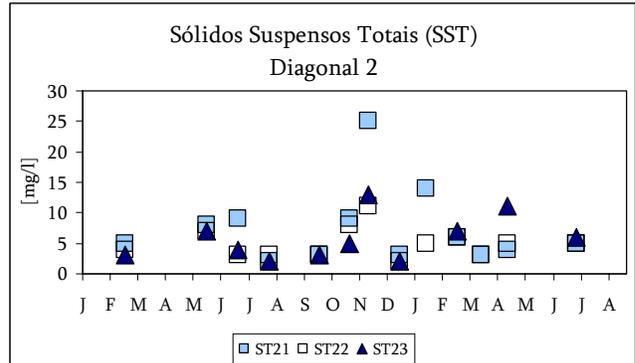
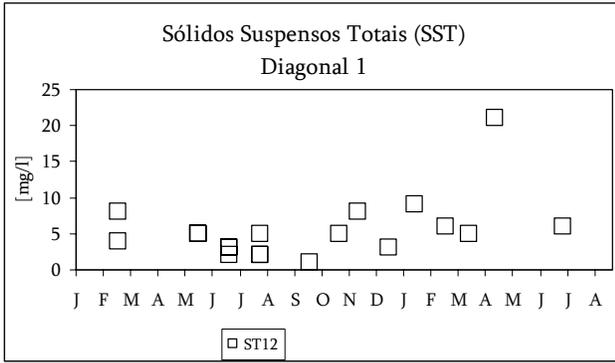


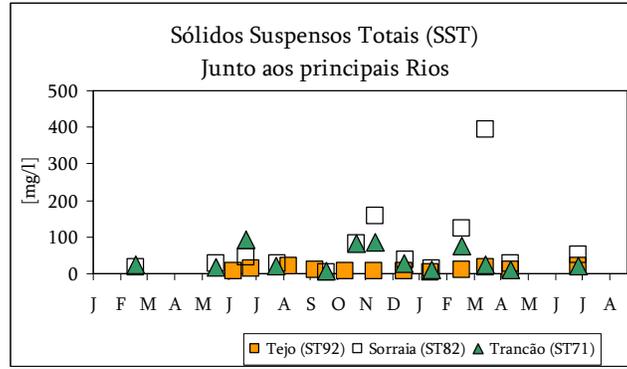
8.3.2.4 Oxigénio Dissolvido [mg O₂/l]



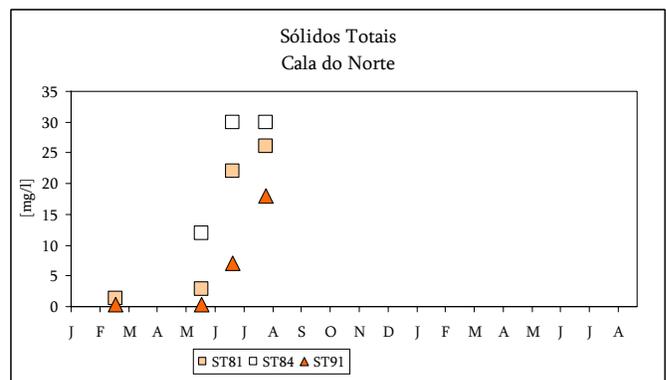
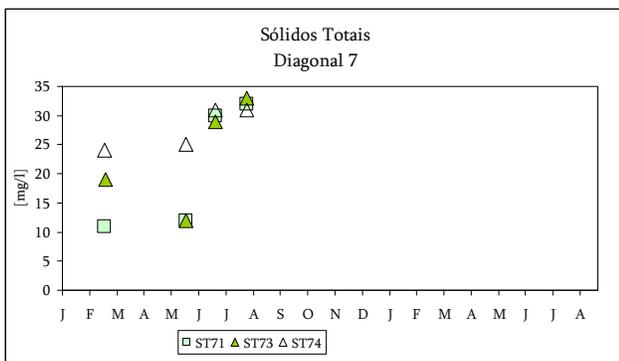
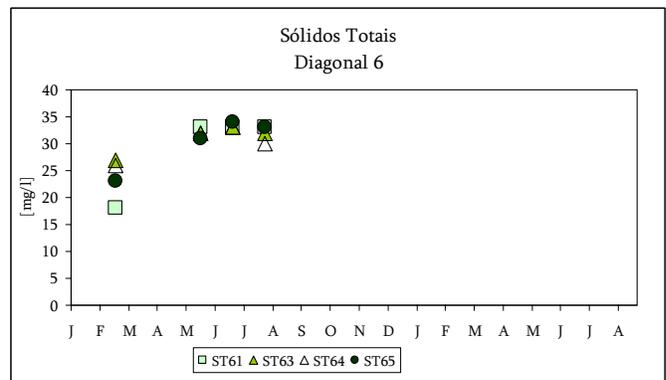
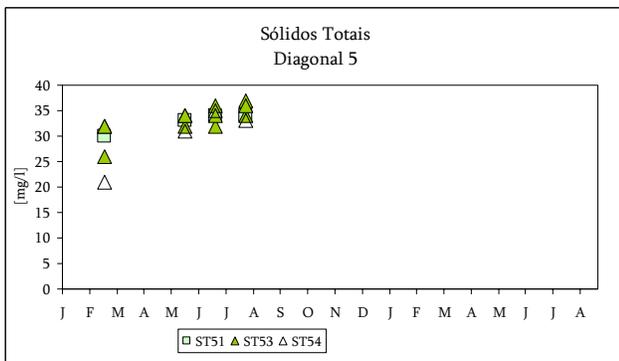
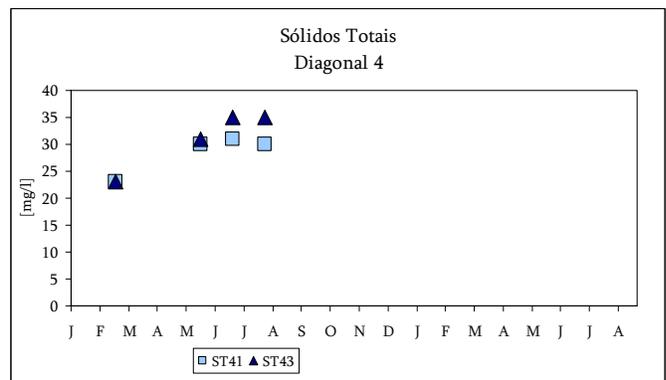
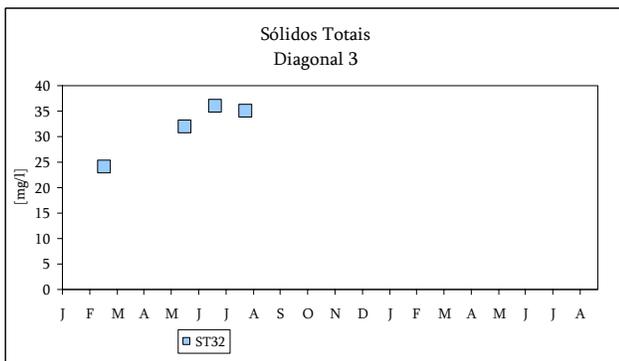
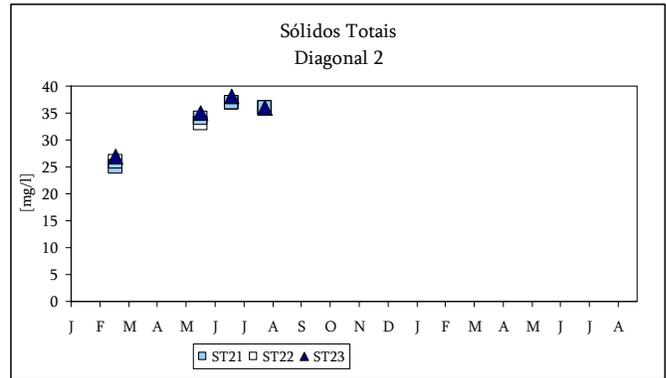
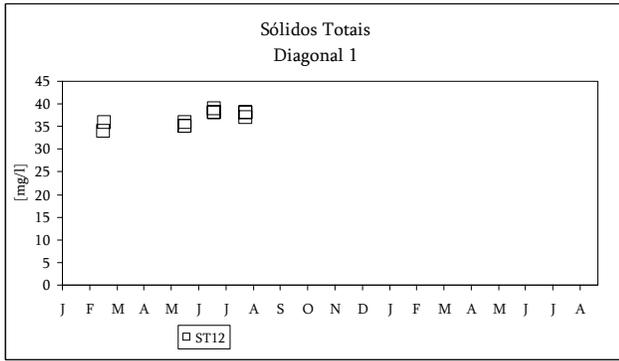


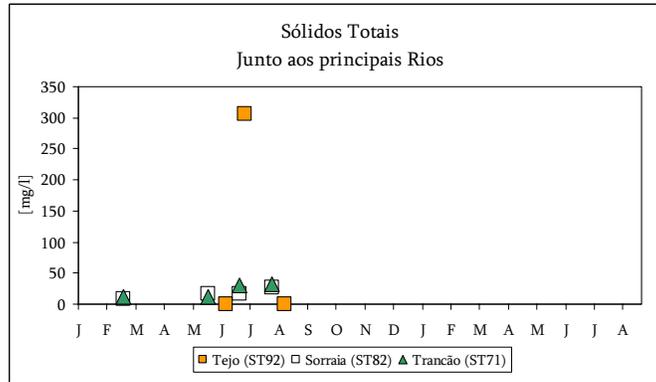
8.3.2.5 *Sólidos Suspensos Totais [mg/l]*



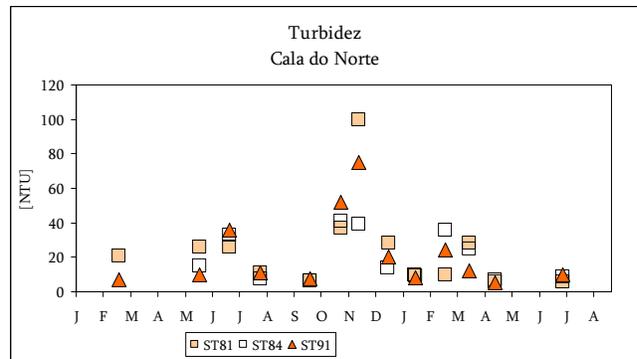
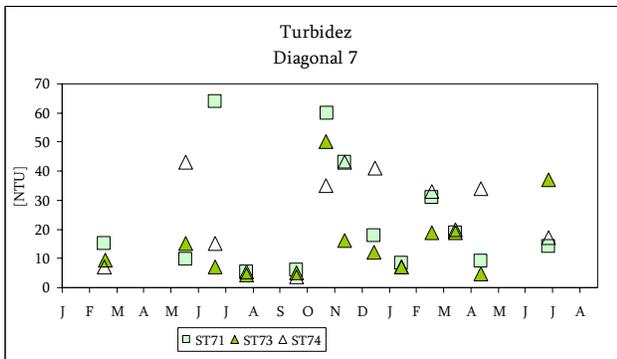
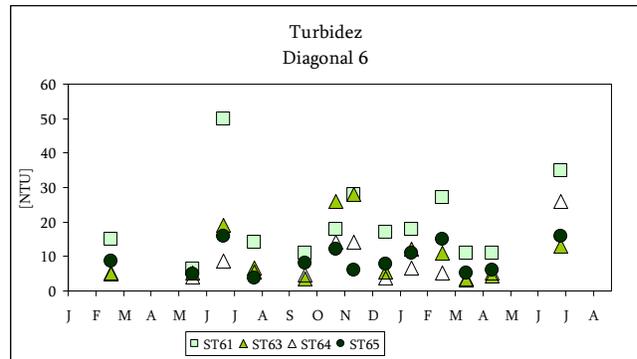
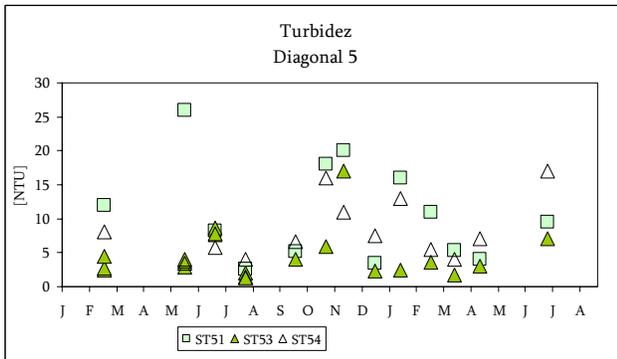
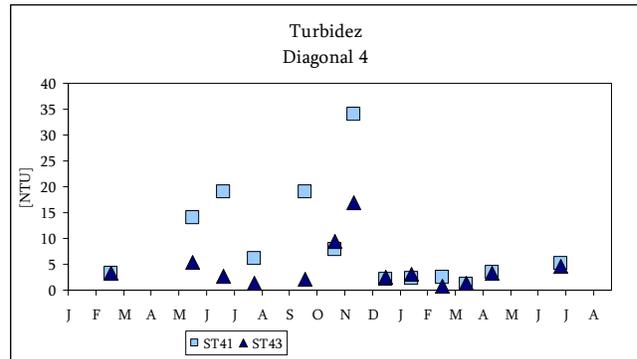
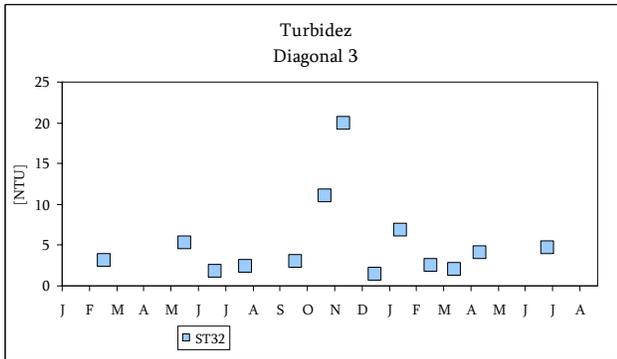
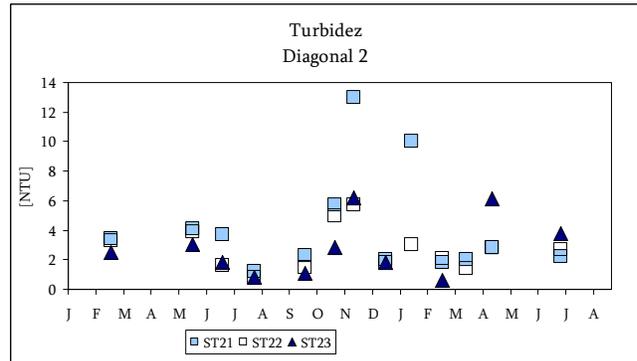
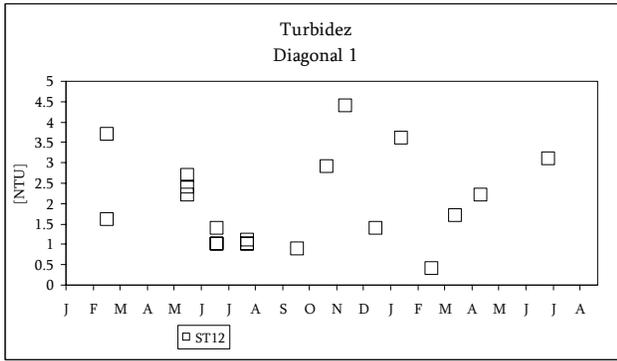


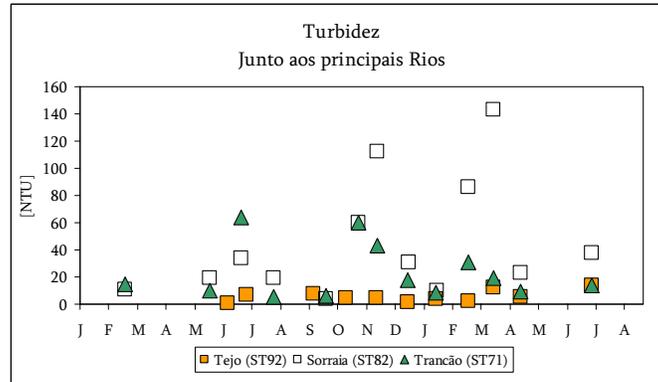
8.3.2.6 Sólidos Totais [mg/l]



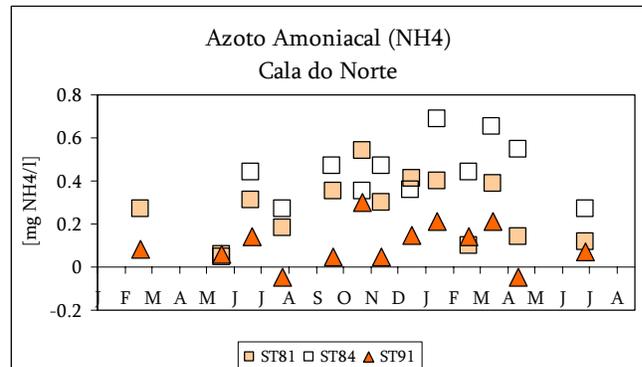
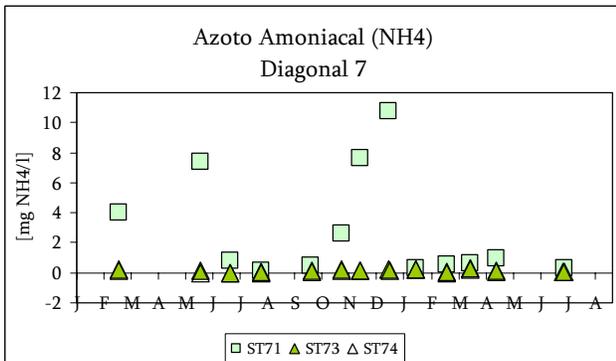
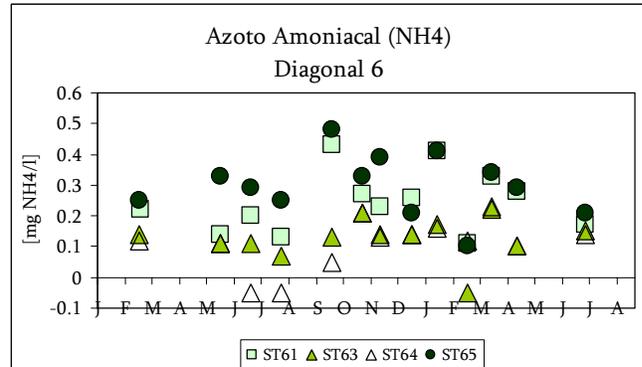
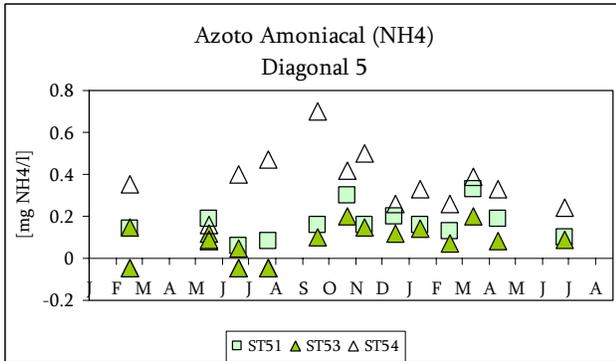
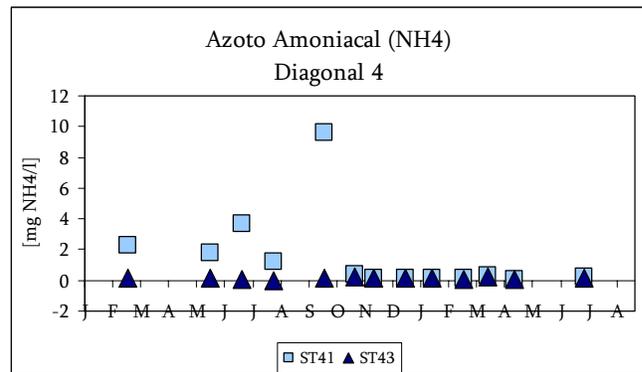
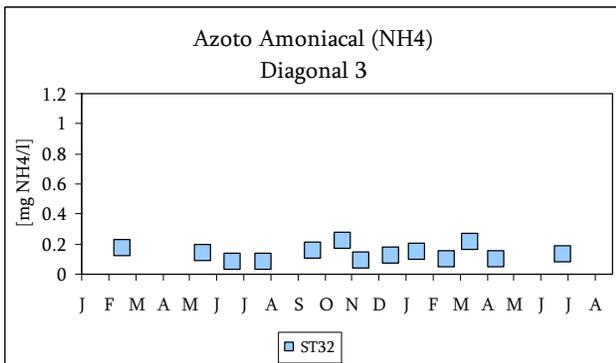
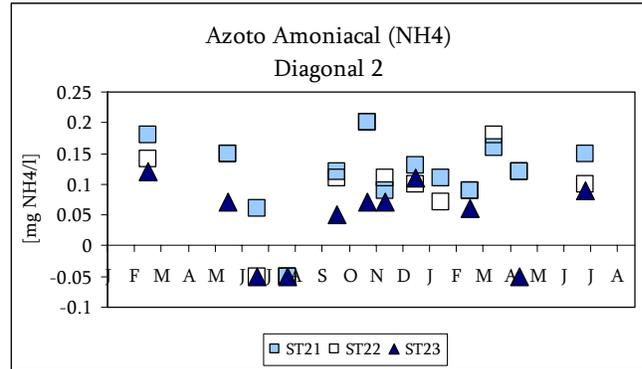
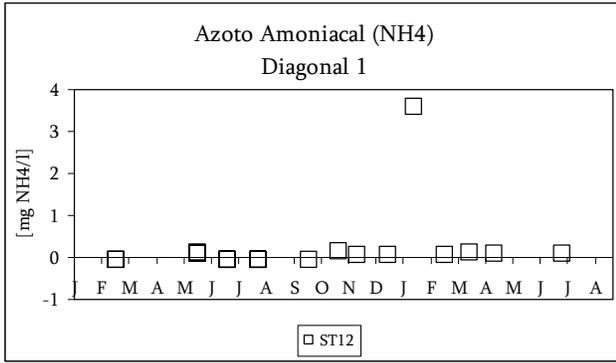


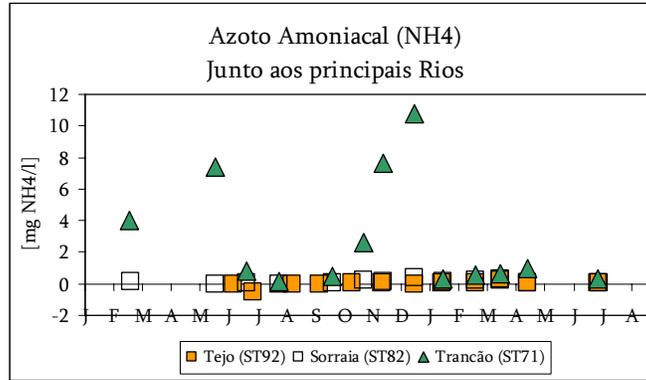
8.3.2.7 Turvação [NTU]



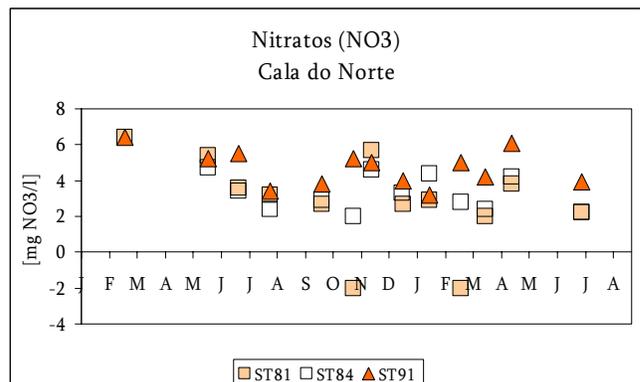
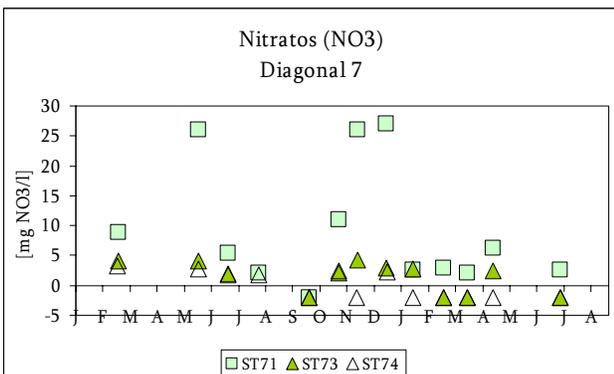
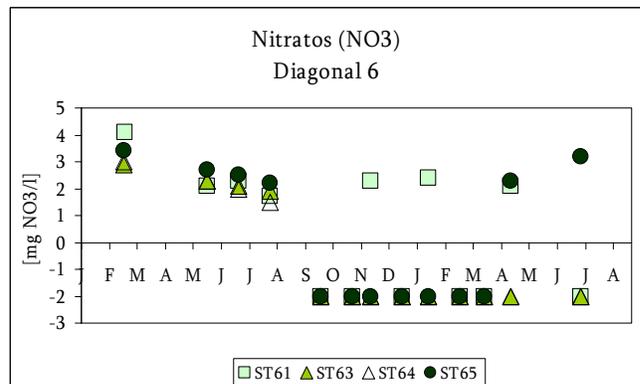
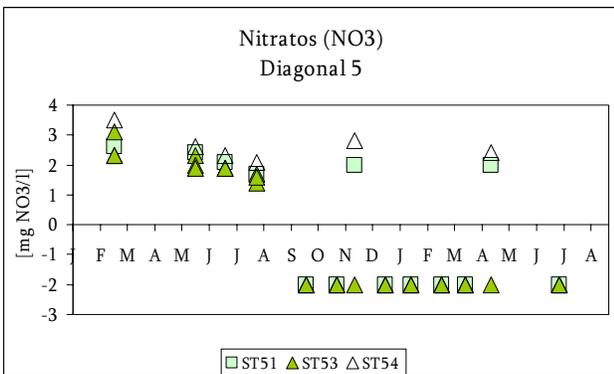
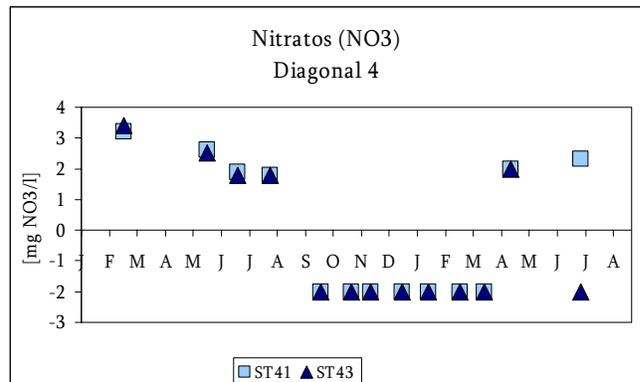
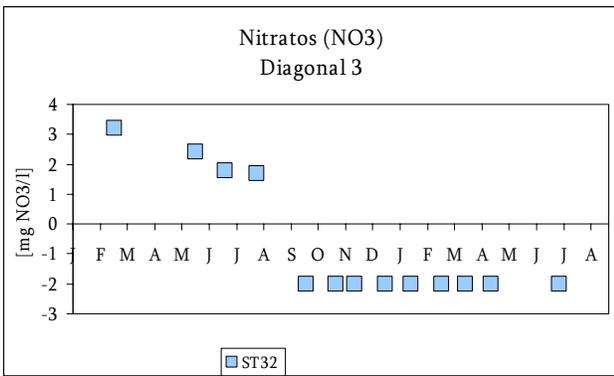
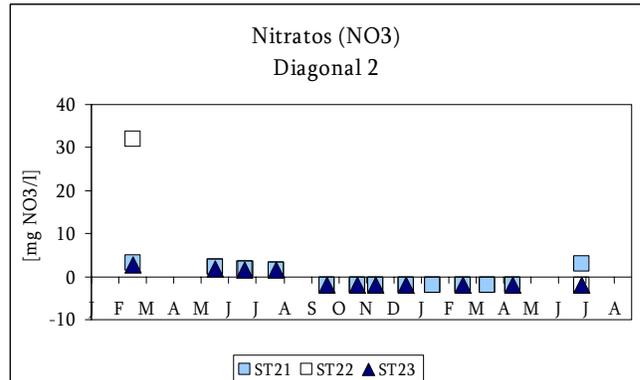
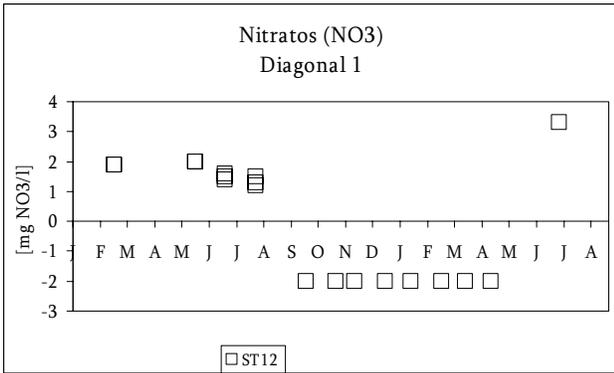


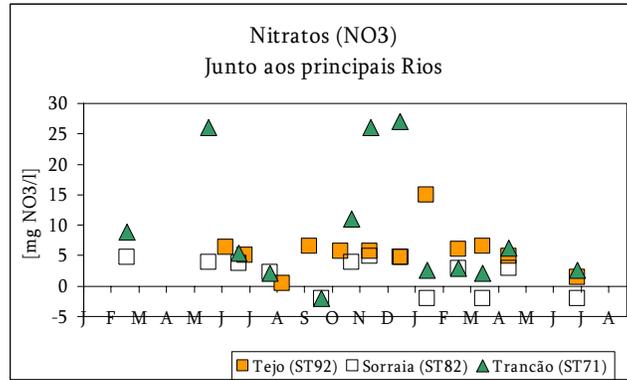
8.3.2.8 Azoto Amoniacal [mg NH₄/l]



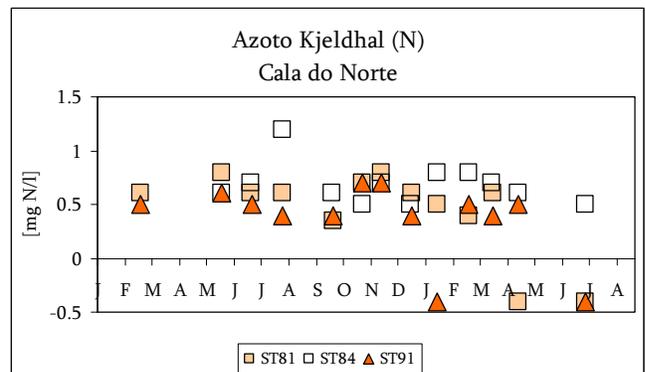
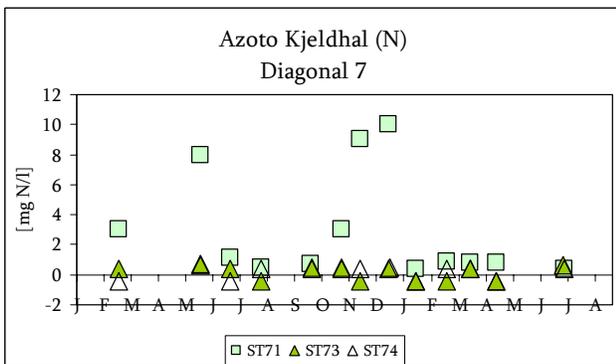
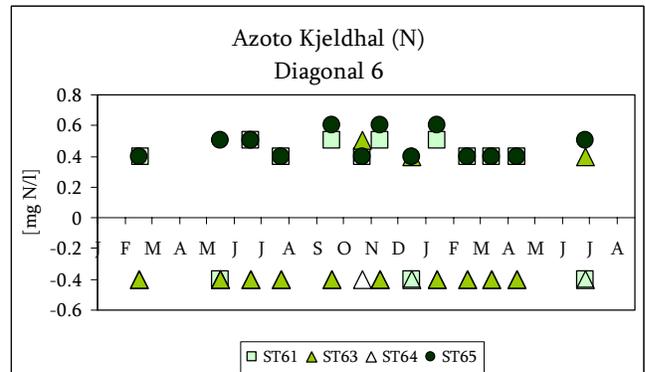
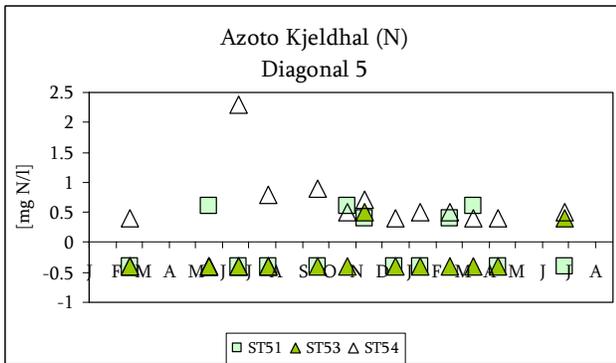
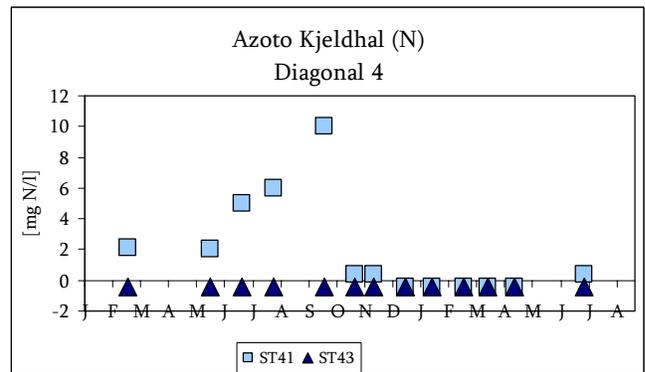
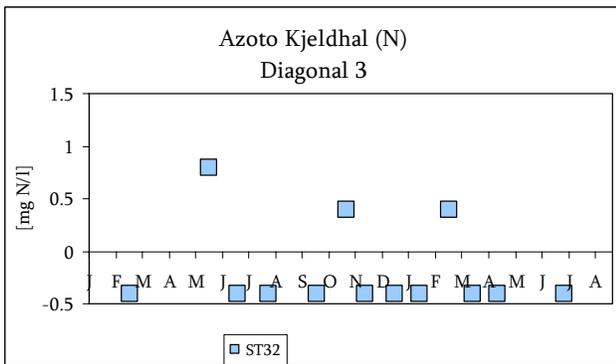
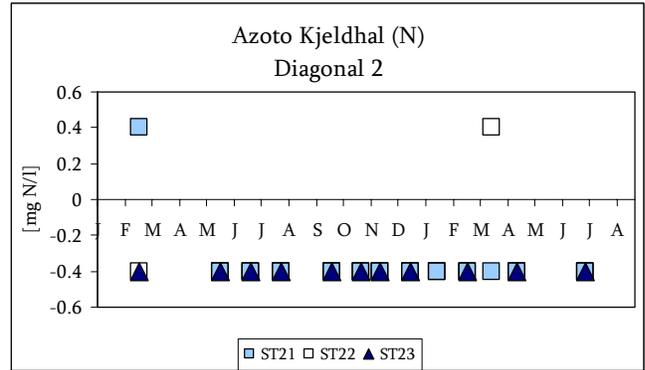
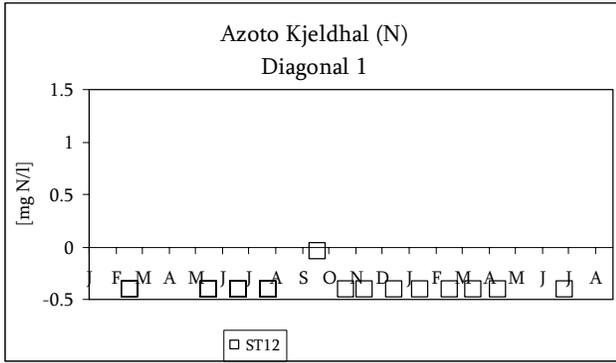


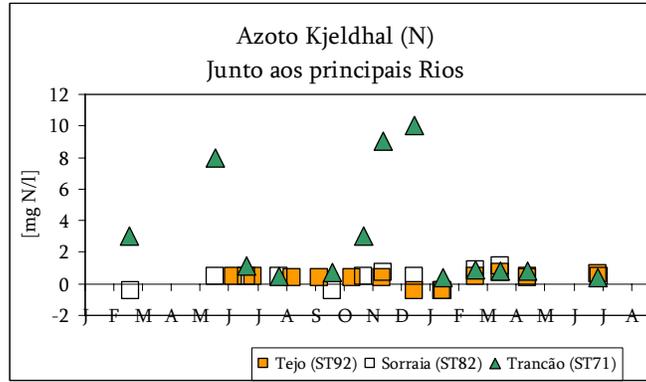
8.3.2.9 Nitrato [mg NO₃/l]



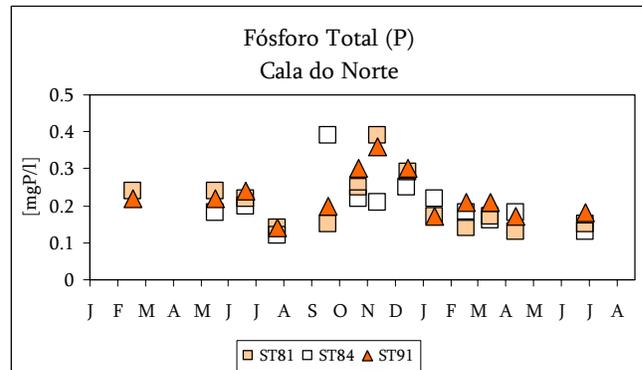
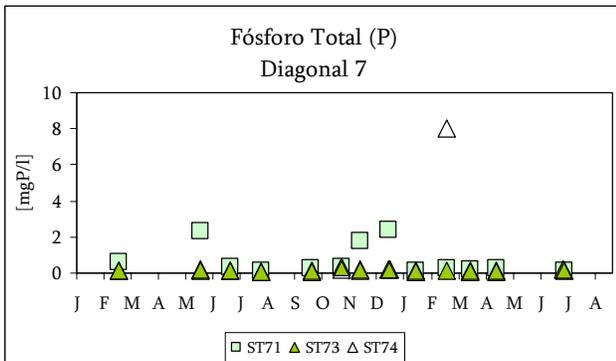
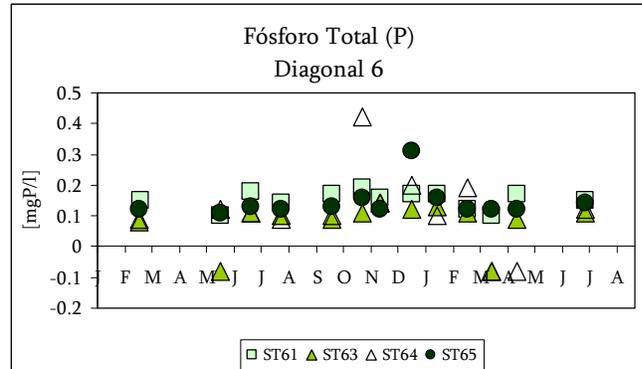
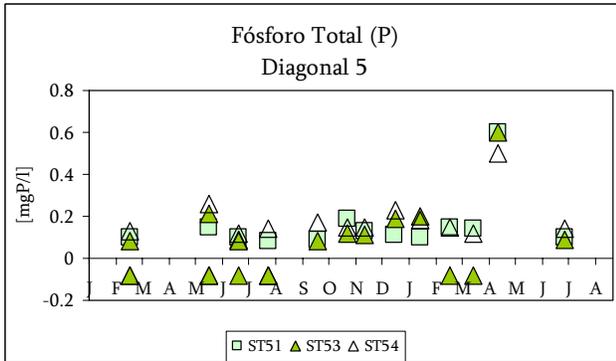
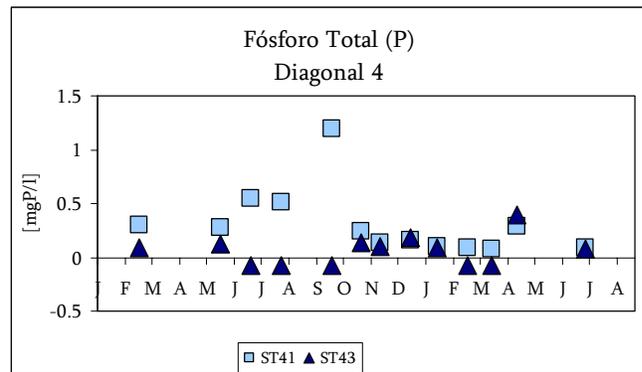
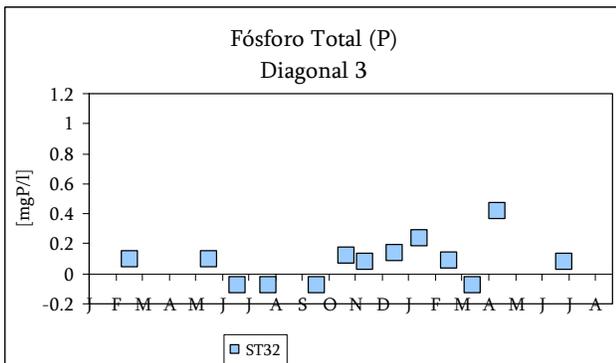
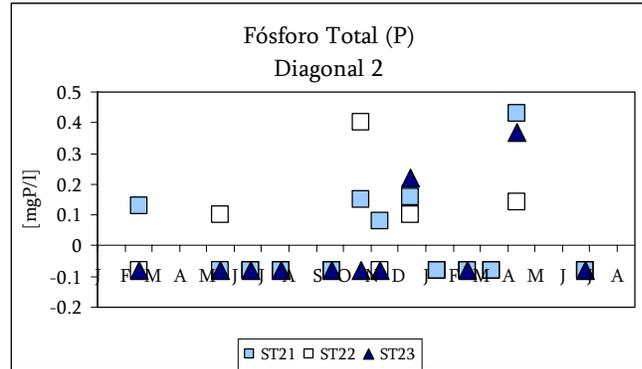
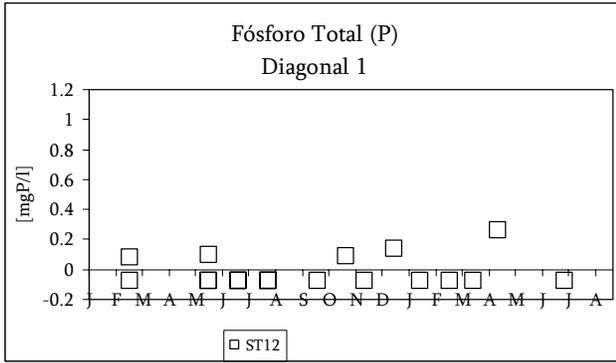


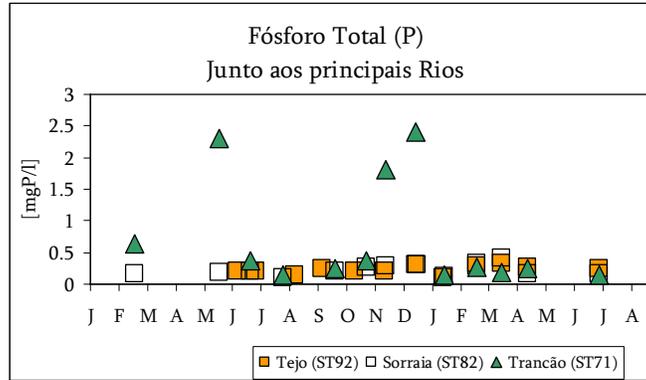
8.3.2.10 Azoto Kjeldahl [mg NO₃/l]



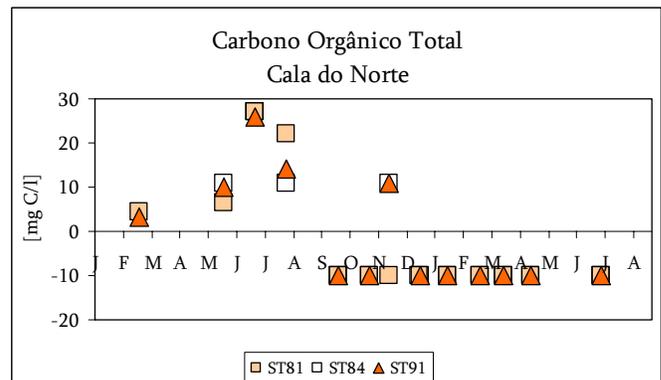
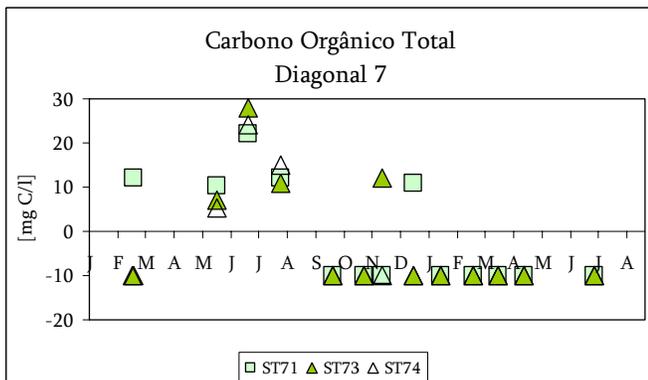
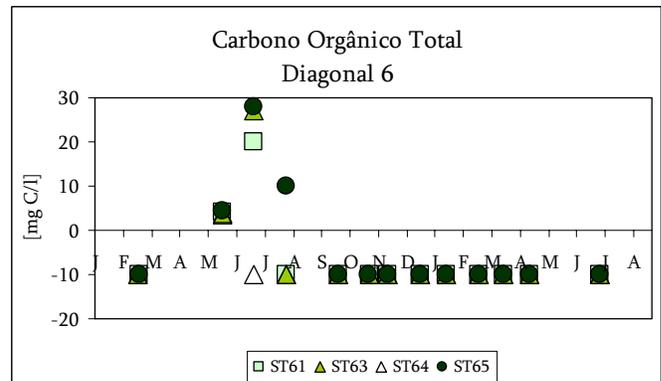
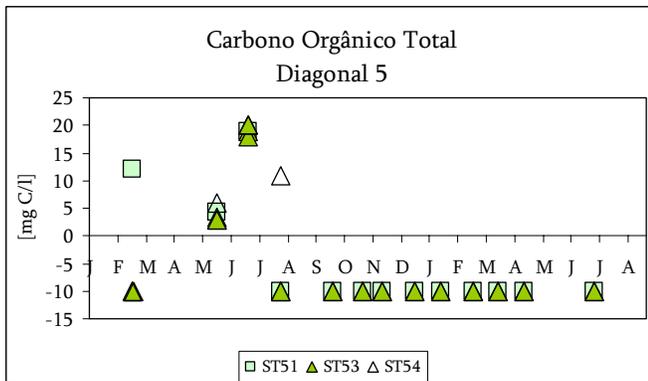
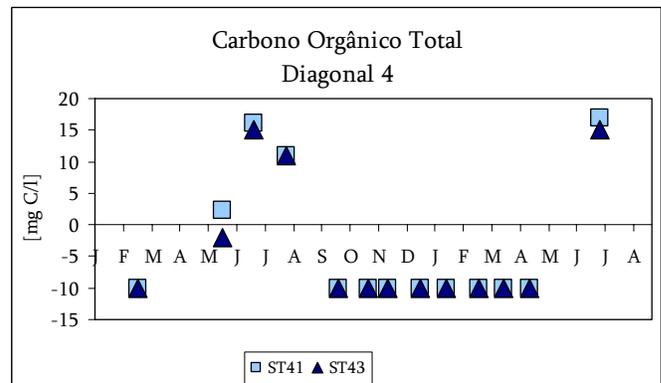
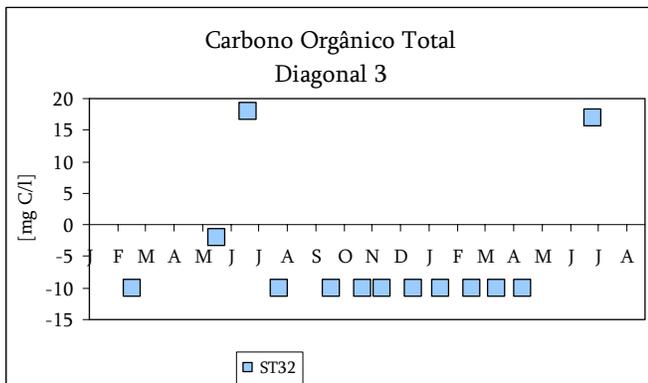
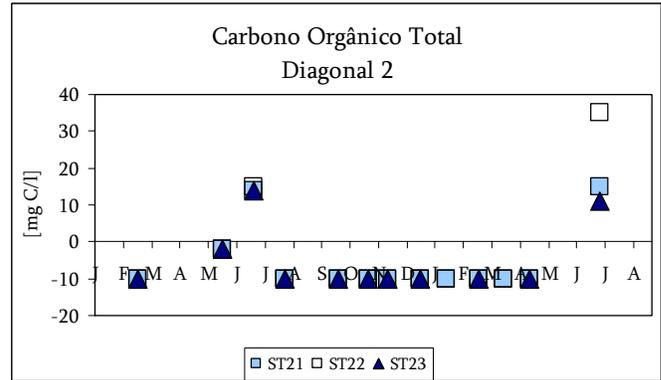
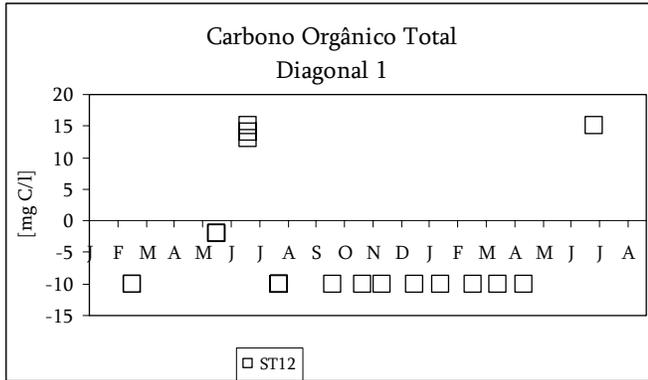


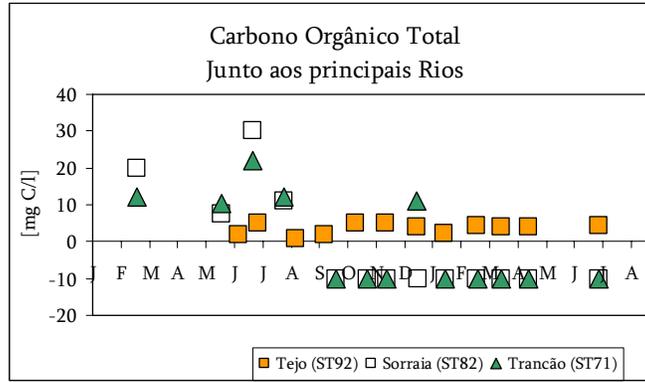
8.3.2.11 Fósforo Total [mg P/l]



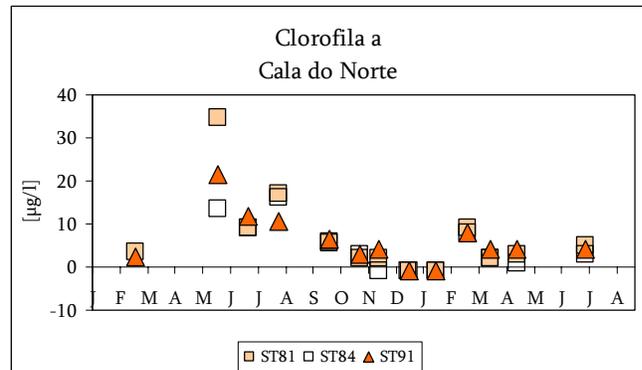
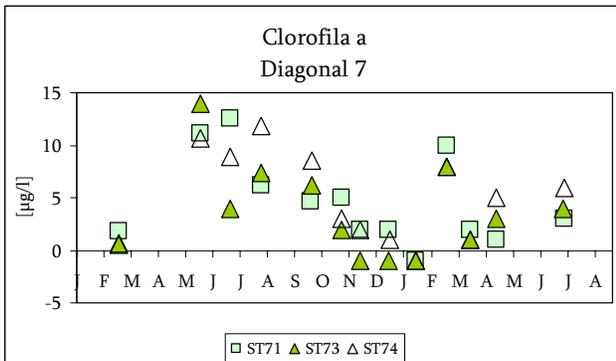
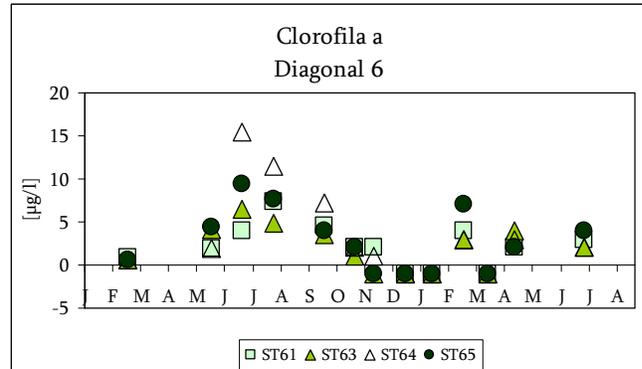
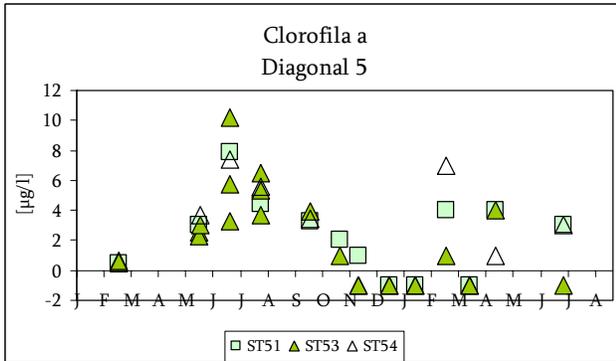
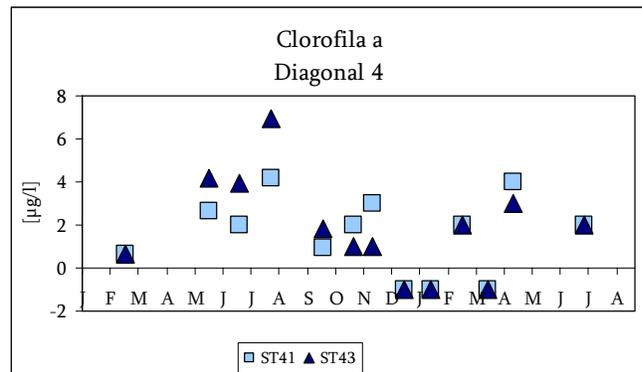
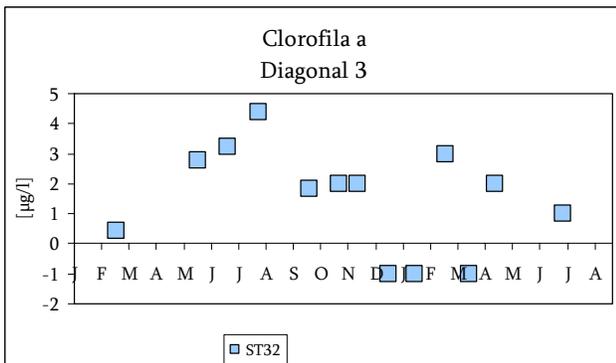
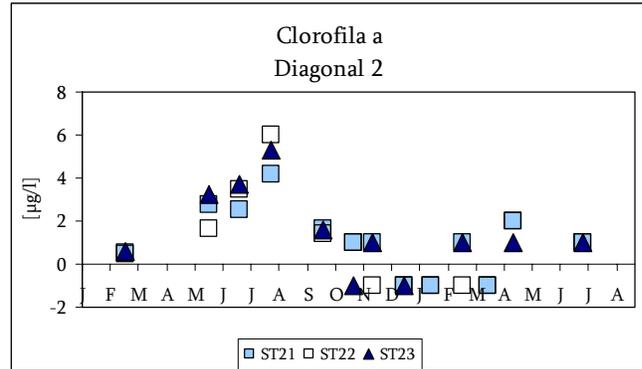
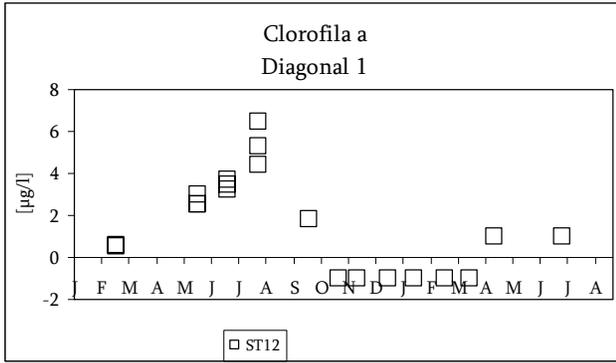


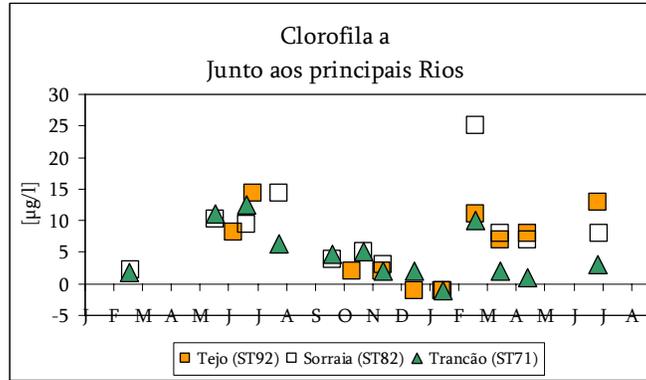
8.3.2.12 Carbono Orgânico Total [mg P/l]



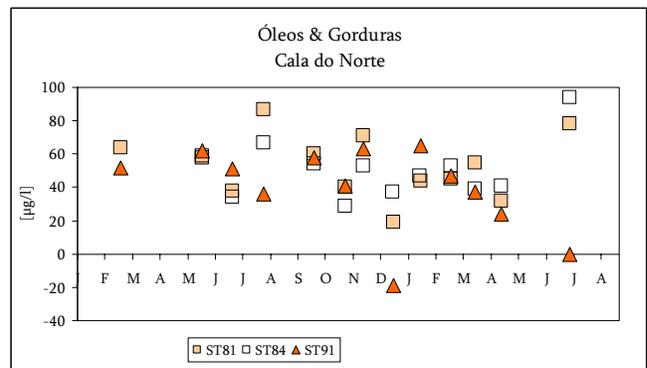
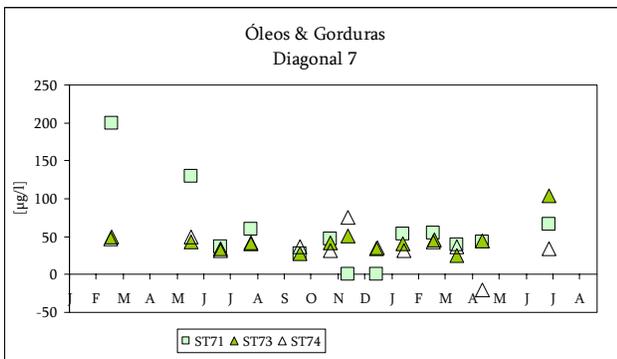
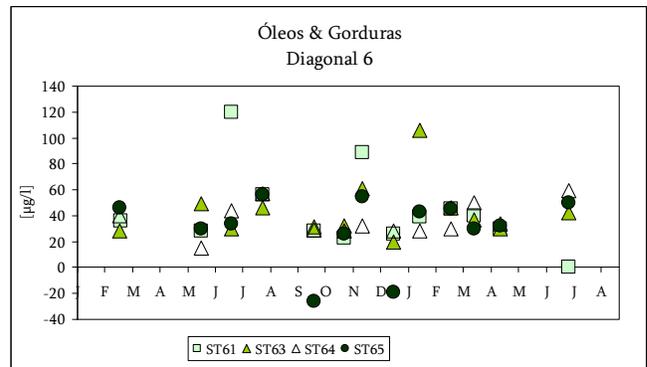
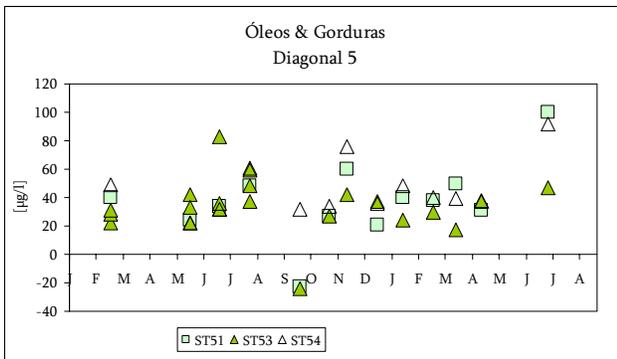
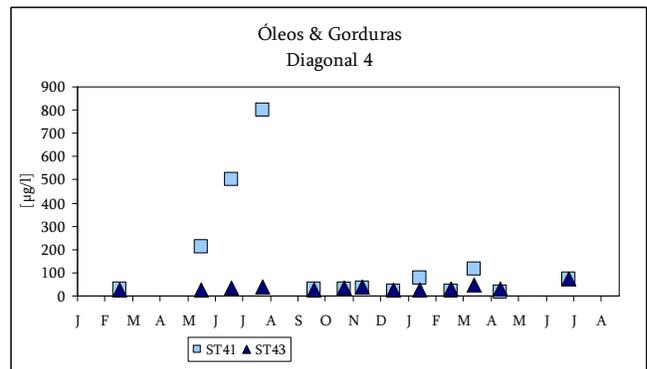
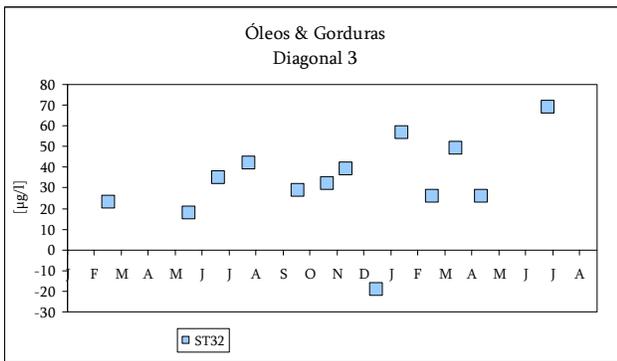
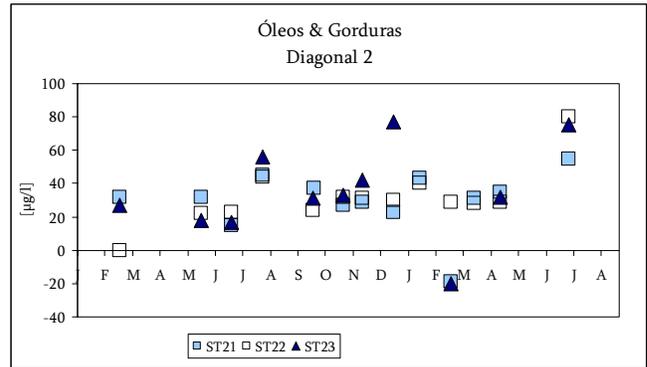
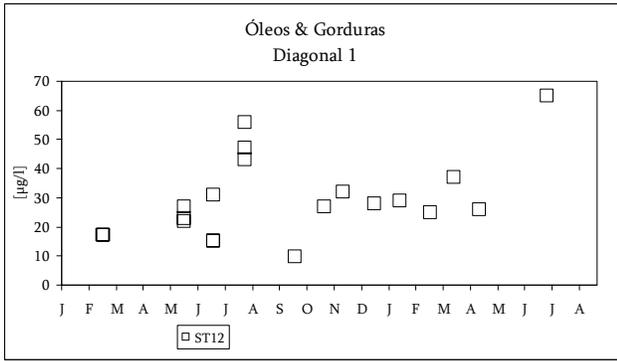


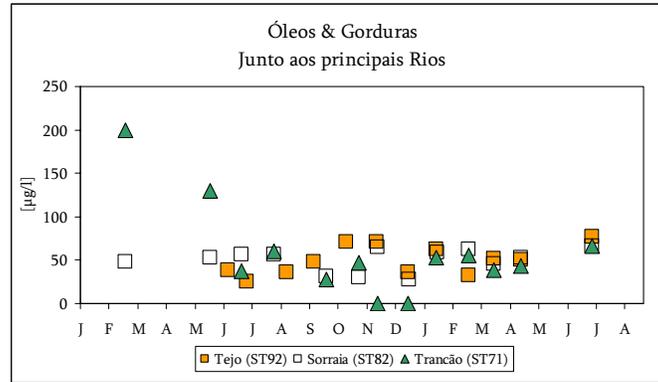
8.3.2.13 *Clorofila a*



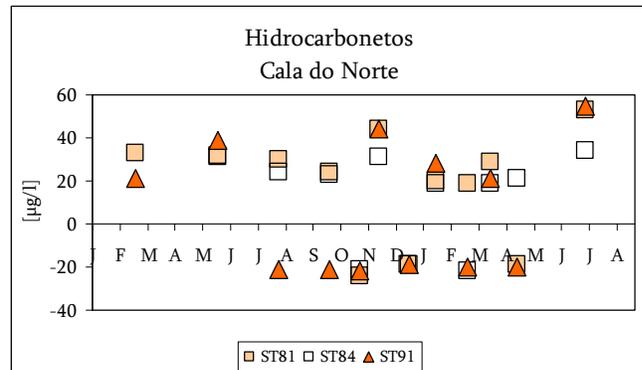
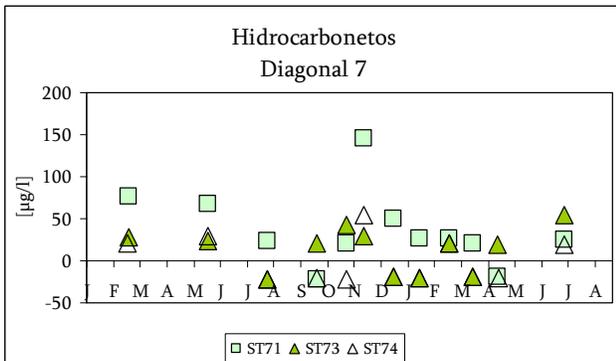
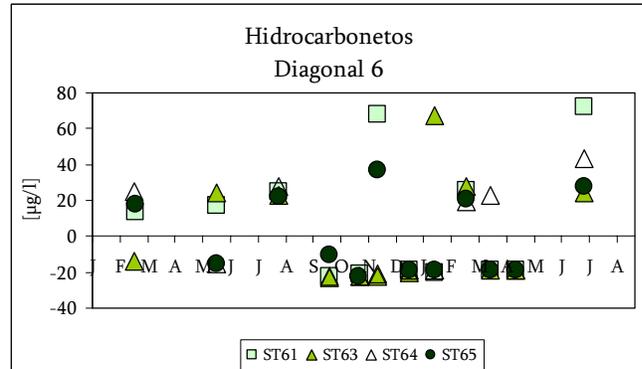
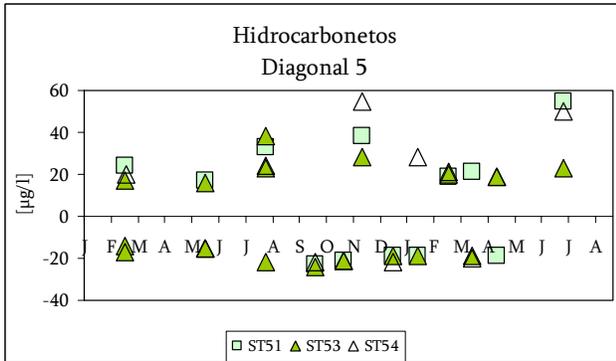
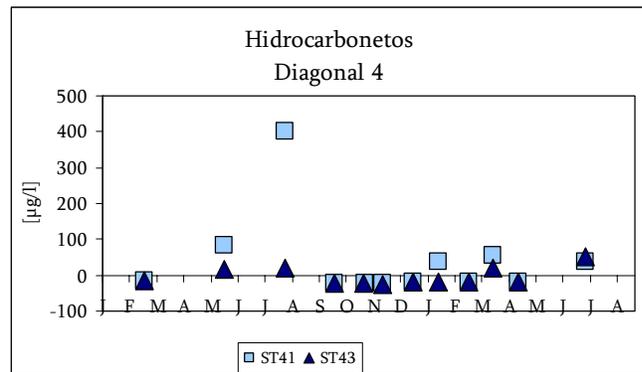
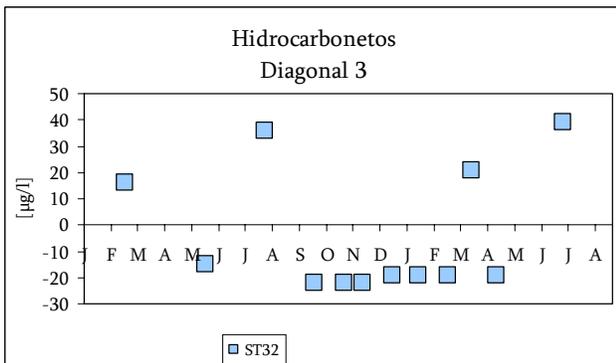
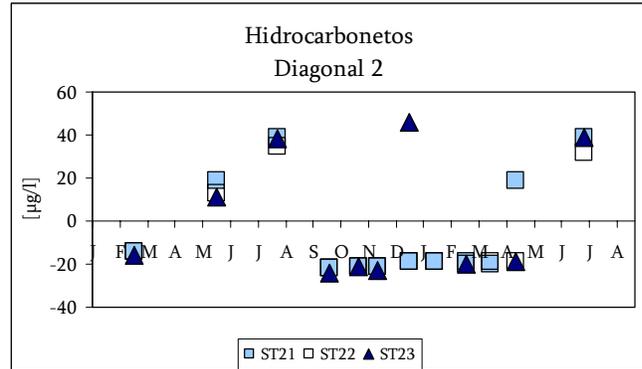
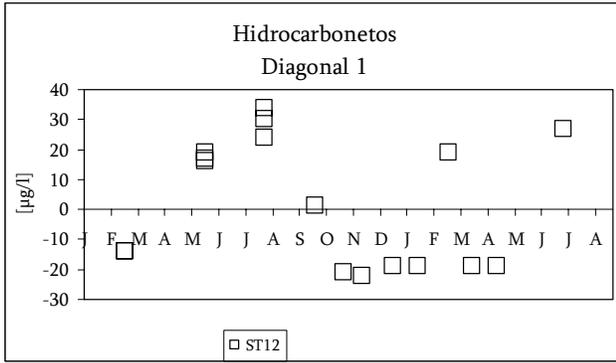


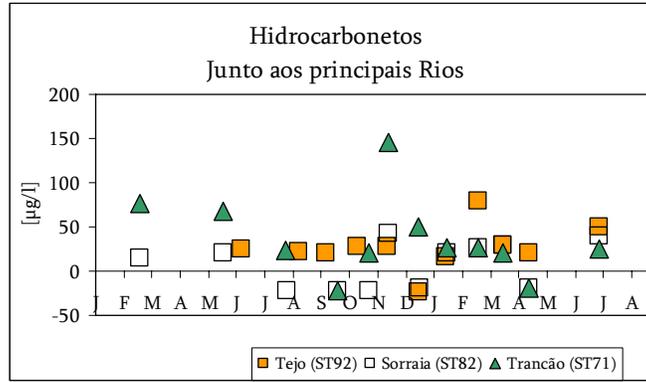
8.3.2.14 Óleos e Gorduras [$\mu\text{g/l}$]



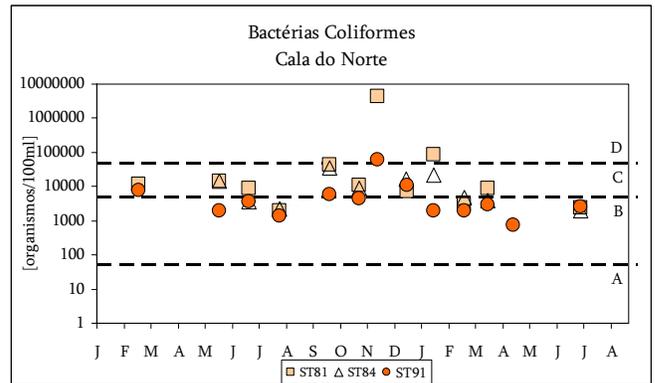
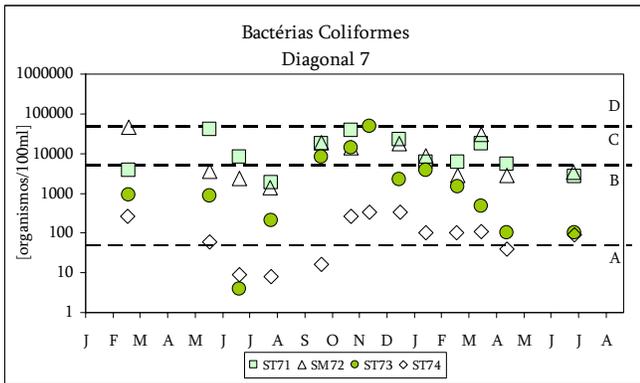
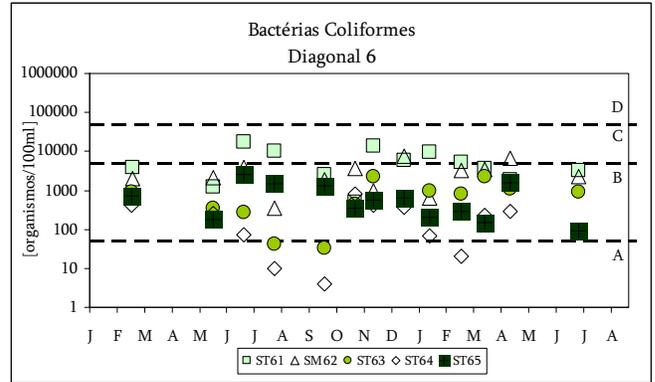
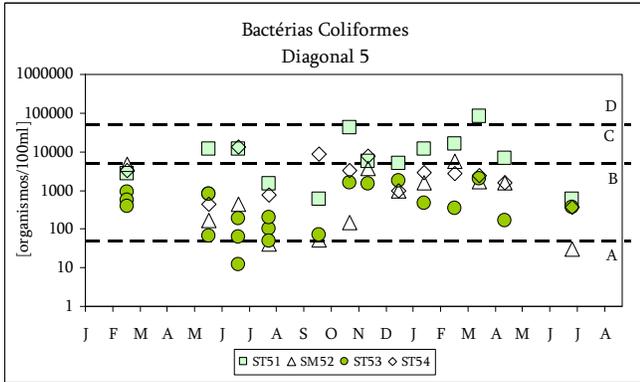
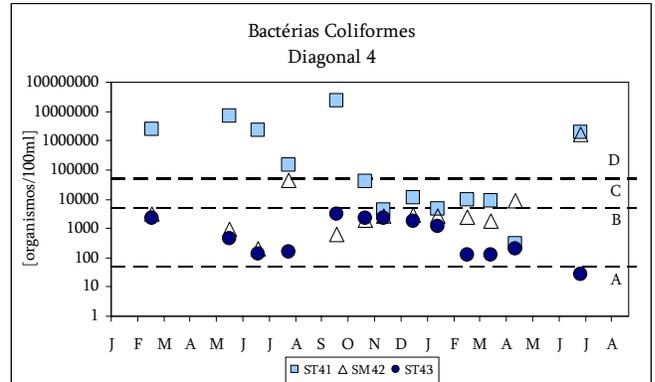
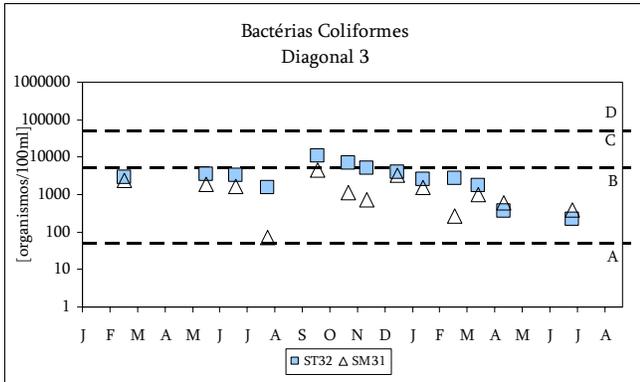
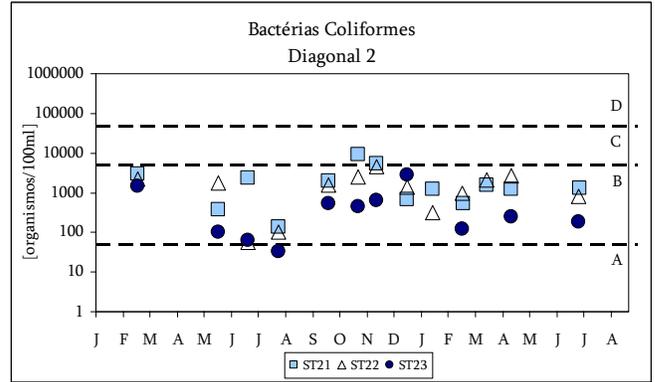
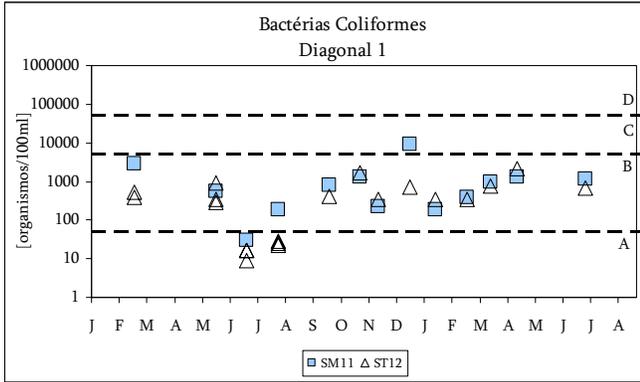


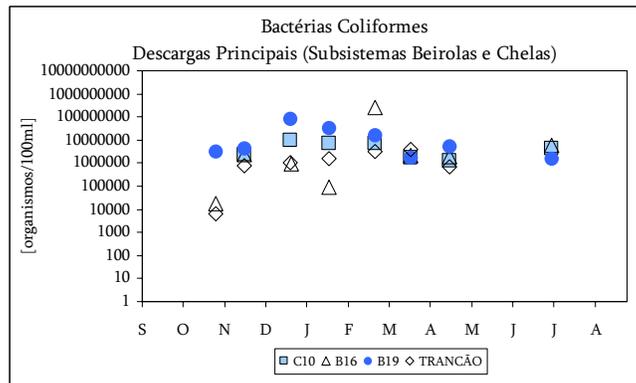
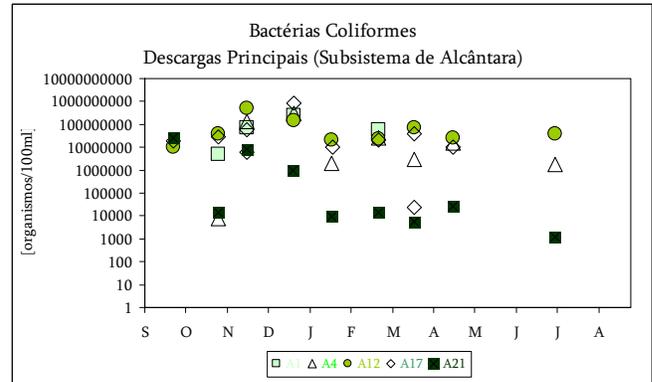
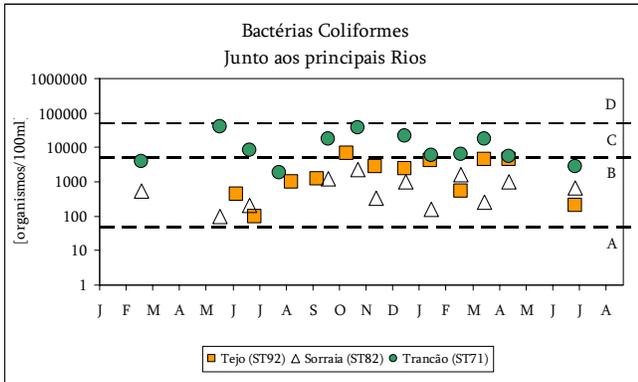
8.3.2.15 Hidrocarbonetos [$\mu\text{g/l}$]



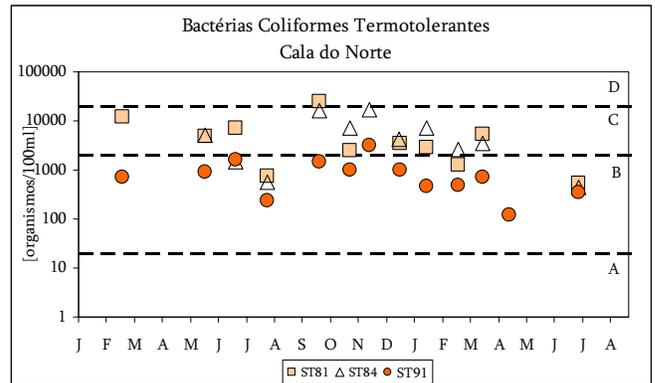
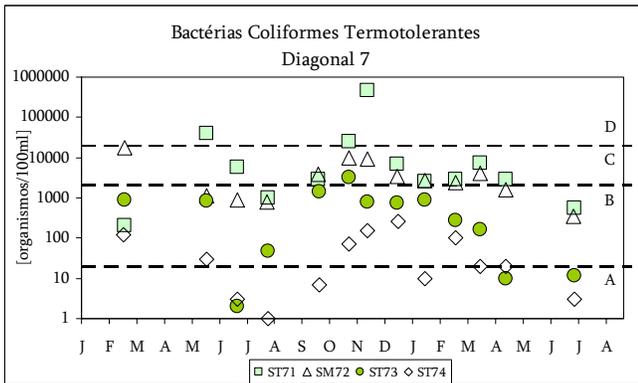
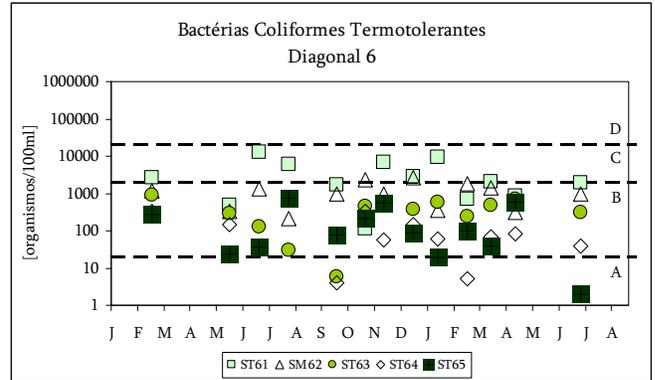
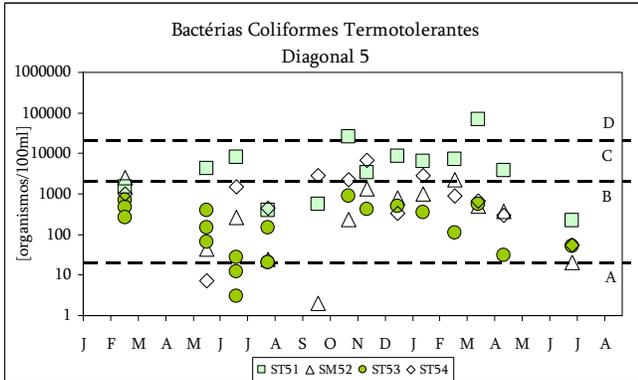
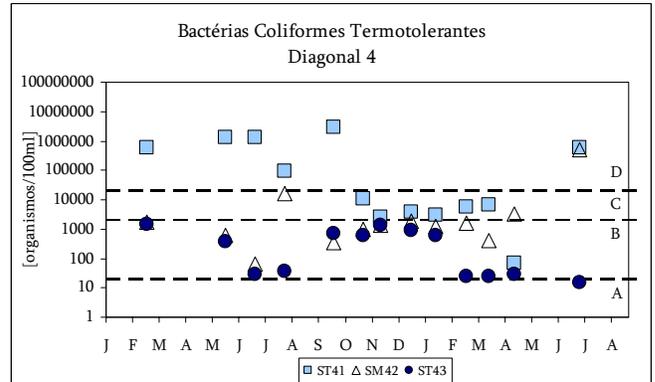
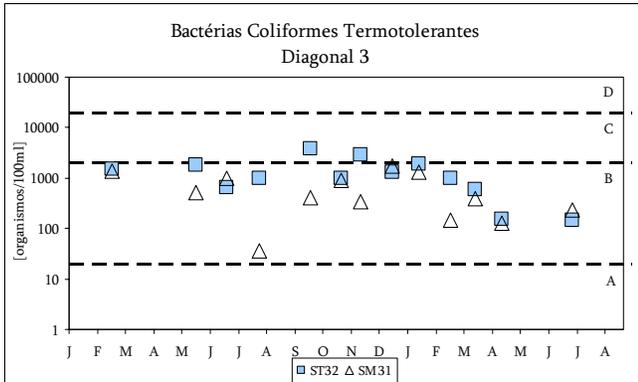
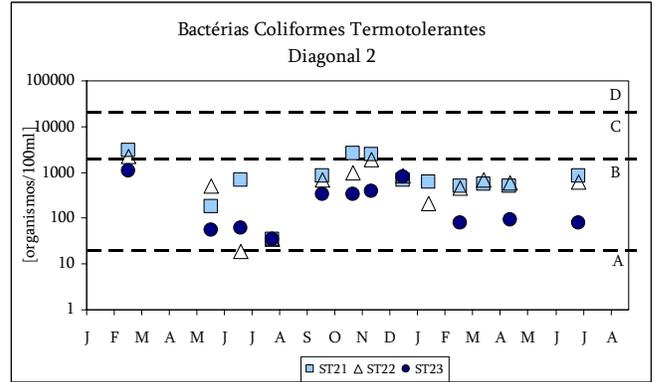
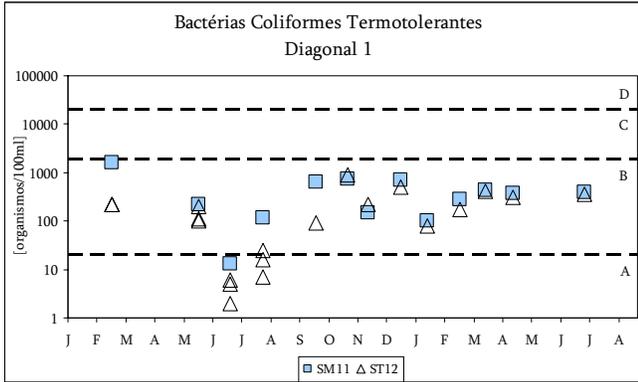


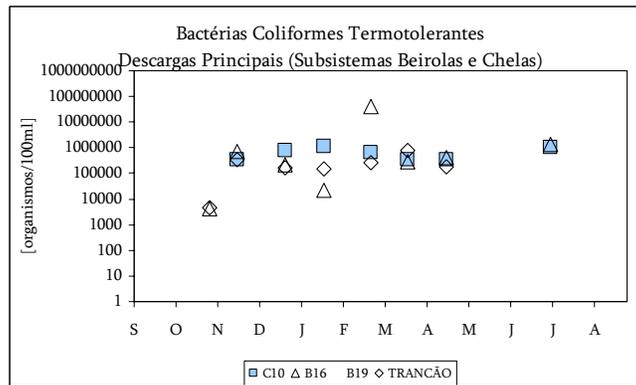
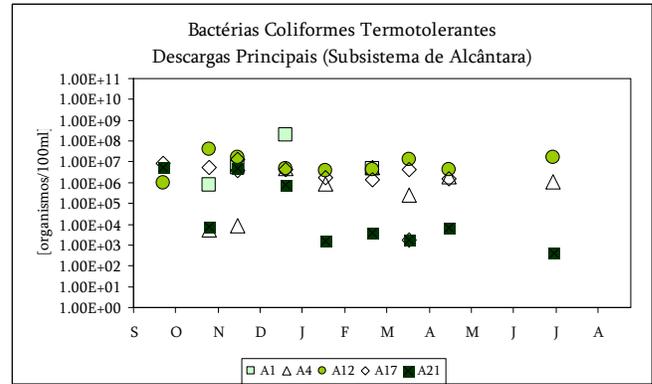
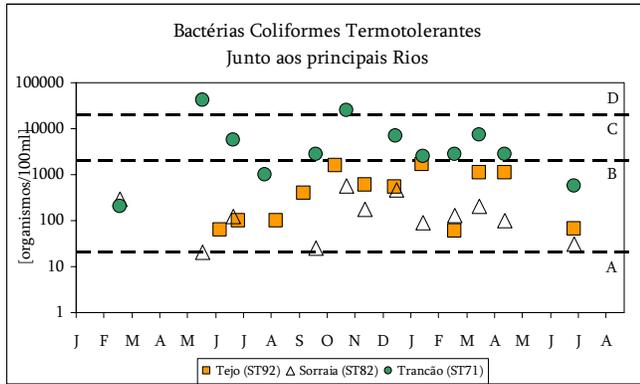
8.3.2.16 Bactérias Coliformes [organismos/100ml]



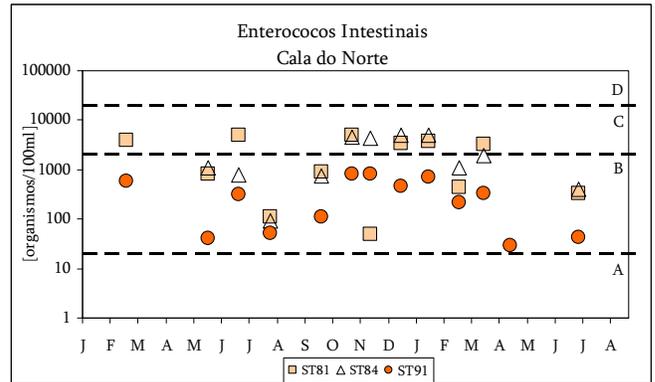
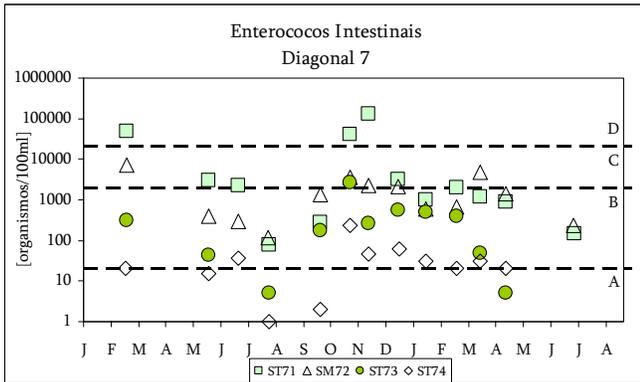
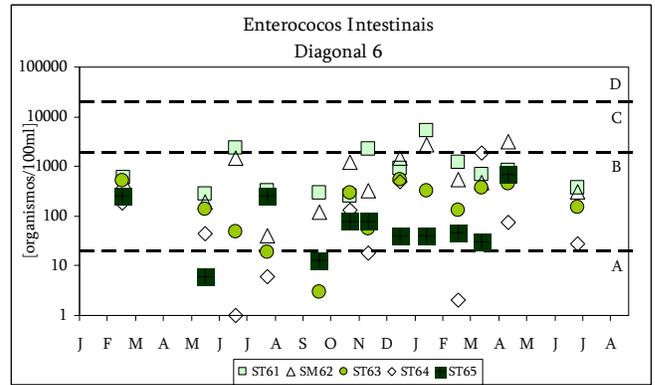
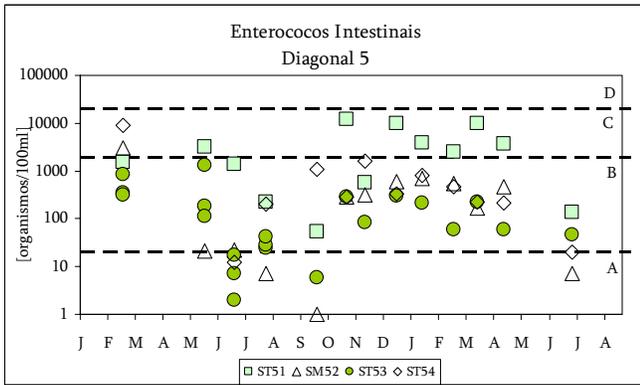
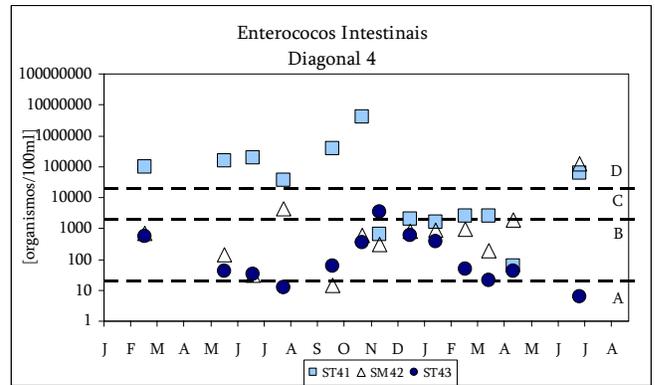
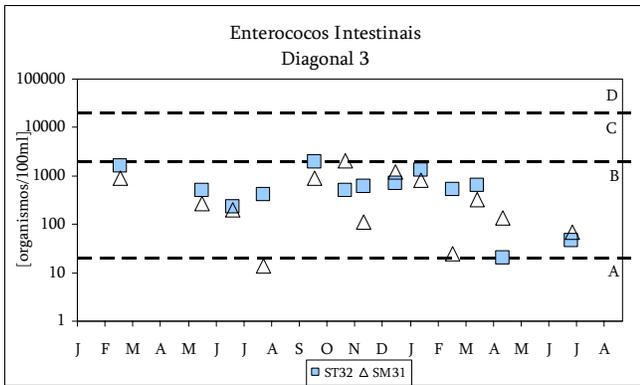
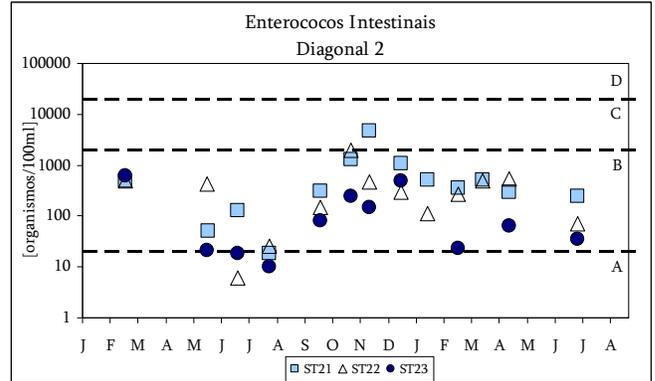
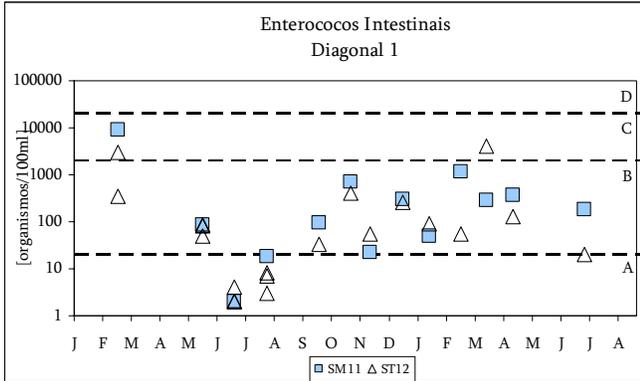


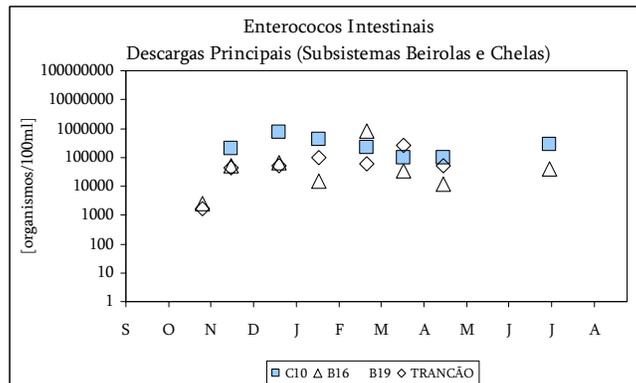
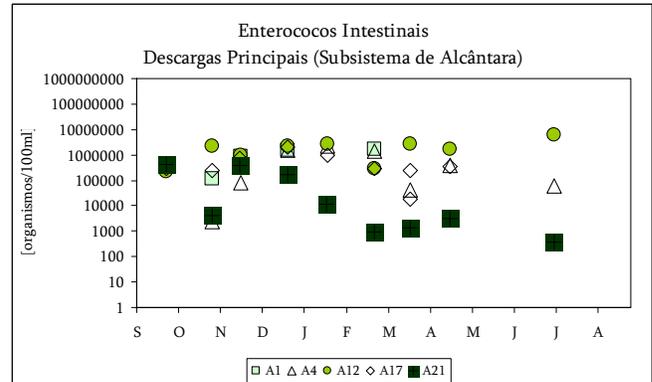
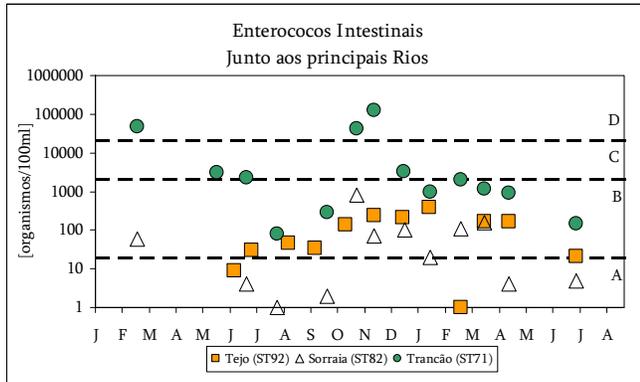
8.3.2.17 Bactérias Coliformes Termotolerantes [organismos/100ml]



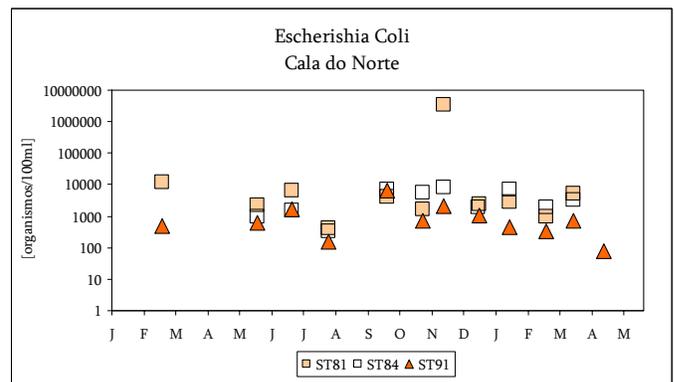
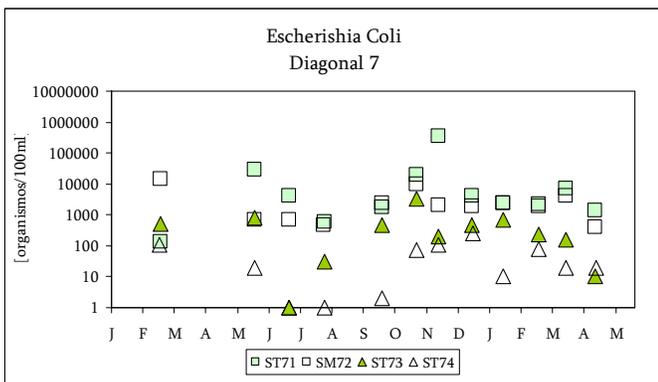
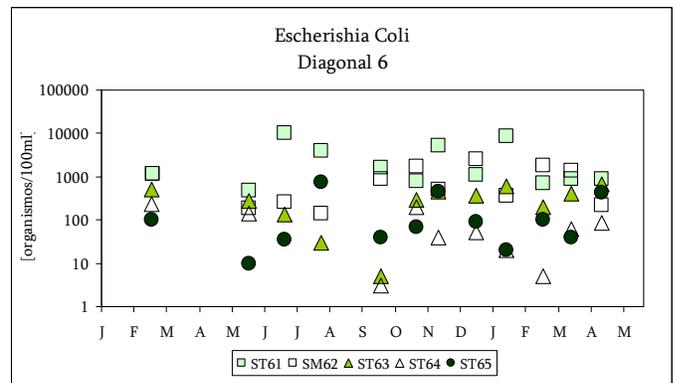
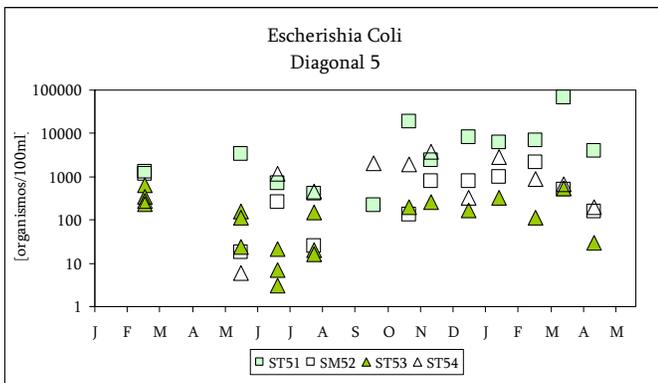
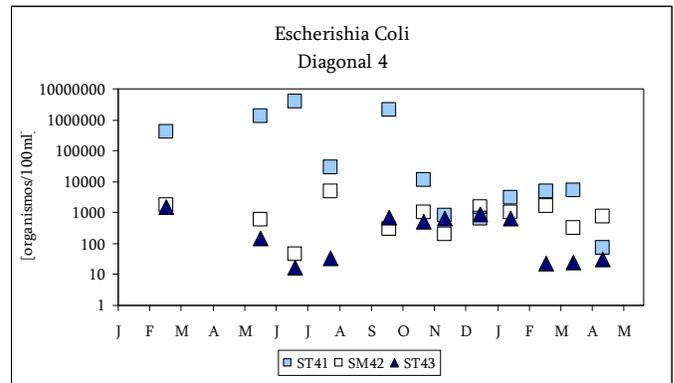
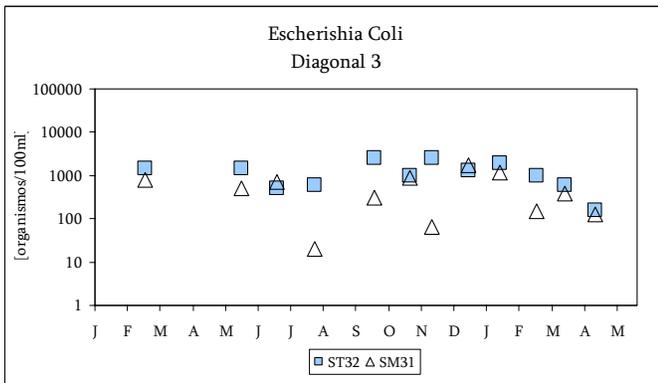
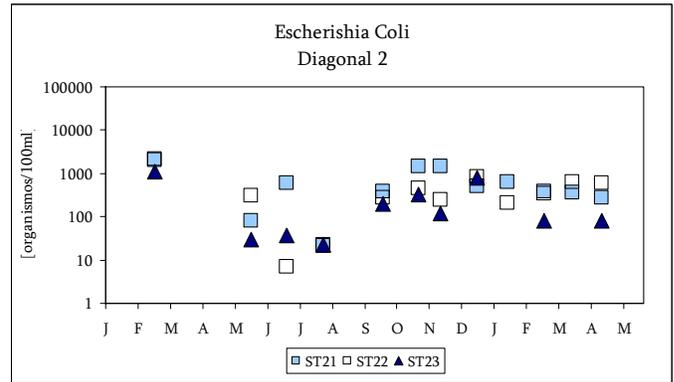
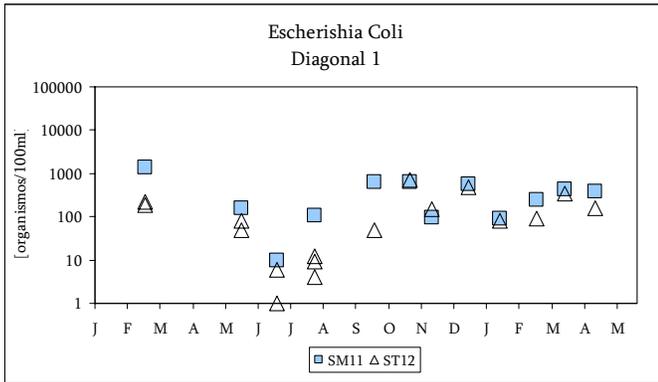


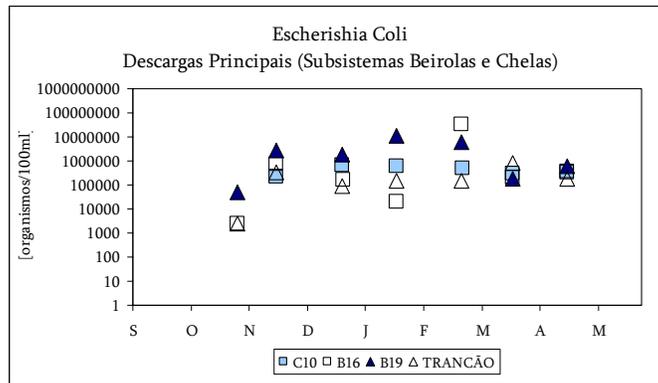
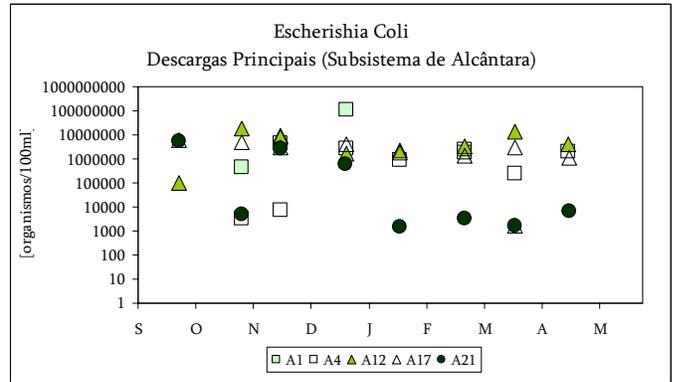
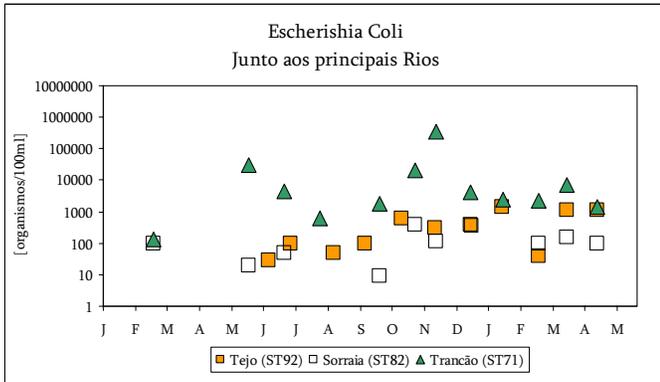
8.3.2.18 *Enterococos Intestinais* [organismos/100ml]





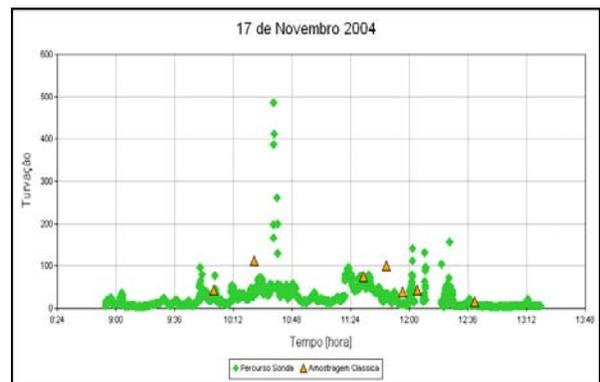
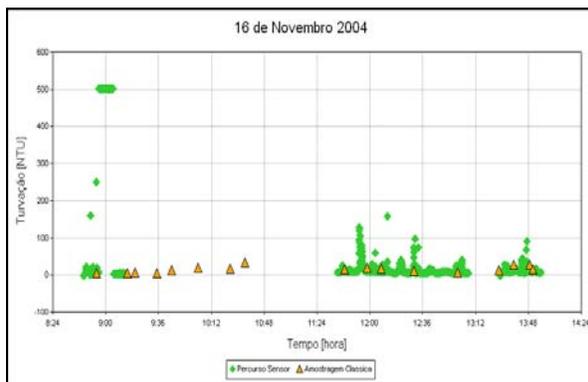
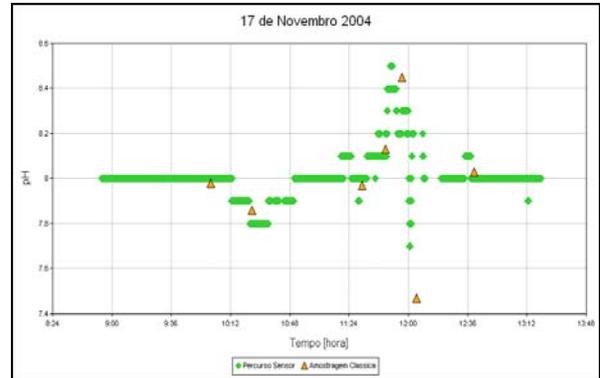
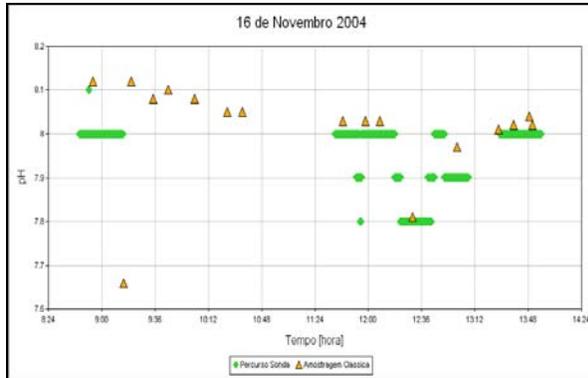
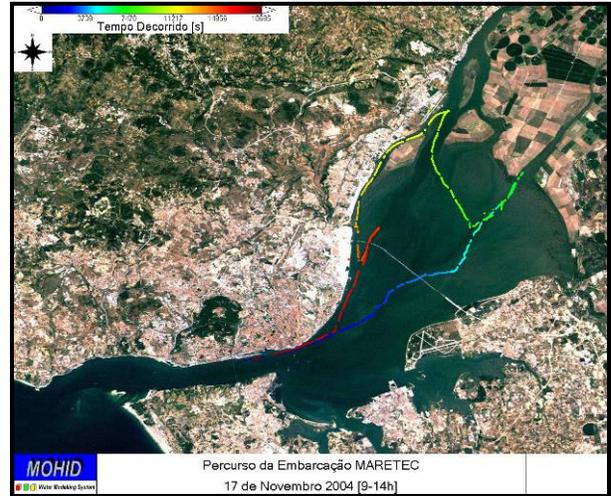
8.3.2.19 *Escherichia Coli* [organismos/100ml]

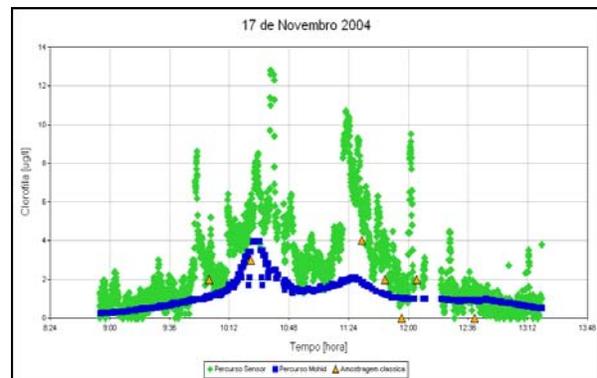
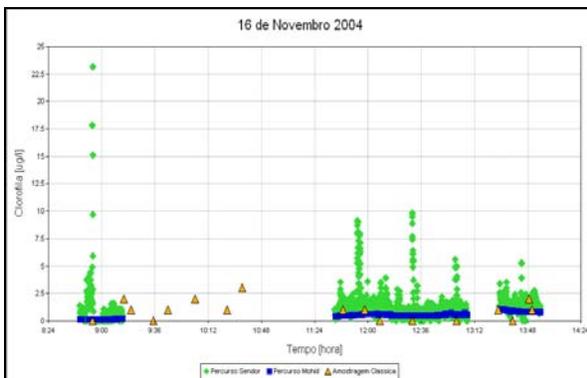
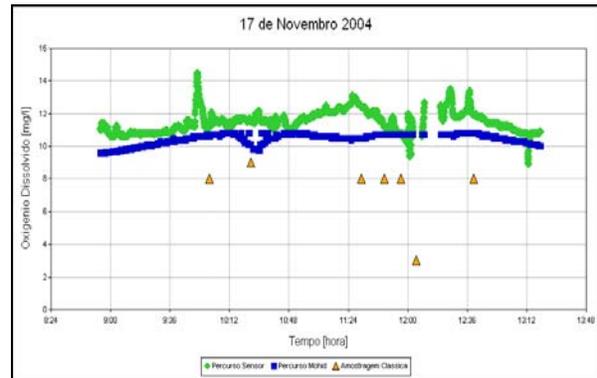
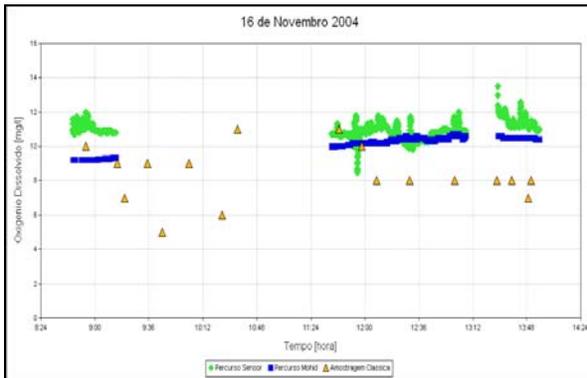
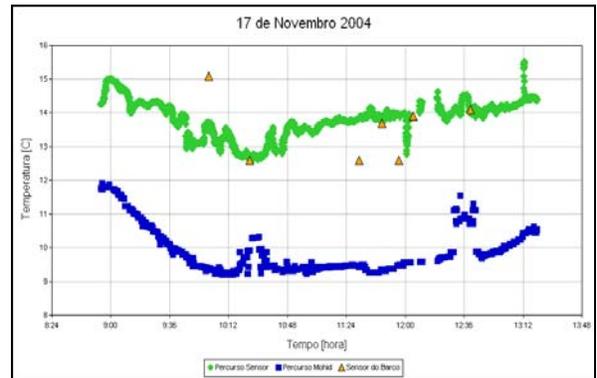
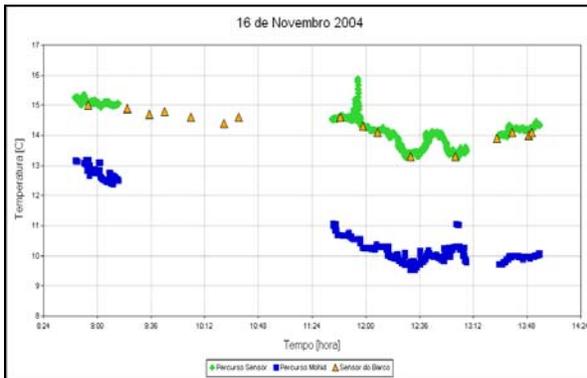
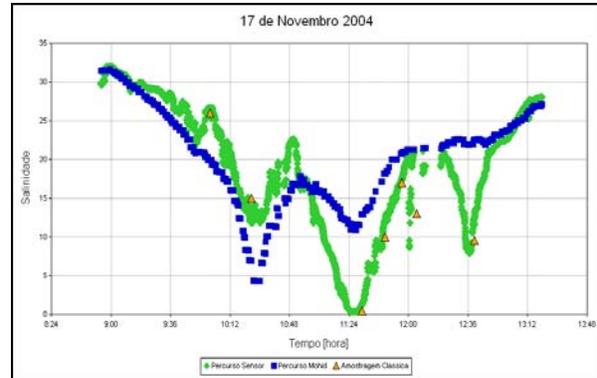
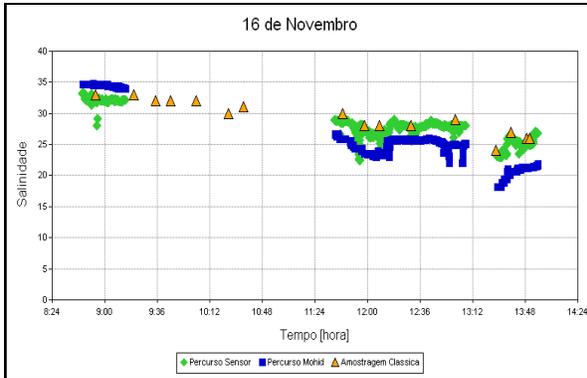




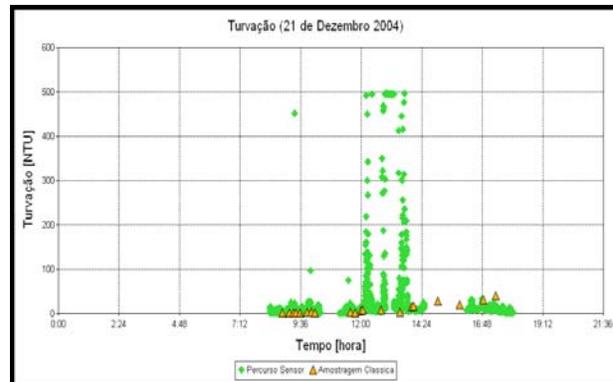
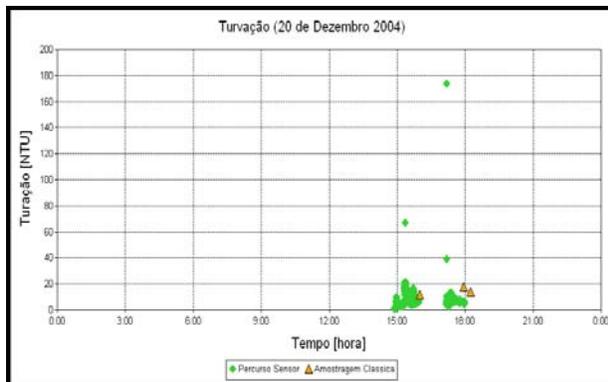
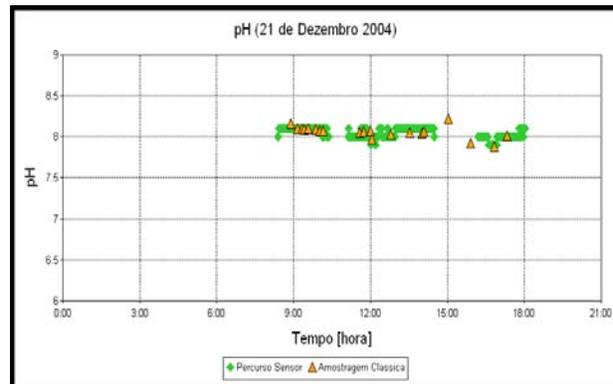
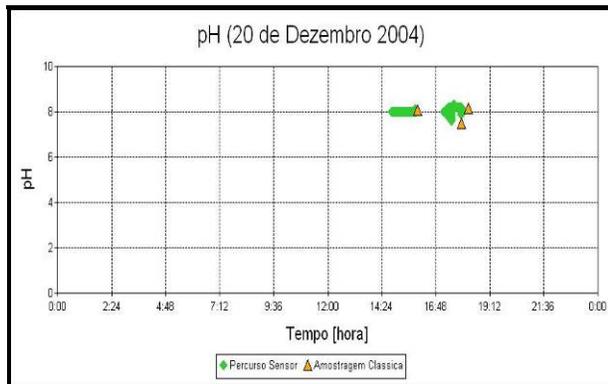
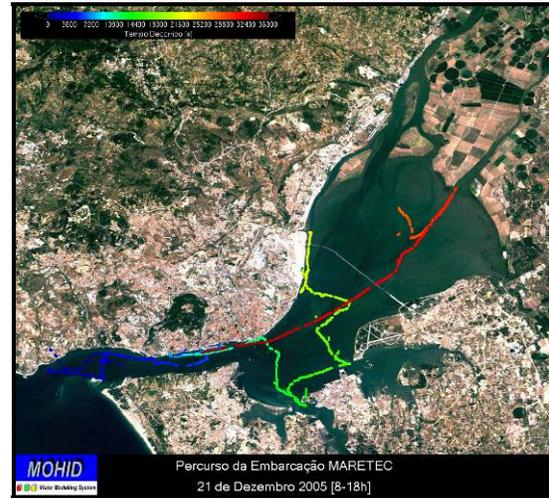
8.4 Resultados da Amostragem com Sensores

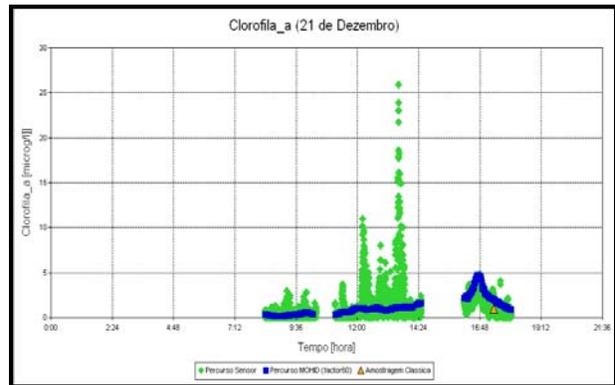
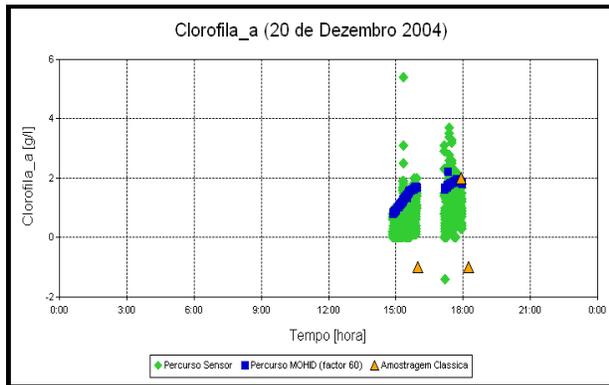
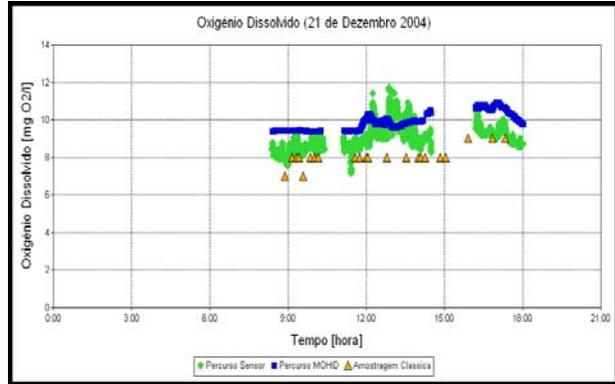
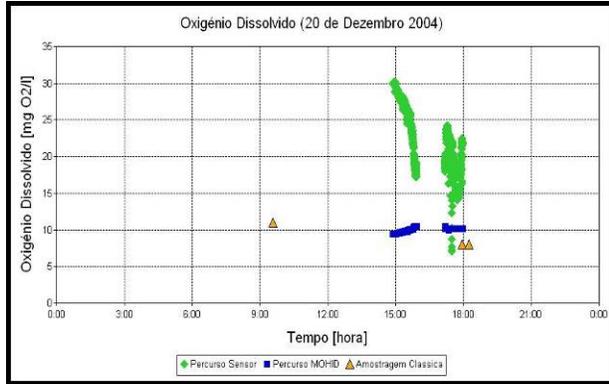
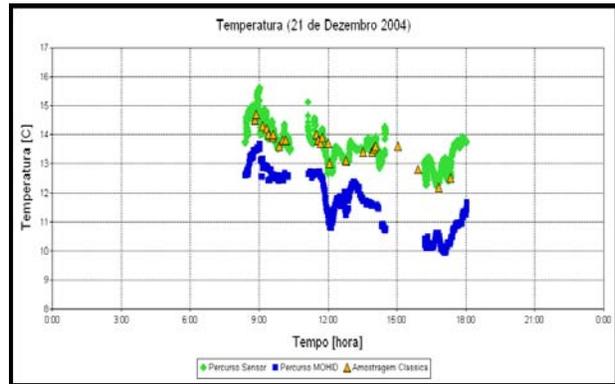
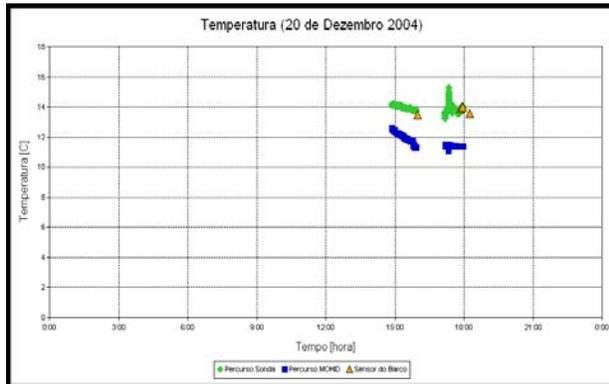
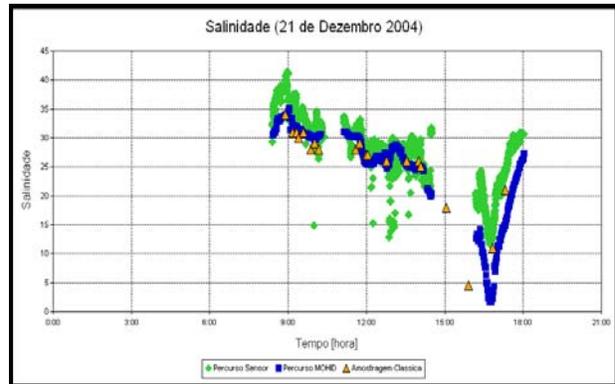
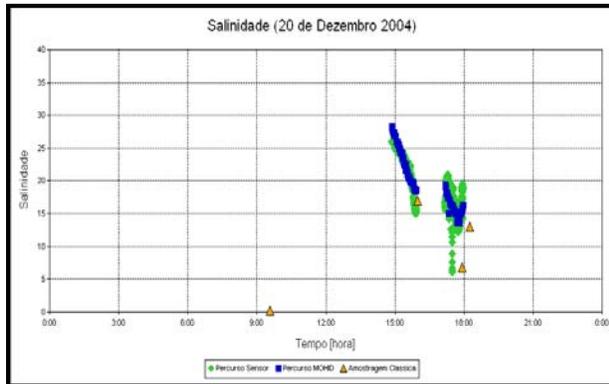
8.4.1 7ª Campanha de amostragem (Novembro de 2004)



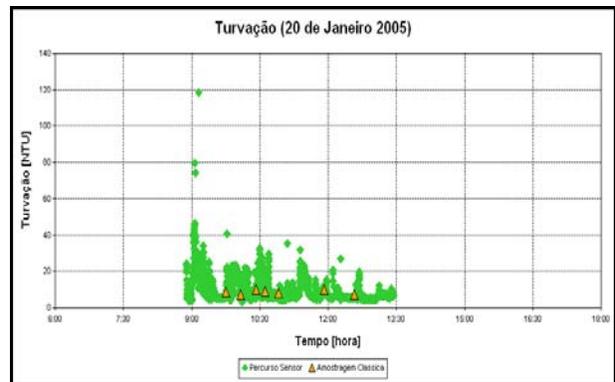
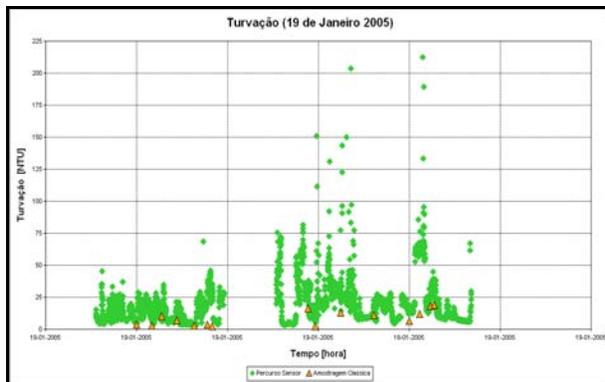
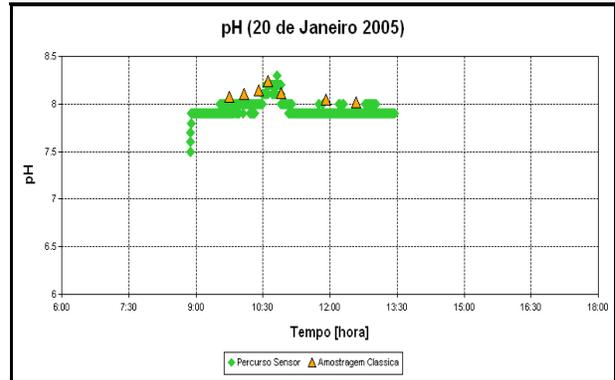
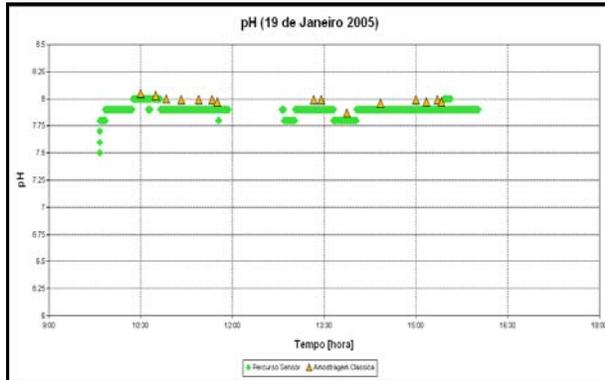
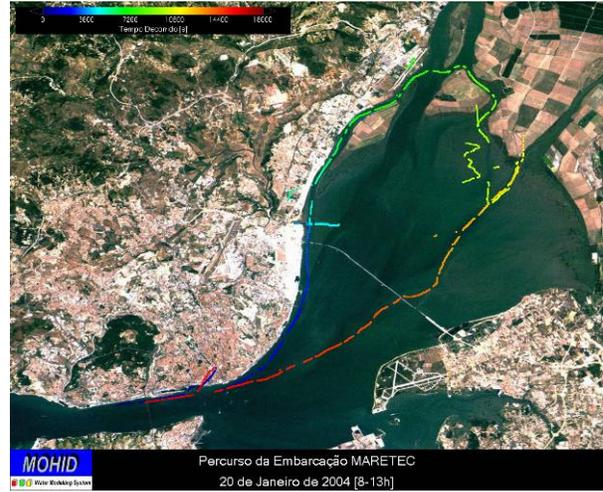


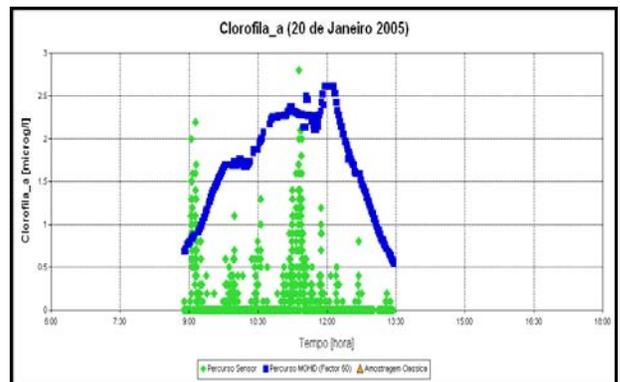
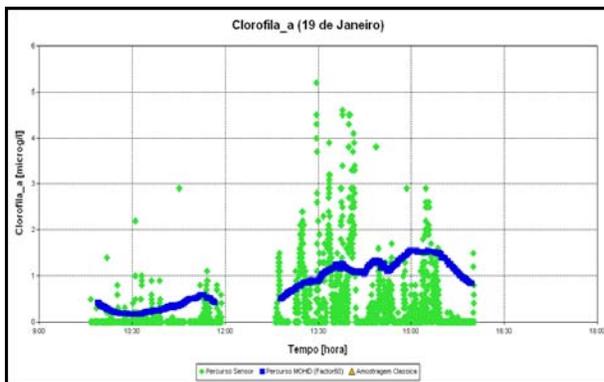
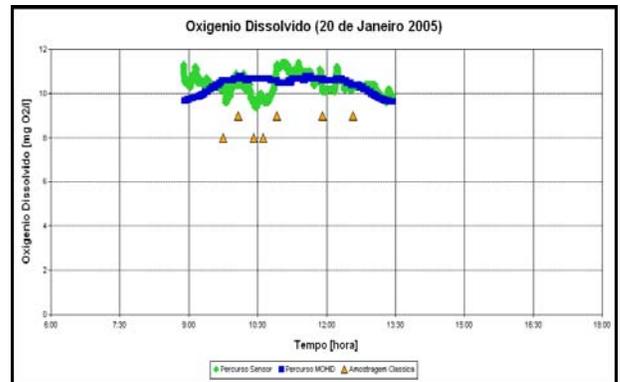
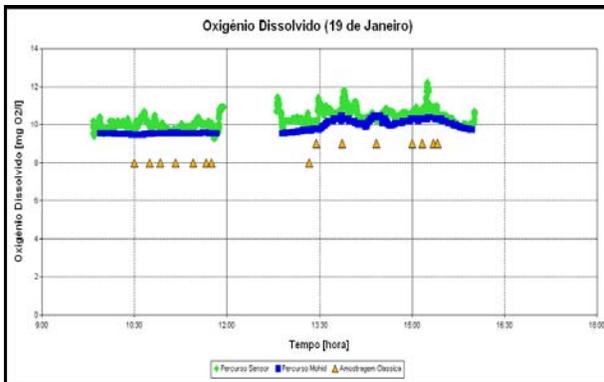
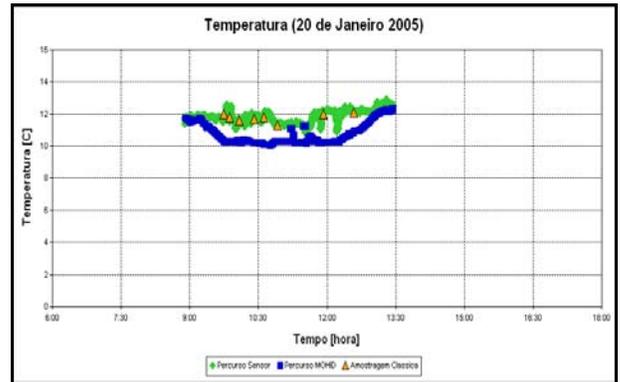
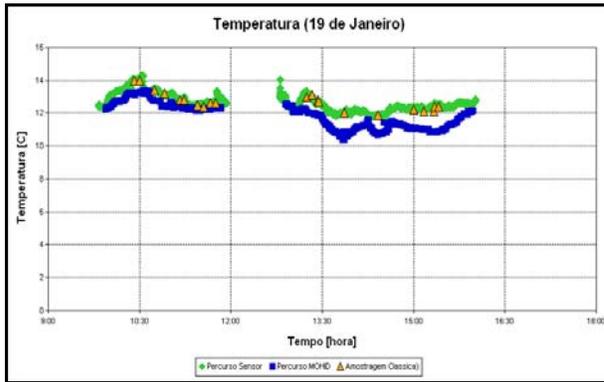
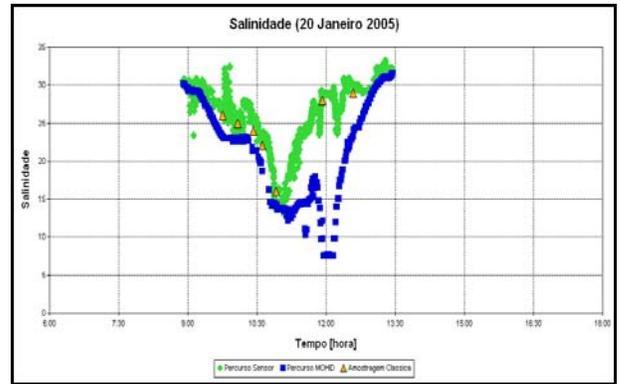
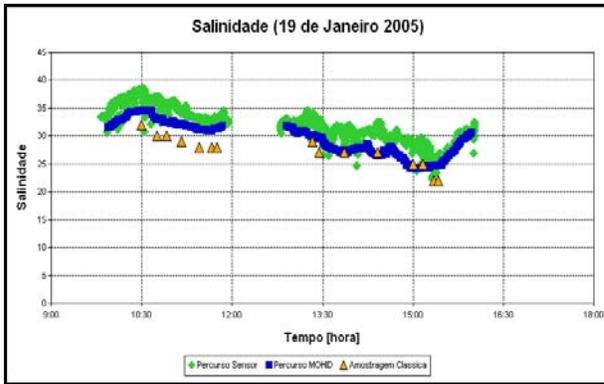
8.4.2 8ª Campanha de amostragem (Dezembro de 2004)



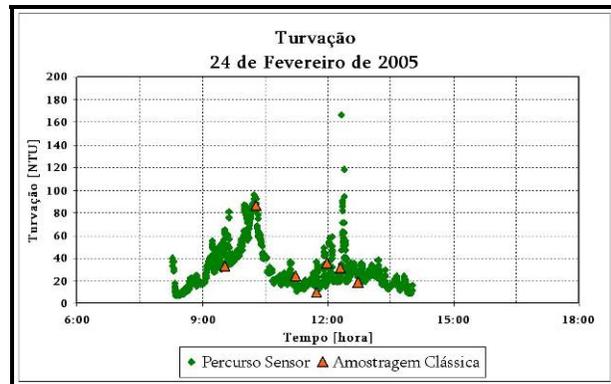
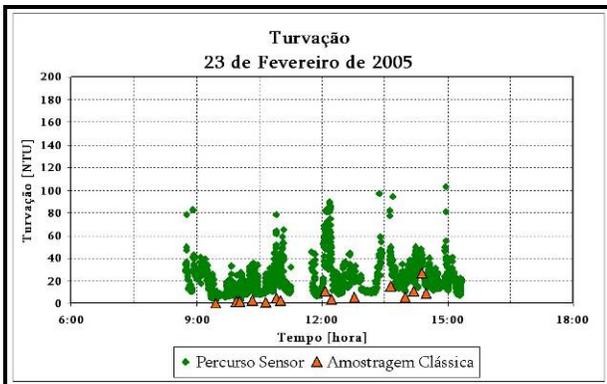
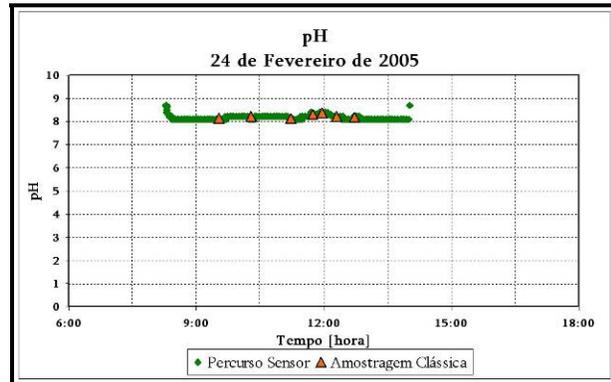
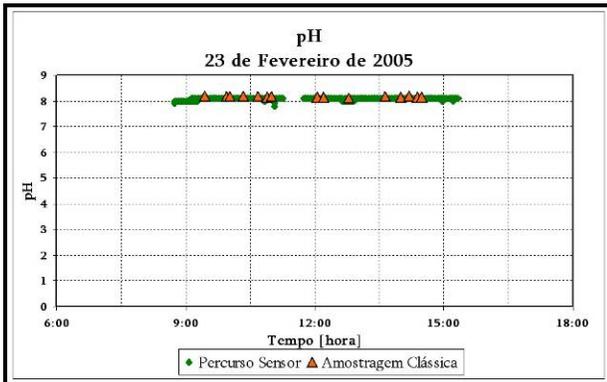
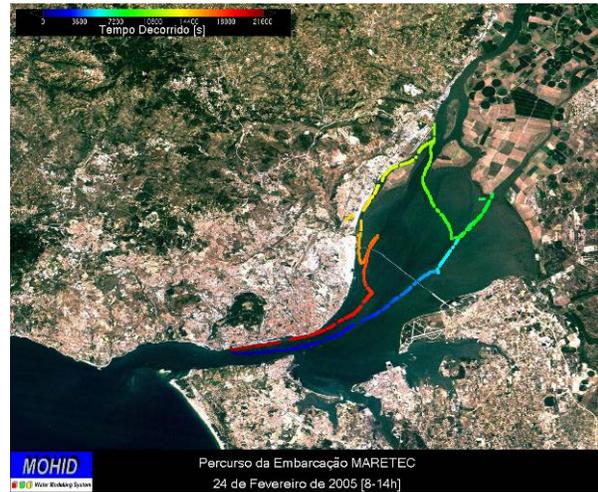


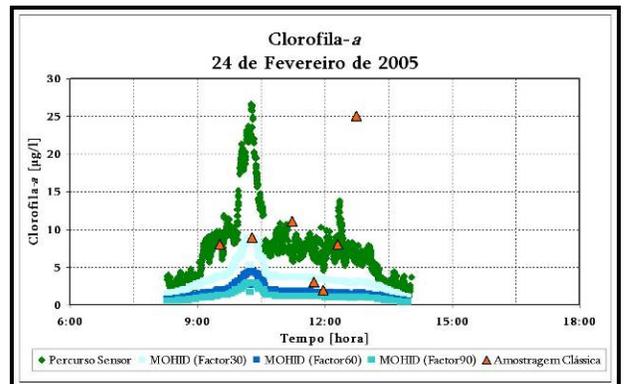
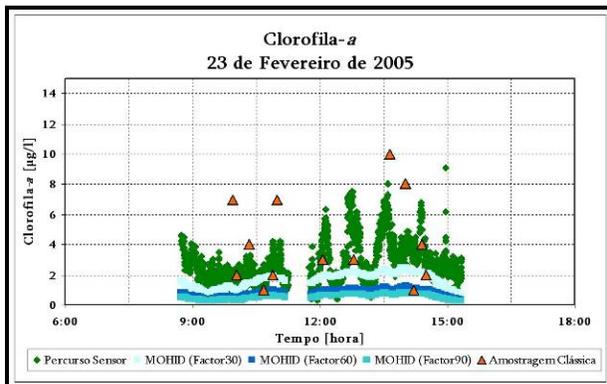
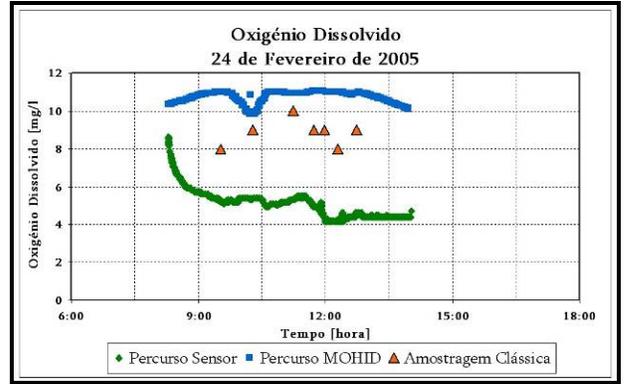
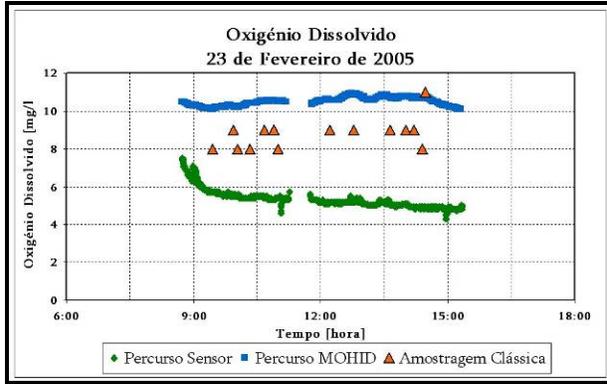
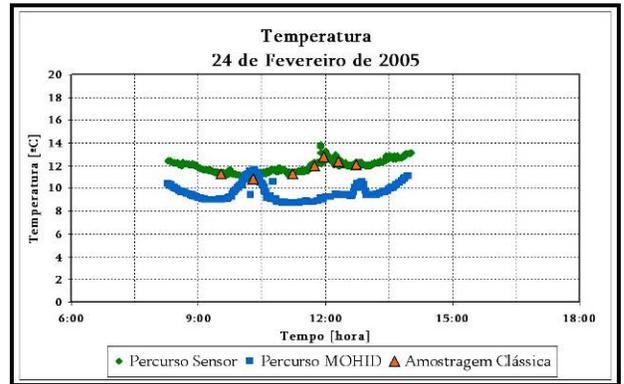
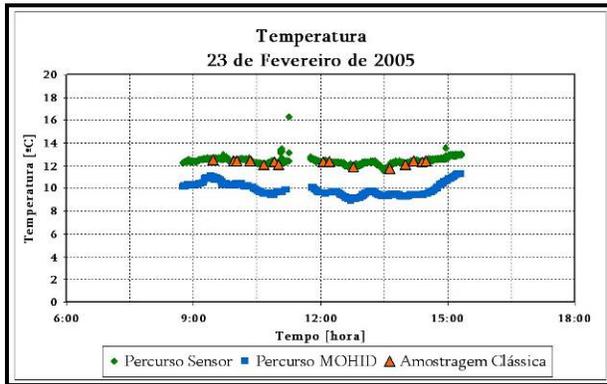
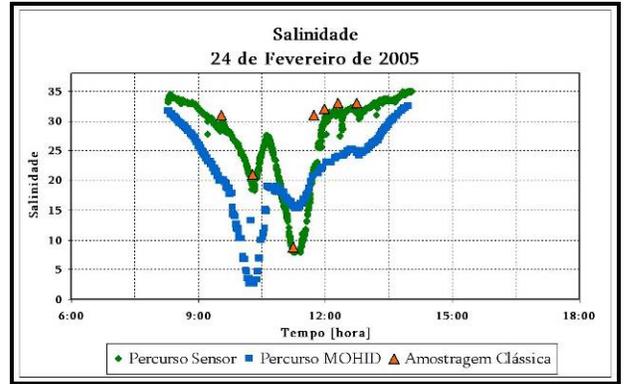
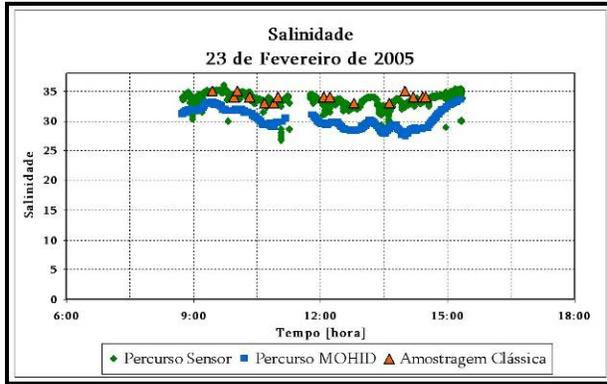
8.4.3 9ª Campanha de amostragem (Janeiro de 2005)



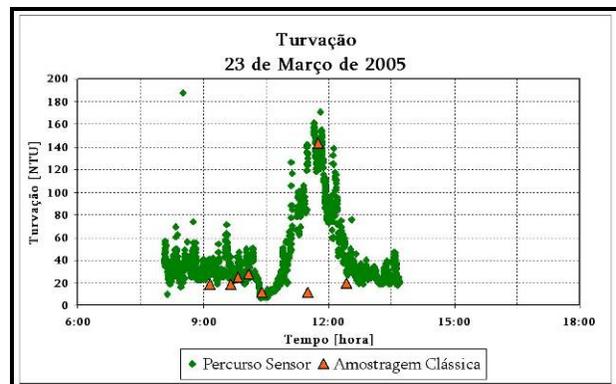
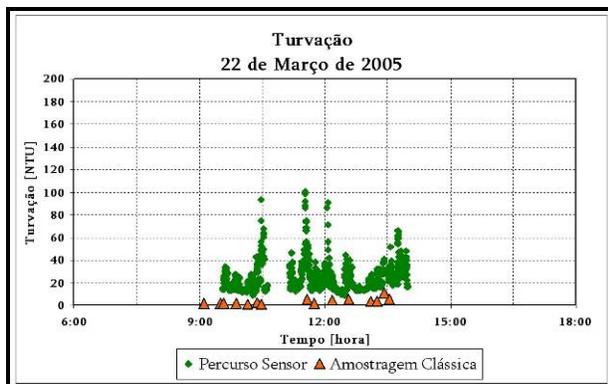
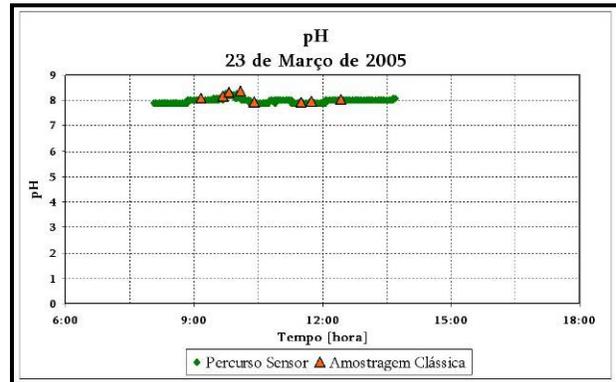
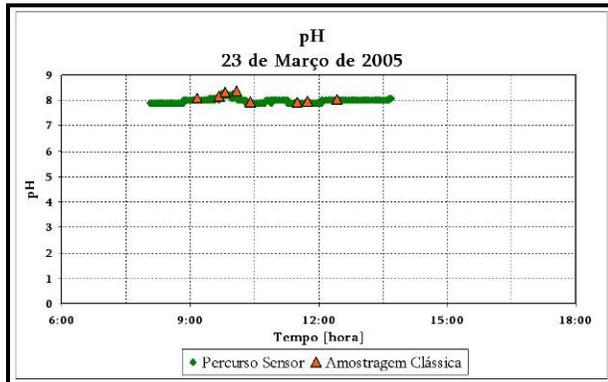
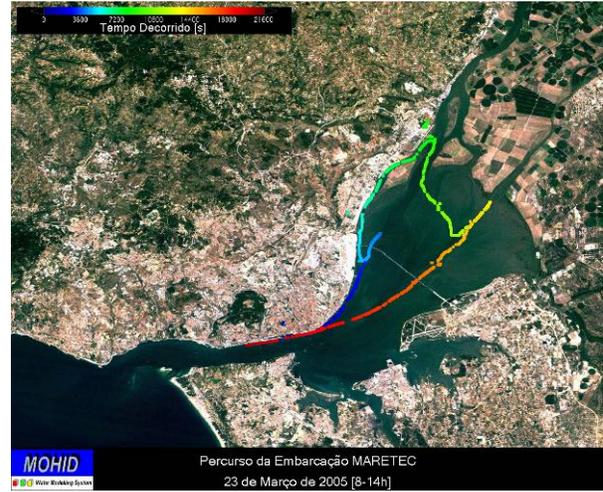


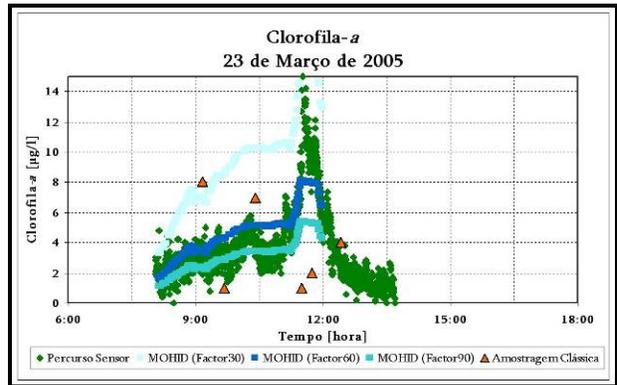
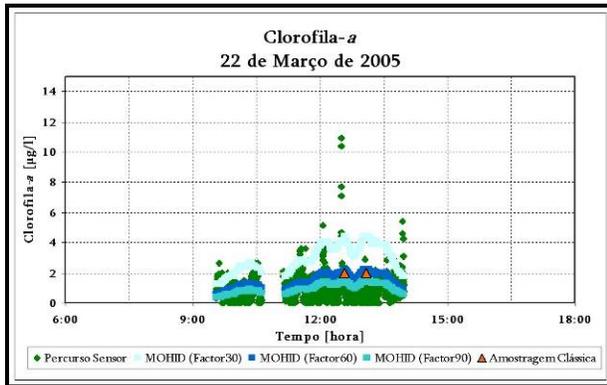
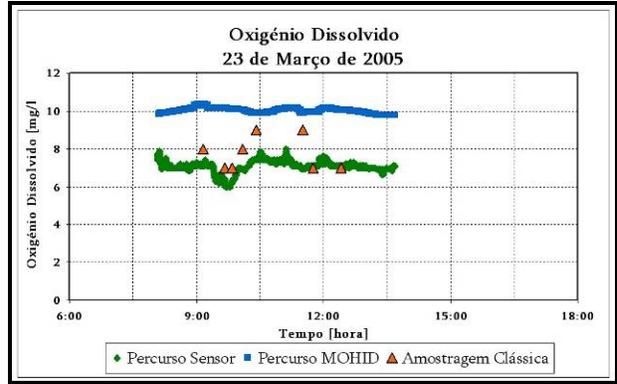
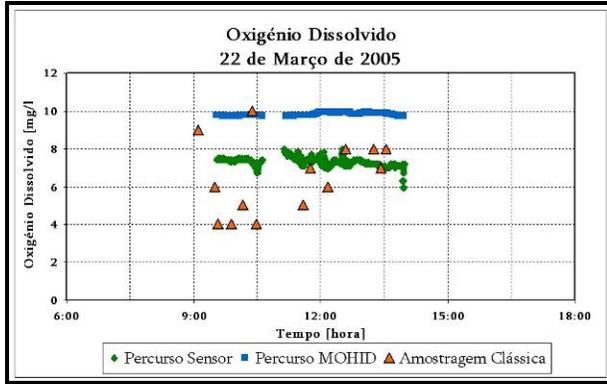
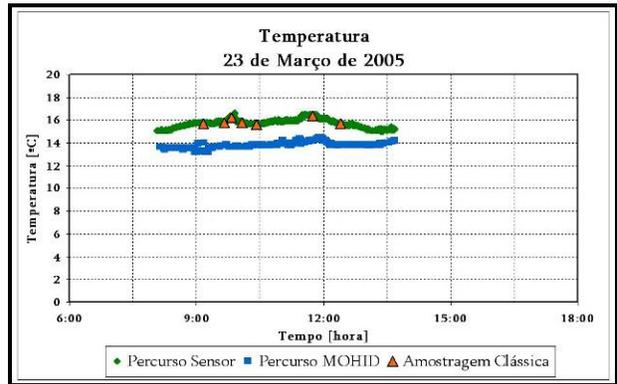
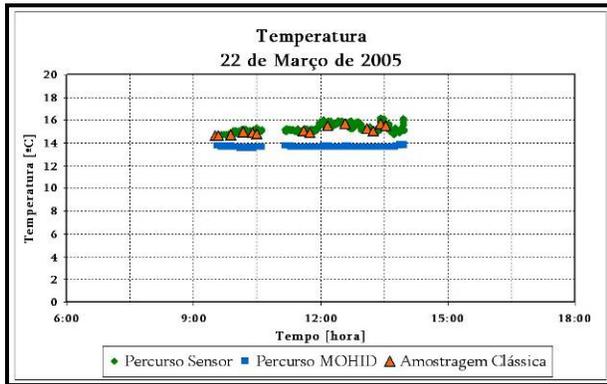
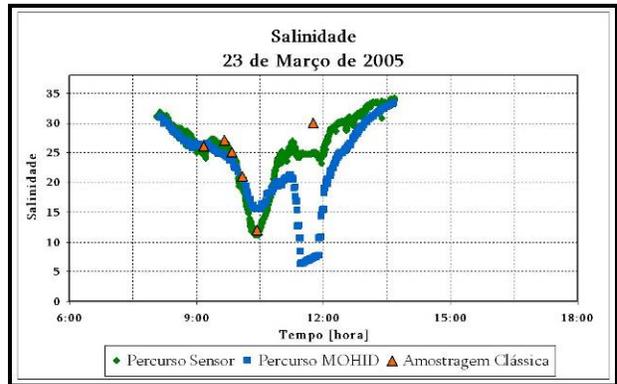
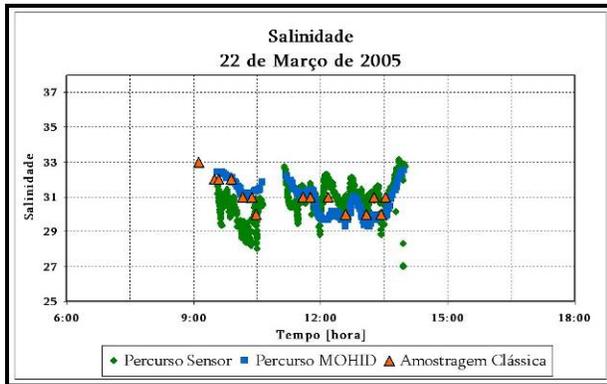
8.4.4 10ª Campanha de amostragem (Fevereiro de 2005)



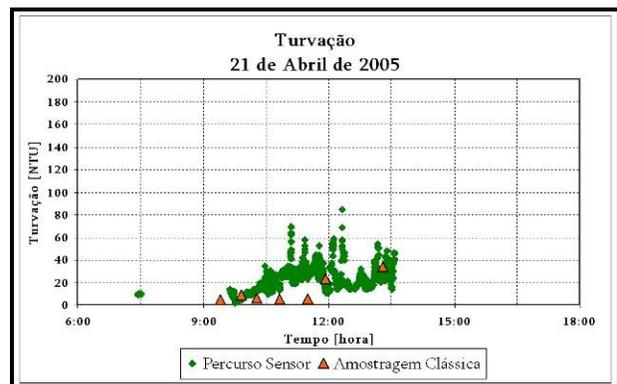
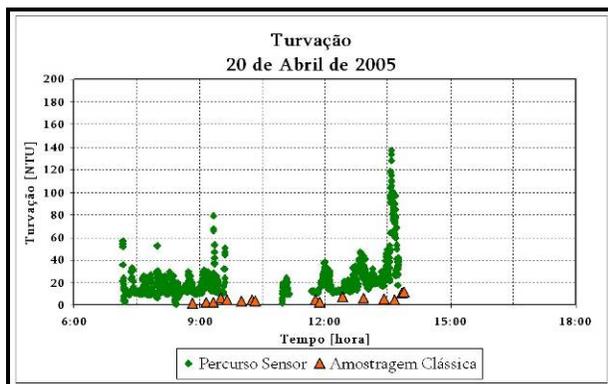
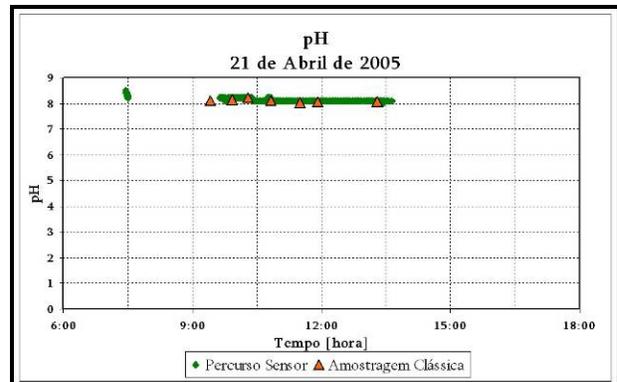
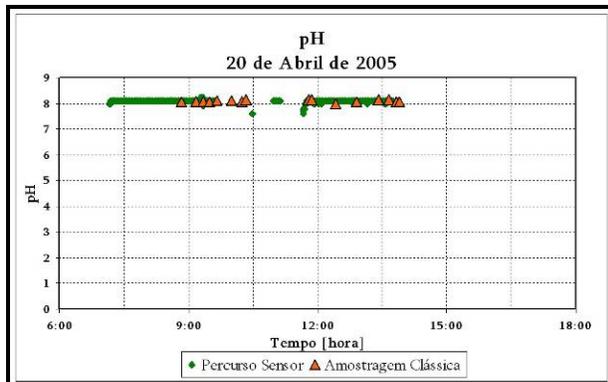
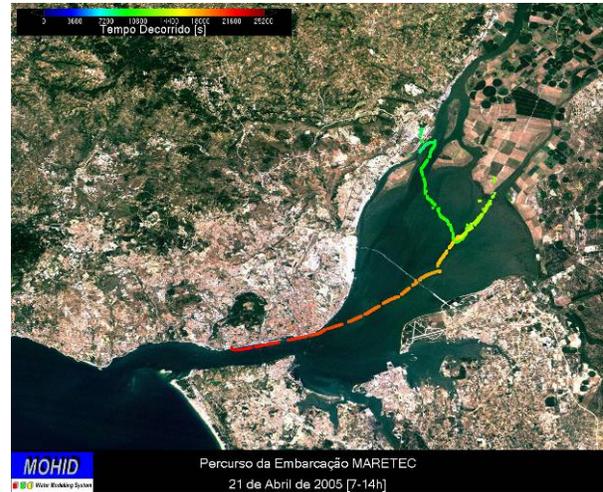
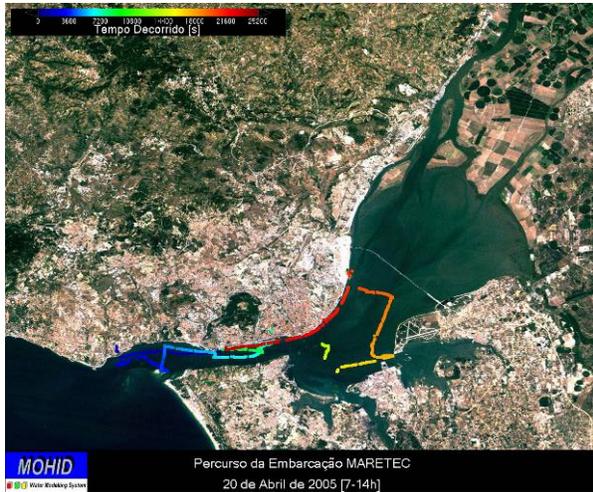


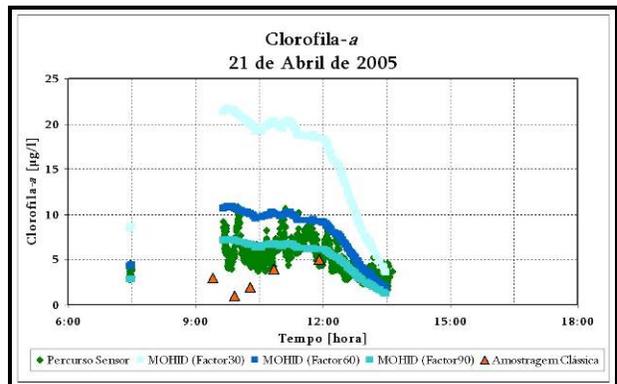
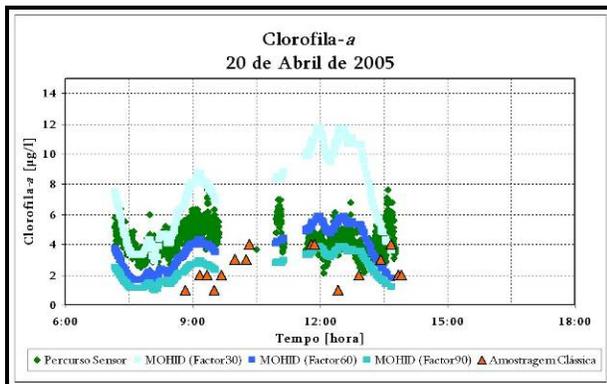
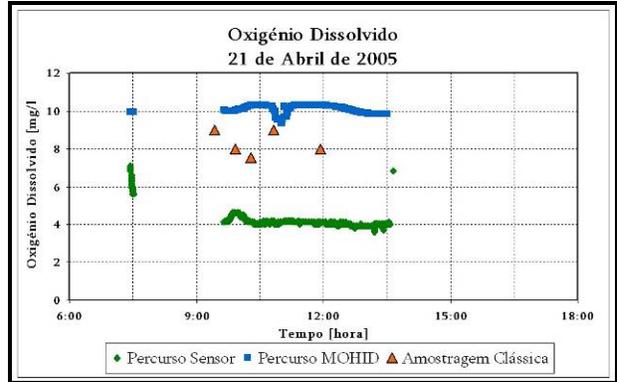
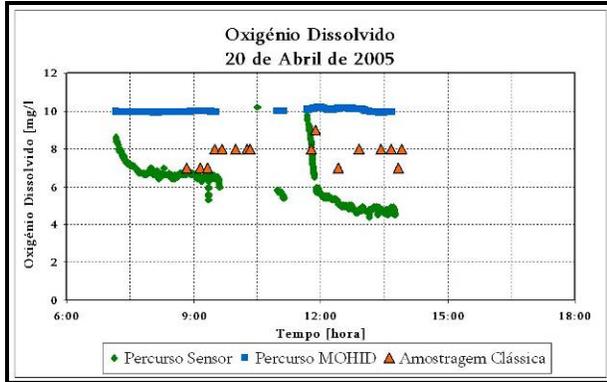
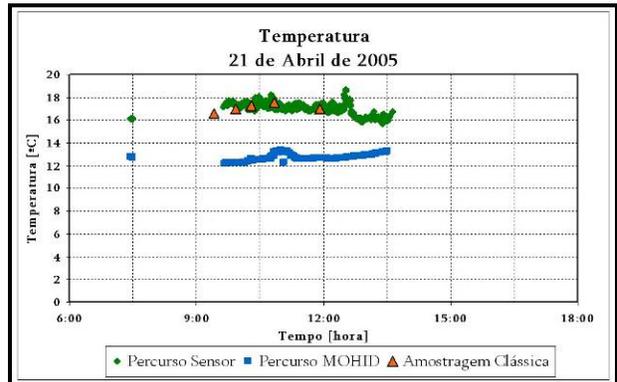
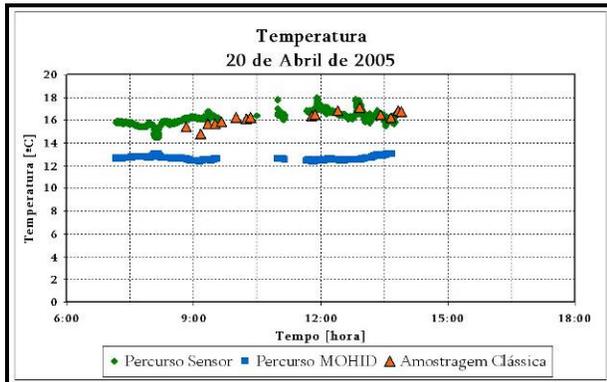
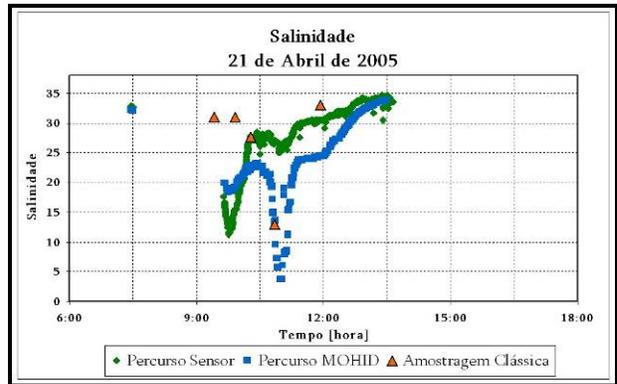
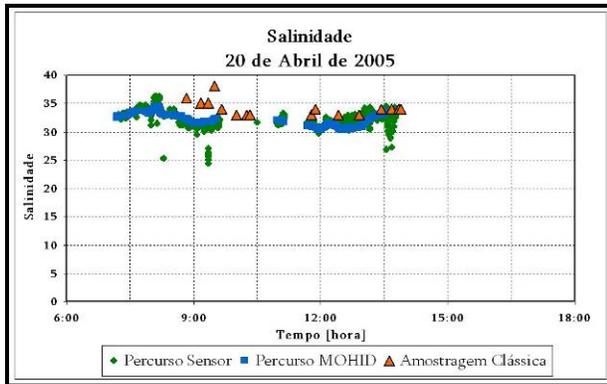
8.4.5 11ª Campanha de amostragem (Março de 2005)





8.4.6 12ª Campanha de amostragem (Abril de 2005)





8.5 Características das descargas de águas residuais urbana

Alcântara	Caudal (m³/s)	Nitrato (mgN/L)	Nitrito (mgN/L)	SST (mg/L)	Amónia (mgN/L)	DONr (mgN/L)	DONnr (mgN/L)	PON (mgN/L)
Janeiro	0.944	15	10	98	8.3	3.47	8.09	23.1
Fevereiro	0.806	15	10	75	5.7	2.39	5.57	15.9
Março	0.875	15	10	86	8.4	3.5	8.16	23.3
Abril	0.888	15	10	85	8.6	3.56	8.31	23.8
Maió	1.069	15	10	95	8.1	3.39	7.91	22.6
Junho	1.121	15	10	110	6.7	2.78	6.49	18.6
Julho	1.083	15	10	97.5	7.4	3.1	7.23	20.7
Agosto	1.071	15	10	85	5.4	2.24	5.22	14.9
Setembro	1.190	15	10	78.2	7.4	3.1	7.23	20.7
Outubro	1.258	15	10	73.7	7.3	3.06	7.14	20.4
Novembro	1.335	15	10	90	6.7	2.79	6.51	18.6

Chelas	Caudal (m³/s)	Nitrato (mgN/L)	Nitrito (mgN/L)	SST (mg/L)	Amónia (mgN/L)	DONr (mgN/L)	DONnr (mgN/L)	PON (mgN/L)
Janeiro	0.383	3	0.0001	98	1.1	0.45	1.05	3
Fevereiro	0.403	3	0.0001	75	1.3	0.55	1.28	3.7
Março	0.403	3	0.0001	86	1.6	0.66	1.54	4.4
Abril	0.379	3	0.0001	85	1.3	0.56	1.3	3.7
Maió	0.379	3	0.0001	95	1.6	0.65	1.52	4.4
Junho	0.326	3	0.0001	110	1.7	0.7	1.63	4.7
Julho	0.421	3	0.0001	97.5	1.1	0.45	1.05	3
Agosto	0.415	3.3	0.0001	85	3.9	0.21	0.48	1.4
Setembro	0.393	3	0.0001	78.2	9.1	0.29	0.67	1.9
Outubro	0.399	2.5	0.0001	73.7	3.8	0.39	0.9	2.6
Novembro	0.406	3.2	0.0001	90	6.7	0.11	0.25	0.7

S João da Talha	Caudal (m³/s)	Nitrato (mgN/L)	Nitrito (mgN/L)	SST (mg/L)	Amónia (mgN/L)	DONr (mgN/L)	DONnr (mgN/L)	PON (mgN/L)
Janeiro	0.143	3.5	1.3	162.42	8.1	3.38	7.88	22.5
Fevereiro	0.138	3.1	1.3	171	7.7	3.2	7.46	21.3
Março	0.150	2.7	1.3	163.85	8.3	3.45	8.04	23
Abril	0.137	4.9	1.3	178.77	7.5	3.12	7.29	20.8
Maió	0.143	7.1	1.3	94.31	6.5	2.71	6.32	18.1
Junho	0.140	9.3	1.3	40.92	3.9	1.62	3.78	10.8
Julho	0.125	4	1.3	97.68	3.4	1.44	3.35	9.6
Agosto	0.117	5.6	1.3	154.43	22.9	1.25	2.92	8.4
Setembro	0.131	2.2	2.4	65.27	19.1	0.73	1.7	4.9
Outubro	0.160	3.6	1.3	88.89	20.2	1.63	3.8	10.9
Novembro	0.151	2.9	1.8	110.15	23.5	1.67	3.89	11.1

Nome	Caudal (m ³ /s)	SST (mg/L)	Nitrato (mgN/L)	Nitrito (mgN/L)	Amónia (mgN/L)	DONr (mg N/L)	DONnr (mg N/L)	PON (mg N/L)
Mutela	0.301	516	15.00	10.00	18.2	7.8	18.1	25.9
Portinho da Costa	0.259	567	15.00	10.00	20.0	8.5	19.9	28.4
Quinta da Bomba	0.707	413	15.00	10.00	14.6	6.2	14.5	20.7
Alhos Vedros	0.009	120	11.63	0.08	12.3	5.5	13.0	17.8
Moita	0.175	454	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8
Palhais	0.793	454	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8
Montijo	0.139	454	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8
Alcochete	0.023	160	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8
Vila Franca de Xira	0.139	454	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8
Alverca	0.494	454	15.00	10.00	16.0	6.8	15.9	22.8

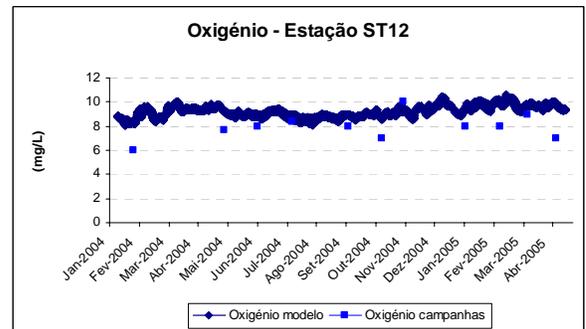
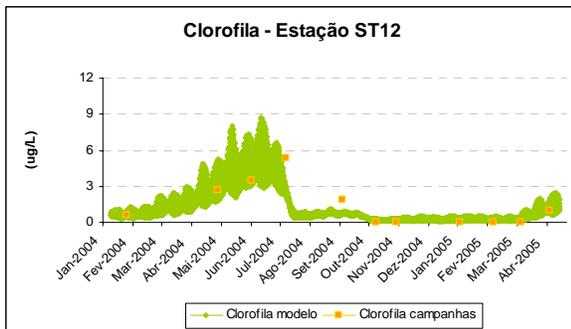
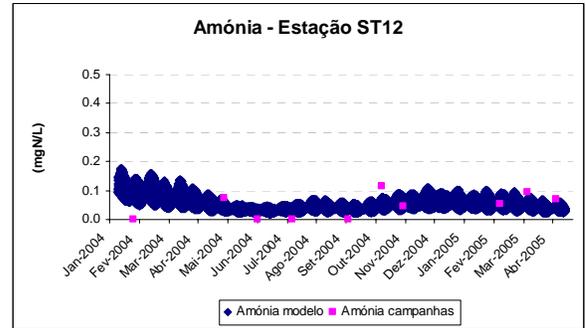
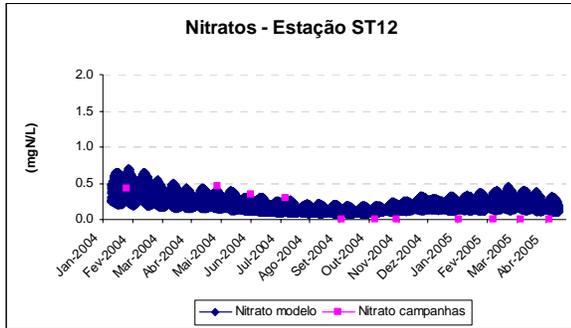
NOTA: Os valores constantes na tabela anterior são estimativas calculadas com base em dados de população equivalente servida, ou prevista, obtidos através de diversas fontes e utilizando algumas considerações constante na tabela seguinte. Os dados aqui apresentados e utilizados no modleo, poderão conter algumas imprecisões, carecendo de actualização.

Propriedade	Considerações
Caudal Médio Diário	200 L / hab. dia
Sólidos Suspensos Totais	90,7 g / hab. dia
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	60 g / hab. dia
Azoto Inorgânico Nitrito	10 mg N / L
Nitrato	15 mg N / L
Azoto Amoniacal	3,2 g N / hab. dia
Azoto Orgânico	9,1 g N / hab.dia
Azoto Orgânico Dissolvido	35% do Azoto Orgânico Total
Refractário	
Azoto Orgânico Dissolvido Refractário	15% do Azoto Orgânico Total
Particulado	50% do Azoto Orgânico Total

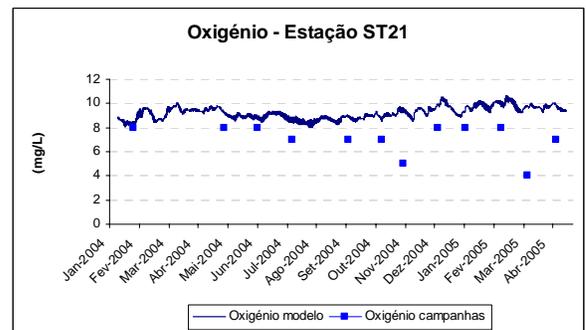
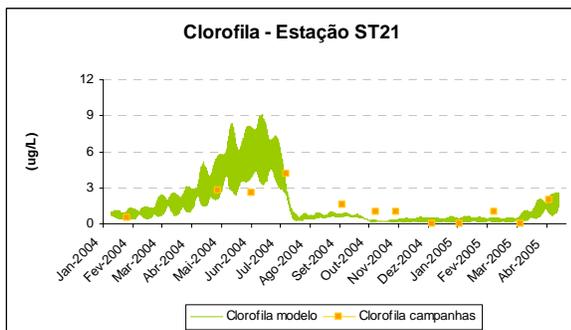
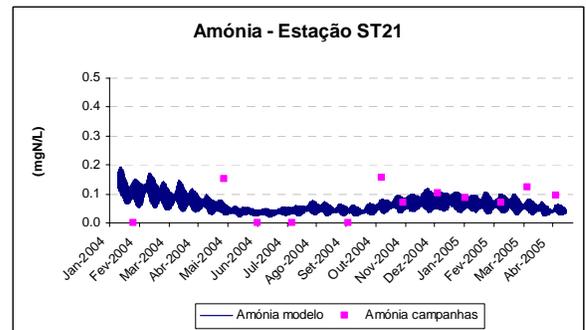
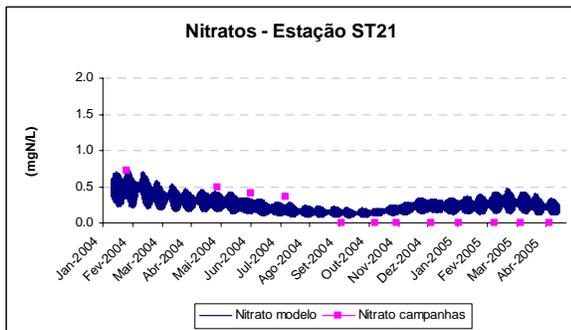
8.6 Complemento à Validação dos Resultados do Modelo

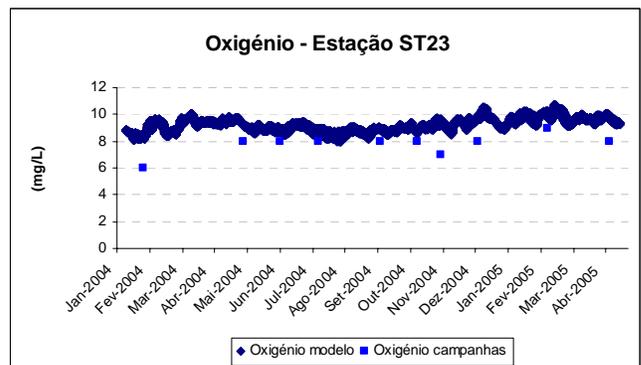
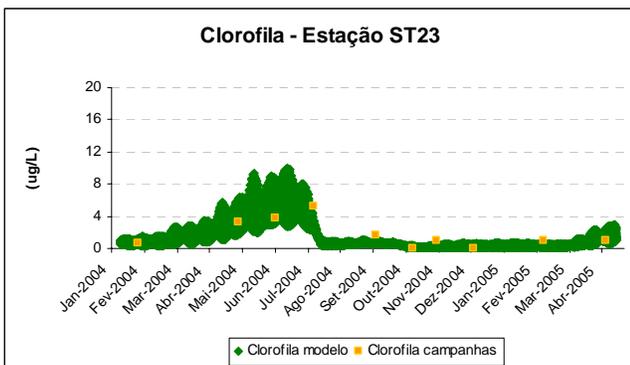
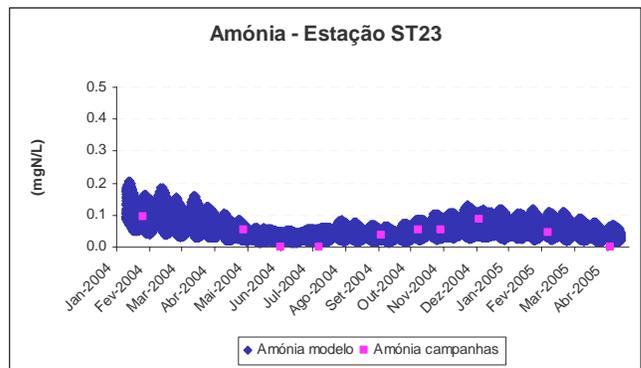
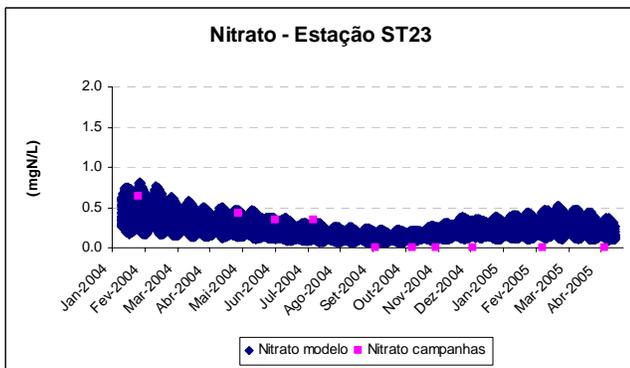
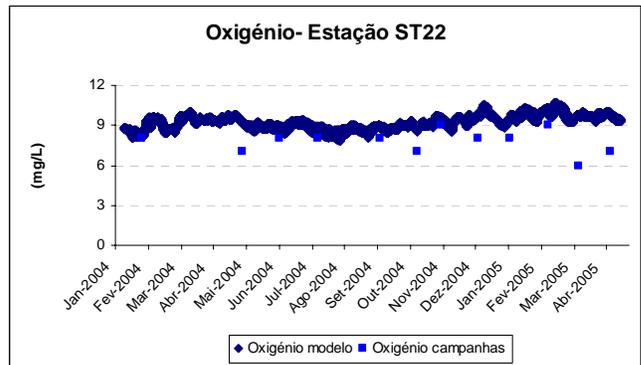
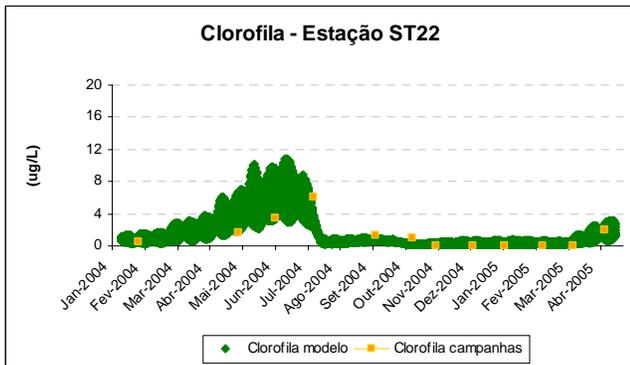
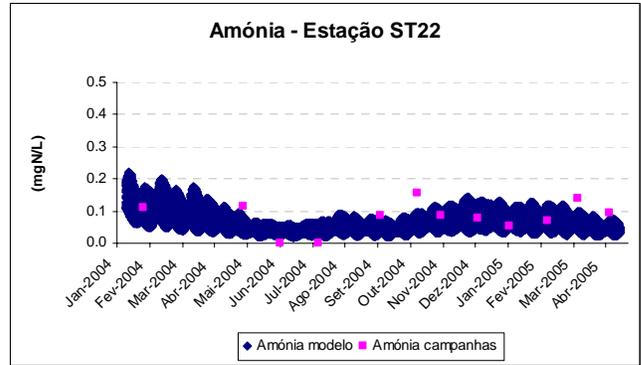
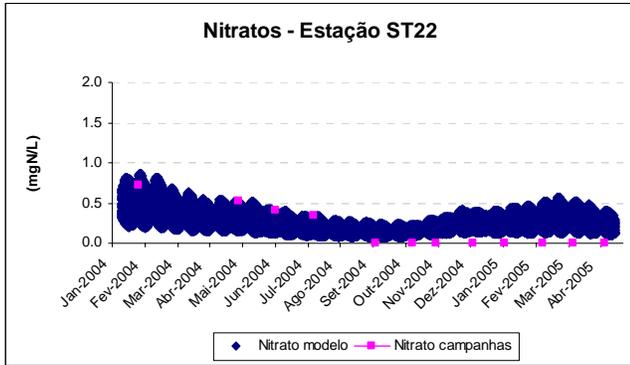
8.6.1 Séries Temporais de Propriedades Químicas e Biológicas

8.6.1.1 Diagonal 1

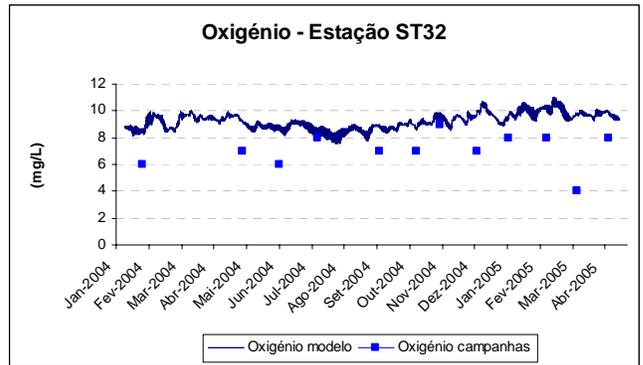
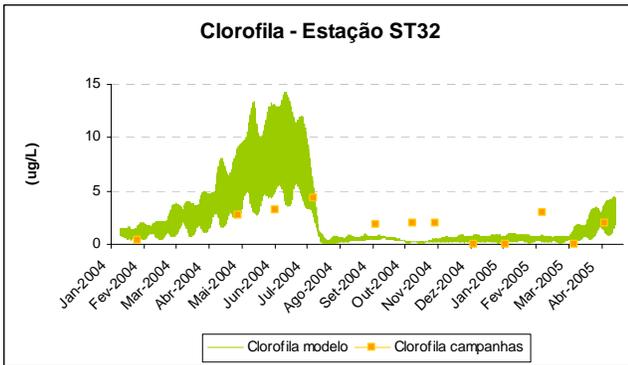
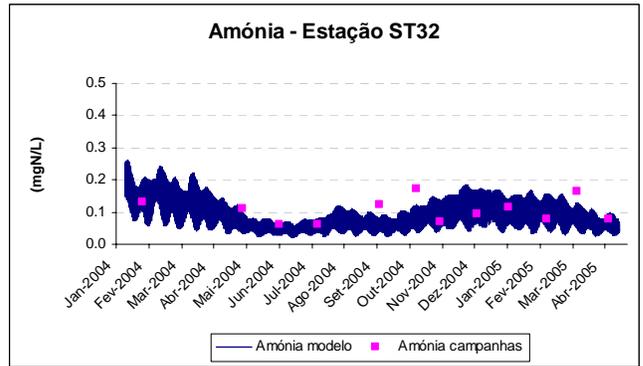
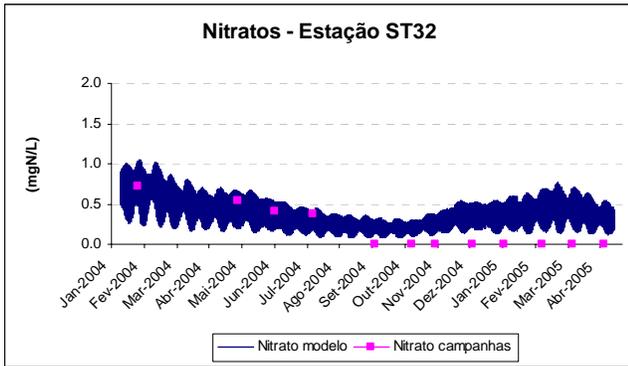


8.6.1.2 Diagonal 2

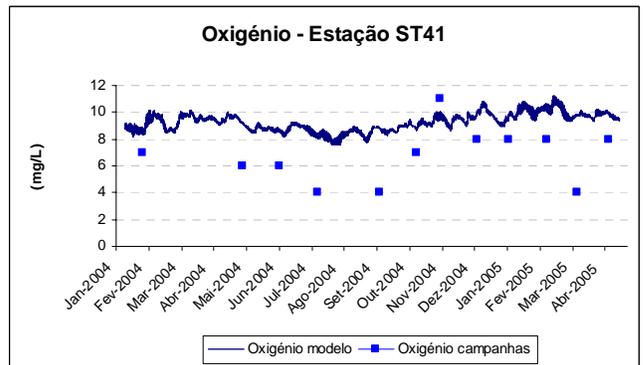
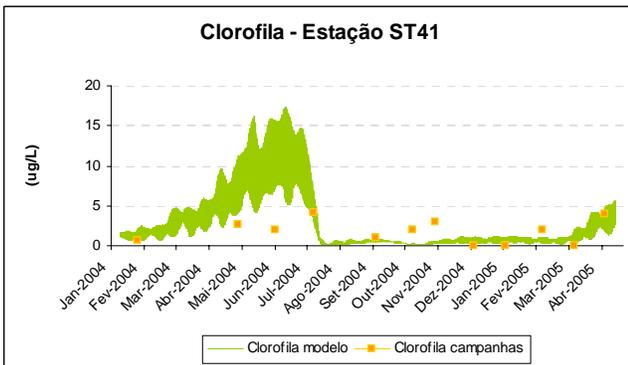
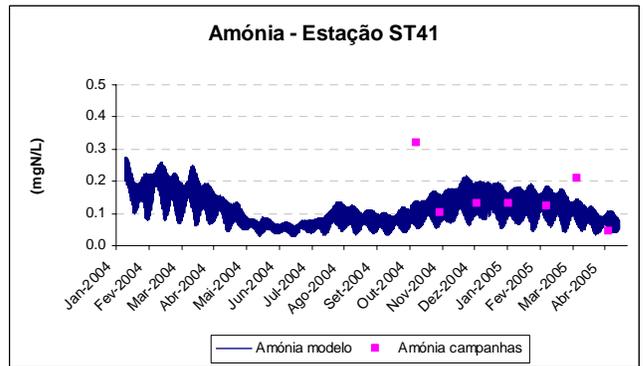
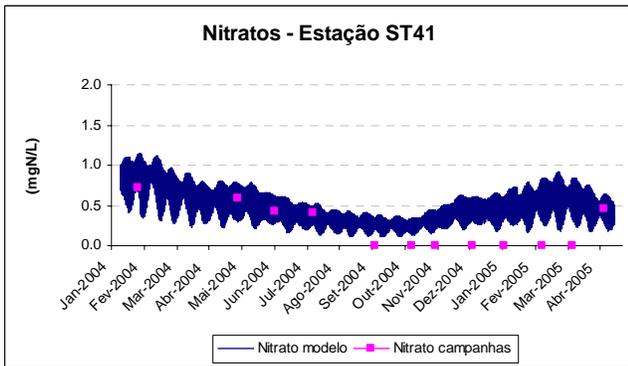


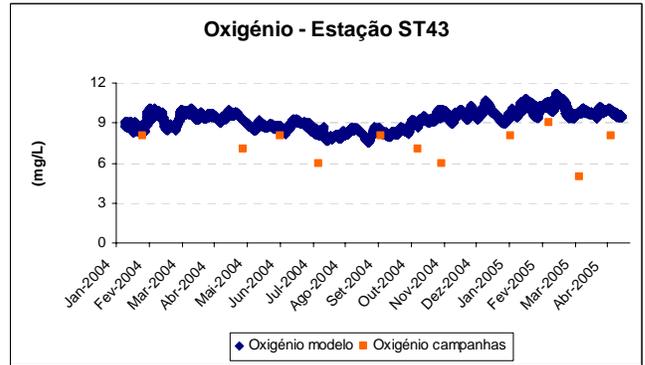
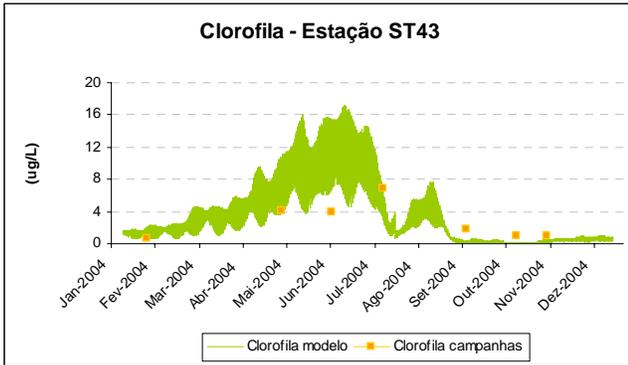
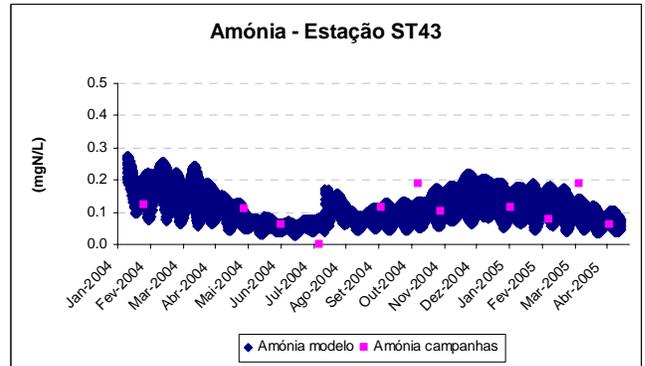
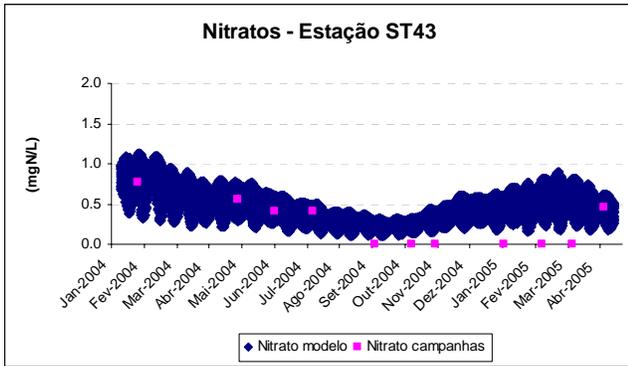


8.6.1.3 Diagonal 3

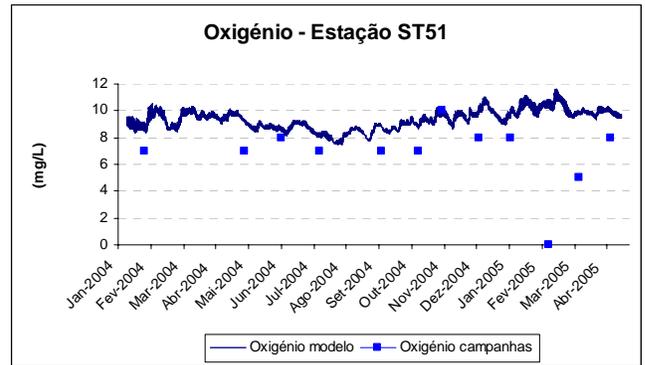
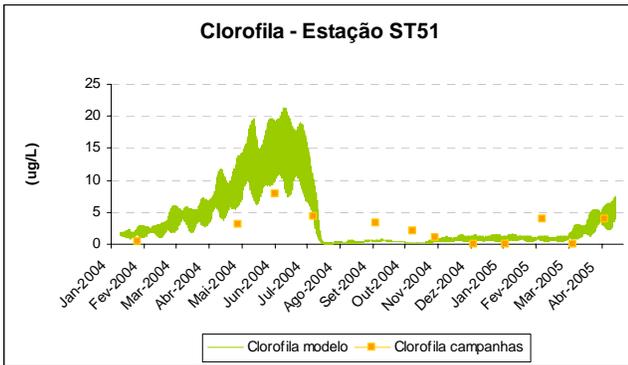
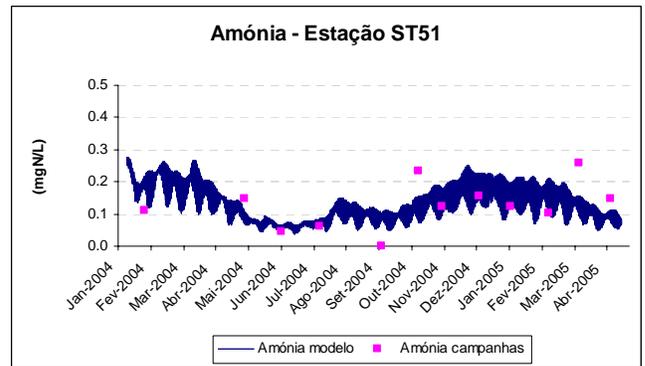
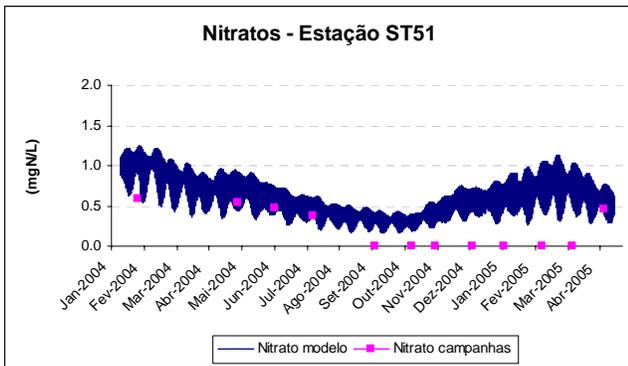


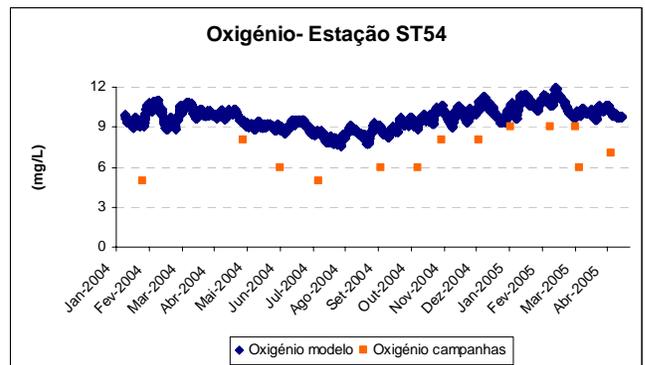
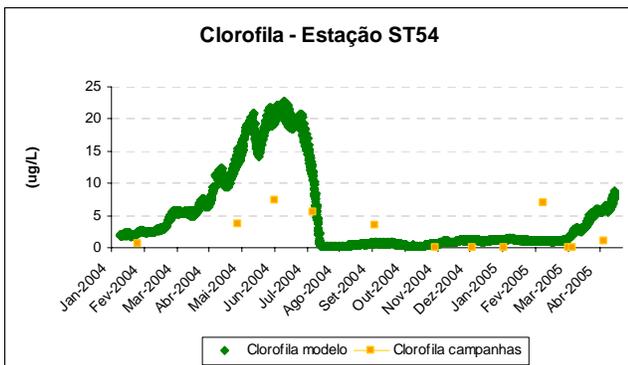
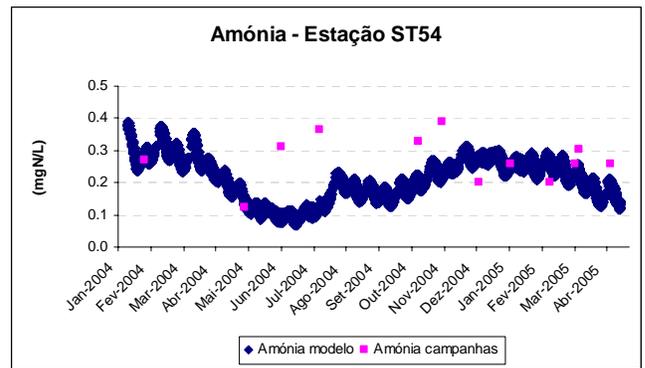
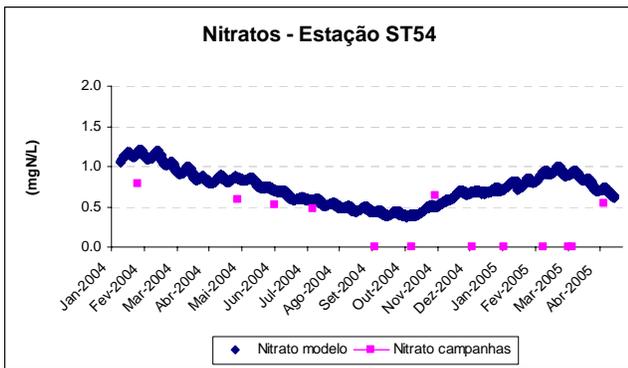
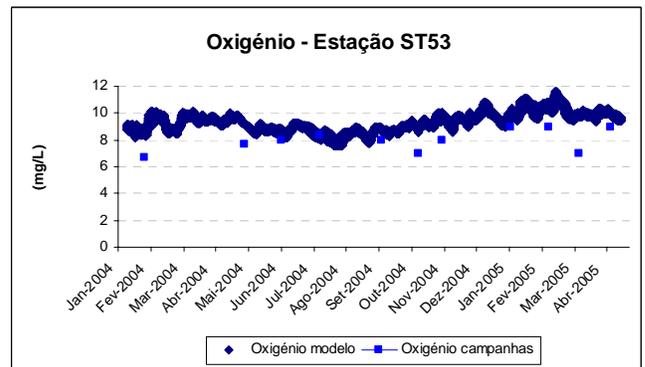
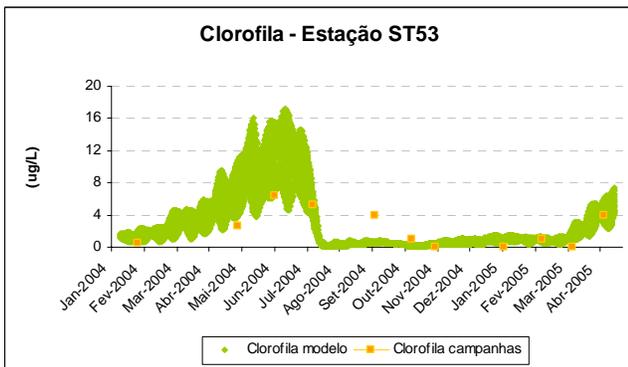
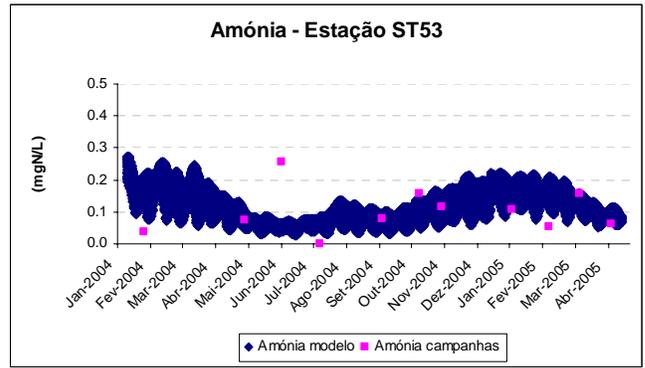
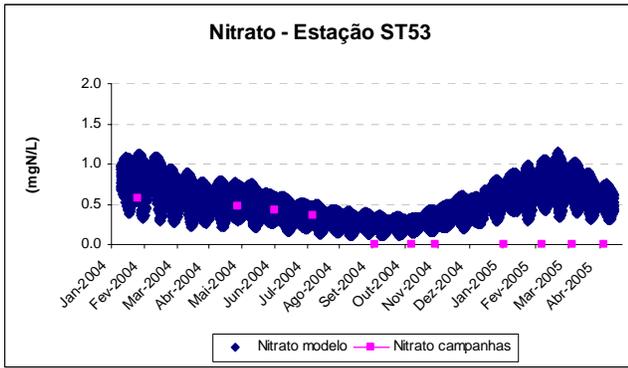
8.6.1.4 Diagonal 4



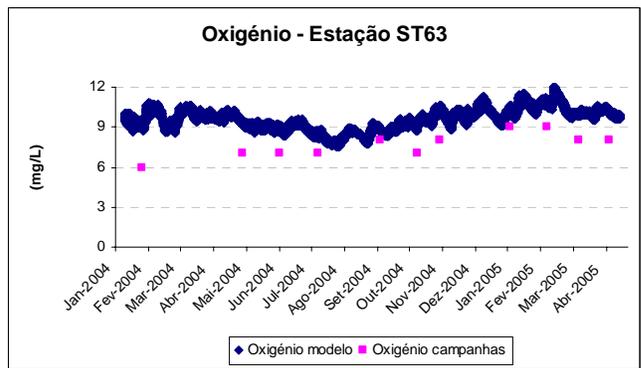
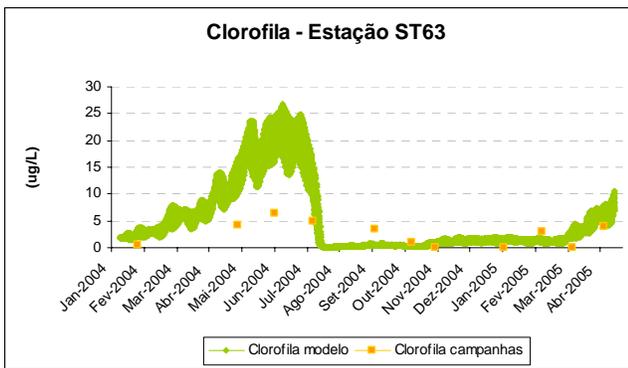
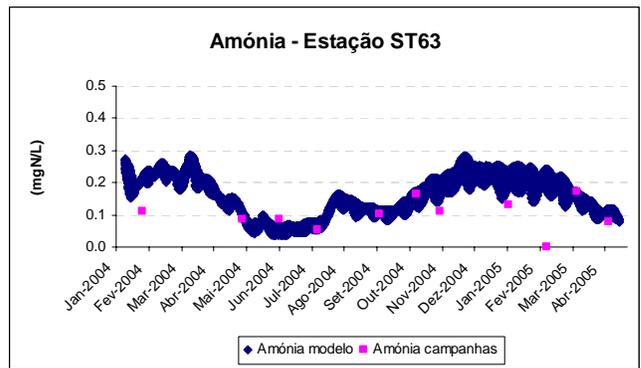
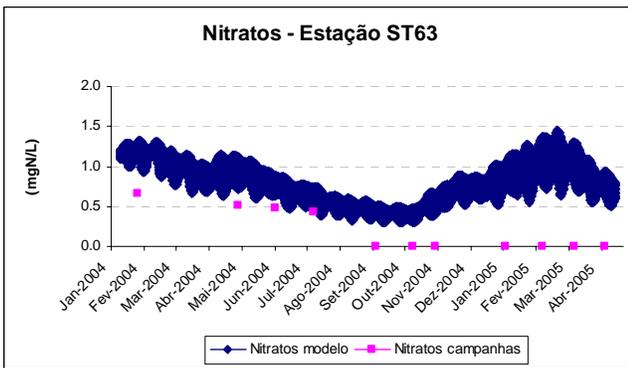
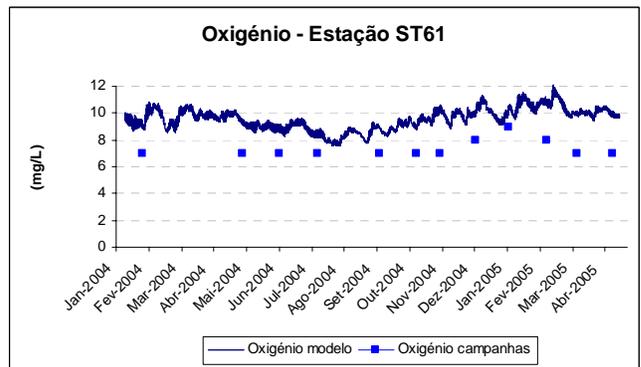
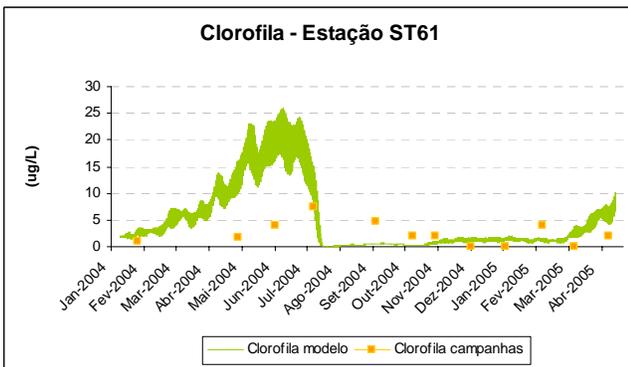
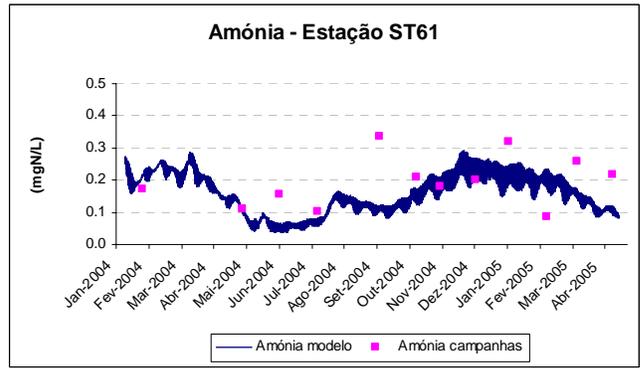
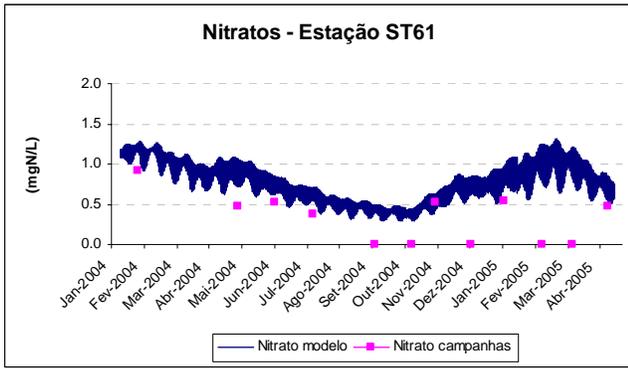


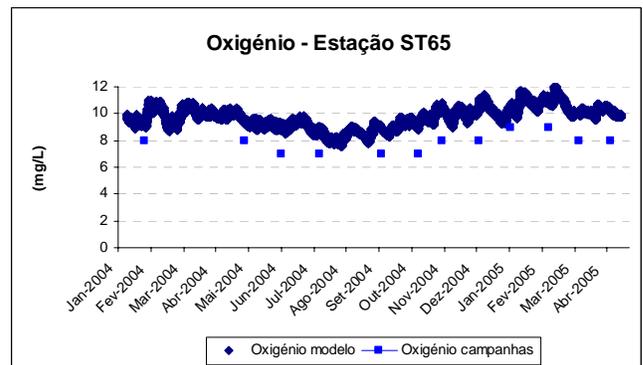
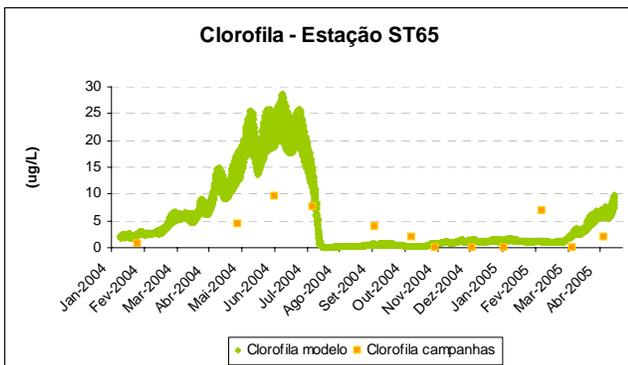
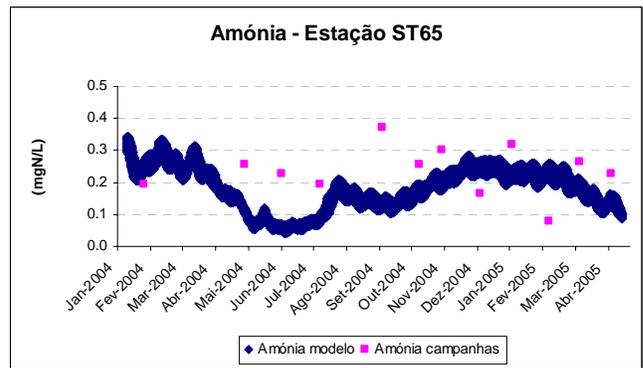
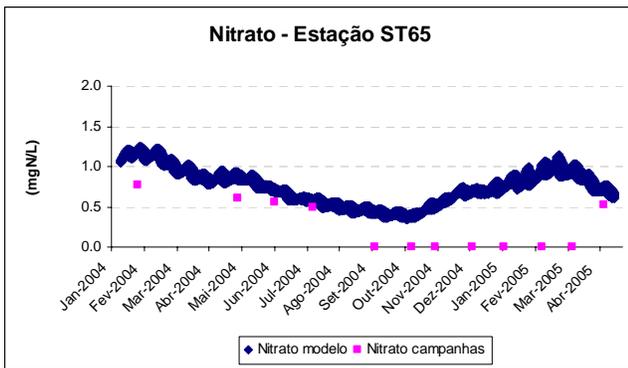
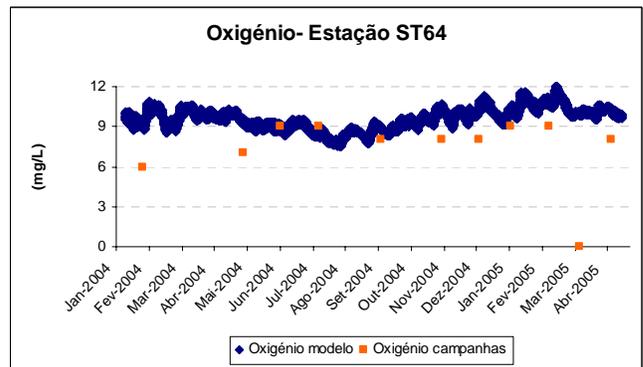
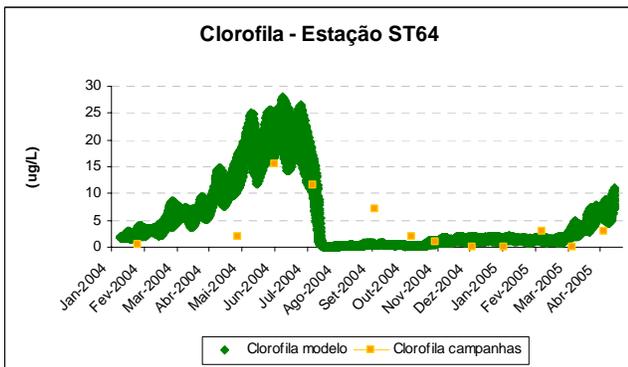
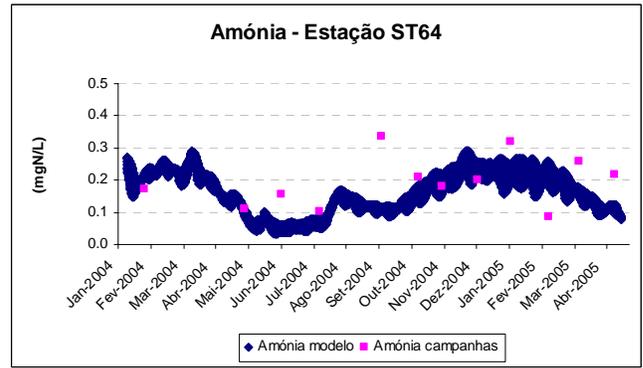
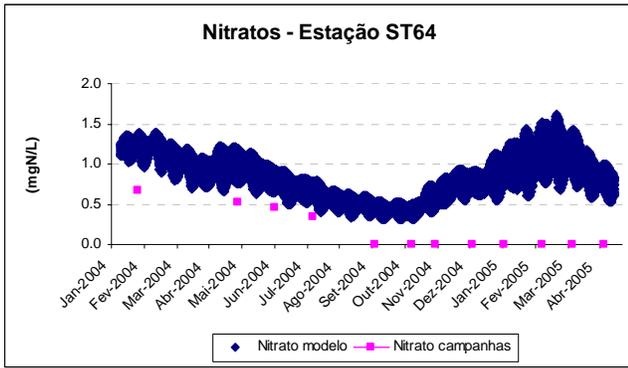
8.6.1.5 Diagonal 5



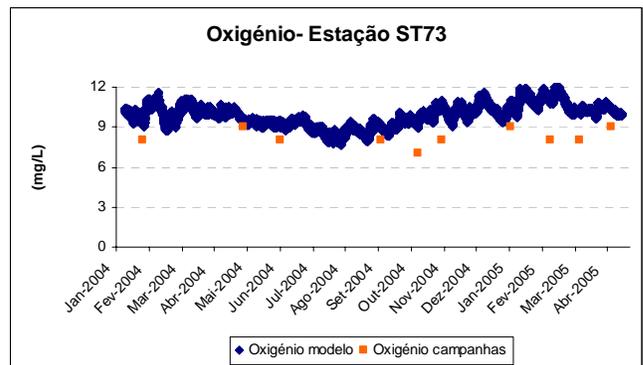
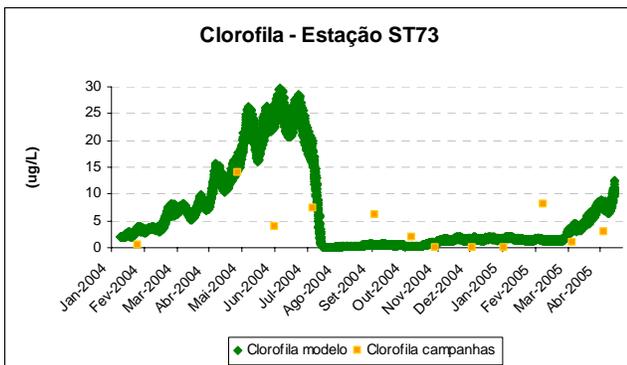
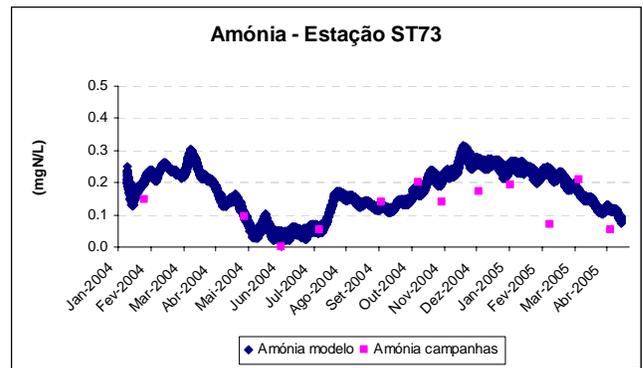
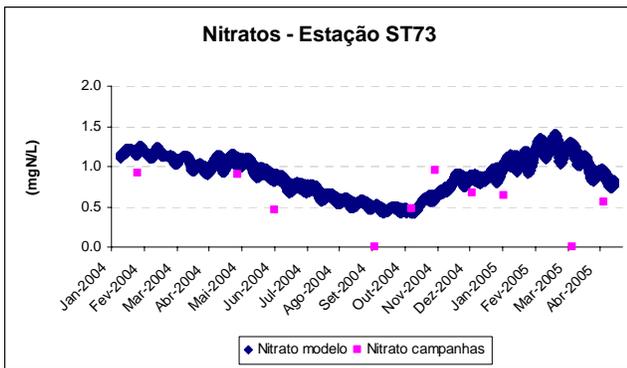
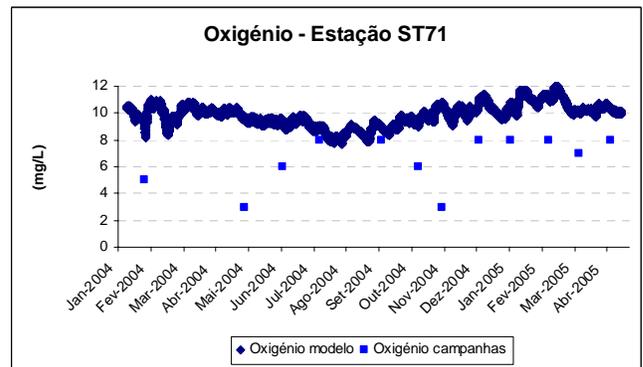
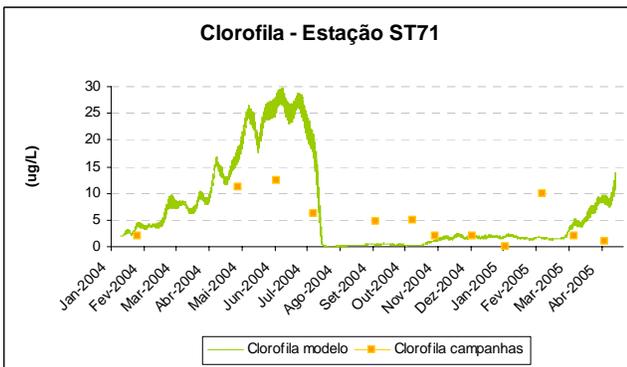
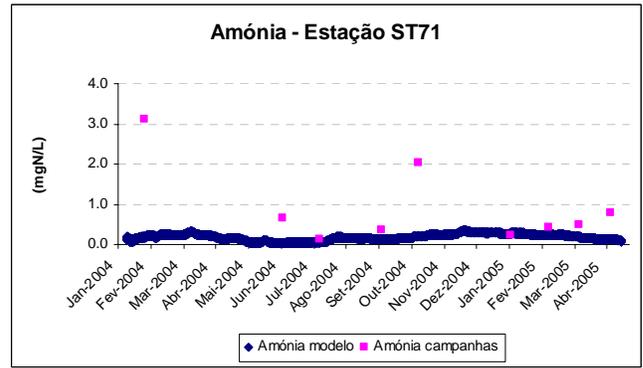
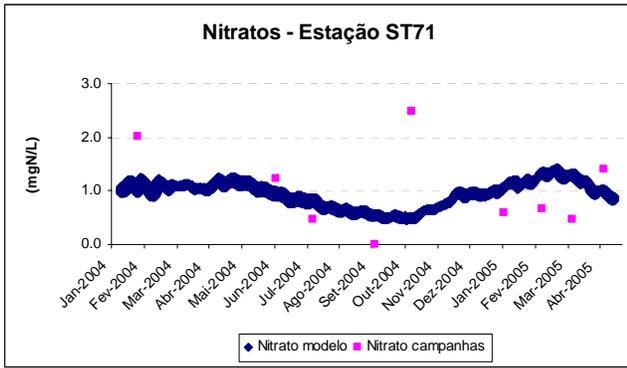


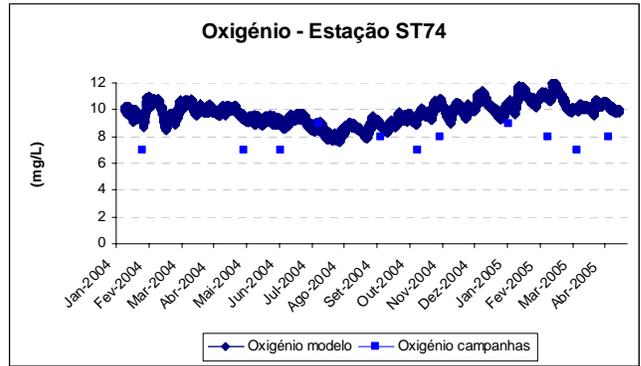
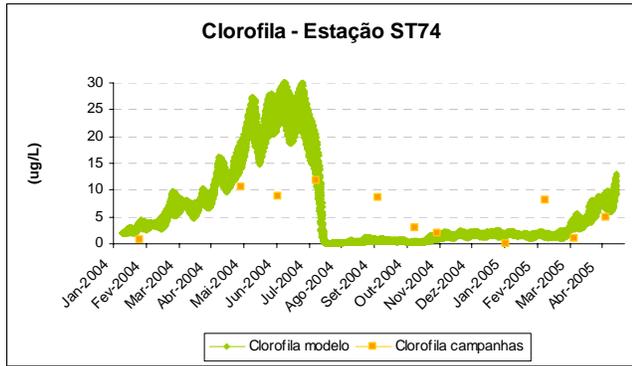
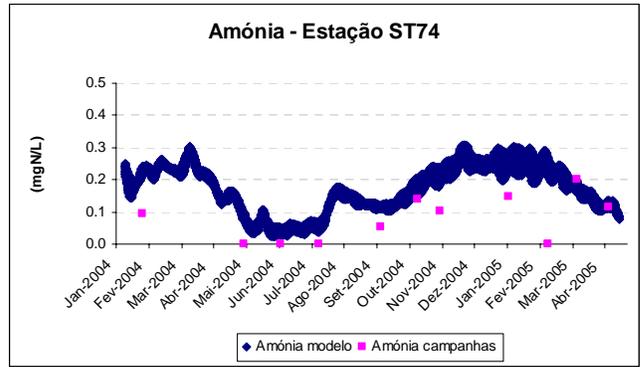
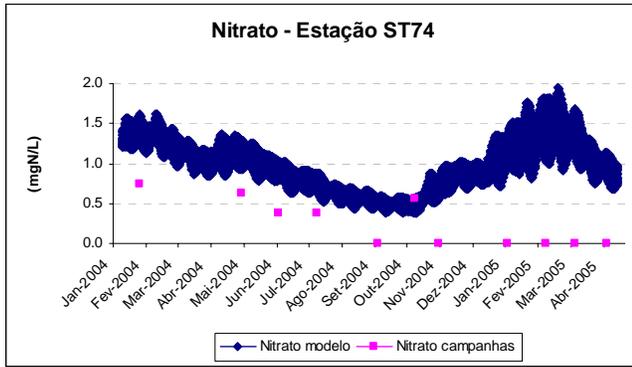
8.6.1.6 Diagonal 6



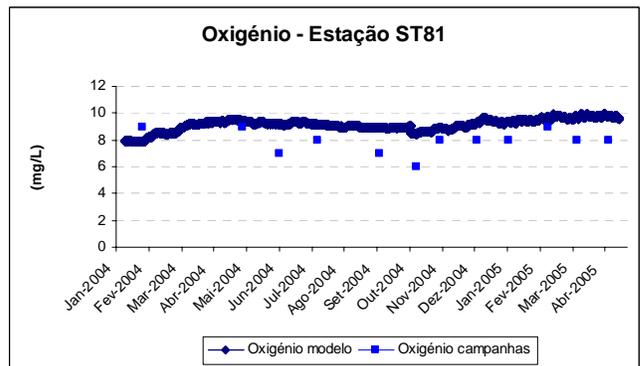
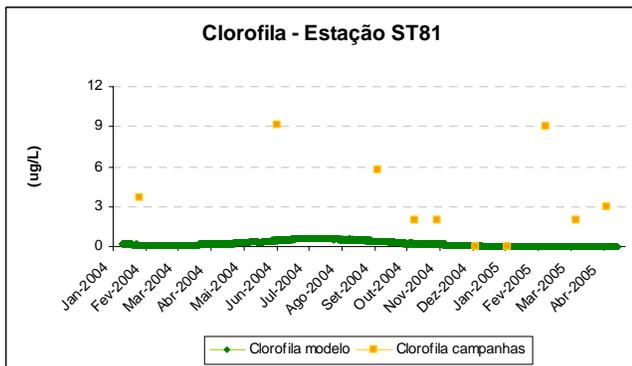
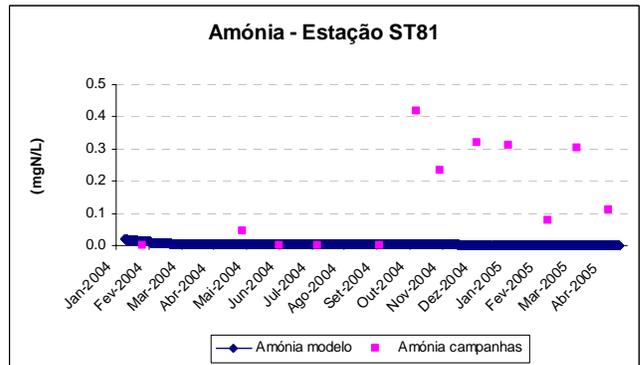
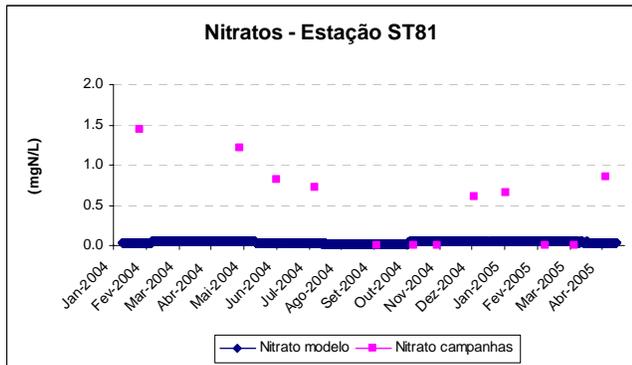


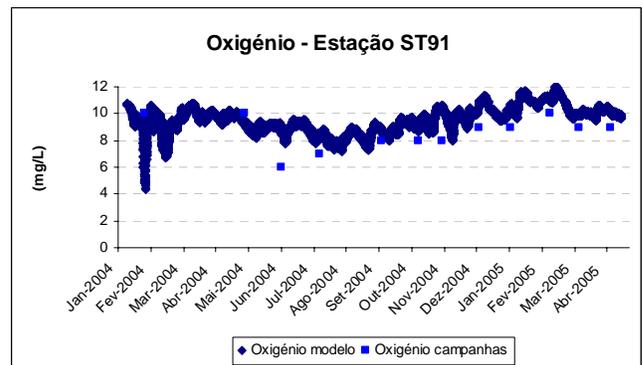
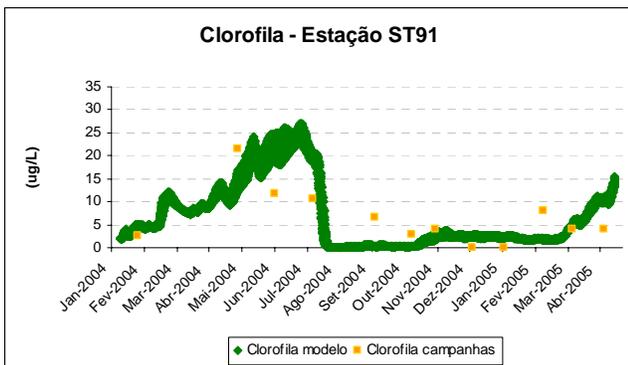
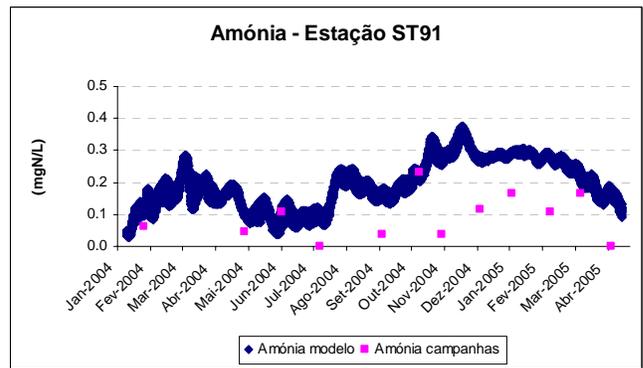
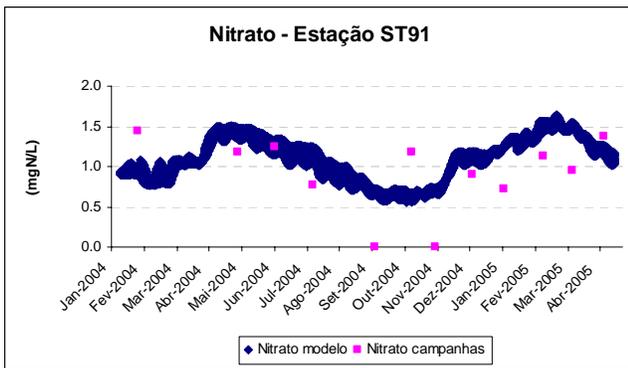
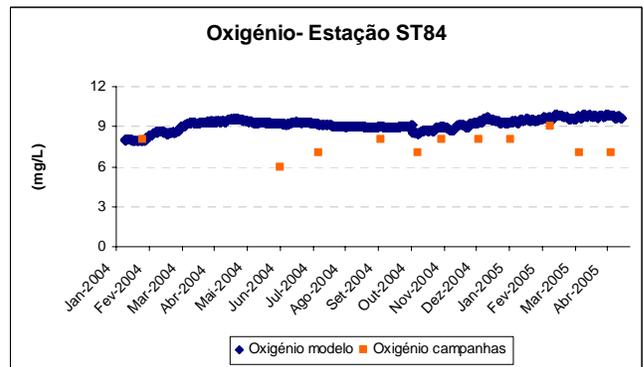
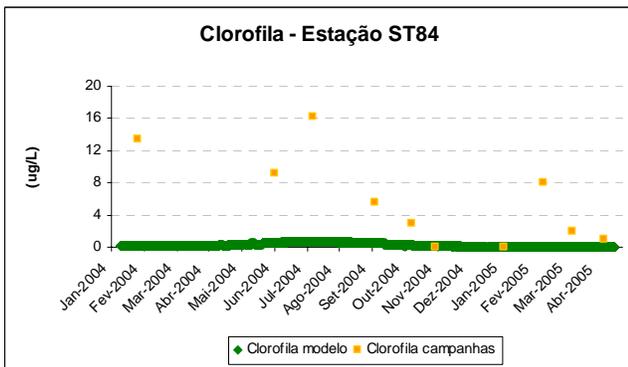
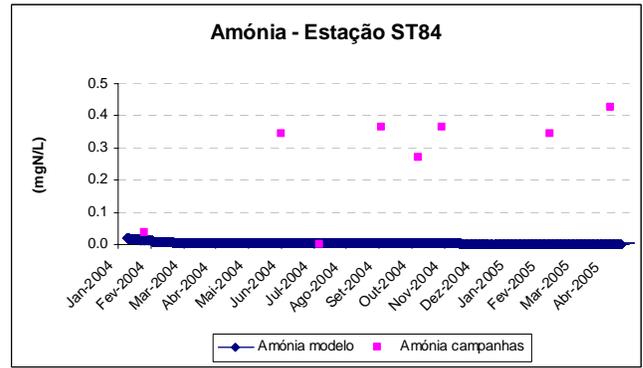
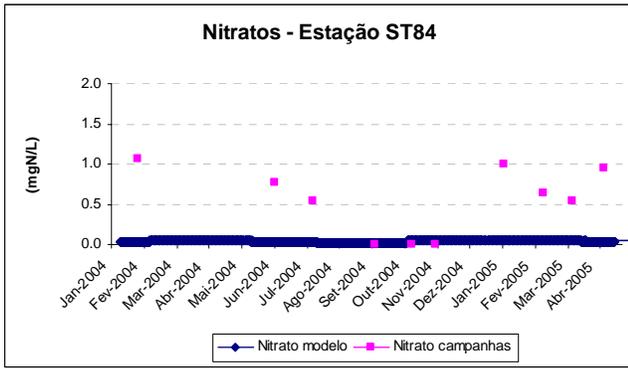
8.6.1.7 Diagonal 7



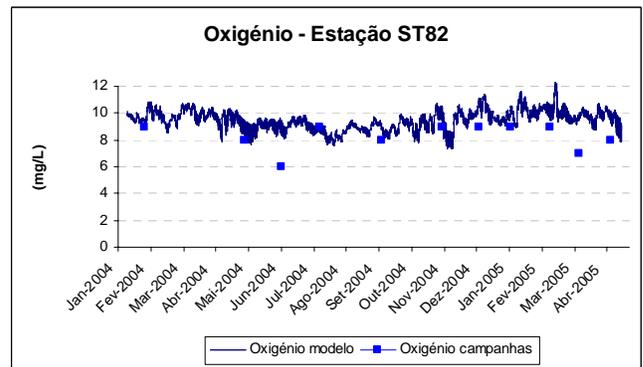
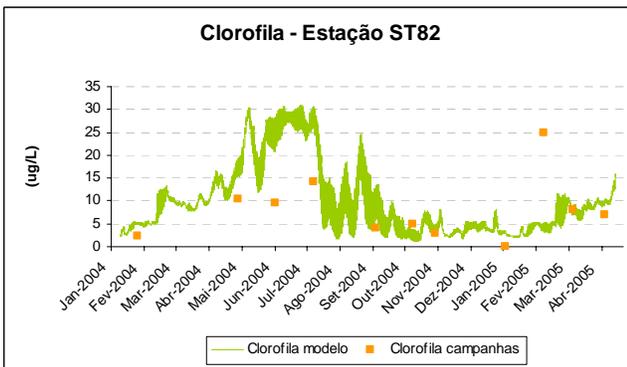
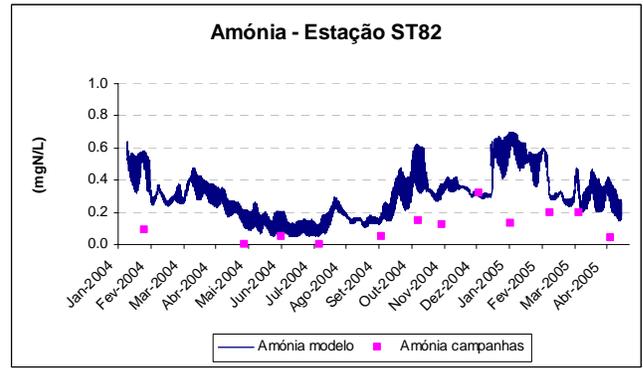
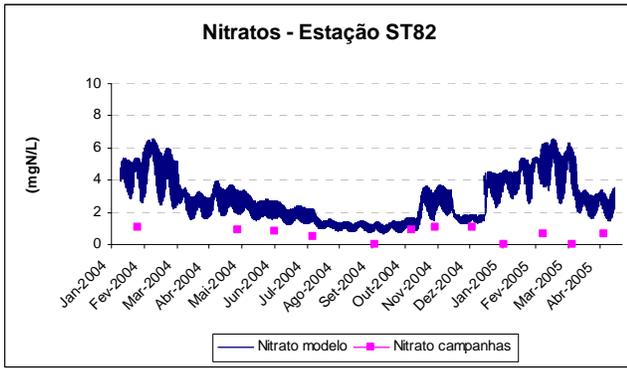


8.6.1.8 Cala do Norte e Rio Tejo



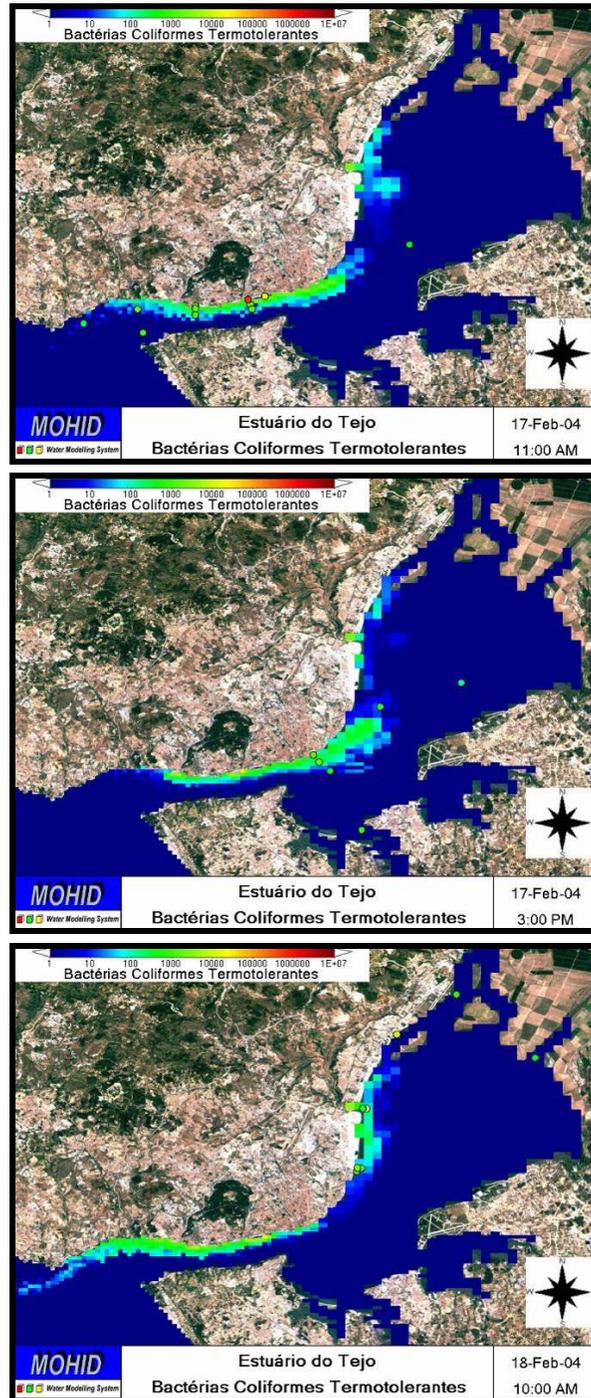


8.6.1.9 Descarga do Rio Sorraia



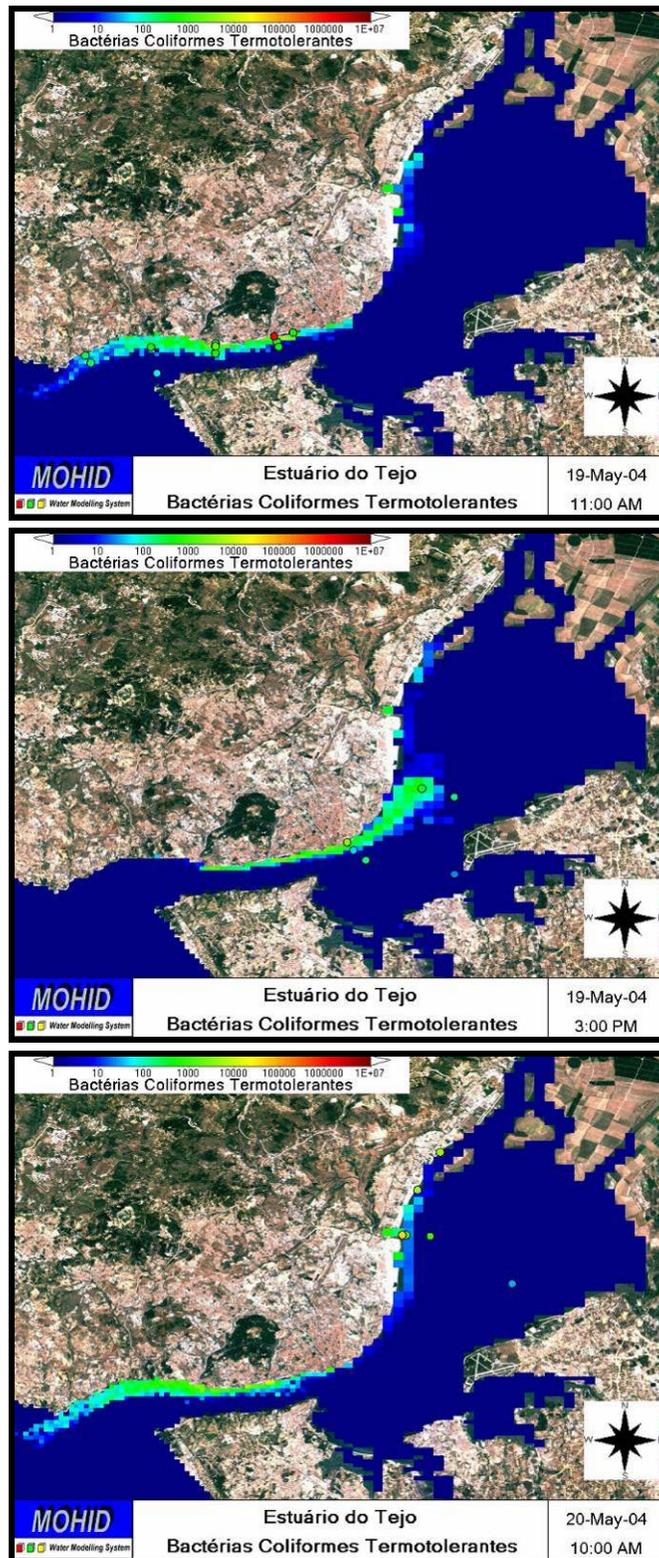
8.6.2 Mapas de Distribuição de Bactérias Coliformes Termotolerantes⁶

8.6.2.1 1ª Campanha de amostragem (Fevereiro de 2004)

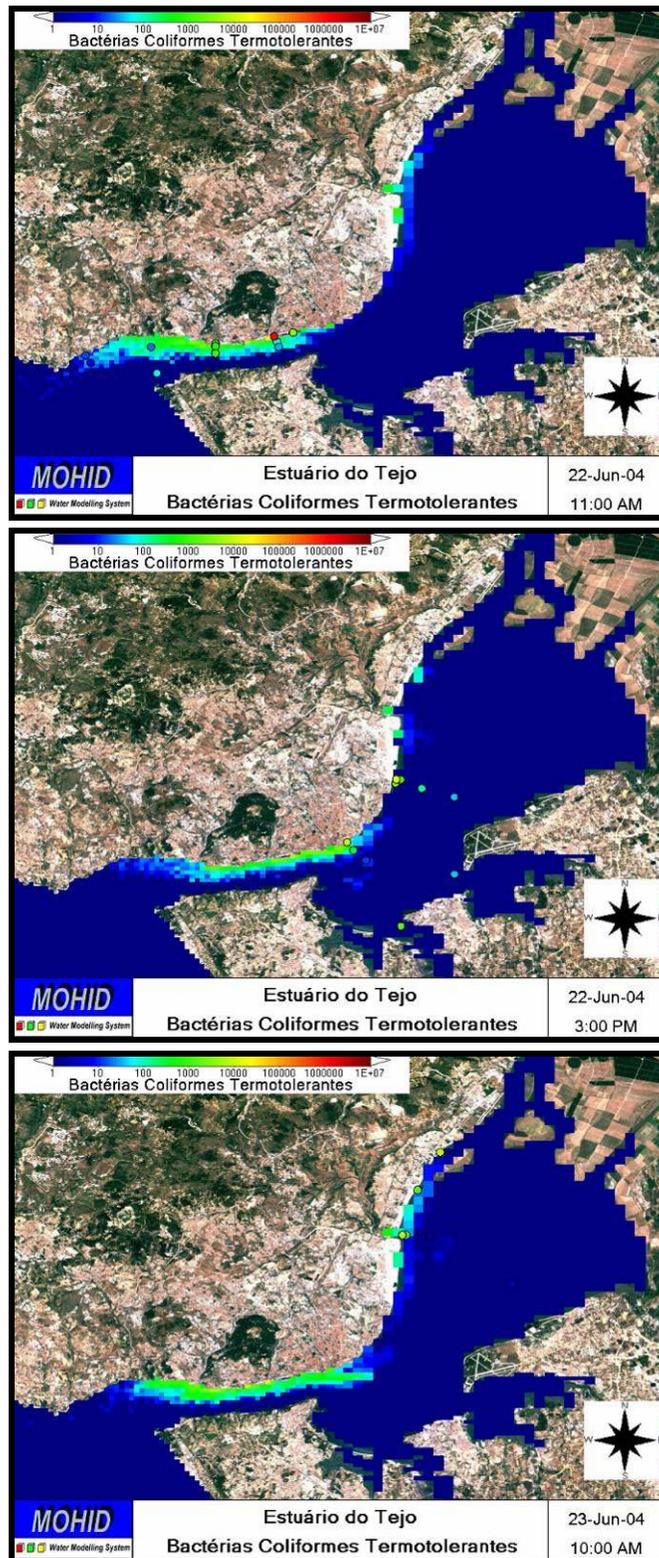


⁶ A escala de cores logarítmica representa a concentração dos coliformes fecais nos resultados do modelo e medidas de laboratório, sendo estas assinaladas como pontos circulares; cada figura apresenta as amostras recolhidas desde duas horas antes até duas horas depois do instante ao qual corresponde a imagem, uma vez que as amostras não são todas recolhidas no mesmo instante nem em intervalos de 1 hora (opção de ilustração dos resultados do modelo).

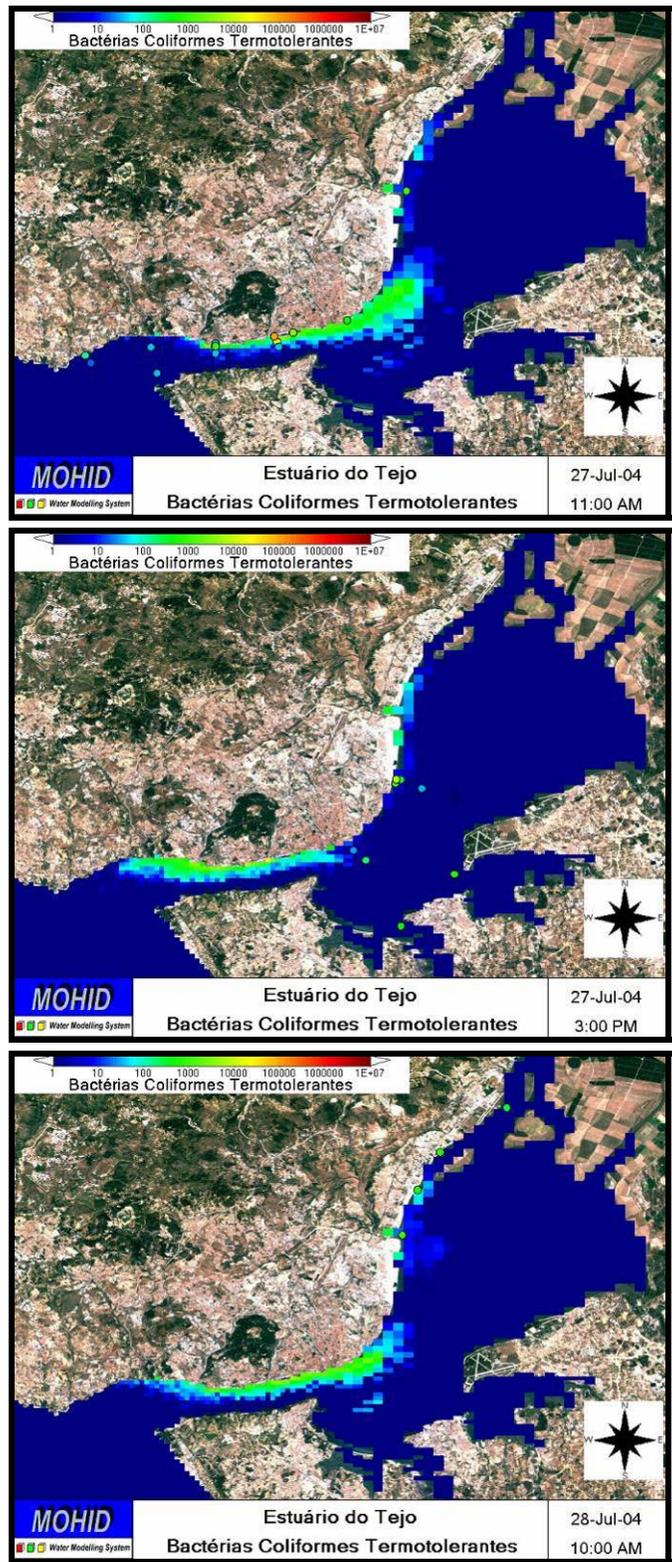
8.6.2.2 2ª Campanha de amostragem (Maio de 2004)



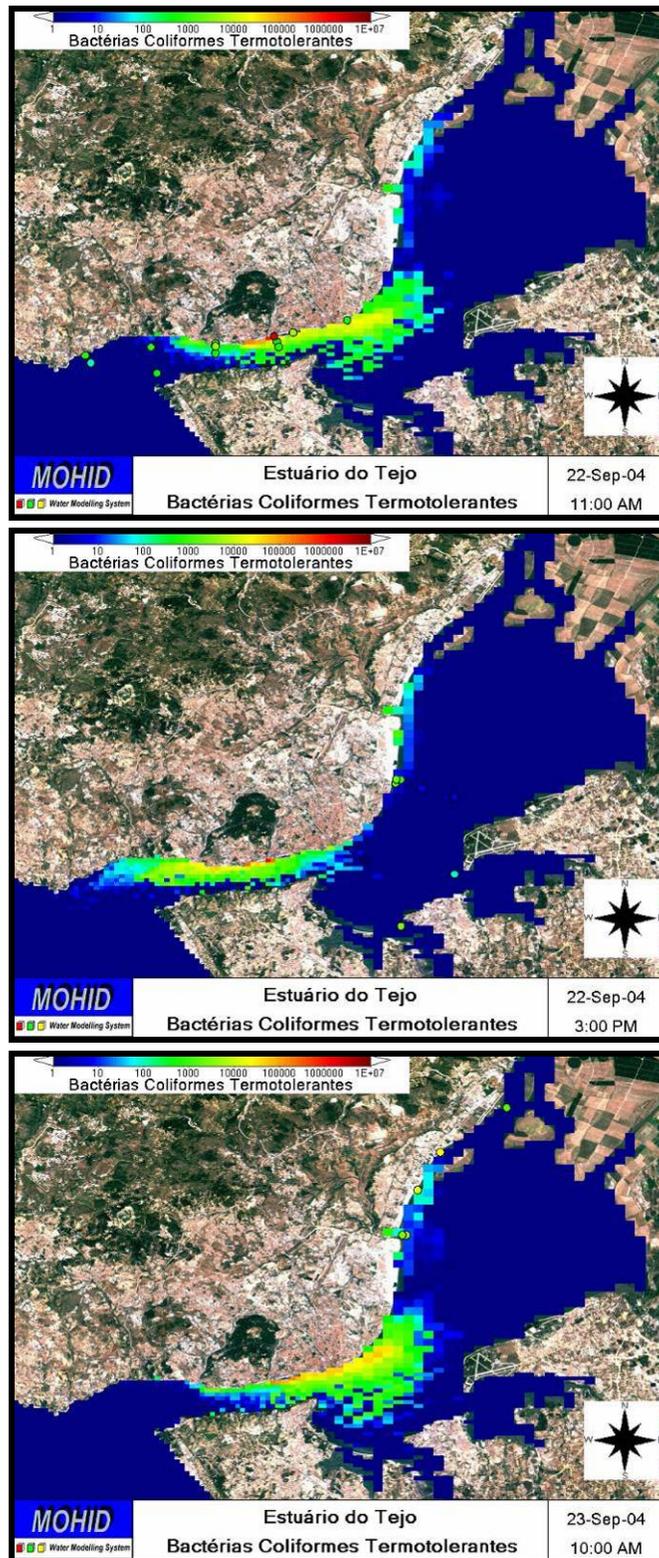
8.6.2.3 3ª Campanha de amostragem (Junho de 2004)



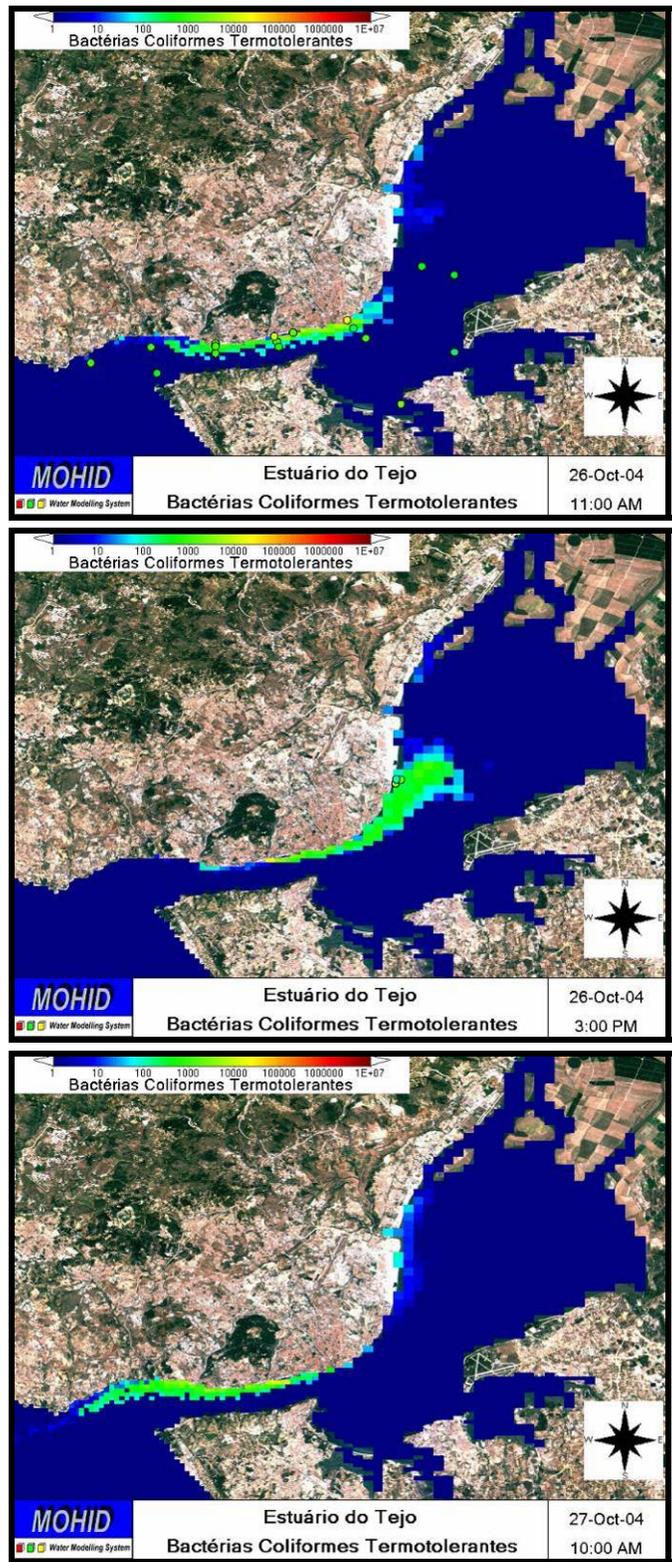
8.6.2.4 4ª Campanha de amostragem (Julho de 2004)



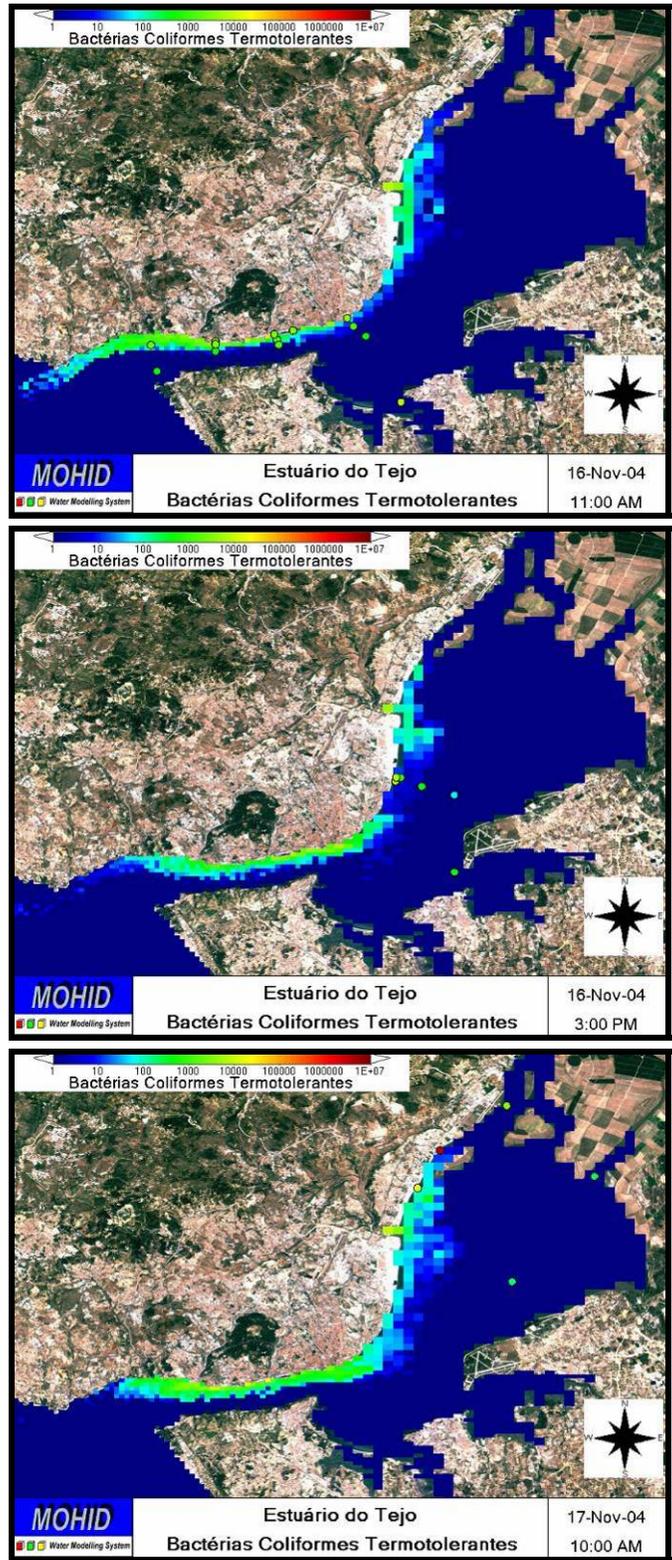
8.6.2.5 5ª Campanha de amostragem (Setembro de 2004)



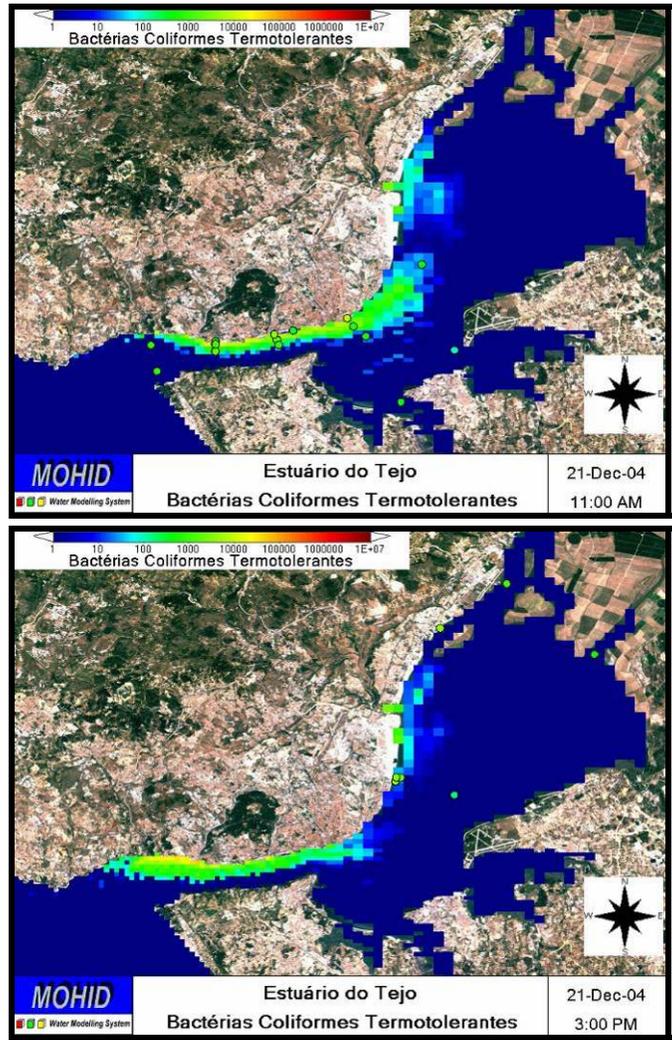
8.6.2.6 6ª Campanha de amostragem (Outubro de 2004)



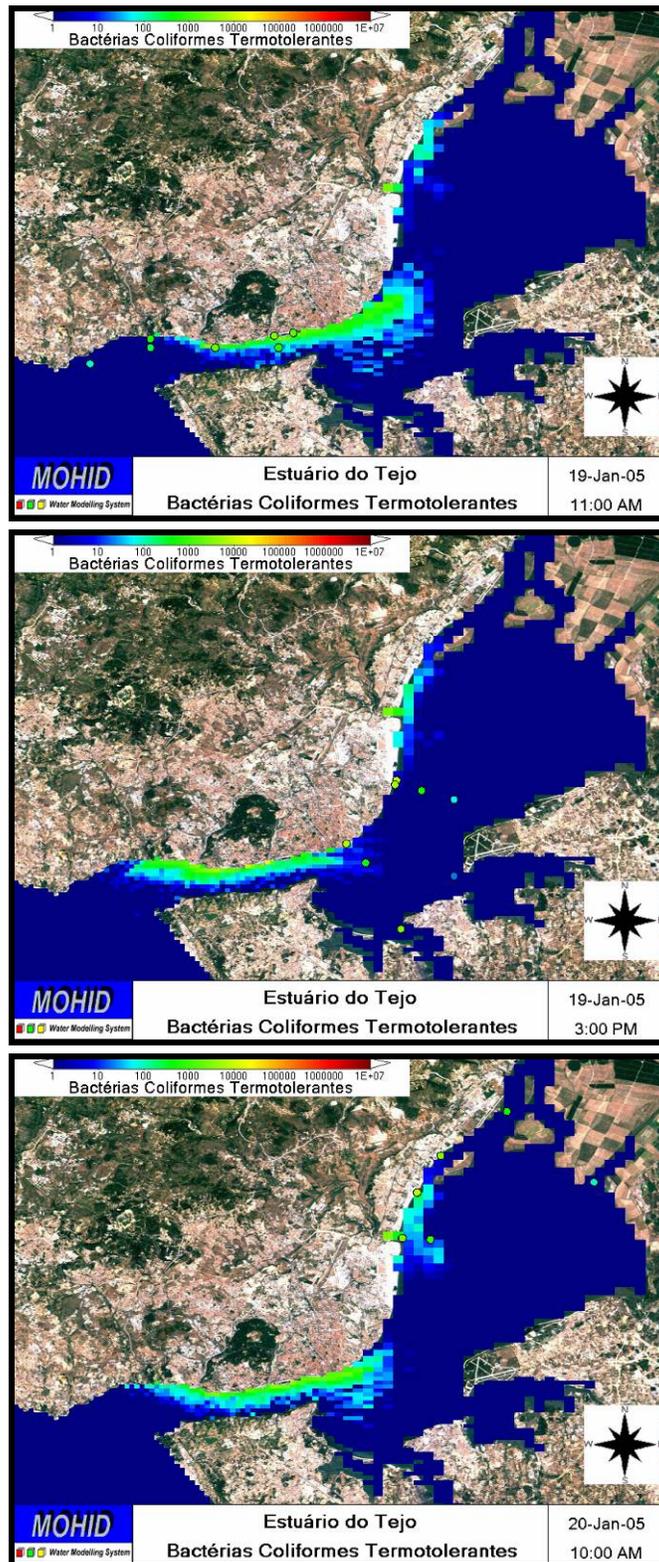
8.6.2.7 7ª Campanha de amostragem (Novembro de 2004)



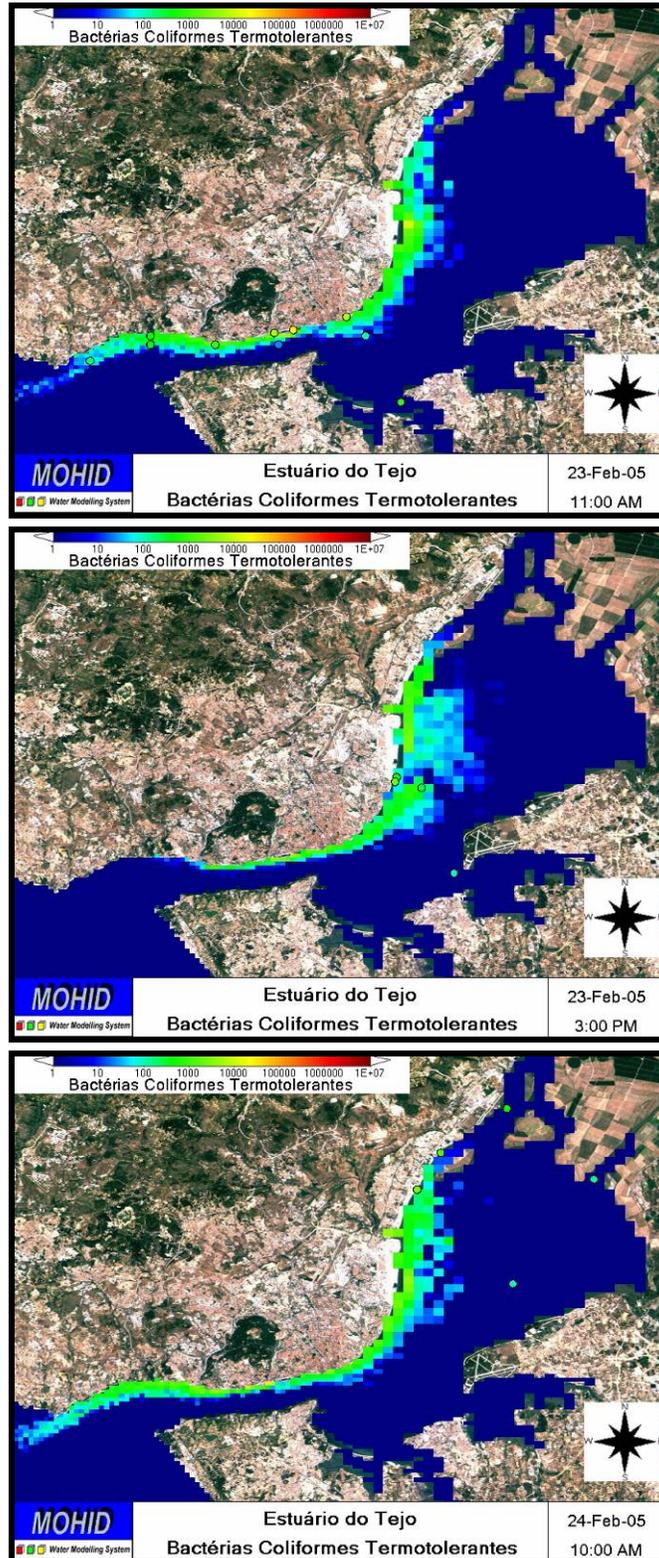
8.6.2.8 8ª Campanha de amostragem (Dezembro de 2004)



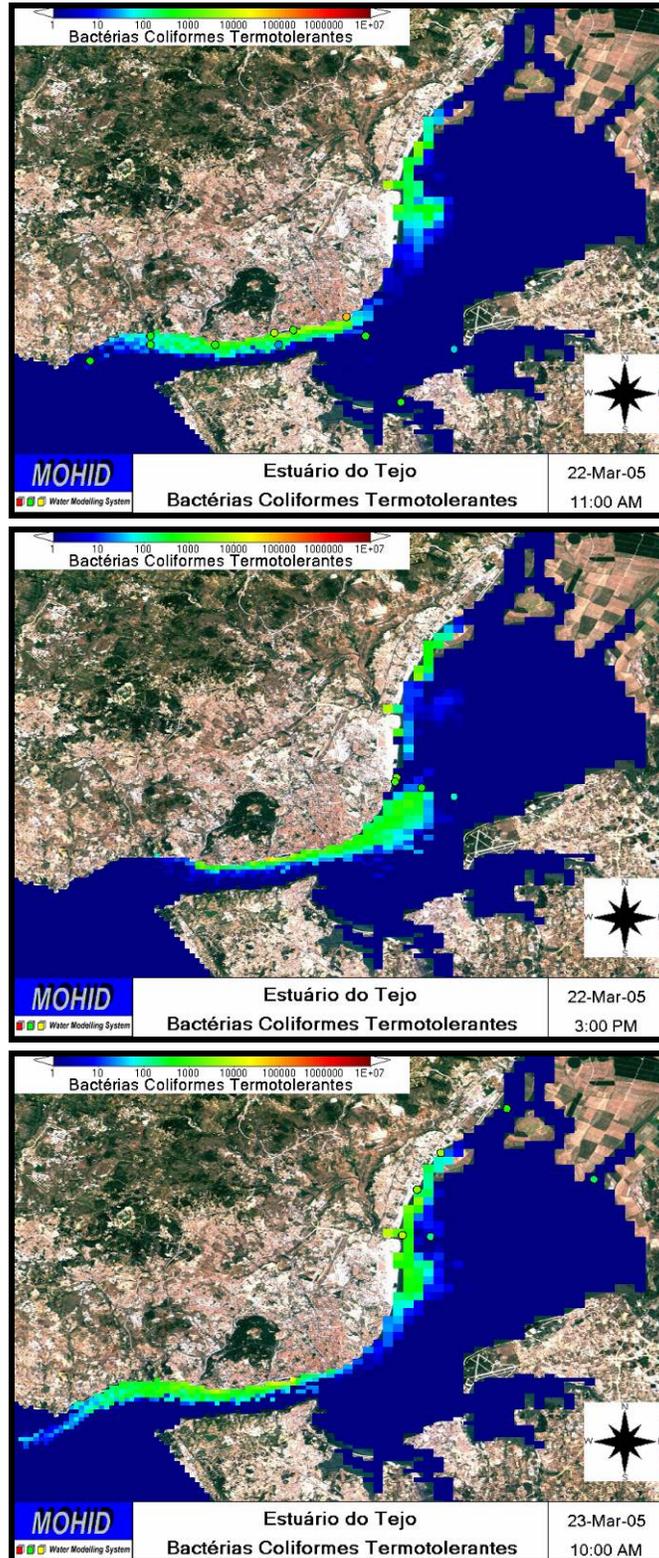
8.6.2.9 9ª Campanha de amostragem (Janeiro de 2005)



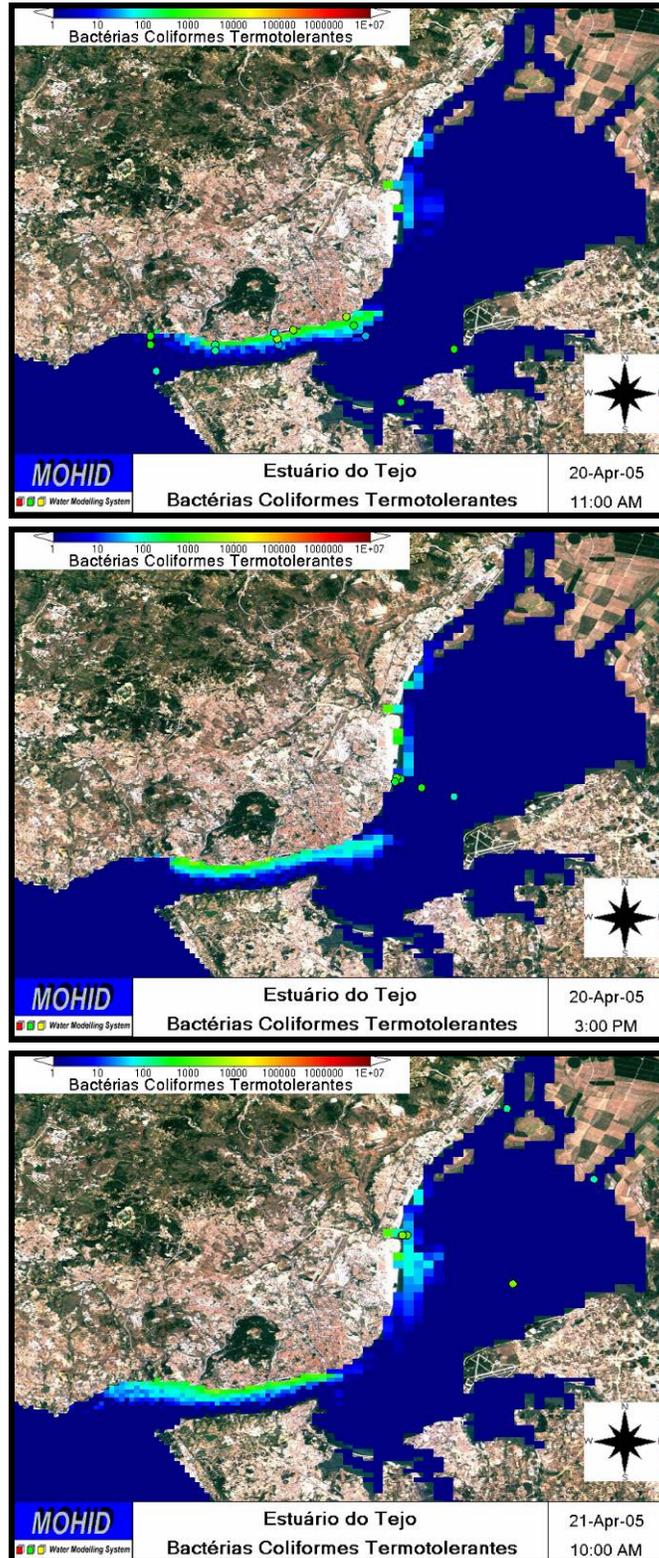
8.6.2.10 10ª Campanha de amostragem (Fevereiro de 2005)



8.6.2.11 11ª Campanha de amostragem (Março de 2005)



8.6.2.12 12ª Campanha de amostragem (Abril de 2005)



Referências Bibliográficas

De Clippele, J., 1998. Cohesive Sediment Transport in the Tagus Estuary. Diplôme d'Etudes Approfondies Européen en Modélisation de L'Environnement.

Garcia, A.C., 1997. Dispersão e deposição da matéria particulada transportada em suspensão para a plataforma continental adjacente aos Rios Tejo e Sado. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Krone, R.B., 1962. Flume studies of the transport in estuarine shoaling processes. Hydr. Eng. Lab., Univ. of Berkeley, California, USA.

Martins, M. and Dufner, M.J.L., 1982. Estudo da qualidade da água. Resultados referentes às observações sinópticas em 1980. Estudo Ambiental do Estuário do Tejo (2ª série), nº 14. Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa, pp.1-212.

Partheniades, E., 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. J. Hydr. Div., ASCE, 91, No. HY1: 105-139.

Pina, P., 2001. Integrated Approach to Study the Tagus Estuary Water Quality, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia, Gestão e Modelação de Recursos Marinhos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

Goldman, C.R. and Horne, A.J., 1983. Limnology (International Student Edition), McGraw-Hill