

**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE BIOMASSA NO ESTUÁRIO DO  
TEJO**

**Estudo da variabilidade das descargas**

**Trabalho Final de Curso  
da Licenciatura em Engenharia do Ambiente**

**VOLUME I**

**Ana Sofia de Carvalho Saraiva**

**n.º43423**

**Orientador: Prof. Ramiro Neves, Depto.de Eng.ºMecânica, IST**

**Co-Orientador: Eng.º Pedro Pina, Depto.de Eng.ºMecânica, IST**

**Lisboa, Novembro de 2001**

## Resumo Alargado

Por se tratar de um local de junção entre água salina e doce, a zona de estuário, é, sem dúvida, um ecossistema especial, que possui um papel fundamental ao nível da manutenção do equilíbrio do sistema marinho. Mas se o estuário se revela como um local escolhido para o estabelecimento de espécies animais e vegetais, também para o Homem estes sistemas são importantes. As suas margens são, em geral, locais privilegiados para implantação de alguns tipos de indústria, devido à proximidade do rio, assim como para a prática de agricultura, o que conduz a uma pressão urbanística bastante acentuada. Associados a esta ocupação, na área envolvente do estuário surgem os resíduos provocados pela actividade humana, onde se incluem, não só as águas residuais domésticas, mas também descargas industriais e os efluentes resultantes da lixiviação dos campos agrícolas. Muitos destes resíduos têm como destino final a zona do estuário, pelo que cada vez mais surge a preocupação em minimizar os possíveis impactes dessas descargas no ecossistema estuarino, estudando a sua influência em termos de qualidade da água.

A quantidade de nutrientes existente e a quantidade de biomassa são indicadores do nível trófico do estuário. A quantidade de biomassa é aproximada, em vários trabalhos, como a concentração de *Fitoplâncton* e *Zooplâncton* (em termos de mg Carbono/l). O seu papel destes seres, no estuário, é fundamental, uma vez que, estando na base da cadeia alimentar, deles dependem (directa ou indirectamente) a generalidade das comunidades marinhas, nomeadamente no que diz respeito à obtenção de energia. Desta forma, as suas concentrações no estuário funcionam como um importante indicador do estado de equilíbrio do sistema.

A utilização de modelos matemáticos, que tentam, da forma mais aproximada possível, descrever os processos envolvidos no complexo ecossistema estuarino, um papel importante na prevenção de uma evolução anormal do processo, uma vez que permitem uma previsão do comportamento do sistema em diferentes cenários. Da análise destes comportamentos resultam

algumas conclusões que se revelam fundamentais, não só para o estabelecimento de um diagnóstico do estuário, mas também da própria gestão do recurso.

O sistema MOHID2000, desenvolvido pelo grupo de investigação do Professor Ramiro Neves, permite simular grande parte dos processos envolvidos num estuário. Surge agora a necessidade de utilizar o modelo construído, para identificar a contribuição das descargas urbanas e fluviais para o funcionamento do Estuário.

O presente trabalho incide fundamentalmente no estudo das descargas do Rio Tejo, Rio Trancão, Rio Sorraia e também os efluentes resultantes das ETAR's localizadas na região envolvente ao estuário, em termos das concentrações de biomassa, *Fitoplâncton* e *Zooplâncton*, e dos nutrientes, *Amónia* e *Nitrato*.

Os principais factores limitantes do crescimento do *Fitoplâncton*, considerados neste estudo, são os nutrientes, a temperatura e a luz. O nutriente limitante é o Azoto, nas suas formas assimiláveis, Nitrato e Amónia. A temperatura condiciona o metabolismo do *Fitoplâncton*, e do *Zooplâncton*. A quantidade de luz solar disponível depende directamente da quantidade de sedimentos existentes na coluna de água, e do próprio auto-ensombreamento do *Fitoplâncton*. Nas zonas de montante do Estuário o factor limitante é a luz e nas zonas mais próximas do mar são os nutrientes

O Estuário do Tejo, tem uma relação superfície volume elevada que facilita a dissolução do oxigénio, em especial sob condições de vento, que induzindo maior turbulência, permite um arejamento atmosférico Assim, o oxigénio não é normalmente um problema no estuário (Ecotejo, 1994 ) e por isso não é considerado neste trabalho.

O estudo da variação da concentração de *Fitoplâncton*, *Zooplâncton* e de nutrientes requer do sistema MOHID2000 a utilização de quatro modelos fundamentais. Do Modelo Hidrodinâmico, o primeiro a ser utilizado, resulta um campo de velocidades e os correspondentes coeficientes de

difusão turbulenta; segue-se o Modelo de Transporte, onde se procede à resolução dos termos relativos à advecção-difusão, responsáveis pelo transporte da propriedade e, por fim, o Modelo de Qualidade da Água, que se serve dos resultados do Modelo de Transporte de Sedimentos, dos quais depende a quantidade de luz disponível para o *Fitoplâncton*. O Modelo de Qualidade da Água calcula os termos de fontes e poços, em função das concentrações das propriedades em cada instante, para cada célula da malha.

O formato da visualização dos resultados do modelo depende dos objectivos da análise pretendida. Neste estudo, opta-se por aplicar o conceito de Caixas de Integração, já utilizadas em estudos anteriores, por facilitarem a percepção dos processos envolvidos. Em cada uma das caixas é calculada a média da concentração de todas as propriedades a dos valores calculados em cada célula pelo modelo. Desta forma, é possível, não só caracterizar cada área, como também definir os fluxos da propriedade entre caixas, que são uma ferramenta importante na compreensão da dinâmica do sistema.

A variabilidade sazonal e inter-anual das descargas são significativas, dependendo a última das condições climáticas em cada ano, pelo que se opta por analisar os resultados do modelo para quatro cenários distintos: Ano Médio (a quantificação da descarga resulta de tratamento de dados registados numa estação de amostragem, encontrando-se um valor médio), Ano Seco, Ano Húmido e Ano Realista (que é representado pelo ano de 1999, os parâmetros de descarga não resultam do tratamento de dados mas apenas da consulta directa dos registos da estação de amostragem). Considera-se neste estudo que apenas o Rio Tejo apresenta uma variação significativa ao longo do tempo, tendo as outras descargas sido consideradas constantes em todos os cenários analisados (Rio Trancão, Sorraia e ainda os efluentes tratados de 7 ETAR's e o efluente bruto de 5 ETAR's para as quais se encontram projectadas as descargas).

A comparação dos resultados do modelo nos vários cenários permite, compreender as reacções dos processos de produção primária no estuário face a: 1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo; 2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia; 3. Influência das

Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo; 4.Influência do Nível de Tratamento das ETAR's; 5.Influência das Condições Hidrológicas; 6.Comparação entre Ano Médio e Ano Realista (1999).

Conclui-se da análise dos resultados:

1. A consideração da variação sazonal das descargas do Rio Tejo é um cenário mais próximo da realidade, pelo que a existirem dados dessa natureza será sempre preferível a sua utilização face a condições de descarga médias. No caso do Tejo, verifica-se, no entanto, que a produção de biomassa é semelhante nos dois cenários;
2. A existência de descarga dos rios Trancão e Sorraia, apesar do input de nutrientes adicional, parece não afectar a produção de biomassa no Estuário do Tejo, verificando-se apenas um aumento, da concentração de nutrientes existente no meio e da sua consequente exportação de nutrientes para o Mar . Este facto foi atribuído ao facto de o factor limitante da produção primária ser a transparência da água;
3. A existência de descargas de ETAR's na região envolvente do Estuário do Tejo não revela, uma influência significativa na quantidade de biomassa produzida no estuário. O que varia efectivamente é a quantidade de nutrientes minerais existente, embora, de uma maneira geral, possa dizer-se que a maior input correspondem maiores fluxos de saída. Este resultado é também atribuível à limitação pela luz;
4. Para o ecossistema do Estuário do Tejo e pela mesma razão, parece não haver, em termos de produção de biomassa e nas condições consideradas, distinção entre a existência, ou não, de tratamento nas ETAR's localizadas na sua envolvente. Ou seja, de uma forma global, parece verificar-se uma tolerância das descargas de efluente bruto das ETAR's. Localmente poderão existir alguns impactes, mas esses possíveis efeitos locais parecem não provocar perturbações no equilíbrio do ecossistema;

5. As condições hidrológicas têm alguma influência na produção primária de biomassa no Estuário do Tejo, fomentando-a ou não, dependendo da quantidade de nutrientes que entra na zona de estuário. Essa influência não parece ser, no entanto, um factor determinante para possíveis desequilíbrios no sistema. As condições hidrológicas influenciam principalmente a quantidade de nutrientes presente no sistema e consequentemente os fluxos de saída;
  
6. Existem de facto algumas diferenças nos resultados quando são consideradas condições de um Ano Médio. O ideal seria usar condições, o mais aproximadas possível, da realidade. No entanto, quando existe falta de dados reais, a utilização de condições médias revela-se como uma boa alternativa para uma primeira indicação, salvaguardando sempre possíveis diferenças do tipo das que se registam neste trabalho.

O Estuário do Tejo é, globalmente, como um grande sistema de depuração de água, produzindo grandes quantidades de biomassa à custa do consumo de nutrientes de Azoto e intensificando os Processos de Nitrificação/Desnitrificação. Aliás, da discussão de resultados surge a ideia de que, no Estuário do Tejo, estes processos são tão importantes para o consumo de nutrientes como o consumo pelo *Fitoplâncton*. Na realidade, o aumento de nutrientes provocado pelas descargas, não só dos rios mas também, de Estações de Tratamento situadas na sua envolvente, não parece influenciar de forma significativa a produção de biomassa no interior do estuário. Esta conclusão sugere que não existe no Estuário do Tejo uma limitação do crescimento pelos nutrientes, mas pela luz.

Talvez a principal conclusão deste trabalho seja, uma “boa notícia”. Tendo em conta que foram analisadas ao longo de todo o trabalho, conclui-se que, apesar de o Estuário do Tejo ser uma zona já bastante artificializada, sujeita a várias formas de poluição pontual e difusa, em termos de produção de biomassa, não demonstra indícios de desequilíbrios.

## Agradecimentos

A execução deste trabalho de certo não seria possível sem a colaboração de algumas pessoas que, de forma desinteressada se mostraram disponíveis para me ceder um pouco do seu conhecimento, às quais devo dizer obrigado.

Ao Professor Ramiro Neves, do Departamento de Mecânica do Instituto Superior Técnico, Orientador deste trabalho, pelos constantes incentivos e por tudo que aprendi na execução deste trabalho.

Ao Eng<sup>o</sup> Pedro Pina (Mestre Pina), do Departamento de Mecânica do Instituto Superior técnico, meu Co-orientador, pela sua dedicação, paciência e empenho no decorrer de todo o trabalho.

Ao Professor Alexandre Bettencourt, da Universidade de Évora, pelas sugestões e esclarecimentos, bem como pela indicação de referências bibliográficas importantes.

Ao Professor José Saldanha Matos, do Departamento de Civil do Instituto Superior Técnico, pela sua importante contribuição na identificação das Estações de Tratamento de Águas Residuais localizadas na envolvente ao Estuário do Tejo e sem a qual este trabalho não teria cumprido alguns dos seus objectivos.

À Professora Helena Pinheiro, do Departamento de Química do Instituto Superior Técnico, pela disponibilidade no esclarecimento de algumas dúvidas e pela validação de algumas considerações.

À Eng.<sup>a</sup> Cláudia Brandão, do Instituto da Água, mesmo não conhecendo pessoalmente, pela disponibilização das séries temporais de caudal registadas na estação de Ómnias-Santarém.

# ÍNDICE

## VOLUME I

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<hr/>	
<b>I. DESCRIÇÃO DO TRABALHO</b>	<b>3</b>
1. Enquadramento	3
2. Objectivos	3
3. Metodologia	4
<b>II. PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE BIOMASSA NO ESTUÁRIO</b>	<b>6</b>
1. O Estuário como um Sistema Eutrófico	6
2. <i>Fitoplâncton</i>	8
3. Factores Limitantes do Crescimento	9
4. Oxigénio Dissolvido	9
<b>III. MODELAÇÃO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS</b>	<b>11</b>
1. Variação da Concentração das Propriedades	11
2. Sistema MOHID2000	12
<b>IV. APLICAÇÃO AO ESTUÁRIO DO TEJO</b>	<b>13</b>
1. Simulação no Estuário do Tejo	13
2. Condições Iniciais	14
3. Condições Fronteira	15
4. Descargas no Estuário	16
4.1. Localização das Descargas	16
4.2. Descarga do Rio Tejo	17
4.2.1. Cenários em estudo	17
4.3. Descarga do Rio Sorraia	18
4.4. Descarga do Rio Trancão	19
4.5. Descarga das Águas Residuais Domésticas	19

1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo	21
1.1. Concentração das Propriedades	21
1.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	23
2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia	25
2.1. Concentração das Propriedades	25
2.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	26
3. Influência das Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo	28
3.1. Concentração das Propriedades	28
3.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	29
4. Influência do Nível de Tratamento das ETAR's	31
4.1. Concentração das Propriedades	31
4.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	32
5. Influência das Condições Hidrológicas	33
5.1. Concentração das Propriedades	33
5.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	34
6. Comparação entre Ano Médio e Ano Realista	36
6.1. Concentração das Propriedades	36
6.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	37

**CONCLUSÕES****39**

Referências Bibliográficas

41

**VOLUME II - Anexos**

Anexo I – Estuário do Tejo

Anexo II – Factores Limitantes do Crescimento do Fitoplâncton

Anexo III – Descrição do MOHID2000

Anexo IV – Descarga do Rio Tejo

Anexo V – Descarga da Águas Residuais Urbanas

Anexo VI – Descarga do Rio Trancão

Anexo VII – Descarga do Rio Sorraia

Anexo VIII – Quantificação Relativa das Descargas no Estuário do Tejo

Anexo IX – Sistematização de Tratamento de Dados

Anexo X – Análise dos Resultados para a Situação de Referência (Ano Médio)

Anexo XI – Figuras Complementares dos Resultados

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Caixas de Integração no Estuário do Tejo	13
Figura 2 - Localização das Descargas no Estuário do Tejo	16
Figura 3 - Variação Sazonal da Concentração para Descarga Variável e Constante	22
Figura 4 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário para Descarga Variável e Constante	24
Figura 5 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Descarga dos Rios Trancão e Sorraia	25
Figura 6 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Descarga dos Rios Trancão e Sorraia	27
Figura 7 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Descargas de ETAR's	28
Figura 8 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Descargas de ETAR's	29
Figura 9 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Tratamento nas ETAR's	31
Figura 10 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Tratamento nas ETAR's	32
Figura 11 - Variação Sazonal da Concentração em Diferentes Condições Hidrológicas	33
Figura 12 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário em Diferentes Condições Hidrológicas	35
Figura 13 - Variação Sazonal da Concentração no Ano Médio e no Ano de 1999	36
Figura 14 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário no Ano Médio e no Ano de 1999	38

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro1 - Valores de Concentração Inicial considerados para a simulação no Estuário do Tejo	14
Quadro2 - Características da Fronteira Marítima	15
Quadro3 - Cenários em Análise	18

## INTRODUÇÃO

Nem todos os materiais transportados pelos rios têm o mar como destino final. Durante o percurso ao longo do rio e na passagem pela zona de estuário, estes materiais são sujeitos a uma série de processos de origem química, física e biológica, através dos quais são transformados, mobilizados ou mesmo removidos das águas.

De facto, a zona de estuário, por se tratar de um local de junção entre água salina e doce, conferindo-lhe características muito particulares, é, sem dúvida, um ecossistema especial, que possui um papel fundamental ao nível da manutenção do equilíbrio do sistema marinho. Do equilíbrio do estuário dependem inúmeras espécies, pois este é um local temporariamente usado como "nursery" por muitos grupos de espécies, de importância ecológica e comercial, como é o caso dos crustáceos, peixes e ainda algumas espécies de aves migradoras.

Mas se o estuário se revela como um local escolhido para o estabelecimento de espécies animais e vegetais, também para o Homem estes sistemas são importantes. As suas margens são, em geral, locais privilegiados para implantação de alguns tipos de indústria, devido à proximidade do rio, assim como para a prática de agricultura, o que conduz a uma pressão urbanística bastante acentuada. Associados a esta ocupação, na área envolvente do estuário surgem os resíduos provocados pela actividade humana, onde se incluem, não só as águas residuais domésticas, mas também descargas industriais e os efluentes resultantes da lixiviação dos campos agrícolas. Muitos destes resíduos têm como destino final a zona do estuário, pelo que cada vez mais surge a preocupação em minimizar os possíveis impactes dessas descargas no ecossistema estuarino, estudando a sua influência em termos de qualidade da água.

A quantidade de nutrientes existente e a quantidade de biomassa são indicadores do nível de qualidade da água. A quantidade de biomassa é definida, em vários trabalhos, como a concentração de *Fitoplâncton* e *Zooplâncton* (em termos de mg Carbono/l). O seu papel é fundamental para estes seres no estuário, uma vez que, estando na base da cadeia alimentar, deles dependem (directa ou indirectamente)

várias comunidades marinhas, nomeadamente no que diz respeito à obtenção de energia. Desta forma, as suas concentrações no estuário funcionam como um importante indicador do estado de equilíbrio do sistema.

Ao falar de impactes associados à descarga de efluentes, ricos em nutrientes, para uma zona de estuário, surge o conceito de processo de eutrofização, cuja aceleração no tempo e no espaço é muitas vezes, considerado como um dos possíveis impactes. Neste sentido que o estudo do estuário, segundo uma perspectiva de qualidade da água, tem vindo a despertar, actualmente, reconhecido interesse, dado que poderá contribuir para a compreensão do preocupante fenómeno da eutrofização e suas consequências.

A particularidade do processo de eutrofização, relativamente a outros tipos de impactes, reside no facto de se tratar de um processo natural, cujos efeitos ecológicos, nos seus estágios iniciais, se tornam difíceis de distinguir de uma normal variação, fruto da dinâmica natural dos estuários. Como consequência, a eutrofização é só geralmente reconhecida quando se encontra numa fase do processo onde os efeitos ecológicos são já óbvios e dramáticos.

A utilização de modelos matemáticos, que tentam, da forma mais aproximada possível, descrever os processos envolvidos no complexo ecossistema estuarino, têm um papel importante na prevenção de uma evolução anormal do processo, uma vez que permitem uma previsão do comportamento do sistema quando sujeito a várias condições. Da análise destes comportamentos resultam algumas conclusões que se revelam fundamentais, não só para o estabelecimento de um diagnóstico do estuário, mas também da própria gestão do recurso.

## I. Descrição do Trabalho

### 1. Enquadramento

Existem alguns modelos capazes de descrever, de forma bastante precisa, os processos envolvidos numa zona de estuário. De entre eles salienta-se o sistema de modelos MOHID2000, desenvolvido pelo grupo de investigação do Professor Ramiro Neves.

O sistema MOHID2000 tem sido objecto de estudo em vários trabalhos e teses, pelo que se encontra numa fase já bastante desenvolvida. Surge agora a necessidade de utilizar o modelo construído, cumprindo o objectivo da sua existência – simulação dos processos que ocorrem no ecossistema marinho, em particular no Estuário do Tejo, para determinadas condições, obtendo resultados que serão certamente importantes para a compreensão dos vários fenómenos, funcionando, deste modo, como ferramenta de apoio à decisão.

O presente trabalho incide fundamentalmente no estudo das várias descargas existentes no Estuário do Tejo, em particular as descargas do Rio Tejo, Rio Trancão, Rio Sorraia e também os efluentes resultantes das ETAR's localizadas na região envolvente ao estuário.

### 2. Objectivos

Pretende-se com este estudo, de uma forma global, testar a hipótese da influência, directa ou indirecta, das condições de descarga sobre a produção primária de biomassa na zona do Estuário do Tejo, isto é, analisar de que forma condições como a variação sazonal da descarga do Rio Tejo, existência de descargas de efluentes de ETAR's, existência, ou não, de tratamento das águas residuais domésticas situadas na envolvente do estuário ou mesmo as condições hidrológicas, que variam para diferentes anos, podem afectar a qualidade da água no Estuário do Tejo. É finalidade, pois, tentar perceber até que ponto a sua variabilidade das descargas terá, ou não, influência em termos de qualidade da água no estuário.

### 3. Metodologia

A metodologia utilizada, de forma a cumprir o objectivo descrito, baseia-se, fundamentalmente, na comparação dos resultados do modelo, obtidos para diferentes condições de descarga. A metodologia seguida reflecte-se na própria organização do trabalho, pelo que se opta por descrever, de forma sucinta, os quatro blocos principais que constituem o corpo do trabalho.

#### Capítulo II, Produção Primária de Biomassa no Estuário

O objectivo deste capítulo consiste em descrever os principais processos intervenientes na produção de biomassa, bem como os factores que influenciam a sua variação temporal e espacial no estuário. É dado especial ênfase ao crescimento de *Fitoplâncton*, uma vez que este é considerado o principal produtor primário de biomassa em ambiente marinho.

O capítulo é completado por dois anexos:

**Anexo I** - que descreve, de um modo geral, o Estuário do Tejo, evidenciando a relação entre a produção primária de biomassa e a qualidade da água no estuário;

**Anexo II**, onde se descreve, de uma forma mais pormenorizada, a influência dos principais factores considerados limitantes no crescimento do *Fitoplâncton*.

#### Capítulo III, Modelação dos Processos Envolvidos

A variação da concentração das diferentes propriedades é conseguida recorrendo à modelação dos processos envolvidos, pelo que se revela fundamental a descrição do modelo utilizado, MOHID2000, bem como dos principais pressupostos que assume. No **Anexo III** é desenvolvido, com algum detalhe, o modo de funcionamento do sistema de modelos MOHID2000.

#### Capítulo IV, Aplicação ao Estuário do Tejo

A aplicação do sistema de modelos ao Estuário do Tejo requer o estabelecimento de condições específicas. Neste capítulo são descritas essas mesmas especificações onde se incluem as condições iniciais e fronteira utilizadas nas simulações. São ainda descritas as descargas consideradas: Rio Tejo, Estações de Tratamento de Águas Residuais, Rio Trancão e Rio

Sorraia, incluindo uma breve descrição do tratamento de dados que deram origem à sua quantificação. Como complemento de cada um dos pontos de descrição das descargas apresentam-se anexos correspondentes:

**Anexo IV**, para a descarga do Rio Tejo;

**Anexo V**, descarga das Águas Residuais Urbanas;

**Anexo VI**, para a descarga do Rio Trancão;

**Anexo VII**, para a descarga do Rio Sorraia.

Em cada um destes anexos é descrito de uma forma pormenorizada, toda a análise relativa a estas descargas, bem como as considerações que permitem a sua quantificação. Por último, apresenta-se ainda o **Anexo VIII** com algumas figuras que permitem visualizar melhor a quantificação relativa de todas as descargas.

## **Capítulo V, Apresentação e Discussão dos Resultados**

Após a obtenção dos resultados do modelo para os diferentes cenários em estudo segue-se a sua análise. Pretende-se neste capítulo do trabalho descrever os resultados obtidos, e ao mesmo tempo tentar interpretá-los, no sentido de encontrar conclusões que provem ou não as hipóteses colocadas à partida. Neste sentido este capítulo é composto por seis pontos principais, nos quais se pretende, através da comparação entre cenários, compreender as reacções dos processos de produção primária no estuário face a: 1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo; 2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia; 3. Influência das Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo; 4. Influência do Tratamento das ETAR's; 5. Influência das Condições Hidrológicas; 6. Comparação entre Ano Médio e Ano Realista. Como complemento deste capítulo apresentam-se o **Anexo IX**, onde é descrita a ferramenta construída para facilitar o tratamento dos dados (Macros), o **Anexo X**, onde são analisados os resultados de uma forma mais detalhada para a simulação de um Ano Médio, considerada como a simulação de referência e **Anexo XI**, com algumas figuras complementares que permitirão, em alguns casos clarificar algumas ideias apresentadas na discussão.

Apresenta-se por fim a **Conclusão** do trabalho, evidenciando os resultados que se consideram mais importantes bem como as principais lacunas na execução do estudo, sugerindo desenvolvimentos futuros.

## II. Produção Primária de Biomassa no Estuário

Como em qualquer outro ecossistema, a existência e o desenvolvimento das comunidades pertencentes ao estuário dependem da presença de energia biológica assimilável. Os organismos pertencentes à base da cadeia trófica são seres autotróficos, isto é, capazes de captar a energia na sua forma primária, energia radiante, e, através de um processo de fotossíntese, utilizando dióxido de carbono, água e sais minerais, convertê-la em energia química, produzindo matéria orgânica. Os organismos capazes de desencadear este processo são denominados produtores primários. No sistema marinho, considera-se o *Fitoplâncton* o principal produtor primário.

Seguindo a cadeia trófica, estas pequenas algas são utilizadas como combustível para outros organismos, heterotróficos, considerados produtores secundários, produção da sua própria energia e/ou aumentar a sua biomassa. Considera-se o *Zooplâncton* o principal produtor secundário dos ecossistemas marinhos.

O estudo da produção primária de biomassa não pode, desta forma, ser efectuado sem um conhecimento de todas as condições envolventes, não só químicas e físicas mas também biológicas, o que implica uma análise, embora que global, do ciclo de vida dos organismos pertencentes ao nível trófico seguinte.

### 1. O Estuário como um Sistema Eutrófico

Eutrofização é o termo utilizado para definir um conjunto de processos dos quais resulta um aumento da quantidade de nutrientes disponíveis, em particular de fósforo e azoto, o que conduz a um aumento de produtividade. Por oposição, considera-se um sistema oligotrófico aquele onde a quantidade de nutrientes é baixa.

Devido ao conjunto de condições que se verificam num estuário, estes são em geral sistemas muito produtivos. Por um lado, a maré funciona como uma fonte de nutrientes e alimentos para os variados

organismos pertencentes ao ecossistema estuarino, resultando uma diminuição do gasto de energia, que, de outra forma, seria despendido por estes, para a captura de alimento. Também a mistura de água doce e água salina, como foi já referido, incentiva a floculação da matéria em suspensão, que após a queda no fundo funciona como uma fonte de alimento para a fauna aí existente (pequenos animais). Por outro lado, as águas pouco profundas e as partículas ou agregados mais escuros, quando expostos a um efeito de maré baixa, são aquecidos pelo sol, o que pode provocar um aumento da “reciclagem” dos nutrientes e, conseqüentemente, acelerar o crescimento dos organismos bentônicos. A proximidade do mar proporciona ainda a redução dos extremos de temperatura. Todas estas características muito específicas fazem dos estuários sistemas considerados como eutróficos, quando comparados com outros sistemas, podendo ser classificados como oligotróficos, quando comparados entre si. O fenómeno da eutrofização é, deste modo, um fenómeno natural, não sendo necessariamente negativo. Pelo contrário, é uma consequência do conjunto de processos que constituem a dinâmica natural de um estuário. Existe, no entanto, um fenómeno a que se chama Eutrofização Cultural, o qual pressupõe uma intervenção do Homem como agente responsável pelo enriquecimento das águas naturais, acelerando no tempo todo o processo.

As principais causas da Eutrofização Cultural são, por um lado, provenientes das descargas dos efluentes domésticos, mesmo aqueles sujeitos a tratamentos, que muitas vezes se limitam apenas a precipitar as partículas, continuando a transportar muitos nutrientes para as águas. Por outro lado, os fertilizantes utilizados na agricultura, em particular os usados na primavera, muito ricos em Azoto, são lixiviados pela água da chuva ou durante a rega, o que provoca um input de nutrientes para o estuário.

As zonas de estuário, e em particular as suas margens, são em geral regiões com uma forte intervenção humana, à qual está associada a produção de resíduos e, conseqüentemente, a sua descarga. Esta entrada artificial de nutrientes, sendo os mais problemáticos o Azoto e o Fósforo, na maior parte dos casos funcionam como um estímulo imediato para o crescimento exagerado das algas e de plantas aquáticas superiores, provocando um desequilíbrio no ecossistema, associado à depleção do oxigénio, com todas as consequências que daí advêm, para os organismos pertencentes ao ecossistema. Deste desequilíbrio resulta o que se chama um sistema eutrofizado, que é, no fundo, um ecossistema em regressão, de consequências desfavoráveis para todos os seres que dele dependem, incluindo o Homem. Assim, surge cada vez mais o interesse por este fenómeno, quer ao nível de estudos científicos quer ao nível de informação disponível, nomeadamente no sentido de alertar os agricultores para a compreensão do fenómeno e incentivar o recurso a processos de fertilização alternativos.

## 2. *Fitoplâncton*

O termo “plankton” surgiu em 1887, sugerido por Hensen, para definir os “organismos que são passivamente transportados pelas correntes” (Hensen, 1887, in S. Van Der Spöel, 1994).

O habitat plâncton é constituído pelas plantas e animais de dimensões microscópicas, consideradas como a base da cadeia trófica, incluindo o *Fitoplâncton*, como produtor primário, e o *Zooplâncton*, o mais importante produtor secundário. O grupo *Fitoplâncton* é composto por pequenas algas unicelulares, de dimensões compreendidas entre 0.2µm e 200µm (Portela, 1996), tais como algas verdes, dinoflagelados e diatomáceas.

A captação da energia radiante, pelos organismos autotróficos, é feita através de pigmentos existentes nos cloroplastos destas células. De entre os vários pigmentos salienta-se a acção da *Clorofila-a*, pelo papel principal que detém em todo o processo (Boney, 1975). Desta forma, assume-se que a concentração deste pigmento existente na água é directamente proporcional à concentração de biomassa de *Fitoplâncton* (Valiela, 1995). Esta relação pode variar, dependendo da espécie do organismo e do seu estado de nutrição, entre 20 e 100 mg C/ mg *Clorofila-a* (Kramer *et al.*, 1994). Assume-se para o Estuário do Tejo um factor de conversão linear de 60 mg C/ mg *Clorofila-a* (Portela, 1996).

Com base em estudos existentes pode considerar-se que, no Estuário do Tejo, as diatomáceas são a classe dominante de *Fitoplâncton*, encontrando-se bem representadas *Skeletonema costatum*, *Hemiaulus sinensis* e diversas espécies de *Rhizosolenia*, entre outras (Rodrigues e Moita, 1979, in Ferreira, 1989).

A maior parte das espécies de *Fitoplâncton*, nas regiões temperadas, dependem de uma única estação de crescimento, onde atingem níveis de concentração muito elevados. Terminada esta estação, a sua concentração reduz-se, praticamente, a zero. No caso de regiões tropicais verifica-se que a fase de crescimento é quase contínua, devido à grande disponibilidade de nutrientes. Esta diferença no crescimento é uma evidência da dependência do ciclo de vida de uma espécie relativamente às condições físicas, químicas e biológicas que o meio lhe oferece.

### 3. Factores Limitantes do Crescimento

A actividade biológica do *Fitoplâncton*, ao longo do ano, depende, como para qualquer organismo, da combinação de um conjunto de factores característicos do meio envolvente, dos quais se destacam aqueles que se consideram limitativos para o crescimento. Os factores limitantes do crescimento são aqueles que, de alguma forma, não permitem o crescimento máximo dos organismos, seja por excesso ou escassez.

Os principais factores limitantes do crescimento do *Fitoplâncton*, considerados neste estudo, passam pela quantidade de nutrientes disponível, em particular do Azoto, nas suas formas assimiláveis, Nitrato e Amónia, pela temperatura do sistema, da qual depende não só o metabolismo do próprio *Fitoplâncton*, mas também muito associada aos processos físicos e químicos de que dependem muitas propriedades da água e ainda a quantidade de luz solar recebida, em dependência directa com a quantidade de sedimentos existentes na coluna de água, uma vez que se trata de um organismo fotossintético. A variação temporal e espacial destes factores no estuário irá condicionar ou favorecer o crescimento do *Fitoplâncton*, dependendo das condições envolventes.

No Anexo II é descrito, com algum detalhe, a influência destes factores no crescimento do *Fitoplâncton* e as razões pelas quais se consideram limitantes face a outros factores.

### 4. Oxigénio Dissolvido

O oxigénio dissolvido detém no sistema marinho um papel também importante, participando em muitas reacções químicas e biológicas que constituem a dinâmica do ecossistema. O oxigénio, dissolvido na água, é continuamente consumido na respiração, tanto das plantas como dos animais e é por outro lado produzido pelas plantas através da fotossíntese apenas durante os períodos de luz, ou seja ao longo do dia, quando existem nutrientes disponíveis. A presença de oxigénio é desta forma vital para muitas espécies de organismos, embora existam algumas espécies de bactérias anaeróbicas para as quais o oxigénio é um factor inibidor da sua actividade.

A quantidade de oxigénio dissolvido na água é em geral muito baixa não só porque a sua solubilidade na água é baixa mas também porque a sua pressão parcial na atmosfera é pequena. Como consequência e

se existirem condições para o crescimento dos organismos, o pouco oxigénio presente na água pode ser consumido em poucas horas e se adicionalmente existir contaminação orgânica da água pode acontecer a depleção do oxigénio. Esta, quando ocorre durante um período de tempo alargado, pode afectar directamente o crescimento, comportamento e a sobrevivência dos organismos o que indirectamente afecta a sustentabilidade do habitat, fontes de alimento e a estrutura trófica uma vez que a maior parte dos organismos são "substituídos" por alguns organismos especializados, tolerantes a baixas condições de oxigénio.

No caso do Estuário do Tejo, considera-se que a morfologia do estuário, com grandes áreas expostas ao vento, provocando turbulência permite um arejamento atmosférico, permite de alguma forma acelerar o processo de difusão do oxigénio na água, constituindo uma fonte determinante de oxigénio dissolvido. Assim, o oxigénio não é neste estudo considerado como um factor limitante do crescimento do *Fitoplâncton* (Ecotejo, 1994 in Agapito, 1999).

### III. Modelação dos Processos Envolvidos

#### 1. Variação da Concentração das Propriedades

Pretende-se neste estudo fazer análise da variação da concentração, não só de *Fitoplâncton*, o principal produtor primário, mas também dos principais nutrientes limitantes, Amónia e Nitrato, e ainda de um dos seus principais predadores, o *Zooplâncton*.

Sendo passivamente transportados pela água, considera-se que as propriedades a estudar se deslocam no seio de um fluido em movimento, sendo a sua variação, ao longo do tempo, descrita por uma equação do tipo:

$$(1) \frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} v_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} v_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v_z \frac{\partial C}{\partial z} + (F - P)$$

onde C diz respeito à concentração da propriedade; ( F – P ) representa a diferença entre as fontes e os poços; u, v, w correspondem às três componentes da velocidade do fluido, neste caso a água, segundo as três direcções x, y, z, respectivamente. Estas componentes, bem como os termos da difusão turbulenta, onde  $v_x$ ,  $v_y$  e  $v_z$  representam os respectivos coeficientes, são determinados tendo por base processos hidrodinâmicos. O termo relativo às fontes e poços representa, no caso do Azoto, um balanço do ciclo deste nutriente em ambiente marinho e, para variações de concentração de *Fitoplâncton* ou *Zooplâncton*, este termo representa, no fundo, a actividade biológica destes seres.

## 2. Sistema MOHID2000

A resolução da equação descrita no ponto anterior é conseguida, de uma forma aproximada, recorrendo ao sistema de modelos MOHID2000. Este, constituído por vários módulos interligados, tem como grande objectivo descrever os principais processos que ocorrem num ecossistema marinho, onde se inclui o sistema estuarino. Em anexo (Anexo III) encontra-se uma breve descrição deste sistema, evidenciando os pressupostos base e o seu princípio de funcionamento.

No caso concreto, o estudo da variação da concentração de *Fitoplâncton*, *Zooplâncton* e de nutrientes requer do sistema MOHID2000 a utilização de quatro modelos fundamentais. Do Modelo Hidrodinâmico, o primeiro a ser utilizado, resulta um campo de velocidades e os correspondentes coeficientes de difusão turbulenta; segue-se o Modelo de Transporte, onde se procede à resolução dos termos relativos à advecção-difusão, que no fundo "transportam" a propriedade e, por fim, o Modelo de Qualidade da Água, que se serve dos resultados do Modelo de Transporte de Sedimentos, dos quais depende a quantidade de luz captada pelo *Fitoplâncton*, calcula os termos de fontes e poços, tendo como resultado a concentração da propriedade em determinado instante para todas as células da malha. São exactamente os resultados deste último modelo, que se pretendem analisar, encontrando-se também descrito no referido Anexo III uma síntese dos principais pressupostos e equações utilizadas pelo modelo de qualidade da água.

## IV. Aplicação ao Estuário do Tejo

### 1. Simulação no Estuário do Tejo

Para a aplicação do Sistema MOHID2000 ao Estuário do Tejo é utilizada uma malha constituída por  $71 \times 86$  células, onde cada célula apresenta um tamanho real de  $600 \times 600 \text{ m}^2$ . A malha utilizada neste estudo é descentrada, ou seja, as propriedades escalares são calculadas no centro da célula e as velocidades e fluxos são calculados nas suas faces. O uso de uma malha descentrada permite uma solução fisicamente realista e facilita a imposição das condições fronteira.

O tipo de formato utilizado para a visualização dos resultados do modelo depende da análise pretendida e, neste estudo, opta-se por aplicar o conceito de Caixas de Integração, já utilizadas em estudos anteriores, por se considerar que estas permitem uma mais adequada representação, facilitando a percepção dos processos envolvidos e consequências da sua aplicação. A aplicação deste conceito consiste em agrupar células, pertencentes a zonas específicas do estuário, quer pela sua localização quer pela sua função no ecossistema. Em cada uma destas áreas é calculada uma média da concentração da propriedade utilizando os valores calculados em cada célula. Desta forma, é possível, não só caracterizar cada área, como também definir os fluxos da propriedade entre caixas, o que, dependendo da análise, pode revelar-se uma ferramenta importante na compreensão da dinâmica do sistema.



Figura 1 - Caixas de Integração no Estuário do Tejo

Este estudo baseia-se, assim, na análise dos valores obtidos pelo modelo em cada uma destas Caixas de Integração e na variação do fluxo das propriedades consideradas através delas para diferentes simulações, representando várias condições de descargas na Zona do Estuário do Tejo. As características das descargas consideradas serão descritas no ponto 4 deste capítulo.

## 2. Condições Iniciais

A indicação das condições iniciais para o cálculo do modelo é feita tendo por base as Caixas de Integração anteriormente definidas. Considera-se que cada propriedade tem, em cada caixa, uma concentração uniforme no instante inicial. Os valores utilizados na inicialização do modelo são o resultado de uma média de valores registados no estuário, de acordo com dados obtidos na bibliografia (Portela, 1996; Antunes, 2000, in Pina 2001), apresentados no quadro seguinte. Note-se que para algumas propriedades, tais como temperatura, salinidade e oxigénio dissolvido considera-se que não existe variação significativa entre as várias caixas, pelo que não se justifica a inicialização por caixas. Apresentam-se, no entanto, no quadro seguinte com o mesmo valor em todas as caixas.

Caixa de Integração	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Salinidade (psu)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Oxigénio Dissolvido (mg O <sub>2</sub> / l)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Sedimentos (mg / L)	5	20	40	40	60	80	100	120	110
Fitoplâncton (mg C / L)	0,07	0,06	0,04	0,08	0,17	0,26	0,19	0,17	0,17
Zooplâncton (mg C / L)	0,007	0,006	0,004	0,008	0,017	0,026	0,019	0,017	0,017
Nitrato (mg N / L)	0,13	0,17	0,18	0,28	0,37	0,41	0,49	0,37	0,37
Nitrito (mg N / L)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02
Amónia (mg N / L)	0,05	0,11	0,13	0,28	0,28	0,12	0,03	0,12	0,12
PON (mg N / L)	0,13	0,19	0,21	0,38	0,44	0,35	0,35	0,38	0,38
DON <sub>nr</sub> (mg N / L)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
DON <sub>re</sub> (mg N / L)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03

Quadro1 - Valores de Concentração Inicial considerados para a simulação no Estuário do Tejo

### 3. Condições Fronteira

O modelo permite considerar cinco tipos de fronteira do estuário: a superfície livre, o fundo, fronteiras laterais abertas, fronteiras laterais fechadas e as fronteiras móveis. Neste estudo considera-se que todas as fronteiras se encontram fechadas, ou seja, que o fluxo através delas é nulo, à excepção da fronteira marítima, considerada uma fronteira lateral aberta. Significa que todas as trocas existentes entre a terra e o mar são assumidas como uma descarga. O Rio Tejo, o Rio Sorraia e o Rio Trancão funcionam, assim, como descargas localizadas em determinadas células da malha que constitui o estuário, tal como as descargas das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) localizadas nas imediações do estuário e cujos efluentes afluem ao estuário. Note-se que localizando-se as descargas em pontos próximos de terra, é possível que durante a maré vazia, algumas das células consideradas fiquem a descoberto. Nestes casos, a descarga é feita na célula de cálculo coberta mais próxima, sendo portanto variável ao longo do tempo. A quantificação destas descargas será objecto de análise específica no ponto seguinte deste trabalho. Relativamente à fronteira lateral aberta, o Oceano Atlântico, assume-se, neste estudo, possuindo as características, já consideradas em estudos anteriores (Pina,2001), as quais se apresentam no quadro seguinte,

Temperatura (°C)	18
Salinidade (psu)	36
Oxigénio Dissolvido (mg O <sub>2</sub> / L)	8
Sedimentos (mg / L)	20
Fitoplâncton (mg C / L)	0,00003
Zooplâncton (mg C / L)	0,00003
Nitrato (mg N / L)	0,05
Nitrito (mg N / L)	0,01
Amónia (mg N / L)	0,02
PON (mg N / L)	0,01
DON <sub>nr</sub> (mg N / L)	0,001
DON <sub>re</sub> (mg N / L)	0
BOD (mg O <sub>2</sub> / L)	2

Quadro2 - Características da Fronteira Marítima

## 4. Descargas no Estuário

A variabilidade das descargas é, de certa forma, significativa não só ao longo de um ano, mas também ao longo de anos diferentes, dependendo das condições climáticas que se fazem sentir em cada ano, pelo que se opta por analisar os resultados do modelo para quatro cenários distintos: Ano Médio, Ano Seco, Ano Húmido e Ano Realista. Considera-se neste estudo que apenas o Rio Tejo apresenta uma variação significativa ao longo do tempo, sendo as outras descargas constantes em todos os cenários ou simulações.

A quantificação das descargas é feita em termos de Caudal e de concentração de algumas propriedades de qualidade da água: *Fitoplâncton*, *Zooplâncton*, Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Oxigénio Dissolvido, Sólidos Suspensos Totais, Temperatura, Amónia ( $\text{NH}_4^+$ ) e as três formas de Azoto Orgânico, DONre, DONr e PON. Neste ponto do trabalho apresentam-se, sucintamente, as principais características destas descargas, acompanhadas de algumas considerações e cálculos de que resultam, excluindo as séries de valores correspondentes por se considerar excessivo. Apresentam-se, em anexo com algum detalhe, toda análise desenvolvida para cada tipo de descarga.

### 4.1. Localização das Descargas

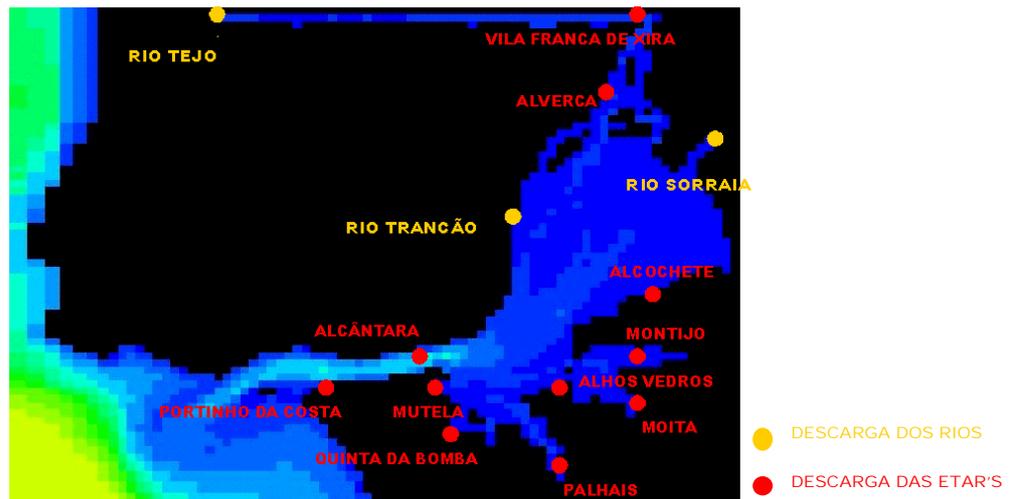


Figura 2 - Localização das Descargas no Estuário do Tejo

## 4.2. Descarga do Rio Tejo

Considera-se que os valores de caudal e qualidade da água, registados na estação de Ómnias-Santarém, cuja localização se apresenta em anexo (Anexo IV), são os característicos da descarga do Rio Tejo no estuário, pelo que toda a análise se baseia nos valores encontrados nesta estação de amostragem. Os dados foram obtidos através do Instituto da Água, INAG. De entre os vários parâmetros registados na estação de amostragem apenas alguns se revelam úteis para a análise pretendida. É o caso do caudal e as concentrações de alguns parâmetros da qualidade da água: *Clorofila-a*, Nitrato, Nitrito, Oxigénio, Sólidos Suspensos Totais, Temperatura, Azoto Amoniacal e algumas formas de Azoto Orgânico. Os restantes parâmetros não são incluídos na análise ou por se considerar o seu efeito desprezável, como é o caso da salinidade, que se considera nula no Rio Tejo, ou por não se encontrarem no âmbito do trabalho.

As características das descargas do Rio Tejo são o resultado do tratamento dos dados registados na estação de amostragem, a partir do que é possível seleccionar as séries de valores que se adequam aos cenários que se pretendem estudar. Por se tratar de uma análise um tanto extensa, opta-se apenas por descrever, de uma forma sintética, as principais diferenças entre os cenários, apresentando-se em anexo, Anexo IV, as considerações que lhe deram origem e algumas figuras comparativas que poderão, de forma mais visível, fazer realçar as suas diferenças.

### 4.2.1. Cenários em estudo

Do tratamento dos dados recolhidos na estação de amostragem, pode concluir-se que existe, para alguns dias do ano, uma variação de caudal bastante significativa, relativamente à correspondente média anual, pelo que à partida poderá esta variação ter alguma influência na qualidade da água no estuário. Também as propriedades da água variam ao longo do ano, não só como consequência da variação do caudal, pelo chamado efeito de diluição, mas também devido às diferentes formas de poluição que podem fazer-se sentir mais numa determinada estação do ano do que noutra. É o caso da poluição difusa, provocada pela lixiviação dos compostos constituintes dos adubos, utilizados na agricultura, que terá possivelmente um efeito mais intenso na estação da Primavera. Cada um dos cenários em causa é caracterizado por uma série temporal de valores, quer de caudal, quer de parâmetros de qualidade da água, incluindo as várias propriedades já referidas anteriormente. O quadro seguinte sintetiza as condições consideradas em cada cenário.

Cenários	Caudal	Qualidade da Água	da Observações
I	Ano Médio	Ano Médio	Os valores resultam da média aritmética de todos os valores registados na estação.
II	Ano Seco (1981)	Ano Médio	1981 é considerado um ano seco; não existindo neste ano valores registados de qualidade da água, opta-se por considerar os valores médios.
III	Ano Húmido (1979)	Ano Médio	Considera-se que o ano de 1979 corresponde a um ano húmido; mais uma vez são utilizados os valores médios de qualidade da água por não existirem registos do ano de 1979.
IV	Ano Realista (1999)	Ano Realista (1999)	Por ser o ano com mais registos quer de caudal quer de qualidade da água, 1999 será analisado como sendo o cenário mais realista.

Quadro3 - Cenários em Análise

### 4.3. Descarga do Rio Sorraia

A descarga do Rio Sorraia é considerada como constante ao longo do ano pelo que se recorrem a valores médios, quer de caudal quer de qualidade da água, registados em determinadas Estações de Amostragem. No caso do Rio Sorraia opta-se por considerar a existência de dois "braços" principais do rio, nos quais se encontram as estações de S. Estevão e Coruche que registam a contribuição em termos de caudal de cada um destes braços. Os parâmetros da qualidade da água característicos do Rio Sorraia são obtidos recorrendo aos valores registados na estação de Porto Alto pertencente à Rede de Amostragem da qualidade da água gerida pela DGA. Estas considerações surgem pela não existência de uma única estação de amostragem com registos de caudais e de parâmetros da qualidade da água. Para algumas propriedades, a não existência de registos leva a que sejam aplicadas algumas considerações que têm por base valores típicos de proporções entre propriedades. A quantificação da descarga encontra-se no Anexo V.

#### 4.4. Descarga do Rio Trancão

As características da descarga do Rio Trancão resultam das descargas existentes a montante da foz do mesmo, nomeadamente dos efluentes provenientes das estações de tratamento das águas residuais urbanas das populações envolventes. Na região do Rio Trancão existem três ETAR's: Beirolas, S.João da Talha e Frielas. Considera-se neste estudo que os valores registados na estação de amostragem da Ponte de Sacavém, pertencente à rede de amostragem de qualidade da água do INAG, são relativos à descarga do Rio Trancão na zona do estuário, incluindo desta forma os efluentes das três ETAR's mencionadas. Apenas para propriedades para as quais não existem registos, as concentrações correspondentes são determinadas recorrendo às características dos efluentes das ETAR's. À semelhança do que acontece com a descarga do Rio Sorraia, também a descarga do Rio Trancão é considerada constante ao longo do tempo. No Anexo VI apresentam-se os resultados da análise efectuada.

#### 4.5. Descarga das Águas Residuais Domésticas

Na envolvente ao Estuário do Tejo existe, como foi já referido, um número muito significativo de agregados populacionais. As águas residuais urbanas daí resultantes são, na sua maioria, descarregadas na zona do Estuário constituindo, junto com as descargas das indústrias localizadas em redor do estuário, as chamadas fontes pontuais de poluição. Neste estudo são objecto de análise apenas as descargas de origem doméstica, ou melhor, aquelas que são ou serão efluentes tratados de ETAR's Municipais. Na região envolvente do Estuário do Tejo existem 10 Etar's em funcionamento e 6 em estado de projecto, o que perfaz um total de 16 ETAR's, cujos efluentes são, ou serão, directa ou indirectamente descarregados no estuário. Para uma das ETAR's projectadas, localizada na região de Coina, não se encontram disponíveis os dados base do projecto, pelo que o efluente desta estação não será considerado. Neste estudo assume-se, como aproximação, que estes efluentes são directamente descarregados no estuário, desprezando, deste modo, os possíveis processos a que estariam sujeitos até à sua descarga efectiva no estuário. Isto é, algumas da ETAR's consideradas descarregam o seu efluente tratado em pequenos rios ou ribeiras que afluem depois à zona do estuário. Nestes casos considera-se, como ponto de descarga, o local da foz do rio ou ribeira, desprezando o seu caudal, por se tratarem de pequenas linhas de água, frequentemente secas na estação de calor e sendo o caudal das ETAR's a sua principal componente. Esta consideração aplica-se a todas as ETAR's existentes na envolvente ao

estuário, excepto para as ETAR's de Beirolas, S.João da Talha e Frielas, uma vez que estas descarregam o seu efluente no Rio Trancão, cujo caudal não pode ser desprezado. Desta forma, a análise do efluente relativo a estas ETAR's exclui-se deste ponto do trabalho, sendo objecto de estudo particular no ponto relativo à descarga do Rio Trancão. As descargas provenientes das estações já em funcionamento resultam da aplicação dos tratamentos que ocorrem na estação, enquanto que as descargas correspondentes às estações projectadas, mas ainda não construídas, são o resultado de extrapolações feitas tendo em conta a população que abastecem.

Tal como no caso da descarga do Rio Tejo, a caracterização da descarga proveniente das ETAR's é feita em termos de Caudal Médio Diário, constante para todos os dias do ano, em todas as simulações, e de alguns parâmetros da qualidade da água que incluem as concentrações de Nitrato, Nitrito, Carência Bioquímica de Oxigénio, Sólidos Suspensos Totais, Amónia e as três formas consideradas de Azoto Orgânico (Dissolvido Refractário e Não Refractário e Azoto Particulado). A variação de temperatura entre o efluente e a água do estuário não será muito significativa, pelo que não é considerada como propriedade de descarga.

Uma vez que os efluentes domésticos estão relativamente bem estudados, é possível encontrar na literatura vários relatórios e estudos que procuram caracterizar este tipo de efluentes, encontrando valores típicos de concentrações presentes no efluente, estabelecendo proporções entre os compostos e mesmo determinando valores típicos de capitações, ou seja, quantidades de compostos ou substâncias produzidas por habitante. Partindo dos valores típicos referenciados é possível, tendo por base a população equivalente correspondente ao efluente e algumas considerações adicionais, determinar as concentrações aproximadas de todas as propriedades necessárias para caracterizar, ao nível deste estudo, o efluente bruto que chega às ETAR's, quando estas existem. Partindo das características dos efluentes brutos e sabendo o tipo de tratamento utilizado em cada ETAR é possível determinar as características do efluente tratado, ou seja, da descarga na zona do estuário.

Para algumas das ETAR's em estudo, é possível encontrar os dados base de projecto ou mesmo resultados de análises experimentais ao funcionamento da estação, que quantificam alguns dos parâmetros necessários a este estudo. A utilização destes valores é sempre privilegiada, de forma a tornar a quantificação da descarga aproximada da realidade, recorrendo aos valores típicos apenas quando os dados reais são insuficientes. No Anexo VII são apresentados os valores característicos das descargas da ETAR's no Estuário do Tejo, e as considerações utilizadas para a sua determinação.

## V. Apresentação e Discussão dos Resultados

A seguinte descrição foi conseguida através da análise dos resultados obtidos em todas as caixas de integração que constituem o Estuário do Tejo. No entanto, apenas se apresentam, em todos os pontos deste trabalho, figuras correspondentes apenas a uma caixa, encontrando-se no Anexo XI figuras referentes a outras caixas, pois seria demasiado exaustivo, a apresentação neste relatório, de todos os resultados, em todas as caixas consideradas. Na maioria dos casos, foi escolhida, como exemplo, a caixa 8 por se tratar de uma área de sapal, que se considera particularmente sensível e onde as possíveis influências poderiam ter um efeito mais importante.

### 1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo

Para detectar a possível influência da variação sazonal da descarga do Rio Tejo na produção de biomassa no interior do estuário, recorre-se à comparação entre duas simulações do modelo diferindo apenas no tipo de descarga do Rio Tejo (variável ou constante ao longo do ano), utilizando condições do Cenário I, Ano Médio.

#### 1.1. Concentração das Propriedades

Em geral, as variações de concentração, das várias propriedades, entre as duas simulações não são muito significativas mas, a existir, são semelhantes em todas as caixas, isto é, fazem-se sentir da mesma forma em quase todo o estuário. As figuras que se seguem dizem respeito à variação sazonal das propriedades em análise, nas duas simulações, e permitem ter uma percepção das principais diferenças obtidas.

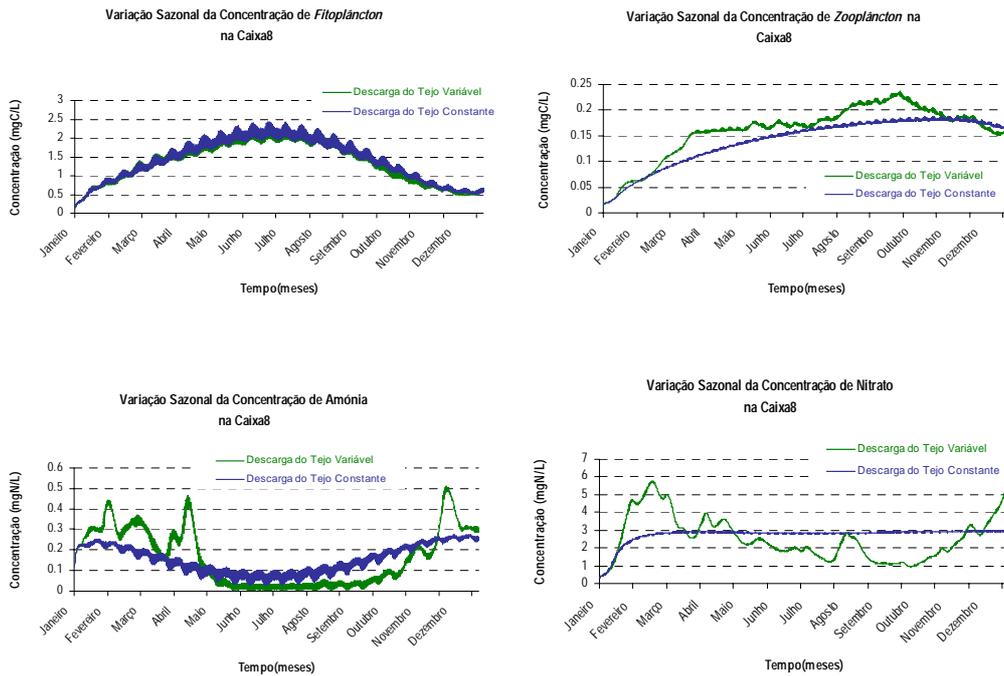


Figura 3 - Variação Sazonal da Concentração para Descarga Variável e Constante

Pode dizer-se que as diferenças na variação sazonal da concentração de *Fitoplâncton*, entre as duas simulações, são pouco significativas. No entanto, no caso de uma descarga variável, o pico de Primavera atingido é um pouco menor, talvez explicado pelo maior crescimento do Zooplâncton. Relativamente às concentrações de nutrientes, é notória uma maior variabilidade com descarga variável. Com descargas constantes a diferença de concentrações de Amónia e Nitrato entre os meses de Verão e Inverno é menos acentuada sendo, no entanto, perceptível nos dois casos, o período de maior consumo, coincidente com o maior crescimento do *Fitoplâncton*. Em todas as caixas de integração a evolução ao longo do ano é similar embora com valores de concentração um pouco diferentes, dependendo das características da cada caixa.

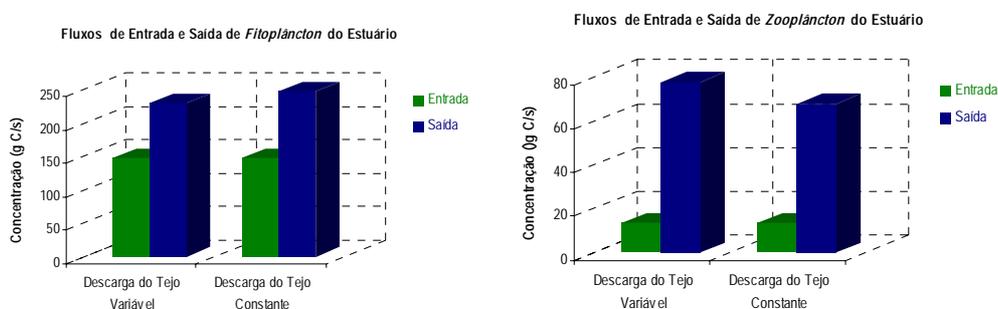
Das propriedades em análise, o Nitrato será talvez aquela que revela variações mais significativas. É também a propriedade cuja variação é mais importante na descarga do Rio Tejo ao longo do ano. Na situação de descarga constante, a concentração de Nitrato oscila entre uma gama de valores relativamente baixa, ao passo que para uma descarga variável pode nos meses de Inverno atingir cerca de 10 mg N/L na caixa 6 (esta caixa é no fundo a primeira caixa do estuário a receber a descarga do Rio Tejo) e nos meses de Verão atingir valores muito baixos. Estas variações são de facto significativas e vão

de encontro ao que seria de esperar mas, parecem não ter um efeito muito significativo sobre a variação de biomassa (*Fitoplâncton* e *Zooplâncton*) ao longo do tempo. Deve ainda referir-se que, as caixas mais próximas do local de descarga do Rio Tejo, apresentam uma maior variabilidade das concentrações, provocada exactamente pela existência da descarga. Esta diferença pode facilmente ser detectada comparando as figuras anteriores com aquelas que se encontram no já referido Anexo XI.

## 1.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

As variações de concentração anteriormente descritas vão agora fazer-se sentir na forma de fluxos entre caixas. No Anexo XI encontram-se figuras que permitem identificar os fluxos médios anuais entre todas as caixas do estuário e clarificar a análise descrita.

No caso de uma descarga constante a concentração de *Fitoplâncton* mostra uma ligeira subida, pelo que os fluxos apresentam também maiores valores, dependendo da localização das caixas. Pode no entanto referir-se que, o fluxo de entrada da descarga do Rio Tejo no estuário (6->7), que é no fundo a única diferença entre as simulações, parece ter uma diferença mínima entre uma e outra simulação. No entanto, os correspondentes fluxos de saída para o mar (0->1) são diferentes. Na situação de descarga variável existe uma maior exportação de biomassa o que sugere que a produção no interior do estuário é maior, não sendo no entanto diferenças muito significativas. As figuras seguintes permitem uma melhor visualização do balanço feito ao Estuário, destacando o total de entradas, via Rio Tejo, Sorraia, Trancão e ETAR's e saídas (Fluxo 0->1), para cada uma das propriedades.



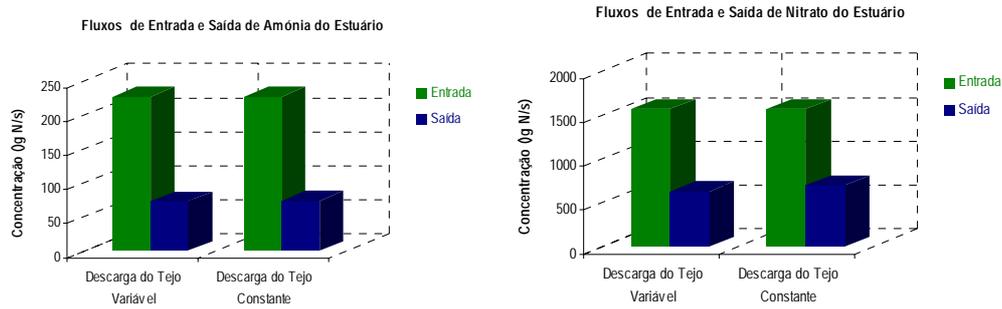


Figura 4 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário para Descarga Variável e Constante

Verifica-se uma significativa produção de biomassa no Estuário do Tejo, tanto de *Fitoplâncton* como de *Zooplâncton*, nas duas condições. Na situação de descarga variável parece existir uma menor produção *Fitoplâncton* dentro do estuário, talvez influenciada pela maior produção de *Zoo*, já verificada na análise ao longo do ano. Quanto aos nutrientes existe em ambas as simulações um consumo quer de Amónia quer de Nitrato, sendo o deste último maior. Em termos do balanço à quantidade de Amónia as diferenças entre a consideração de uma descarga variável e constante são praticamente nulas e relativamente ao Nitrato apesar de não ser uma variação muito significativa no caso de uma descarga variável, apesar de o crescimento do *Fitoplâncton* ser um pouco menor existe maior consumo de nitrato. Sendo a quantidade de Amónia exportada a mesma, sugere que esta diminuição de Nitrato não terá sido provocada por uma diminuição no processo de Nitrificação pois teria no fluxo de Amónia alguma consequência. Deste modo, talvez, durante uma descarga variável, a desnitrificação (o único processo, além do consumo pelo *Fitoplâncton*, capaz de consumir este nutriente), se torne mais intensa diminuindo o fluxo de saída de Nitrato.

---

A consideração da variação sazonal das descargas do Rio Tejo é um cenário mais próximo da realidade, pelo que a existirem dados dessa natureza será sempre preferível a sua utilização face a condições de descarga médias. No caso do Tejo, verifica-se, no entanto, que a produção de biomassa é semelhante nos dois cenários

---

## 2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia

A diferença entre as simulações que se pretendem comparar reside na existência de descargas relativas aos rios Trancão e Sorraia que, devido às suas características de escoamento e de qualidade da água, em conjunto com o Rio Tejo, constituem a grande componente fluvial do Estuário do Tejo.

### 2.1. Concentração das Propriedades

Em termos de biomassa, *Fitoplâncton* e *Zooplâncton*, a existência ou não de descargas dos Rio Trancão e Sorraia não produz variações significativas. As curvas correspondentes às duas simulações são praticamente coincidentes. Quanto à quantidade de nutrientes, existe de facto um aumento, tanto de Amónia como Nitrato quando existe descarga dos rios. Este aumento, é mais acentuado nas caixas onde estão localizadas as suas respectivas descargas, caixa 5 e caixa 9.

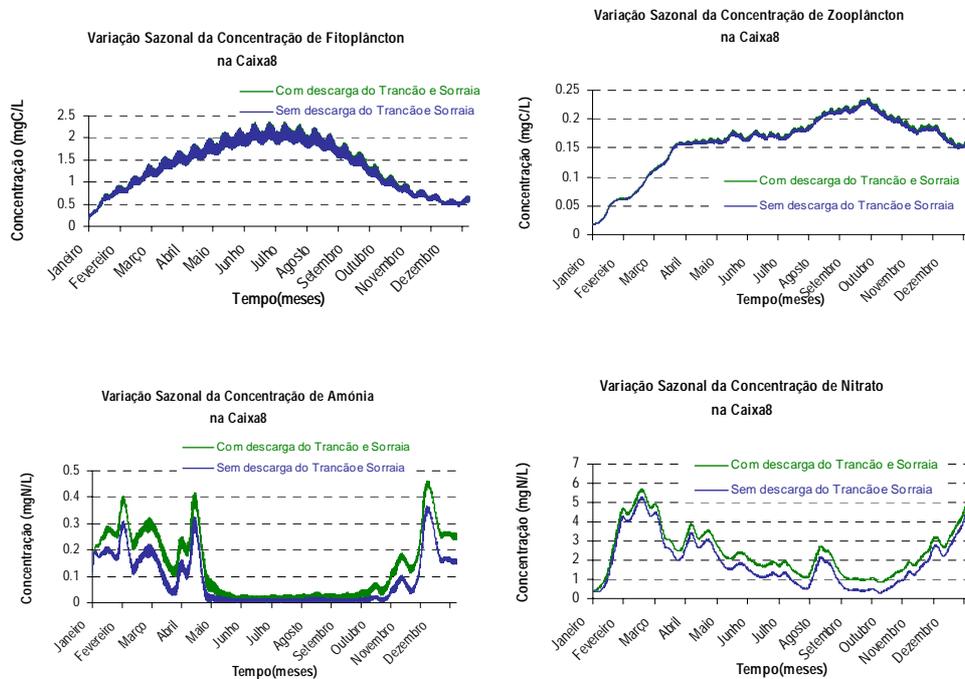
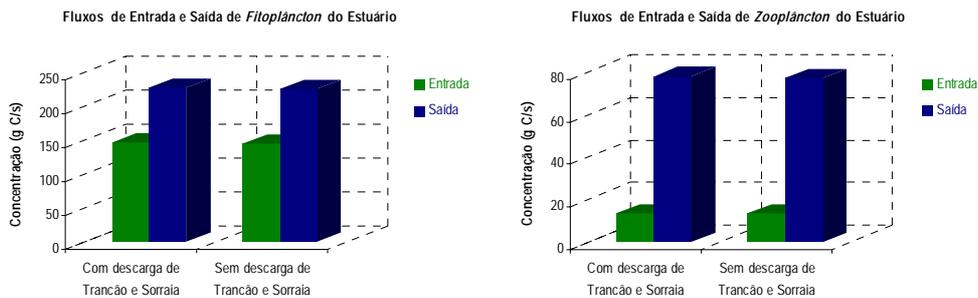


Figura 5 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Descarga dos Rios Trancão e Sorraia

Analisando de forma global, parece ser, que o facto de existir, no meio, maior quantidade de nutrientes, ao contrário do que seria de esperar, não implica um aumento da concentração de *Fitoplâncton*, pelo que talvez se possa dizer que, no Estuário do Tejo, a quantidade de nutrientes não parece ser o factor limitante do crescimento do *Fitoplâncton*, ou, pelo menos para as condições impostas, a variação sazonal, provocada pela chegada da estação de calor, parece ter uma maior importância que a variação devido às descargas dos rios Trancão e Sorraia.

## 2.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

Os fluxos anuais entre as caixas vão exactamente reflectir a maior entrada de nutrientes através dos rios, em particular, os fluxos vindos das caixas onde estão localizadas as descargas correspondentes. No entanto, estas variações não são consideradas significativas (as figuras respectivas encontram-se no Anexo XI). Relativamente ao balanço global de entrada e saída do Estuário, representados nas figuras seguintes, em ambas as simulações existe uma produção de biomassa, muito similar quer haja ou não descarga dos rios. Quanto aos nutrientes, Nitrato e Amónia, os fluxos de entrada são maiores com descarga dos rios, tal como seria de esperar.



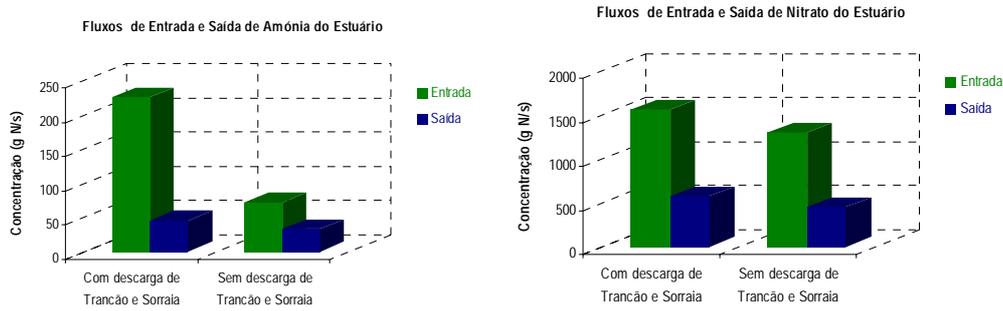


Figura 6 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Descarga dos Rios Trancão e Sorraia

Verifica-se mais uma vez a existência de um consumo de nutrientes em ambas as simulações. No entanto, deve referir-se que a uma maior entrada de nutrientes, com as descargas dos Rios Trancão e Sorraia, corresponde também um maior consumo dos mesmos, apesar de não ser detectável na produção de biomassa qualquer aumento, de onde se poderá concluir que não é o consumo de nutrientes pelo Fitoplâncton o principal processo de remoção pelo estuário, mas sim os processos de Nitrificação e Desnitrificação. Ao existir maiores concentrações de Amónia no meio, existe também maior disponibilidade para conversão em Nitrato, diminuindo a quantidade de Amónia existente no meio mas também aumentando a quantidade de Nitrato. Maiores concentrações de Nitrato intensificam a desnitrificação, pelo que também o fluxo de saída deste nutriente será menor. Deste modo, apesar de entrar uma quantidade muito maior de nutrientes quando é considerada a descarga destes dois rios a diferença entre os fluxos de saída não é muito significativa.

---

A existência de descarga dos rios Trancão e Sorraia, apesar do input de nutrientes adicional, parece não afectar a produção de biomassa no Estuário do Tejo, verificando-se apenas um aumento, da concentração de nutrientes existente no meio e da sua conseqüente exportação de nutrientes para o Mar . Este facto foi atribuído ao facto de o factor limitante da produção primária ser a transparência da água

---

### 3. Influência das Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo

#### 3.1. Concentração das Propriedades

As caixas 3 e 4 são aquelas onde se localizam um maior número de ETAR's, pelo que se opta por apresentar as figuras relativas à caixa 4 (encontrando-se no Anexo XI figuras correspondentes às caixas 3 e 8).

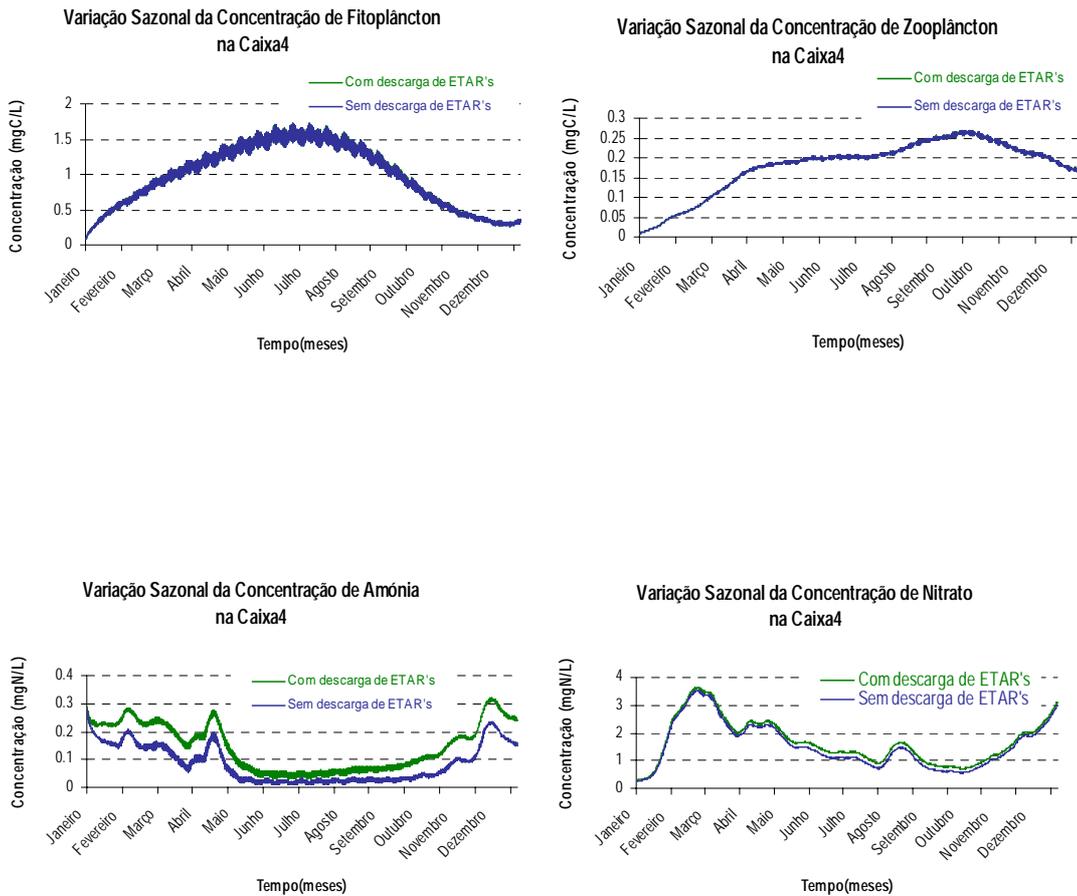


Figura 7 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Descargas de ETAR's

Na quantidade de *Fitoplâncton* e *Zooplâncton* verifica-se que não existem quaisquer variações pelo facto de existirem ou não descargas de ETAR's no Estuário do Tejo. A sua variação sazonal é quase coincidente, apesar do aumento que se verifica na quantidade de nutrientes. A componente nutricional da descarga das ETAR's é bastante forte e desta forma, faz sentido que no global a quantidade existente no estuário é maior. No entanto, mais uma vez e à semelhança da análise anterior a quantidade de biomassa no estuário parece não sofrer alterações, apesar de, à partida, ter todas as condições, em termos de nutrientes, para um maior crescimento.

### 3.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

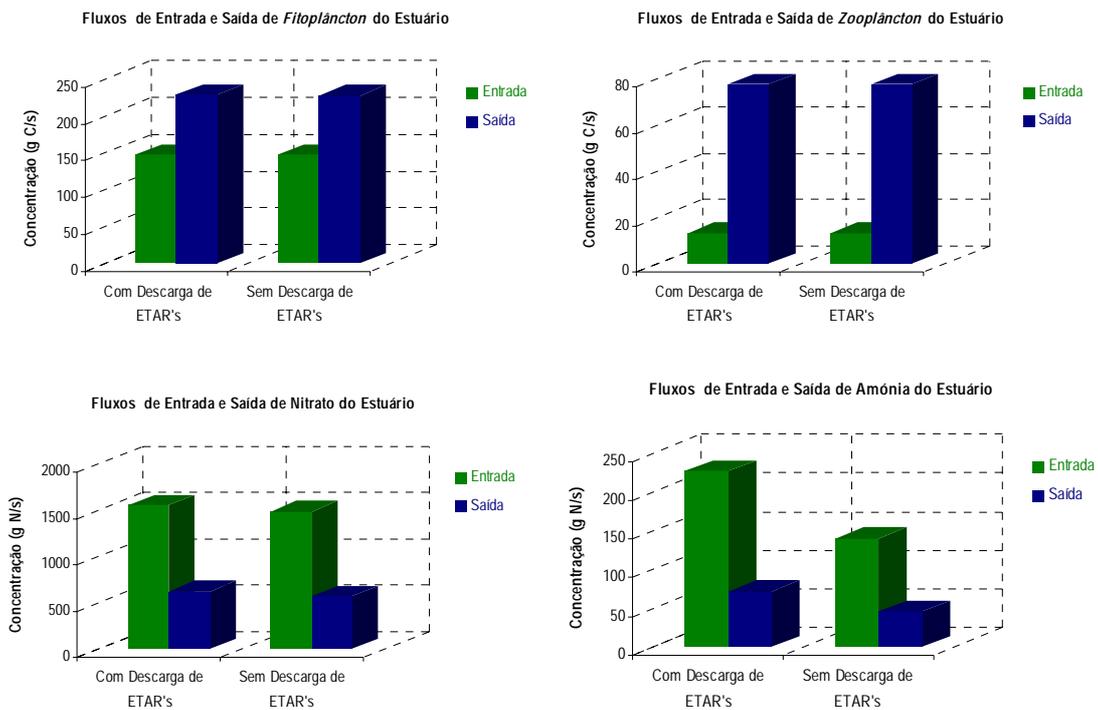


Figura 8 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Descargas de ETAR's

Do balanço feito ao estuário, em termos de biomassa, constata-se que não existem diferenças significativas entre os resultados das simulações. Talvez esta análise comprove que os nutrientes não são o factor limitante para o crescimento do Fitoplâncton no Estuário do Tejo. Como foi já apresentado,

nas figuras relativas à variação sazonal, também os valores do fluxo indicam a existência de um aumento da quantidade de nutrientes que entra no estuário, pelo facto de existirem descargas das ETAR's.

Relativamente aos nutrientes, nas duas simulações acontece um consumo destes no interior do Estuário. O consumo de Nitrato é praticamente o mesmo nas duas simulações, ou seja maior entrada de nitrato implica também maior saída. O consumo de Amónia, por sua vez, é mais intenso quando existe mais Amónia no meio. Existindo maior quantidade deste nutriente mais uma vez, existirá à partida, mais disponibilidade para a Nitrificação, produzindo Nitrato. Como esta produção não é visível no balanço, poder-se-á concluir que a Desnitrificação terá um papel importante na produção de nitrato parece ser mais intensa na situação em que não existe descarga das ETAR's.

---

A existência de descargas de ETAR's na região envolvente do Estuário do Tejo não revela, uma influência significativa na quantidade de biomassa produzida no estuário. O que varia efectivamente é a quantidade de nutrientes minerais existente, embora, de uma maneira geral, possa dizer-se que a maior input correspondem maiores fluxos de saída. Este resultado é também atribuível à limitação pela luz

---

## 4. Influência do Nível de Tratamento das ETAR's

### 4.1. Concentração das Propriedades

As figuras seguintes mostram que, mais uma vez, a quantidade de biomassa produzida no estuário não parece ser afectada pelo facto de o efluente resultante das ETAR's não ser tratado o que é, até certo ponto, um resultado previsível, tendo em conta as análises anteriores.

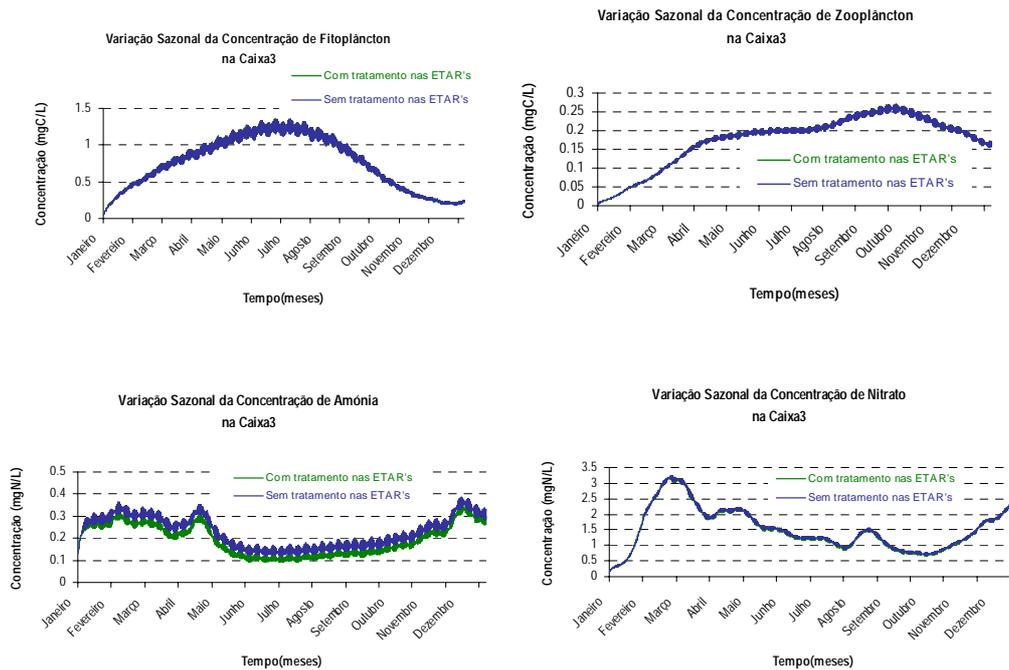


Figura 9 - Variação Sazonal da Concentração Com e Sem Tratamento nas ETAR's

O efluente bruto de origem doméstica tem uma forte componente de Amónia, sendo desta forma explicada a sua maior quantidade na simulação com efluentes brutos. A maior parte das ETAR's em funcionamento utilizam um tratamento secundário. Neste tipo de tratamento é utilizado de forma "industrial" o processo de nitrificação levada a cabo por bactérias nitrificantes que convertem, com foi já referido Amónia em Nitrito e posteriormente em Nitrato. Este processo, em geral, é conseguido nas estações de tratamento com uma eficiência de 10%. Para a remoção de Nitrato dos efluentes é também possível utilizar um processo natural, que apenas tem como condição fundamental o estabelecimento de condições de anóxicas, com falta de oxigénio mas, não é utilizado na maior parte das ETAR's. Assim se explica que a diferença de resultados entre com e sem tratamento seja mais significativa no caso da Amónia. Ou seja as ETAR's têm uma eficiência de remoção de nitrato muito baixa e, apesar de não ser visível nestes resultados, pode em certos casos conduzir até a um aumento de nitratos no efluente.

## 4.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

Os fluxos de biomassa entre caixas são praticamente os mesmos nas duas simulações (as figuras encontram-se no Anexo XI). Em termos de nutrientes, confirma-se a existência de maiores fluxos, situação esperada após a análise da variação sazonal, para a maior parte das caixas. As caixas onde estão localizadas as descargas das ETAR's são aquelas de onde se verifica um maior valor, tanto de Nitrato como Amónia, sendo a exportação desta última um pouco superior significativa. Estes resultados são no fundo a verificação de que esta maior quantidade de Amónia e Nitrato existente no meio é provocada pelas descargas das ETAR's. Em termos dos fluxos de entrada e saída do estuário as figuras seguintes verificam que as diferenças que se estabelecem entre as simulações são pouco significativas.

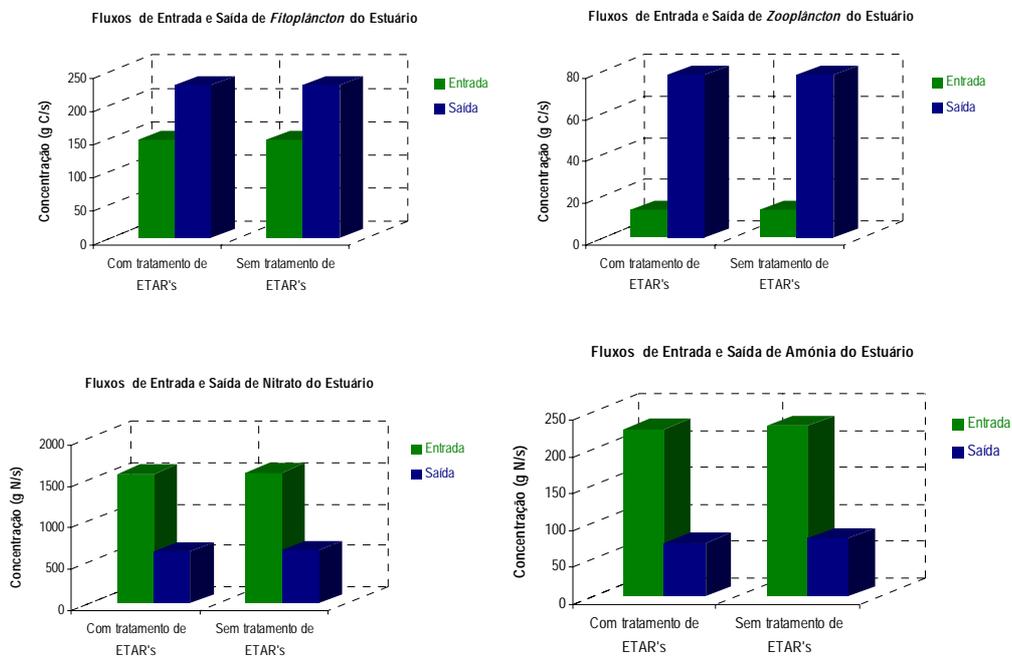


Figura 10 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário Com e Sem Tratamento nas ETAR's

Para o ecossistema do Estuário do Tejo e pela mesma razão, parece não haver, em termos de produção de biomassa e nas condições consideradas, distinção entre a existência, ou não, de tratamento nas ETAR's localizadas na sua envolvente. Ou seja, de uma forma global, parece verificar-se uma tolerância das descargas de efluente bruto das ETAR's. Localmente poderão existir alguns impactos, mas esses possíveis efeitos locais parecem não provocar perturbações no equilíbrio do ecossistema;

## 5. Influência das Condições Hidrológicas

Comparação entre simulações correspondentes aos cenários de descarga do Rio Tejo característicos de um Ano Médio, Ano Seco e Ano Húmido.

### 5.1. Concentração das Propriedades

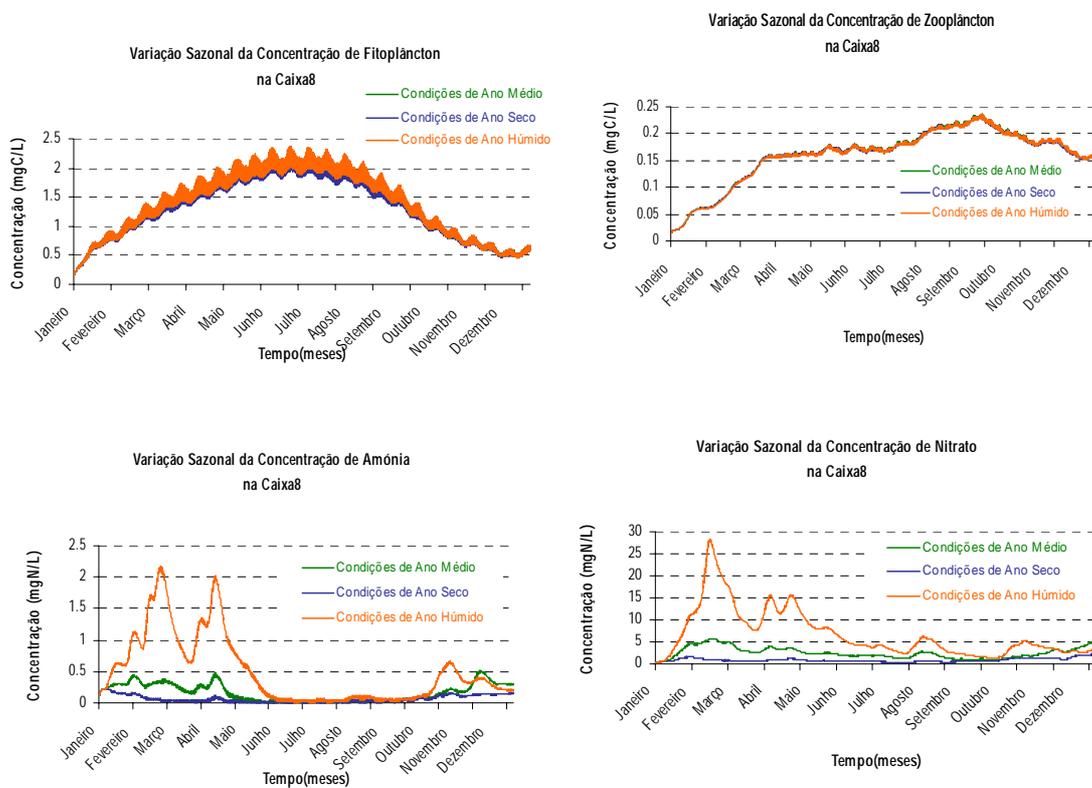


Figura 11 - Variação Sazonal da Concentração em Diferentes Condições Hidrológicas

A variação da quantidade de *Fitoplâncton* provocada pelas condições hidrológicas não é significativa, uma vez que as curvas correspondentes aos vários cenários são quase coincidentes, sendo semelhantes estas relações em todas as caixas de integração. Talvez para o Ano Médio possa dizer-se que a concentração de *Fitoplâncton* atingida no seu natural pico de Primavera é um pouco superior que nos restantes cenários. Relativamente à variação do *Zooplâncton*, também esta não se considera significativa, entre cenários diferentes.

A ligeira subida de *Fitoplâncton* durante a Primavera, nas condições de um Ano Húmido pode ser explicado pelo facto de, nesta situação, se encontrarem, de uma maneira geral, maiores concentrações de nutrientes em todo o estuário, como é possível visualizar pelas figuras anteriores correspondentes a Nitrato e Amónia.

A variação entre os cenários em estudo reside fundamentalmente no caudal correspondente à descarga de Rio Tejo, uma vez que foram usadas concentrações consideradas como médias em todas as simulações. Desta forma, a um maior caudal, por se encontrarem associados os mesmos valores de concentração, corresponde uma situação em que o input de nutrientes para a zona do estuário é maior, sendo desta forma concordantes e explicáveis os resultados obtidos pelo modelo.

Deve referir-se que mais uma vez, que à semelhança de anteriores comparações, as caixas mais próximas das descargas são aquelas que apresentam maior variação entre os cenários, sem no entanto se considerarem, em termos de biomassa, significativas essas mesmas variações.

Em termos de valores médios anuais nas caixas (Anexo XI), pode referir-se que o Ano Seco apresenta sempre com valores inferiores aos restantes cenário, seguido do Ano Médio e com maiores concentrações o Ano Húmido. Relativamente às concentrações de Nitrato e de Amónia verifica-se o que foi já referindo, onde o Ano Húmido apresenta valores bastante superiores.

## 5.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

Os fluxos das várias propriedades entre as caixas consideradas vão de encontro ao que se esperaria tendo em conta a análise das concentrações. Os sentidos dos fluxos mantêm-se, em praticamente todos os cenários e todas as caixas. Verifica-se que algumas relações se mantêm, isto é o Ano Húmido revela-se como aquele onde os fluxos de nutrientes são maiores, seguido do Ano Médio e por último o Ano Seco. As figuras seguintes são relativas às entradas e saídas das propriedades para os três cenários.

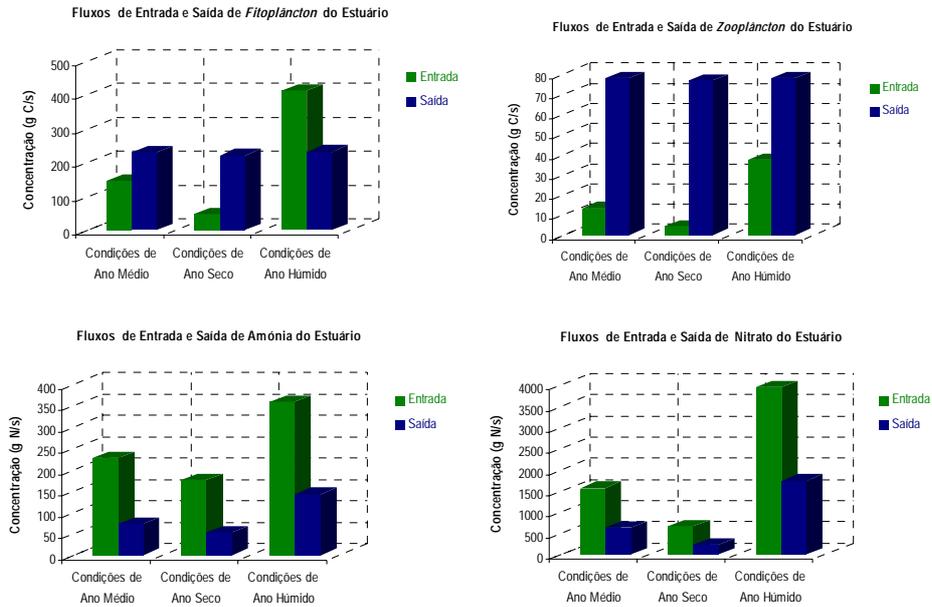


Figura 12 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário em Diferentes Condições Hidrológicas

O cenário de ano húmido surpreende ao se verificar que parece existir um consumo de Fitoplâncton, ou melhor a morte. A entrada de Fitoplâncton durante um ano húmido é de facto muito significativa, tendo um valor médio de cerca de 400 mg C/s. No entanto, as figuras indicam que a entrada de Fitoplâncton e Zooplâncton no estuário não têm influência no fluxo de saída destes. Este facto reflecte de certa forma o equilíbrio do sistema. Entre os cenários, existe de facto uma pequena diferença nos fluxos de saída, sendo o maior correspondente ao Ano Húmido e o menor ao Ano Seco. Relativamente aos nutrientes, o consumo destes no interior do Estuário depende das condições hidrológicas e reflectindo uma possível proporção relativamente ao input do estuário. Isto é na situação em que a concentração quer de Amónia quer de Nitrato é maior, existe também um maior consumo. Este é um resultado que já foi objecto de discussão nas análises anteriores e que mais uma vez se verifica. Para o Nitrato a diferença entre as proporções não será tão elevada como no caso da Amónia mas parece também verificar-se.

---

As condições hidrológicas têm alguma influência na produção primária de biomassa no Estuário do Tejo, fomentando-a ou não, dependendo da quantidade de nutrientes que entra na zona de estuário. Essa influência não parece ser, no entanto, um factor determinante para possíveis desequilíbrios no sistema. As condições hidrológicas influenciam principalmente a quantidade de nutrientes presente no sistema e consequentemente os fluxos de saída;

---

## 6. Comparação entre Ano Médio e Ano Realista

Pretende-se com esta análise, compreender até que ponto serão importantes as diferenças entre a consideração de um ano médio e valores reais para o ano em análise isto é, se os resultados obtidos para um ano médio será ou não significativamente afastados dos resultados ao considerar um ano real. A comparação é feita entre uma simulação onde se considera uma descarga do Rio Tejo correspondente a um Ano Médio e uma outra onde a descarga é a registada nas estações de amostragem para o ano de 1999.

### 6.1. Concentração das Propriedades

Nas várias caixas que constituem o estuário do Tejo poderá dizer-se de uma maneira geral que as curvas correspondentes à simulação de um Ano Médio e de um ano Ano Realista têm uma forma semelhante, ou seja, na variação de *Fitoplâncton* detecta-se um pico na estação de maior calor que consequentemente se reflecte quer nas concentrações de *Zooplâncton* quer de nutrientes. Existe, no entanto algumas diferenças entre as simulações que não devem ser descuidadas.

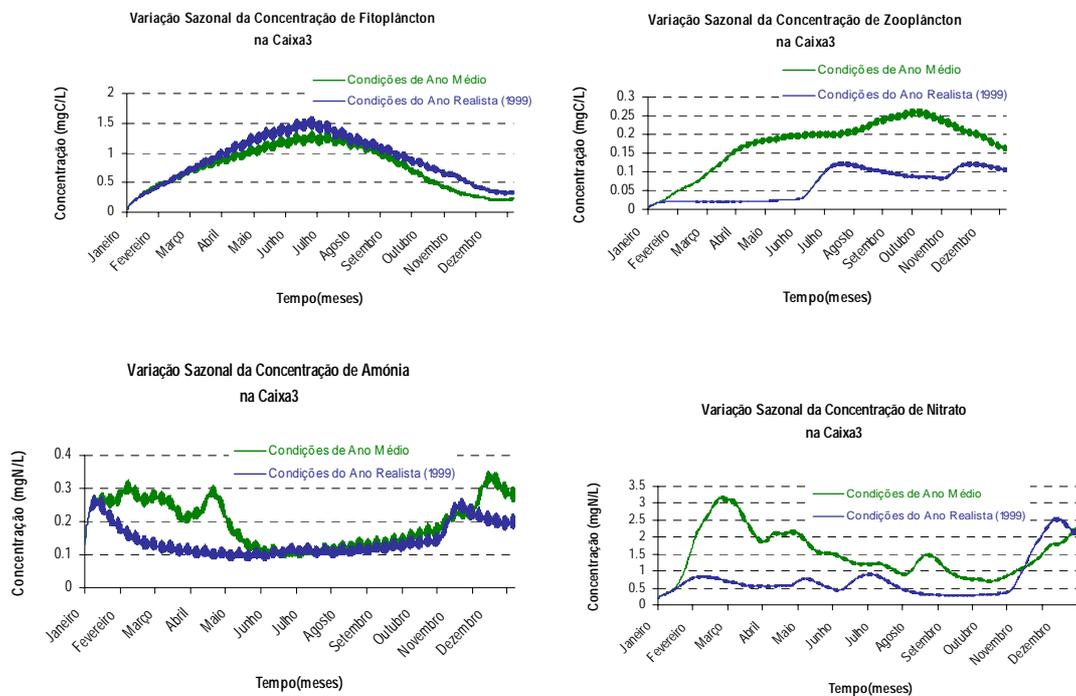


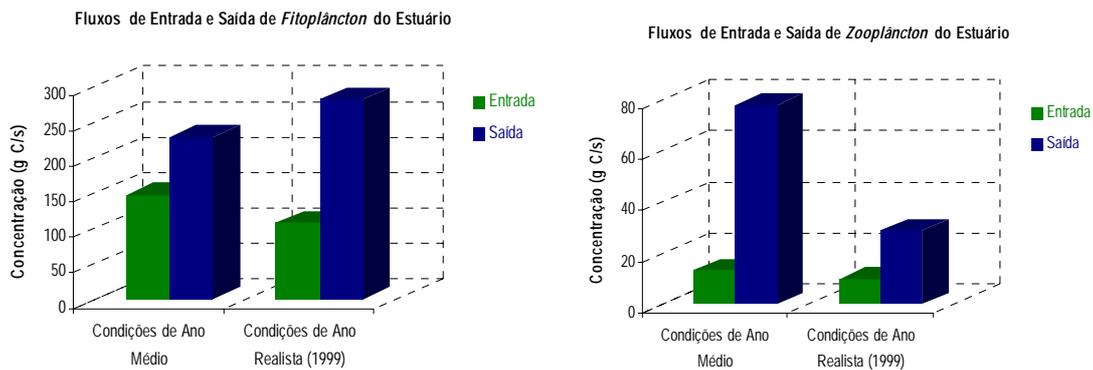
Figura 13 - Variação Sazonal da Concentração no Ano Médio e no Ano de 1999

Para um Ano Médio, o pico de *Fitoplâncton* é menor, apesar de, em todas as caxias, se atingirem para este mesmo ano, concentrações mais elevadas de nutrientes. As figuras parecem indicar que o principal responsável por este menor valor, relativamente ao ano de 1999, será o maior crescimento do *Zooplâncton* que conseqüentemente limita o crescimento do produtor primário, não permitindo que se atinjam valores mais elevados no seu pico de Primavera.

Em termos de valores médios, cujas figuras se encontram no Anexo XI, confirmando a análise ao longo do ano, o Ano Médio parece ter maiores quantidades de nutrientes no estuário e também maiores quantidades de *Zooplâncton*, reflectindo-se este último na diminuição da concentração de *Fitoplâncton*.

## 6.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

De uma maneira geral, os fluxos de saída de *Zooplâncton* e de nutrientes do estuário são maiores no caso de um ano médio, talvez explicado pela menor quantidade de *Fitoplâncton* atingida.



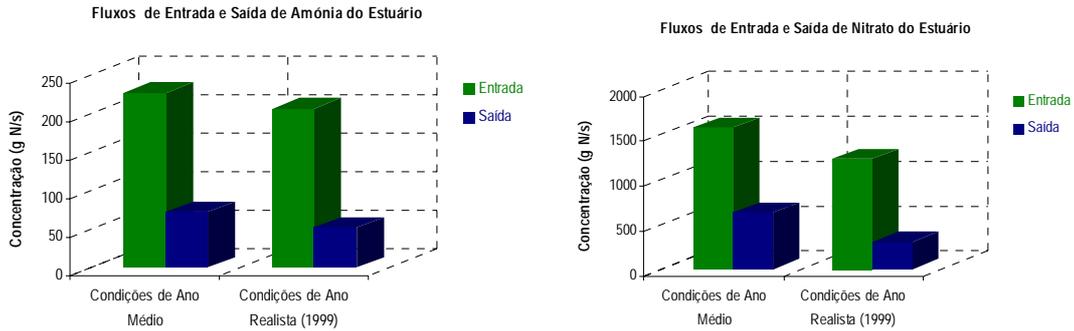


Figura 14 - Balanço de Entrada e Saída do Estuário no Ano Médio e no Ano de 1999

Verifica-se para o ano de 1999 uma maior produção de *Fitoplâncton* no interior do estuário, consistente com o facto de a produção de *Zooplâncton* ser menor, havendo menor consumo por parte deste. Quanto aos nutrientes em ambas as simulações existe consumo e, associado ao facto de existir maior concentração de nutrientes no meio surge um maior fluxo de saída, no caso de um ano médio

---

Existem de facto algumas diferenças nos resultados quando são consideradas condições de um Ano Médio. O ideal seria usar condições, o mais aproximadas possível, da realidade. No entanto, quando existe falta de dados reais, a utilização de condições médias revela-se como uma boa alternativa para uma primeira indicação, salvaguardando sempre possíveis diferenças do tipo das que se registam neste trabalho

---

## CONCLUSÕES

O Estuário do Tejo, sendo um ecossistema complexo, dinâmico e também sensível, torna difícil, e ao mesmo tempo interessante, a tarefa de tentar compreender o seu funcionamento. A existência de modelos matemáticos, que tentam descrever o funcionamento deste sistema é, sem dúvida, uma ferramenta importante para, não só ajudar o utilizador a compreendê-lo, mas também, para ajudar o próprio sistema, prevenindo-o de possíveis danos provocados pelo próprio Homem.

O Estuário do Tejo é, globalmente, como um grande sistema de depuração de água, produzindo grandes quantidades de biomassa à custa do consumo de nutrientes de Azoto e intensificando os Processos de Nitrificação/Desnitrificação. Aliás, da discussão de resultados surge a ideia de que, no Estuário do Tejo, estes processos são tão importantes para o consumo de nutrientes como o consumo pelo *Fitoplâncton*. Na realidade, o aumento de nutrientes provocado pelas descargas, não só dos rios mas também, de Estações de Tratamento situadas na sua envolvente, não parece influenciar de forma significativa a produção de biomassa no interior do estuário. Esta conclusão sugere que não existe no Estuário do Tejo uma limitação do crescimento pelos nutrientes, mas pela luz.

Talvez a principal conclusão deste trabalho seja, uma "boa notícia". Tendo em conta que foram analisadas ao longo de todo o trabalho, conclui-se que, apesar de o Estuário do Tejo ser uma zona já bastante artificializada, sujeita a várias formas de poluição pontual e difusa, em termos de produção de biomassa, não demonstra indícios de desequilíbrios.

O facto de as descargas das ETAR's consideradas neste trabalho não se revelarem como perturbadoras do equilíbrio não significa que a existência deste tipo de estações seja dispensável. Neste estudo, foi apenas considerado o sistema de forma global, isto é, pode dizer-

se com base nos resultados aqui apresentados que a não existência de tratamento nas ETAR's não perturba a globalidade do sistema e em geral o seu equilíbrio, ou seja, mesmo que em determinado ponto do estuário este equilíbrio seja perturbado, tal não deverá por em perigo a manutenção do sistema e provocar a regressão do ecossistema. No entanto, a descarga das águas residuais urbanas directamente na zona do estuário não é uma solução aceitável, nem do ponto de vista do estuário, nem do ponto de vista das populações que dele dependem. Ao dimensionar o tipo de tratamento para uma ETAR, o aconselhável é sempre tentar remover o que o estuário não tem capacidade para o fazer.

### **Trabalhos Futuros**

No seguimento deste trabalho, propõe-se a realização de uma análise mais pormenorizada dos processos de Nitrificação/Desnitrificação que parecem neste sistema ter um papel muito importante no consumo dos nutrientes.

Uma das conclusões deste trabalho aponta no sentido de existir uma limitação do crescimento de biomassa no Estuário do Tejo provocada, na sua maioria, pela intensidade de luz solar disponível para a fotossíntese. Segundo esta perspectiva sugere-se um estudo a nível dos factores limitantes do crescimento, recorrendo ao seu valor calculado pelo modelo MOHID2000 em vários cenários.

Na sequência deste estudo outros semelhantes lhe poderão seguir, ao nível da aplicação a outros estuários, sendo possível a identificação de zonas sensíveis, por se considerarem muito produtivas ou em estágios críticos reflectindo um princípio de regressão. É igualmente possível a determinação de valores máximos de concentração de nutrientes presente nas descargas efectuadas em zonas de estuário aplicando deste modo o conceito de prevenção.

## Referências Bibliográficas

AGAPITO,R.; RIBEIRO, S. (1999) – Modelação do Impacte da Despoluição do Rio Trancão no Estuário do Tejo, Relatório do Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

ALMEIDA, M.J. (2000) – Estudo dos Fluxos de Nutrientes Azotados nos Sapais do Estuário do Mira (Portugal), Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente, Universidade de Évora, Évora

BETTENCOURT, A. M. M. (1990) – Especiação e Biogeoquímica do Arsénio no Estuário do Tejo, Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente (Biogeoquímica Ambiental), Universidade de Évora, Évora

BETTENCOURT, A. M.; MATOS, J.S. (1996) – Cargas Poluentes, Factores Limitantes e Condições de Eutrofia no Baixo Guadiana, 3º Congresso da Água/VIII SILUBESA, Lisboa

BOEDE (1985) – Biological Study of the Ems-Dollard Estuary, *Rijkswaterstaat Communications*, No.40, p.182, The Netherlands

BONEY, A. D. (1975) – Phytoplankton, The Institute of Biology's studies in Biology, No.52, Edward Arnold (Publs.) Ltd., England, p. 116

BREWER, R. (1998) – The Science of Ecology (Second Edition), Saunders College Publishing, United States of America, 1994

D'ELIA, C.F.; HARDING, L.W.; MACKIERNAN, G. B. (1992) – The Role and Control of Nutrients in Chesapeake Bay, Water Quality Internacional'92, *Water Science and Technology*, Vol.26, No.12, International Association on Water Pollution Research and Control, Washington DC, p. 2635-2644

DECRETO -LEI nº 152/97 de 19 de Junho

DECRETO -LEI nº 236/98 de 1 de Agosto

FERREIRA, J. G. (1998) – Mercúrio em Algas Macrófitas do Estuário do Tejo, *Estudo Ambiental do Estuário do Tejo*, Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa

- FLINDT, M. R. [et al] (1999) – Nutrient Cycling and Plant Dynamics in Estuaries: A brief review, *Acta Oecologica – International Journal of Ecology*, Vol.20, No.4, ELSEVIER, Paris, p. 237-248
- FREIRE, A.; ROMANO, J.; SANTOS, J. (2000) – Tratamento de Águas Residuais Urbanas na Região de Lisboa e Vale do Tejo - Análise Face à Aplicação da Directiva do Conselho nº 91/271/CEE, de 21 de Maio de 1991, Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures
- GOLDMAN, C. R.; HORNE, A. J. (1983) – Limnology (*International Student Edition*), McGraw-Hill
- GOMES, L. (2000) – Intercepção e Tratamento de Águas Residuais Urbanas de Lisboa-Caso da Bacia de Alcântara, Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures
- INAG (2000) – Aglomerações/Sistemas de Drenagem/Estações de Tratamento de Águas Residuais(Portugal Continental), Directiva 91/271/CEE-Tratamento de Águas Residuais Urbanas, Lisboa
- KRAMER, K. J. M.; BROCKMANN, U. H.; WARWICK, R. A. (1994) – Tidal estuaries: manual of sampling and analytical procedures, Published for the *European Commission* by A.BALKEMA/ROTTERDAM/BROOKFIELD, p. 304
- LNEC (1993) – Protecção da Águas Doces, Costeiras e Estuarinas contra a Poluição causado por Nitratos: Contribuição para o estudo das fontes poluidoras de origem agropecuária, Estudo realizado pelo Núcleo de Hidráulica Sanitária do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para o Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa
- LOUREIRO, J.M. (1979) - Curvas de duração dos caudais médios diários no rio Tejo, DGRAH, Lisboa, p. 1-18
- MARETEC (2000) – Relatório Final do Projecto *EUROSAM*
- MARTINS, J. A. (2000) – A Nova ETAR de Chelas: Reutilização da Água Tratada e Optimização Energética, Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures
- MATOS, J. S. (2000) – Tratamento e Destino Final de Efluentes, Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures
- METCALF & EDDY (1991) – Wastewater Engineering-Treatment Disposal Reuse, Third Edition, McGraw-Hill
- NICE (1998) – Nitrogen Cycling in Estuaries, Third European Marine Science and Technology Conference, Vol. II, European Commission, Italy, p.779-794
- PINA, P. (1998) – Impacte das Dragagens no Transporte de Sedimentos Coesivos no Estuário do Tejo, Relatório do Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

- PINA, P. (2001) – An Integrated Approach to Study The Tagus Estuary Water Quality, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa
- PORTELA, L. (1996) - Modelação matemática de processos hidrodinâmicos e de qualidade da água no Estuário do Tejo, Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, p. 240
- RAFFAELLI, D. (1999) – Nutrient Enrichment and Trophic Organisation in an Estuarine Food Web, *Acta Oecologica – International Journal of Ecology*, Vol.20, No.4, ELSEVIER, Paris, p. 449-461
- SHAW, P. J. [et al] (1998) – Nutrient Uptake in a Highly Turbid Estuary (The Humber, United Kingdom) and Adjacent Coastal Waters, *Journal of the Estuarine Research Federation*, Vol. 21, No. 4A, Lawrence, p. 507-517
- VALIELA, I. (1995) - Marine Ecological Processes, Springer-Verlag, New York, p. 686
- VAN DER SPÖEL (1994) – History, Progress and Future of Theory in Pelagic Biogeography, *Progress in Oceanography*, Vol. 34, No. 2-3, Pergamon, Great Britain, p. 101-107
- VERGARA, J.; PREGO, R. (1997) – Estimación de los aportes Fluviales de Nitrato, Fosfato y Silicato hacia las Rías Gallegas, *Processos Biogeoquímicos en Sistemas Costeros Hispano-Lusos*, VIII Seminári Ibérico de Química Marina, LA EXCMA, Pontevedra, p. 34-40

**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE BIOMASSA NO ESTUÁRIO DO  
TEJO**

**Estudo da variabilidade das descargas**

**Trabalho Final de Curso  
da Licenciatura em Engenharia do Ambiente**

**VOLUME II**

**Ana Sofia de Carvalho Saraiva**

**n.º43423**

**Orientador: Prof. Ramiro Neves, Depto.de Eng.ºMecânica, IST**

**Co-Orientador: Eng.º Pedro Pina, Depto.de Eng.ºMecânica, IST**

**Lisboa, Novembro de 2001**

**Anexo I**  
**Estuário do Rio Tejo**

## ÍNDICE

1. Descrição Geral do Estuário	1
2. Qualidade da Água no Estuário	5

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadrol.1 - Características Gerais do Estuário do Tejo (Adaptado de Bettencourt, 1990)	5
--	---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figural.1 - Estuário do Tejo: localização e extensão	2
--	---

## 1. Descrição Geral do Estuário

O Rio Tejo nasce na Serra de Albarracion, em Espanha, e apresenta um desenvolvimento de cerca de 1070 km da nascente até à foz (Bettencourt, 1990). O seu estuário, localizado na região próxima de Lisboa (38° 44' N, 9° 8' W), é o maior estuário de Portugal e um dos maiores da Europa Ocidental. Ocupa uma área total de cerca de 320 km<sup>2</sup> (Bettencourt *et al.*, 1980, Costa & Câmara, 1982), com uma extensão longitudinal de aproximadamente 50 km, desde o seu limite, a montante, definido pelo limite da maré dinâmica, próximo de Muge, até à foz, de um modo menos definido, no limite da pluma salobra que se desenha nas águas da zona costeira adjacente (Bettencourt, 1990). Cerca de 40% da área total do estuário fica emersa na baixa-mar das marés de maior amplitude, o que corresponde a áreas de espraiado de maré (Ferreira, 1989)

A geometria do estuário do Tejo é considerada, de certa forma peculiar, devido fundamentalmente a movimentos tectónicos, que alteraram a foz original (Celestino da Costa, 1987). Verifica-se que, para jusante de Vila Franca de Xira, existe um progressivo alargamento até à secção Alcochete – Sacavém, com cerca de 14 km de largura, seguido de uma zona de largura menor e terminando num canal de saída relativamente estreito (Ferreira, 1989), tendo aproximadamente 2 km.

A profundidade do estuário é bastante variável podendo, no entanto, distinguir-se três zonas características: montante, média e jusante. A zona de montante é constituída pela maioria das chamadas zonas de espraiado de maré com uma profundidade média baixa e caracterizada pela existência de mouchões, ou ilhas, rodeadas de sapais. A zona média, Mar da Palha, é mais profunda, com uma profundidade média da ordem dos 7m, localizando-se nas suas margens uma quantidade significativa de unidades industriais e existindo uma intensa actividade de navegação. A zona de jusante é aquela que possui uma profundidade mais acentuada, chegando a atingir os 32 m (Bettencourt, 1990).

A figura seguinte permite uma melhor visualização da localização, extensão e forma do Estuário do Tejo, *Figural.1*.



Figural.1 - Estuário do Tejo: localização e extensão

## Regime de Marés

O regime de marés no estuário do Rio Tejo é caracterizado por uma periodicidade semi-diurna, cerca de 12h 25 m por ciclo, com uma amplitude que pode variar desde valores inferiores a 1 m até 4 m, correspondentes a maré morta e maré viva equinocial, respectivamente (Ferreira, 1989).

A entrada de água doce deve-se fundamentalmente ao Rio Tejo, uma vez que as contribuições dos outros rios afluentes ao estuário (Sorraia, Coia, Judeu, Trancão, entre outros) são relativamente pequenas (Quintela, 1967 in Ferreira, 1989). Para condições de caudal fluvial da ordem do caudal modular de  $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (Loureiro, 1979), o limite de intrusão salina situa-se em Vila Franca de Xira, 50 km a montante da barra (Ramos *et al.*, 1985).

As correntes de maré assumem um carácter acentuadamente longitudinal que é compensado por revasas nas zonas de menor circulação (Oliveira, 1941; Costa, 1957 in Bettencourt, 1990). A velocidade da água pode ultrapassar os 2,3 m /s no canal de vazante junto à margem sul (Bettencourt *et al.*, 1980a).

## Salinidade

Um estuário é caracterizado por se tratar do local de junção de um rio com o mar, isto é água doce com água salina. Existe, desta forma, um gradiente de salinidade, do qual resulta uma diferença de densidades, parâmetro fundamental no estudo da circulação estuarina, mesmo no interior do próprio estuário, provocando uma estrutura particular. O efeito da salinidade na estrutura do estuário torna-se mesmo mais importante que a estratificação, devido a factores térmicos.

Do ponto de vista hidrodinâmico o Estuário do Tejo, para condições normais de caudal fluvial e marés de amplitude média, pode ser considerado como parcialmente estratificado (Figuères *et al.*, 1985). Para condições de caudal fluvial muito reduzido e para marés de maior coeficiente, marés vivas e marés mortas, o Estuário do Tejo pode ser considerado como bem ou parcialmente misturado, respectivamente (Neves *et al.*, 1991; Vale & Sundby, 1987).

A variação sazonal do caudal do Rio Tejo, que, como foi referido, se trata da componente fluvial com mais significado no estuário, é bastante acentuada, podendo variar entre 100 e 2000  $\text{m}^3/\text{s}$ . Esta variação, que é considerável, modifica o grau de separação entre a água do mar e do rio e

também a extensão para montante da zona de intrusão salina. Com movimentos no sentido de montante e de jusante, a zona de intrusão salina caracteriza-se por uma abundância em termos de *Fitoplâncton* e *Zooplâncton*, que lhe está directamente associado.

## Matéria em Suspensão

A matéria em suspensão inclui partículas inorgânicas, detritos vegetais e animais e ainda organismos vivos, tais como *Fitoplâncton* e algum *Zooplâncton*, cujos movimentos são essencialmente determinados pela oscilação da maré (Neves *et al*, 1991). A quantidade de matéria em suspensão, trata-se de um parâmetro ao qual se atribui muita importância no que se refere à qualidade da água num estuário, não só como factor limitante para a produção primária mas também como veículo de transporte de diversas substâncias (Dyer, 1989).

É característico de um ambiente estuarino apresentar concentrações de matéria em suspensão, normalmente superiores às que se observam a montante, em meio fluvial, ou a jusante em meio oceânico (Portela, 1996), sendo a sua distribuição espacial bastante variável dependendo fortemente da amplitude da maré.

Na zona de mistura entre água doce e salina as partículas mais pequenas e alguns materiais orgânicos dissolvidos tendem a flocular ou agregar-se, formando partículas maiores e mais pesadas, que sedimentam.

Amplitudes de maré elevadas estão associadas a correntes de maré fortes, que podem ser responsáveis pela ressuspensão de sedimentos que se encontram depositados no fundo (Portela, 1996). A concentração de matéria em suspensão no Estuário do Tejo pode variar entre 20 mg/l para uma situação de maré morta e 140 mg/l para uma situação de maré viva (Castanheiro, 1985).

No Quadro seguinte, *Quadro1*, indicam-se as principais características do Estuário do Rio Tejo.

Caudal médio do Rio	320 m <sup>3</sup> /s
Área Total do Estuário	325 km <sup>2</sup>
Área do Espraiado de Maré	130 km <sup>2</sup>
Comprimento do Estuário	50 m
Largura Máxima	15160 m
Largura Média	4040 m
Profundidade Máxima	32 m
Profundidade Média	10.6
Volume Total Médio	1890 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Prisma de Maré Médio	600 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Excursão de Maré	6 – 20 km
Tempo de Residência da Água Doce	8 – 50 dias
Afluxo de Sedimento Fluvial	1 – 5 × 10 <sup>6</sup> Ton/ano

Quadrol.1 - Características Gerais do Estuário do Tejo (Adaptado de Bettencourt, 1990)

## 2. Qualidade da Água no Estuário

A qualidade da água numa zona de estuário surge como o resultado da conjugação de diversos factores, pelo que uma correcta caracterização deve ter em conta não só a análise dos processos físico-químicos e dos processos biológicos, bem como dos parâmetros que os influenciam, mas também das principais fontes de poluição.

Parâmetros como a salinidade, matéria em suspensão, já referenciados e ainda a distribuição de oxigénio dissolvido e de determinados nutrientes, tais como o azoto e fosfato, influenciam a actividade dos inúmeros organismos que pertencem ao complexo ecossistema de um estuário.

Sendo as margens do Estuário do Tejo consideradas como zonas de elevado grau de humanização, as fontes de poluição, quer pontual, quer difusa, têm um significado importante na qualidade da água do estuário.

Como fontes de poluição pontuais destacam-se as descargas, sujeitas, ou não, a tratamento, de efluentes urbanos ou industriais, que sobretudo nas zonas marginais são responsáveis por incrementos de amónia, CBO, fosfato, silicato e coliformes fecais (Costa, 1965, Bettencourt *et al.*, 1980b). Em particular, a contaminação bacteriana, em resposta simultaneamente às características da circulação marginal e ao efeito de mortalidade natural, confina-se predominantemente a áreas marginais (Bettencourt & Costa, 1983, Costa, 1988).

Existe no estuário uma forte componente de descargas industriais, pelo que foram já identificados níveis elevados de alguns metais pesados e metalóides de estatuto toxicológico conhecido, tais como Chumbo (Pb), Arsénio (As), Mercúrio (Hg), Cobre(Cu) e Zinco (Zn) (Bettencourt *et al.*, 1980b).

## **Anexo II**

### **Factores Limitantes do Crescimento**

## ÍNDICE

<b>1. Nutrientes</b>	<b>1</b>
1.1. Fósforo e Azoto	1
1.2. Sílica	3
1.3. Cálcio, Potássio e Enxofre	3
1.4. Micronutrientes	3
<b>2. Temperatura</b>	<b>3</b>
<b>3. Luz</b>	<b>4</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1 - Ciclo do Azoto num Ecossistema Marinho	2
--	---

## INTRODUÇÃO

Considera-se neste estudo que existem três factores responsáveis pela limitação do crescimento do *Fitoplâncton* num ambiente estuarino: Nutrientes, Temperatura e Intensidade da Luz. Este anexo tem por objectivo descrever, de uma forma global, as principais reacções do *Fitoplâncton* a alterações destes factores no ecossistema, evidenciando, desta forma, a sua importância em termos do crescimento deste organismo.

### 1. Nutrientes

Os nutrientes e os seus sais são os compostos que, juntamente com o dióxido de carbono são absorvidos pelas algas para constituir novo material orgânico. Desempenham, pois, um papel muito importante no crescimento do *Fitoplâncton*. A sua ausência implica graves desequilíbrios no ciclo de vida, podendo levar à morte os organismos (Boney, 1975).

#### 1.1. Fósforo e Azoto

Estudos efectuados revelam a importância do Fósforo e Azoto como os principais nutrientes limitantes do crescimento do *Fitoplâncton*, sendo o Azoto aquele que em ecossistemas estuarinos e costeiros se considera o principal elemento limitativo do crescimento (Portela, 1996).

O Fósforo é um elemento muito necessário ao desenvolvimento do *Fitoplâncton*, assimilado na forma de ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). No entanto, uma vez que este elemento existe em grande abundância nos ecossistemas estuarinos e marítimos, a sua importância é significativamente menor, relativamente a um ecossistema de água doce (Portela, 1996). Além da relativa abundância do elemento no meio, considera-se que as células de *Fitoplâncton* são capazes de acumular reservas de Fosfato quando este está em excesso, utilizando-as quando escasseia. Os produtos que são excretados pelo *Zooplâncton* são também uma boa fonte de Fósforo (Boney).

Considera-se que o Azoto pode ser assimilado pelo *Fitoplâncton* nas formas de Amónia ( $\text{NH}_4^+$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Estudos existentes demonstram que existe uma preferência pelo consumo de amónia, o que pode ser explicado pelo facto de esta ser uma espécie mais reactiva. A utilização de nitrato implica uma conversão em amoníaco, o que representa um gasto de energia (Portela, 1996). Apesar desta preferência, o que faz com que a amónia seja rapidamente consumida pelo *Fitoplâncton* e plantas, esta persiste no meio marinho, embora em pequenas concentrações, uma vez que este é o principal produto de excreção dos animais aquáticos. Estas inter-relações entre o ciclo do Azoto e o ciclo de vida do *Fitoplâncton* são evidenciadas na figura seguinte, Figural.1.

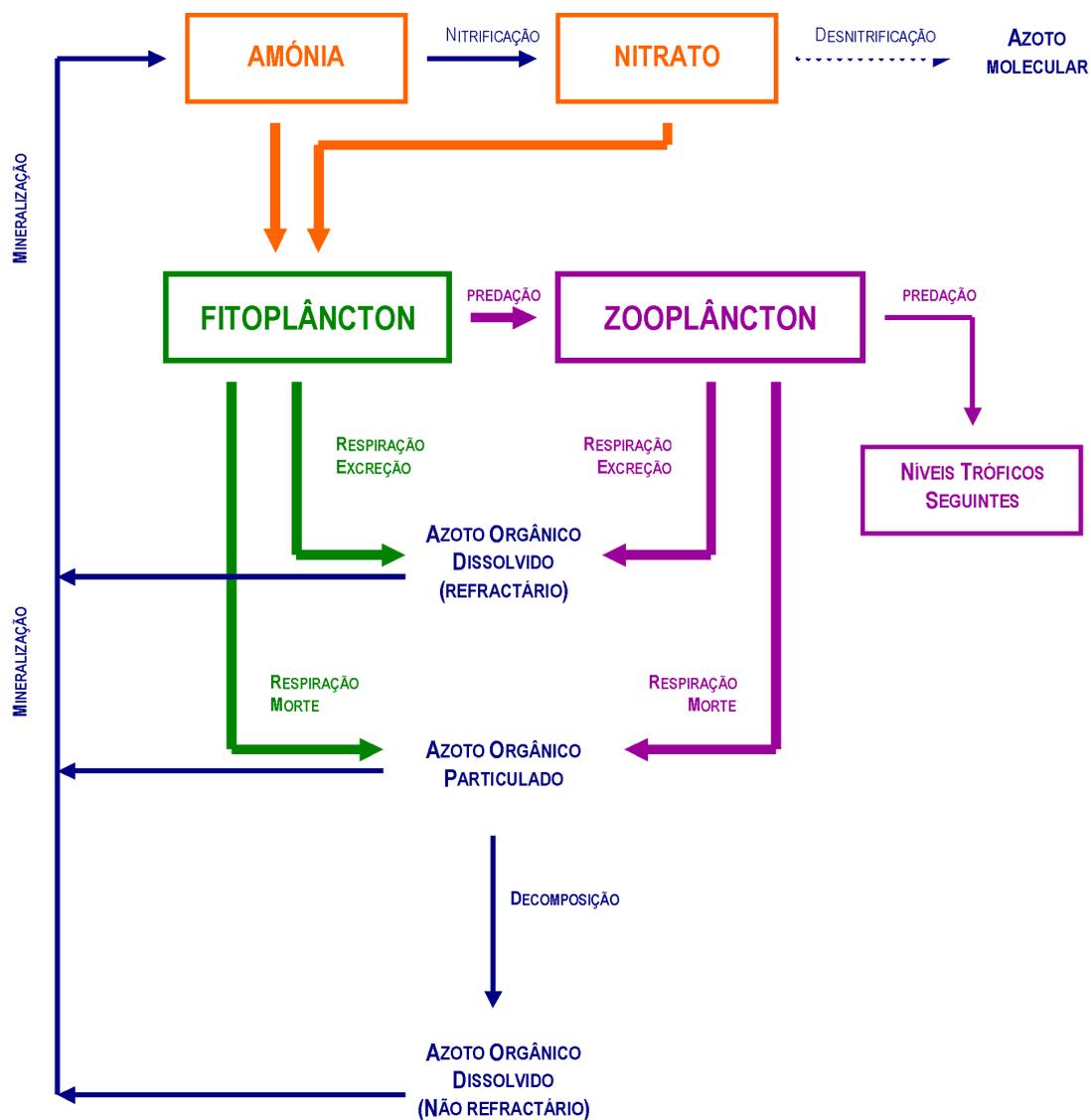


Figura II.1 - Ciclo do Azoto num Ecossistema Marinho

## 1.2. Sílica

O grupo das diatomáceas, considerado o grupo mais importante da flora estuarina, requer ainda quantidades relativamente grandes de sílica para o seu crescimento, como constituinte da membrana externa das células, sendo o ortossilicato ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) a principal fonte de sílica utilizada pelo *Fitoplâncton* (Boney, 1975). Desta forma, a sílica é considerada também um factor limitativo. No entanto, a taxa de reciclagem deste elemento é, em águas salgadas, bastante elevada, pelo que se considera a sílica um factor limitativo do crescimento apenas em águas doces (Boney, 1975).

## 1.3. Cálcio, Potássio e Enxofre

Para o crescimento do *Fitoplâncton* é necessário a presença de Cálcio, Potássio e também Enxofre em concentrações suficientes para o seu desenvolvimento. No ecossistema marinho existe suficiente quantidade destes elementos para que estes não sejam considerados limitantes do crescimento (Boney, 1975).

## 1.4. Micronutrientes

O *Fitoplâncton* necessita ainda da presença de alguns elementos em muito pequenas quantidades, mas que na sua ausência são considerados como limitantes para o seu crescimento, tais como o ferro, cobre, zinco, cobalto e molibdénio (Boney, 1975).

## 2. Temperatura

A temperatura tem no crescimento do *Fitoplâncton* uma influência muito significativa, a vários níveis, sendo considerado um dos principais factores limitantes do seu crescimento. Estudos existentes, comprovam que o *Fitoplâncton* é capaz de desenvolver a sua actividade metabólica numa larga gama de temperatura, entre 0° C e 30° C, encontrando-se maximizada a taxa de crescimento para valores de temperatura próximos de 20° C (Boney, 1975). Ao longo do ano, como foi já referido, o crescimento do *Fitoplâncton*, nas regiões temperadas não é feito de uma forma contínua, apresentando um "bloom" na estação da Primavera. Vários factores estão na origem deste comportamento mas, considera-se que o aumento de temperatura nesta estação

poderá contribuir para o aumento da taxa de crescimento, aumentando a actividade metabólica dos organismos presentes no ecossistema, disponibilizando maior quantidade de nutrientes (Boney, 1975).

### 3. Luz

A actividade metabólica do *Fitoplâncton*, como foi descrito anteriormente, baseia-se num processo fotossintético, dependendo directamente da intensidade de energia solar que atinge os organismos e da sua capacidade de captação. Assim, a luz é um dos principais factores limitantes do crescimento. A energia solar de que o *Fitoplâncton* necessita para desencadear a produção primária é, desde a sua origem, sujeita a uma série de fenómenos até se encontrar disponível. Fenómenos tais como a reflexão, absorção e a sua propagação na atmosfera, que dependem da quantidade de nuvens e poeiras existentes, influenciam a quantidade que atinge a superfície da água.

Na superfície da água, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares, dependente da posição geográfica do local e da declinação solar, que por sua vez varia para as diferentes horas do dia e para diferentes dias, uma porção de luz é reflectida de novo para a atmosfera, sendo outra porção sujeita a refacção ao penetrar num meio diferente. Dentro da água, existe um fenómeno de extinção da luz, o que significa que esta ao propagar-se sofre uma atenuação vertical. Esta atenuação resulta por um lado, da absorção da luz pela água e, por outro, devido aos obstáculos presentes na coluna de água, tais como outros organismos fotossintéticos, partículas suspensas e compostos solúveis.

Em conclusão, a intensidade de luz solar que pode, realmente, ser utilizada pelo *Fitoplâncton* é uma pequena parte do total de energia primária que atinge a superfície da água, pelo que este organismo tem, durante o dia, preferência pelas camadas superficiais da coluna de água. Com intensidade de luz suficiente para desencadear a fotossíntese a eficiência deste processo depende agora da reacção do *Fitoplâncton* à luz e em particular da sua capacidade de captação e eficiência na utilização da energia.

## **Anexo III**

### **Descrição do MOHID2000**

## ÍNDICE

<b>1. Descrição Geral do MOHID2000</b>	<b>1</b>
1.1. Modelo Hidrodinâmico	2
1.2. Modelo Advecção-Difusão	4
1.3. Modelo de Transporte de sedimentos	4
1.4. Modelo de Qualidade da Água	5
1.4.1. Equações Base do Modelo	6

## ÍNDICE DE QUADROS

QuadroIII.1 - Taxas referentes ao <i>Fitoplâncton</i>	7
QuadroIII.2 - Factores Limitantes e termos necessários ao seu cálculo	8
QuadroIII.3 - Valores standard para os parâmetros referentes ao <i>Fitoplâncton</i>	9
QuadroIII.4 - Taxas referentes ao <i>Zooplâncton</i>	10
QuadroIII.5 - Valores standard para os parâmetros referentes ao <i>Zooplâncton</i>	11
QuadroIII.6 - Taxas referentes ao Ciclo do Azoto	12
QuadroIII.7 - Valores considerados para os parâmetros referentes ao Ciclo do Azoto	13

## 1. Descrição Geral do MOHID2000

O MOHID2000 é um modelo baroclínico tridimensional, desenvolvido usando uma estratégia de orientação para objectos e todas as potencialidades do FORTRAN 95. O sistema está organizado em módulos que, embora distintos, se interligam de forma a determinar os resultados pretendidos.

Em traços gerais o sistema executa duas áreas de cálculo: as propriedades hidrodinâmicas, onde se incluem as velocidades, elevação, fluxos de água, viscosidade turbulenta e as propriedades da água, tais como a salinidade, temperatura, densidade, nutrientes, *Fitoplâncton*, *Zooplâncton*, matéria em suspensão.

O modelo baseia-se no conceito de volume finito, sendo as equações aplicadas macroscopicamente a cada volume de controlo, que constitui uma célula da malha, sob forma de um fluxo divergente, garantindo-se assim a conservação no transporte das propriedades (Adcroft *et al.*, 1997 in Pina, 2001)

O sistema considera que o ecossistema que pretende simular é delimitado por fronteiras que podem corresponder a cinco diferentes situações: a superfície livre, em contacto com a atmosfera; o fundo, onde são considerados fenómenos como a compactação do solo, tensão de corte e erosão/deposição de sedimentos; fronteiras laterais abertas, onde são consideradas as trocas com o mar, por exemplo; fronteiras laterais fechadas, para as quais se considera sempre um fluxo nulo e por último as chamadas fronteiras móveis, cuja posição é variável com o tempo (Pina, 2001), que correspondem às células que podem ficar a descoberto da água dependendo da maré.

Para o caso das fronteiras laterais fechadas, definidas ou móveis, considera-se que o fluxo existente é sempre nulo, sendo as trocas entre a terra e a água, como é o caso de um rio, consideradas como descargas (Pina, 2001).

A estratégia de programação por objectos, usada durante o desenvolvimento do MOHID2000, permite criar uma interface gráfica, que simplifica a utilização do sistema. O seu funcionamento está dividido em três partes distintas: *Pre-processing*, relativo à aquisição e fornecimento dos dados, o input dos módulos a utilizar; *Execution of the model*, a execução dos cálculos propriamente dita e *Post-processing*, permitindo a exploração e interpretação dos resultados do modelo. Os resultados do modelo podem ser visualizados em dois formatos distintos, dependendo do tipo de estudo que se pretende desenvolver: séries temporais de valores obtidos para determinadas células e resultados na forma matricial, usando o Hierarchical Data Format (HDF), construído pelo National Center of Supercomputing Applications (NCSA).

Descrevem-se de seguida as características gerais, consideradas mais relevantes, dos modelos base do sistema necessários para simular os cenários pretendidos: Modelo Hidrodinâmico, Modelo de Advecção-Difusão, Modelo de Transporte e, por último, o Modelo da Qualidade da Água. Relativamente a este são apresentadas as equações, consideradas as aproximações matemáticas dos principais processos que ocorrem no estuário.

## 1.1. Modelo Hidrodinâmico

O Módulo Hidrodinâmico pode ser visto como o primeiro na complexa cascata de modelos que compõem o MOHID2000.

O modelo resolve as equações primitivas baseadas nas equações de Navier-Stokes, em coordenadas cartesianas para escoamentos incompressíveis, considerando as aproximações de Boussinesq e Hidrostática. O modelo é formulado no método da aproximação por volumes finitos, com uma discretização na vertical genérica que permite a implementação simultânea de vários tipos de coordenadas verticais (Cancino & Neves, 1992).

As equações que representam a evolução de massa e momento no sistema são:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_1)}{\partial x_j} = -f u_2 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_1} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_1} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_1} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( A_j \frac{\partial u_1}{\partial x_j} \right)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_2)}{\partial x_j} = f u_1 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_2} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_2} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_2} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( A_j \frac{\partial u_2}{\partial x_j} \right)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g$$

Onde  $u_i$  representa as componentes do vector velocidade nas direcções cartesianas  $x_i$ ,  $\eta$  a superfície livre de elevação;  $f$  o parâmetro de Coriolis;  $A_j$  viscosidade turbulenta;  $p_s$  a pressão atmosférica;  $\rho$  a densidade e  $\rho'$  a sua variação.

A maré surge como uma condição fronteira que, introduzida nas células correspondentes à fronteira marinha, alteram a elevação da superfície livre, propagando-se depois, através da equação da continuidade para as restantes células. Considera-se, neste estudo, um ciclo de maré semi-diurno, com um período de 12h e 25 minutos. O sistema permite a utilização de um ficheiro hidrodinâmico, contendo a informação do campo de velocidades correspondente ao cálculo do modelo, tendo em conta a maré e cuja leitura pelo sistema é repetida para cada ciclo semi-diurno, evitando deste modo o cálculo hidrodinâmico. Esta metodologia permite a redução significativa do tempo de cálculo para cada simulação. Deve, no entanto, referir-se que é desprezada a influência dos ciclos de maré viva/maré morta.

## 1.2. Modelo Advecção-Difusão

Partindo do campo de velocidades calculado pelo modelo hidrodinâmico e calculados os coeficientes de difusão turbulenta, o modelo “transporta” as propriedades, incluindo a temperatura e salinidade, aplicando a equação de advecção-difusão para uma propriedade que se desloca no seio de um fluido em movimento, apresentada no Capítulo III, equação (1), do relatório principal deste estudo.

O modelo considera a existência de um efeito baroclínico responsável por uma variação da densidade da água que depende da variação de propriedades como a salinidade e temperatura. Este efeito pode ser descrito pela seguinte equação:

$$(III.1) \quad \rho = (5890 + 38 T - 0.375 T^2 + 3 S) / ((1779.5 + 11.25 T - 0.0745 T^2) - (3.8 + 0.01 T) S + 0.698 (5890 + 38 T - 0.375 T^2 + 3 S))$$

## 1.3. Modelo de Transporte de sedimentos

Para o caso em estudo, a variação de concentração de *Fitoplâncton*, a determinação da concentração de sedimentos em cada célula é fundamental, pois desta depende o factor de extinção da luz na água que, como descrito anteriormente, influencia directamente a produção primária de biomassa no estuário.

A determinação da concentração de sedimentos presentes em cada célula é conseguida através da aplicação da equação de advecção-difusão, onde a advecção vertical inclui a velocidade de

sedimentação das partículas, dependente dos processos de floculação a que os sedimentos estão sujeitos. Neste modelo assume-se que, apesar do processo contínuo de formação/destruição dos flocos, dentro de cada volume de controlo, a distribuição dos sedimentos por tamanho permanece constante, não sendo necessário a adição de termos relativos à produção e decaimento, podendo assumir-se que os sedimentos suspensos se comportam de forma conservativa.

#### 1.4. Modelo de Qualidade da Água

O modelo de qualidade da água, considerado como o topo do sistema, permite calcular o termo relativo às fontes e poços específicos para cada propriedade fundamental, que estão associadas aos ciclos do Carbono, Azoto e Fósforo, para determinar a variação da concentração desta em cada célula e em cada passo temporal. Executar o módulo de qualidade da água implica executar os modelos precedentes: em cada instante, o modelo hidrodinâmico simula as elevações da superfície livre e as velocidades do fluido, a água, necessárias ao cálculo dos termos de advecção-difusão; conjugando o transporte com as reacções químicas e biológicas na coluna de água, simuladas neste módulo, obtém-se, na mesma malha de cálculo, a distribuição espacial dos parâmetros de qualidade da água. O modelo encontra-se preparado para fornecer em cada célula da malha o valor da concentração de *Fitoplâncton*, *Zooplâncton*, Azoto (na forma de Amónia, Nitrato, Nitrito, Azoto Orgânico Dissolvido Refractário ou não e Azoto Orgânico Particulado), Fósforo orgânico e inorgânico, Oxigénio dissolvido e ainda Carência Bioquímica de Oxigénio. Para a análise que se pretende apenas serão consideradas as primeiras três propriedades.

### 1.4.1. Equações Base

Por se tratar de um modelo cujos resultados serão analisados, tratando-se do foco central deste estudo, apresentam-se, de uma forma sintética, as principais considerações assumidas na construção do modelo, bem como as principais equações que, após testes realizados em estudos existentes, se revelam capazes de descrever, de uma forma bastante aproximada, os principais processos químicos e biológicos que ocorrem no estuário e nos quais o *Fitoplâncton* estará envolvido.

A simulação dos processos de qualidade da água foram desenvolvidos considerando que os produtores autotróficos consomem nutrientes inorgânicos e dependem da sua disponibilidade, bem como da quantidade de luz, para obterem energia suficiente para o seu desenvolvimento através da fotossíntese. Assume-se que: o Azoto é o único nutriente limitante para o crescimento do *Fitoplâncton*; este consome o Azoto apenas na forma de Amónia e/ou Nitrato; as excreções dos produtores funcionam como uma fonte do ciclo do Azoto; os produtores primários são consumidos pelos secundários e estes, por sua vez, consumidos pelos níveis tróficos seguintes.

#### ***Fitoplâncton***

O *Fitoplâncton* é descrito em termos de concentração de carbono (mg C/ L). O modelo assume que a taxa de crescimento,  $\mu_{phy}$  do *Fitoplâncton* depende, fundamentalmente de três limitações: temperatura, luz e concentração de nutrientes. Por forma a quantificar esta mesma limitação surgem, respectivamente, os chamados factores limitantes,  $\Psi(T)$ ,  $\Psi(E)$ ,  $\Psi(N)$ , tendo valor 1 quando não existe limitação do crescimento e 0 quando esta é máxima.

O termo referente ao balanço entre fontes e poços, para a variação de concentração de *Fitoplâncton* no estuário, considerado pelo modelo, é descrito pela equação (III.2). Nos quadros

seguintes, *Quadro III.1,2 e 3* estão descritos os termos que compõem a equação e os valores standard considerados para o seu cálculo.

$$(III.2) \quad (F - P)_{Phy} = (\mu_{Phy} - r_{Phy} - eX_{Phy} - m_{Phy}) \cdot Phy - G$$

Termo	Símbolo	Unidade	Equação
Taxa de Crescimento	$\mu_{Phy}$	d <sup>-1</sup>	(III.3) $\mu_{Phy} = \mu_{max} \cdot \Psi(N)_{Phy} \cdot \Psi(E)_{Phy} \cdot \Psi(T)_{Phy}$
Taxa de Respiração	$r_{Phy}$	d <sup>-1</sup>	(III.4) $r_{Phy} = k_{er} \cdot \exp(0.069 \cdot T^{\circ}) + k_p \cdot \mu_{Phy}$
Taxa de Excreção	$eX_{Phy}$	d <sup>-1</sup>	(III.5) $eX_{Phy} = \epsilon_{Ph} \cdot \mu_{Ph} (1 - \Psi(E)_{Ph})$
Taxa de Mortalidade Natural	$m_{Phy}$	d <sup>-1</sup>	(III.6) $m_{Phy} = m_{max/Phy} \cdot \frac{Phy}{Km + \frac{Phy}{\mu_{Phy}}}$
Taxa de Mortalidade por Predação	G	MgC/Ld	(III.7) $G = \frac{g_z}{E} \cdot Zo$

Quadro III.1 - Taxas referentes ao *Fitoplâncton*

Símbolo	Designação	Unidades	Equação
<u>Nutrientes</u>			
$\Psi(N)_{Phy}$	Factor de Limitação por Nutrientes	-	(III.8) $\Psi(N)_{Phy} = \frac{NH_4 + NO_3}{K_N + NH_4 + NO_3}$
$NH_4^+$	Concentração de Amónia no Meio	mgN/L	-
$NO_3^-$	Concentração de Nitrato no Meio	mgN/L	-
<u>Luz</u>			
$\Psi(E)_{Phy}$	Factor de Limitação pela Luz	-	(III.9) $\Psi(E) = \frac{e^1}{k(p).z} \cdot \left( e^{-\frac{E_0 - e^{(-k(p).z)}}{E_{opt}}} - e^{-\frac{E_0}{E_{opt}}} \right)$
$E_0$	Radiação Solar Efectiva na Superfície da Água	W/m <sup>2</sup>	-1
$k(p)$	Factor de Extinção da Luz na Água	m <sup>-1</sup>	(III.10) $k(p) = 0.04 + 0.0088Phy + 0.054Phy^{2/3} + 0.036 C_{ss}$
$C_{ss}$	Concentração de Sólidos em Suspensão	mg/L	-
$z$	Profundidade	m	-
<u>Temperatura</u>			
$\Psi(T)_{Phy}$	Factor de Limitação pela Temperatura	-	(III.11) $\Psi(T) = K_A(T) \cdot K_B(T)$
$K_A(T)$	-	-	(III.12) $K_A(T) = \frac{K_1 \cdot e^{\gamma_1 \cdot (T - T_{min})}}{1 + K_1 \cdot (e^{\gamma_1 \cdot (T - T_{min})} - 1)}$
$K_B(T)$	-	-	(III.13) $K_B(T) = \frac{K_4 \cdot e^{\gamma_2 \cdot (T_{max} - T)}}{1 + K_4 \cdot (e^{\gamma_2 \cdot (T_{max} - T)} - 1)}$
$\gamma_1$	-	-	(III.14) $\gamma_1 = \frac{Ln \frac{K_2(1 - K_1)}{K_1(1 - K_2)}}{T_{opt_{min}} - T_{min}}$
$\gamma_2$	-	-	(III.15) $\gamma_2 = \frac{Ln \frac{K_3(1 - K_4)}{K_4(1 - K_3)}}{T_{max} - T_{opt_{max}}}$

Quadro III.2 - Factores Limitantes e termos necessários ao seu cálculo

1 Não são descritas as equações que permitem calcular a Radiação Solar Efectiva na superfície da água por se entender que, não sendo fundamentais para a compreensão do estudo efectuado, poderiam sobrecarregar o relatório.

Símbolo	Designação	Unidade	Valor
$\mu_{\max}$	Taxa de Crescimento Máxima	d <sup>-1</sup>	2,2
$\epsilon_{\text{Phy}}$	Constante de Excreção	-	0,07
$k_{\text{er}}$	Constante de respiração Endógena	-	0,0175
$k_{\text{p}}$	Constante de Fotorespiração	-	0,125
$K_{\text{m}}$	Metade da Constante de Saturação por Mortalidade	MgC.d/L	0,3
$m_{\max}$	Taxa de Mortalidade Máxima	d <sup>-1</sup>	0,02
E	Eficiência de Assimilação	-	0,6
<u>Nutrientes</u>			
$K_{\text{N}}$	Metade da Constante de Saturação por Limitação de Nutrientes	mgN/	0,014
<u>Temperatura</u>			
$T_{\text{optminPhy}}$	Temperatura Ótima Mínima para a Fotossíntese	°C	25,0
$T_{\text{optmaxPhy}}$	Temperatura Ótima Máxima para a Fotossíntese	°C	26,5
$T_{\text{empminPhy}}$	Temperatura Mínima para a Fotossíntese	°C	4,0
$T_{\text{empmaxPhy}}$	Temperatura Máxima para a Fotossíntese	°C	37,0
$E_{\text{opt}}$	Intencidade Ótima de Luz para a Fotossíntese	W/m <sup>2</sup>	100
$\alpha_{\text{Phy}}$	Fracção N/C	-	0,18
$K_{\text{PhyNutReg}}$	Metade da Constantes de Saturação para a Regeneração dos Nutrientes	MgN/L	1,0
$F_{\text{org P/Ph}}$	Fracção Orgânica Particulada das Excreções	-	0,4
$f_{\text{in/Phy}}$	Fracção Inorgânica das Excreções	-	0,7
$f_{\text{orgD/Phy}}$	Fracção Orgânica Solúvel das Excreções	-	0,5

Quadro III.3 - Valores standard para os parâmetros referentes ao *Fitoplâncton*

## Zooplâncton

A variação da concentração de *Fitoplâncton* depende em grande parte da concentração de *Zooplâncton* existente no meio, uma vez que se trata do seu principal predador. Desta forma, o modelo inclui uma série de equações que têm por objectivo descrever a actividade biológica do *Zooplâncton* que, por sua vez, depende também do *Fitoplâncton* existente. Apresentam-se de seguida as equações consideradas para estabelecer o balanço entre as fontes e poços correspondentes ao *Zooplâncton*.

$$(III.16) \quad (F - P)_z = (g_z - r_z - m_{z0}) \cdot Z_0 - G_z$$

Termo	Símbolo	Unidade	Equação
Taxa de Crescimento	$g_z$	$d^{-1}$	(III.17) $g_z = g_{\max} \left( T_{ref} \right) \Psi(T) \left( 1 - e^{-\Lambda(P_{hy} - P_{hy_0})} \right)$
Taxa de Mortalidade Natural e Respição	$r_z + m_{z0}$	$d^{-1}$	(III.18) $r_z + m_z = d_z \left( T_{ref} \right) \Psi(T)$
Taxa de Mortalidade por Predação	$G_z$	Mg C/Ld	(III.19) $G_z = e_z Z$

Quadroll.4 - Taxas referentes ao *Zooplâncton*

Símbolo	Designação	Unidade	Valor
$g_{max}$	Taxa de crescimento Máxima	$d^{-1}$	0,1
$\Delta$	Constante de $I_{lev}$	-	13,0
$Phy_0$	Concentração Mínima de Fitoplâncton para a Predação	mgC/L	0,0045
$d_z$	Constante de Mortalidade Natural e de Respiração	$d^{-1}$	0,036
$e_z$	Constante de Mortalidade por Predação	$d^{-1}$	0,01
<u>Temperatura</u>			
$T_{opt_{min}Zo}$	Temperatura Ótima Mínima para o Crescimento	$^{\circ}C$	24,8
$T_{opt_{max}Zo}$	Temperatura Ótima Máxima para o Crescimento	$^{\circ}C$	25,1
$Temp_{min}Zo$	Temperatura Mínima para o Crescimento	$^{\circ}C$	5,0
$Temp_{max}Zo$	Temperatura Máxima para o Crescimento	$^{\circ}C$	35,0
$\alpha_{Phy}$	Fracção N/C	-	0,18

Quadro III.5 - Valores standard para os parâmetros referentes ao *Zooplâncton*

## Azoto

Assume-se no modelo que o Azoto pode, de uma maneira geral, encontrar-se em três formas diferentes: Azoto Orgânico (Dissolvido, DON e Particulado, PON), Amónia,  $NH_4^+$  e Azoto Inorgânico (Nitrato,  $NO_3^-$  e Nitrito,  $NO_2^-$ ). O Azoto Orgânico Dissolvido pode ainda subdividir-se em Não Refractário,  $DON_{nr}$ , que representa os compostos que se considera serem degradados até ao final do dia em que foram produzidos, e Refractário,  $DON_{re}$ , cujo tempo de permanência em solução é superior a um dia.

As equações e parâmetros apresentados nos quadros seguintes são utilizadas pelo modelo para descrever de uma forma aproximada, recorrendo a algumas simplificações, os inúmeros e complexos processos que constituem o ciclo do Azoto.

$$(III.20) \quad \frac{dPON}{dt} = [(1 - f_{orgD/Ph})(1 - f_{inPh}) \cdot e_{Ph} + m_{Phy}] \cdot Phy' + [(1 - f_{orgD/Zo})(1 - f_{inZo}) \cdot e_{Zo} + m_{Zo} + \delta_{Zo}] \cdot Zoo' - \varphi_{det} PON$$

$$(III.21) \quad \frac{dDONnr}{dt} = f_{orgD/Ph} (1 - f_{inPh}) \cdot e_{Ph} Phy' + f_{orgD/Zo} (1 - f_{inZo}) \cdot e_{Zo} \cdot Zoo' - \varphi_{Nnr} DONnr$$

$$(III.22) \quad \frac{dDONre}{dt} = \varphi_{det} \cdot PON (1 - f_{orgP/Ph}) - \varphi_{Nr} DONr$$

$$(III.23) \quad \frac{dNH_4}{dt} = f_{inFs} \cdot e_{Ph} \cdot Phy' + f_{inZo} \cdot e_{Zo} \cdot Zoo' - \Phi_{NH_4} - \varphi_{2N} \cdot NH_4 + \varphi_{Nr} DONr + \varphi_{Nnr} DONnr + f_{orgP/Ph} \varphi_{det} PON$$

$$(III.24) \quad \frac{dNO_2}{dt} = \varphi_{2N} \cdot NH_4 - \varphi_{2N} \cdot NO_2$$

$$(III.25) \quad \frac{dNO_3}{dt} = \varphi_{2N} \cdot NO_2 - \Phi_{NO_3} - \varphi_{3N} \cdot NO_3$$

Símbolo	Descrição	Equação
$\Phi_{NH_4}$	Taxa de Assimilação de $NH_4$ para a Fotossíntese	(III.26) $\Phi_{NH_4} = \beta_{NH_4} \cdot \alpha_{Phy} \cdot \mu_{Ph}$
$\beta_{NH_4}$	Factor de Preferência de Amónia pelo Fitoplâncton	(III.27) $\beta_{NH_4} = \frac{NH_4 \cdot NO_3}{(K_N + NH_4)(K_N + NO_3)} \cdot \frac{NH_4 \cdot K_N}{(K_N + NH_4)(K_N + NO_3)}$
$\Phi_{NO_3}$	Taxa de Assimilação de $NO_3$ para a Fotossíntese	(III.28) $\Phi_{NO_3} = (1 - \beta_{NH_4}) \cdot \alpha_{Phy} \cdot \mu_{Ph}$
$\varphi_{2N}$	Taxa de Nitrificação	(III.29) $\varphi_{2N} = M_{nitri} \cdot \theta_{nitri}^{(T - T_{ref})} \cdot \frac{O_2}{K_{nitri} + O_2}$
$\varphi_{det}$	Taxa de dissolução de PON	(III.30) $\varphi_{det} = M_{det} \cdot \theta_{det}^{(T - T_{ref})}$
$\varphi_{Nnr}$	Taxa de Mineralização do DONnr	(III.31) $\varphi_{Nnr} = MDON(T_{ref}) \theta_{DON}(T - T_{ref})$
$\varphi_{Nr}$	Taxa de mineralização de DONre	(III.32) $\varphi_{Nr} = MDONre \cdot \theta_{DONre}(T - T_{ref}) \cdot \frac{Phy}{K_{PhNutRege} + Phy}$
$\varphi_{3N}$	Taxa de Desnitrificação	(III.33) $\varphi_{3N} = M_{denit} \cdot \theta_{denit}^{(T - T_{ref})} \cdot \frac{K_{detri}}{K_{detri} + O_2}$

Quadro III.6 - Taxas referentes ao Ciclo do Azoto

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
$T_{ref}$	Temperatura de Referência	°C	25
$M_{DONre}$	Taxa de Referência para a Mineralização para DONre	$d^{-1}$	0
$M_{DONnr}$	Taxa de Referência para a Mineralização para DONnr	$d^{-1}$	0,1
$\theta_{DONre}$	Coefficiente de Temperatura para Mineralização de DONre	-	1,02
$\theta_{DONnr}$	Coefficiente de Temperatura para Mineralização de DONnr	-	1,02
$K_{PhNutRege}$	Metade da Constante de Saturação para a Regeneração do Fitoplâncton	-	1,0
$M_{nitri}$	Taxa de Referência para a Nitrificação		0,06
$\theta_{nitri}$	Coefficiente de Temperatura para a Nitrificação	-	1,08
$K_{nitri}$	Metade da Constante de Saturação para Mineralização		0,014
$M_{det}$	Taxa de Referência para a dissolução de PON	$d^{-1}$	0,1
$\theta_{det}$	Coefficiente de Temperatura de decomposição	-	1,02
$M_{denit}$	Taxa de Desnitrificação de Referência	$d^{-1}$	0,1
$\theta_{denit}$	Coefficiente de Temperatura de Desnitrificação	-	1,046
$K_{denit}$	Metade da Constante de Saturação para a Desnitrificação	$mgO_2.L^{-1}$	0,1
$\alpha_{Phy}$	Razão N:C no Fitoplâncton	-	0,18
$\alpha_{Zoo}$	Razão N:C no Zooplâncton	-	0,24
$Phy'$	Concentração de Fitoplâncton na forma de Azoto	$mg N/L$	$Phy. \alpha_{Zoo}$
$Zoo'$	Concentração de Zooplâncton na forma de Azoto	$mg N/L$	$Zoo. \alpha_{Zoo}$

Quadro III.7 - Valores considerados para os parâmetros referentes ao Ciclo do Azoto

**Anexo IV**  
**Descarga do Rio Tejo**

## ÍNDICE

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1. Estação de Amostragem</b>	<b>2</b>
<b>2. Estimativa das Cargas de Azoto presentes na Descarga partindo do Caudal do Rio Tejo</b>	<b>2</b>
<b>3. Parâmetros em Análise</b>	<b>6</b>
<b>4. Cenários de Simulação</b>	<b>7</b>
4.1. Cenário I – Ano Médio	7
4.2. Cenário II – Ano Seco	9
4.3. Cenário III – Ano Húmido	10
4.4. Cenário IV – Ano Realista	10
<b>5. Síntese dos Cenários</b>	<b>12</b>
<b>APÊNDICE</b>	<b>14</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

QuadroIV.1 - Propriedades consideradas na descarga do Rio Tejo	6
--	---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FiguraIV.1 - Localização da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém	2
FiguraIV.2 - Variação estimada para a concentração das cargas poluentes com o caudal	4
FiguraIV.3 - Evolução da Concentração de Nitratos na Descarga do Rio Tejo, a partir dos registos da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém	5
FiguraIV.4 - Evolução da Concentração de Azoto Amoniacal na Descarga do Rio Tejo, a partir dos registos da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém	5
FiguraIV.5 - Variação sazonal do Caudal do Rio Tejo na Estação de Ómnias-Santarém para um Ano Médio	8
FiguraIV.6 - Variação Sazonal da Concentração de Nitrato na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio	8
FiguraIV.7 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Amoniacal na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio	8
FiguraIV.8 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Orgânico Total na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio	8
FiguraIV.9 - Variação Sazonal da Concentração de Sólidos Suspensos Totais na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio	9
FiguraIV.10 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Seco	9
FiguraIV.11 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Húmido	10
FiguraIV.12 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Realista	11
FiguraIV.13 - Variação Sazonal da Concentração de Nitrato presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista	11
FiguraIV.14 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Amoniacal presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista	11
FiguraIV.15 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Orgânico Total presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista	11
FiguraIV.16 - Variação Sazonal da Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista	12
FiguraIV.17 - Variação do Caudal Médio Diário nos quatro cenários considerados: Cenário I (Ano Médio), Cenário II (Ano Seco), Cenário III (Ano Húmido), Cenário IV (Ano Realista)	12
FiguraIV.18 - Variação da Concentração de Nitrato nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)	13
FiguraIV.19 - Variação da Concentração de Azoto Amoniacal nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)	13
FiguraIV.20 - Variação da Concentração de Azoto Orgânico Total nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)	13

FiguraIV.21 -Variação da Concentração de Sólidos Suspensos Totais nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)	13
FiguraA.1 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1973, 1974 e 1975	15
FiguraA.2 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1976, 1977, 1978 e 1979	15
FiguraA.3 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1980, 1981, 1982 e 1983	15
FiguraA.4 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1984, 1985, 1986 e 1987	15
FiguraA.5 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1988, 1989, 1990 e 1991	15
FiguraA.6 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1992, 1994 e 1997	15
FiguraA.7 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1998, 1999 e 2000	16
FiguraA.8 - Comparação dos valores de Concentração de Nitrato presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1988 até 2000	16
FiguraA.9 - Comparação dos valores de Concentração de Azoto Amoniacal presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1985 até 2000	16
FiguraA.10 - Comparação dos valores de Concentração de Azoto Orgânico presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1989 até 2000	16
FiguraA.11 - Comparação dos valores de Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1985 até 2000	16

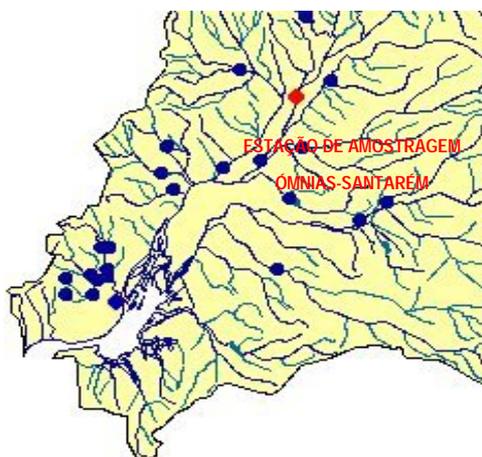
## INTRODUÇÃO

Neste anexo pretende-se caracterizar a descarga do Rio Tejo na Zona de Estuário. Esta caracterização surge como o resultado do tratamento dos dados registados em determinada estação de amostragem (Ómnias-Santarém) e cujos valores se consideram representativos do Rio Tejo. Os dados registados na estação foram, assim, analisados sob vários pontos de vista no sentido de estabelecer possíveis relações entre as variáveis quantificadas ou, se tal não se revelasse possível, seleccionar um conjunto de valores que melhor se adequem aos cenários que se pretendem simular. É segundo esta perspectiva que, apesar de a opção recair pela escolha de séries temporais de variáveis ao invés de utilizar relações matemáticas que indiquem a sua variação em função do caudal, é apresentada em determinado ponto deste anexo a análise feita a essas mesmas relações e explicada a opção de não a utilizar.

Ainda neste anexo são apresentadas as considerações assumidas para a quantificação desta descarga em cada um dos cenários – Ano Médio, Ano Seco, Ano Húmido e Ano Realista, bem como figuras que permitem a comparação entre eles. Opta-se ainda por apresentar em Apêndice mais algumas figuras de comparação de séries de valores registados na estação em diferentes anos, que não sendo indispensáveis para a continuidade do estudo, podem revelar-se interessantes.

## 1. Estação de Amostragem

Considera-se que os dados registados na estação de amostragem de Ómnias-Santarém são característicos do tipo de descarga do Rio Tejo na Zona de Estuário. Esta estação está incluída na Rede de Amostragem Hidrométrica, fornecendo indicações de Caudal, e na Rede de Qualidade da Água, geridas pelo INAG e identificada pelo Código 18E/04. Existe, para a qualidade da água uma outra rede de amostragem, gerida pela DGA, à qual também pertence a estação de Ómnias, com um código de identificação diferente, T\_33. A figura seguinte permite visualizar a localização da referida estação de amostragem.



FiguralV.1 - Localização da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém

## 2. Estimativa das Cargas de Azoto presentes na Descarga partindo do Caudal do Rio Tejo

As cargas poluentes presentes na descarga do Rio Tejo podem, de uma maneira geral, ter dois tipos de origem: pontual ou difusa. Como fontes de poluição pontual podem considerar-se as emissões de efluentes resultantes de actividade humana directa, isto é efluentes domésticos ou industriais. Por outro lado, os efluentes que resultam das operações de rega de terrenos agrícolas e de escorrência das águas da chuva através dos mesmos, podem provocar a sua lixiviação, dissolvendo muitos nutrientes utilizados como adubo nesta prática, sendo considerados como fontes difusas de nutrientes.

É possível estabelecer uma relação entre as cargas poluentes e o valor de caudal do Rio, sendo, no entanto essa relação diferente, dependendo do tipo de origem da carga.

As fontes pontuais são à partida independentes do caudal, ou seja a sua quantificação é apenas dependente da actividade humana e não do meio que servirá de receptor a esse efluente. Desta forma, espera-se que a sua variação seja inversa à variação do caudal. Um maior caudal do Rio Tejo corresponderá a uma maior diluição da carga da fonte pontual, o que se reflecte numa diminuição da concentração.

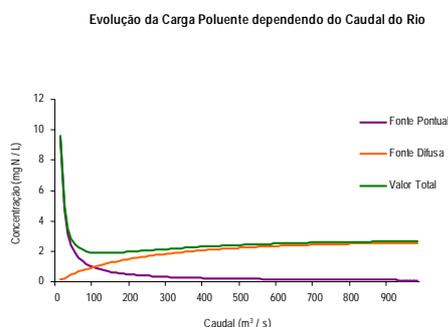
Quanto às fontes difusas a relação não será tão intuitiva no entanto, uma vez que depende da quantidade de água disponível para a lixiviação dos campos, quanto maior a precipitação e associado a esta, maior caudal do Rio, pode esperar-se uma maior concentração do poluente no Rio, embora esta relação não seja de todo linear.

A concentração do poluente, ou nutriente, total no Rio será dada pela soma destas duas componentes. De entre os modelos determinísticos existentes que pretendem simular as variações das cargas poluentes a partir dos valores de caudal, assume algum relevo o modelo proposto por BUHRER e WAGNER, referido em *Association Romande Pour la Protection des Eaux et de l'air* (1983) utilizado no lago Constança para modelação das diversas contribuições poluentes (in Bettencourt ;Matos, 1996). Este modelo assume a seguinte equação para simular a variação da concentração das cargas poluentes em função do caudal. A expressão discrimina as contribuições das duas origens consideradas, pontual e difusa:

$$(1) \quad C = \frac{A}{Q} + k_1 Q e^{-\left(\frac{k_2}{Q} + k_3 Q\right)}$$

Onde C representa a concentração total da substância poluente, g/m<sup>3</sup>; A é a carga poluente efectiva de origem pontual (g/dia); Q o caudal do Rio (g/dia) e k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> e k<sub>3</sub> são constantes empíricas.

A equação anterior evidencia as possíveis relações referidas anteriormente. Em termos gráficos, poderá considerar-se que as cargas poluentes terão uma variação com o caudal do tipo da representada na seguinte figura.

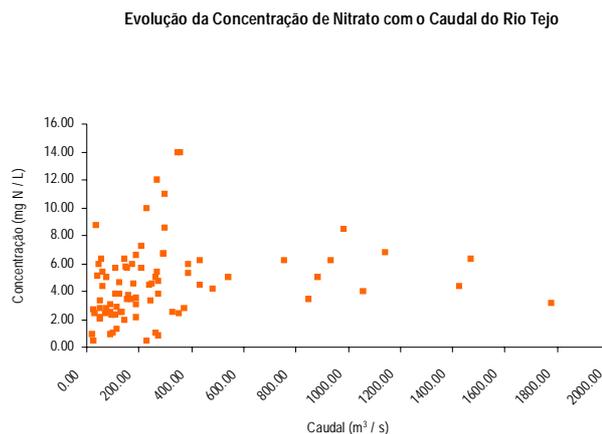


FiguraIV.2 - Variação estimada para a concentração das cargas poluentes com o caudal

Estima-se que, para o caso do Azoto no Rio Tejo, a variação da concentração em função do caudal apresente uma curva semelhante à apresentada na figura anterior, para o valor total.

No presente estudo opta-se por não utilizar esta possível relação por se considerar que a obtenção das curvas correspondentes a cada uma das formas de Azoto em análise (Nitrato, Nitrito, Amoniacal, Orgânico Dissolvido Refractário, Não Refractário e Particulado) revelar-se-ia de certa forma complexa, uma vez que seria necessário estimar todos os parâmetros da equação para cada poluente a partir dos valores reais registados na estação de amostragem. Considera-se que a utilização destas relações não teria uma influência muito significativa nos resultados relativamente à utilização dos valores reais, pelo que se opta por utilizar as combinações propriedade/caudal reais, registadas na estação. No entanto, ao colocar-se a hipótese de poder modelar esta variação foram observados atentamente gráficos elaborados a partir dos valores reais e dos quais se podem tirar algumas conclusões.

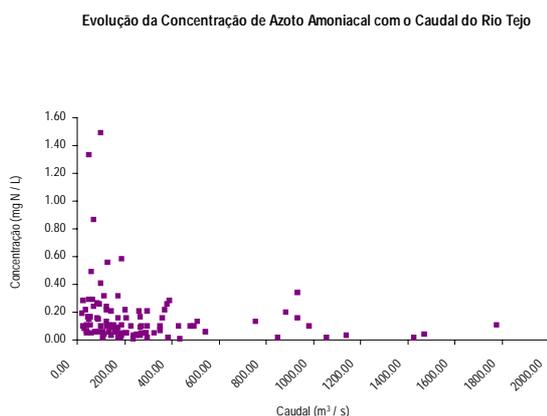
A figura seguinte diz respeito à variação da concentração de Nitratos em função do caudal do Rio Tejo.



FiguraIV.3 - Evolução da Concentração de Nitratos na Descarga do Rio Tejo, a partir dos registos da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém

Observando a figura anterior poderá dizer-se que a concentração de nitratos apresenta uma variação que parece ser característica das fontes de poluição difusas. Esta variação poderá ser explicada pelo facto de realmente os nitratos serem dos principais poluentes resultantes da lixiviação dos campos agrícolas adubados com azoto.

A variação de concentração de Azoto Amoniacal, FiguraIV.4, por outro lado parece indicar uma variação semelhante à curva do tipo das fontes poluentes pontuais.



FiguraIV.4 - Evolução da Concentração de Azoto Amoniacal na Descarga do Rio Tejo, a partir dos registos da Estação de Amostragem de Ómnias-Santarém

Poderá, desta forma, dizer-se que a principal componente de nitrato na descarga do Rio Tejo terá origem difusa enquanto que para o caso do Azoto Amoniacal a principal componente será de origem pontual.

### 3. Parâmetros em Análise

O quadro seguinte apresenta os parâmetros considerados para este estudo e a origem do seu valor, directa ou de forma indirecta, através dos valores registados na estação.

Designação	Unidades	Origem
Caudal Médio Diário	m <sup>3</sup> / s	Registo da Estação de Amostragem
Nitrato	mg N / L	Registo da Estação de Amostragem
Nitrito	mg N / L	Registo da Estação de Amostragem
Oxigénio Dissolvido	mg O <sub>2</sub> / L	Registo da Estação de Amostragem
Sólidos Suspensos Totais	mg / L	Registo da Estação de Amostragem
Temperatura	°C	Registo da Estação de Amostragem
Azoto Amoniacal	mg N / L	Registo da Estação de Amostragem, corresponde ao valor de Azoto Amoniacal
Azoto Orgânico Dissolvido Refractário	mg N / L	Considerado como 15% do Azoto Orgânico Total; este é calculado com base no valor de Azoto Kjeldahl, registado na estação, o qual se assume como a quantidade de Azoto presente na água, nas formas amoniacal e orgânica
Azoto Orgânico Dissolvido Não Refractário	mg N / L	Considerado como 35% do Azoto Orgânico Total
Azoto Orgânico Particulado	mg N / L	Considerado como 50% do Azoto Orgânico Total
Fitoplâncton	mg C/L	Partindo dos registos de Clorofila-a na Estação de Amostragem considera-se que a cada mg deste pigmento correspondem 60 mg de Carbono de Fitoplâncton
Zooplâncton	mg C / L	Considera-se como 10 vezes menor que a quantidade de Fitoplâncton existente no Rio Tejo

QuadroIV.1 - Propriedades consideradas na descarga do Rio Tejo

## 4. Cenários de Simulação

São considerados quatro cenários de descarga distintos: Ano Médio, Ano Seco, Ano Húmido e Ano Realista. O tratamento dos dados tem, desta forma, o objectivo de pretender caracterizar da melhor forma possível as descargas do Rio Tejo para estas diferentes condições hidrológicas. Devido à existência de duas redes de amostragem para a qualidade da água no Rio Tejo, o tratamento dos dados relativos aos parâmetros de qualidade da água foi de certa forma dificultado uma vez que, na maior parte das propriedades em análise, os dados registados em ambas as redes de amostragem se complementam de uma forma não regular. Ou seja, o tratamento dos dados consistiu em interligar todos os valores registados na estação de Ómnias de forma a poder utilizar o maior número de dados disponíveis para que os cenários se aproximem da situação real.

Uma vez conseguida a interligação entre os dados é possível analisá-los por forma a seleccionar as séries de valores mais adequadas ao tipo de cenários que se pretendem simular.

O objectivo deste anexo consiste em tentar, da melhor forma, proporcionar um conjunto de elementos que permitam caracterizar cada um dos cenários em estudo através de gráficos comparativos entre séries de valores registados em vários anos que, de certa forma, serviram de apoio às opções tomadas.

Uma vez que as séries de valores se revelam muito extensas, já que contêm informação diária de todas as propriedades em análise, opta-se por apresentar os quadros correspondentes a cada cenário apenas na forma digital.

### 4.1. Cenário I – Ano Médio

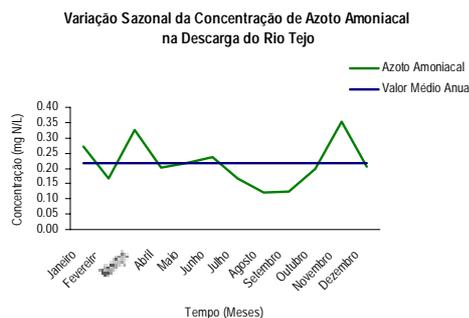
O valor de Caudal Médio Diário de um ano, considerado como médio, foi calculado recorrendo a uma operação de média aritmética utilizando todos os valores de caudal médio diário registados na estação de Ómnias-Santarém entre os anos de 1973 e 2000. Quanto aos parâmetros de

qualidade da água o respectivo valor é também o resultado de uma média aritmética, mas com uma série de registos mais reduzida, desde 1985 até 2000. Note-se que as amostras de qualidade da águas são recolhidas mensalmente, e, devido por vezes a algumas falhas técnicas ou humanas, não existem dados para todos os meses. Daí os valores de qualidade da água se revelarem menos precisos que os referentes ao caudal, sendo, no entanto, os disponíveis.

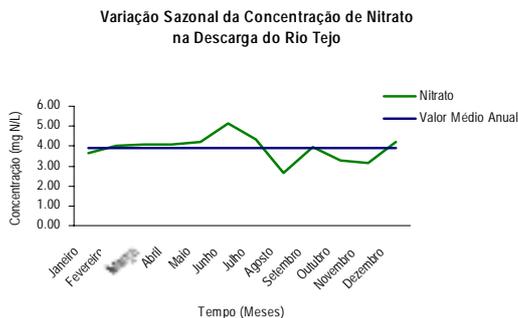
As figuras seguintes permitem visualizar a variação das propriedades em análise, ao longo de um ano médio. Relativo à qualidade da água são apenas apresentadas figuras para as propriedades consideradas mais relevantes neste estudo. Apresenta-se ainda o valor médio anual correspondente a este Ano Médio por forma a permitir uma melhor visualização da variação que ocorre ao longo de um ano. Como apêndice deste anexo são apresentadas algumas figuras que evidenciam a “posição” do ano médio relativamente aos valores reais registados na estação para os vários anos.



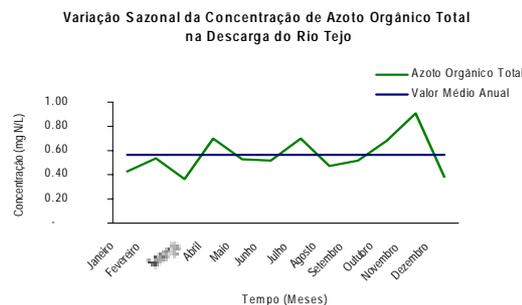
FiguralV.5 - Variação sazonal do Caudal do Rio Tejo na Estação de Ómnias-Santarém para um Ano Médio



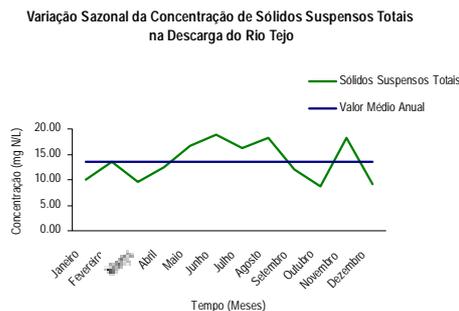
FiguralV.7 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Amoniacal na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio



FiguralV.6 - Variação Sazonal da Concentração de Nitrato na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio



FiguralV.8 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Orgânico Total na Descarga do Rio Tejo para um Ano Médio

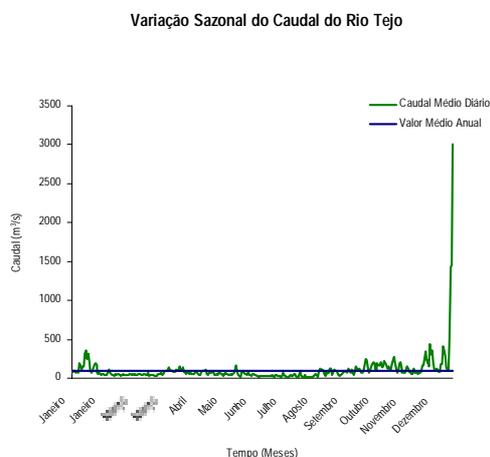


FiguralV.9 - Variação Sazonal da Concentração de Sólidos Suspensos Totais na Descarga do Rio Tejo para um AnoMédio

## 4.2. Cenário II – Ano Seco

Como resultado do tratamento de dados registados na Estação de Amostragem de Órnias-Santarém considera-se o ano de 1981 como o ano seco, com um caudal médio anual de 103 m<sup>3</sup>/s. A escolha recai neste ano, não porque o correspondente valor médio anual seja inferior a todos os outros anos registados, mas sim por ser o mais baixo dos anos para os quais o número de valores de caudais diários registados se considera significativo.

Relativamente aos valores de qualidade da água, uma vez que a estação de amostragem iniciou os seus registos de qualidade da água em 1985, os dados necessários não se encontram disponíveis. Opta-se, assim, por considerar os valores médios já apresentados na caracterização do Cenário I. Ou seja, relativamente a este último, o Cenário II varia apenas em termos de caudal. A figura seguinte diz respeito ao caudal registado em 1981 ao longo do ano bem como a sua variação relativamente ao valor médio.

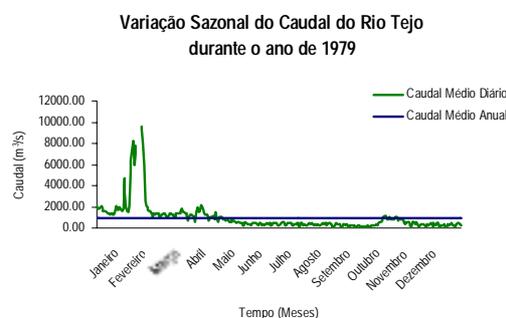


FiguralV.10 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Seco

Como é possível visualizar na figura anterior no final do mês de Dezembro do ano de 1981, deu-se a ocorrência de cheias, pelo que o valor de caudal sobe de uma forma desproporcional relativamente aos valores anteriores. Optou-se então por não desprezar estes valores uma vez que se tratam de valores reais que evidenciam uma situação de cheia repentina, permitindo modelar o seu efeito em termos de concentração de *Fitoplâncton* que, analisado de uma forma particular, poderá ter algum interesse.

### 4.3. Cenário III – Ano Húmido

A escolha de um ano com características de um ano húmido foi feita também com base na análise dos valores de caudal médio anual correspondentes a cada ano. Considera-se que, entre as séries de dados disponíveis, o ano de 1979 se revela o mais húmido com um valor de caudal médio anual de 132 m<sup>3</sup>/s. Também neste cenário se opta por utilizar os valores de concentração das propriedades da água médios, pois não são conhecidos registos de qualidade da água neste ano. A figura seguinte indica a variação do valor de caudal médio diário registado durante o ano de 1979 na estação de Ómnias-Santarém.



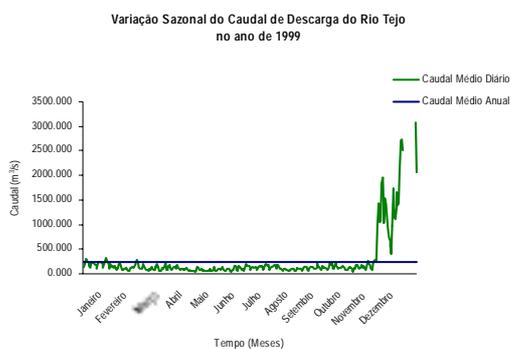
FiguralV.11 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Húmido

### 4.4. Cenário IV – Ano Realista

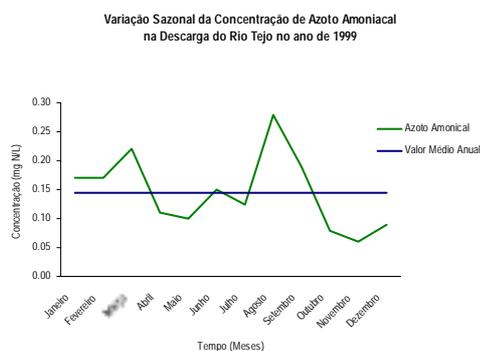
Optou-se por analisar, neste estudo, um cenário que corresponde a uma situação real, utilizando valores de caudal médio diário e de concentrações de propriedades, registados ao longo de um ano. Da análise das séries de valores registados pela estação conclui-se que o único ano que possui, no mínimo, um registo em cada mês de todas ou quase todas as propriedades da

qualidade da água é o ano de 1999, com um caudal médio diário de 242m<sup>3</sup>/s, cujos valores são os considerados neste cenário.

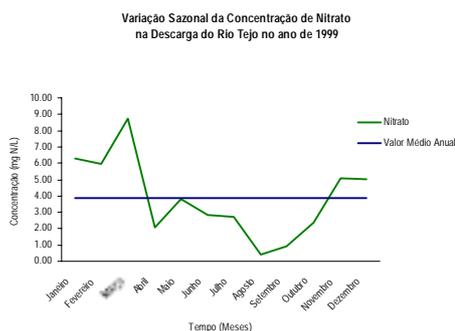
As figuras seguintes representam a variação das propriedades ao longo do tempo e a sua variação relativamente ao valor médio anual.



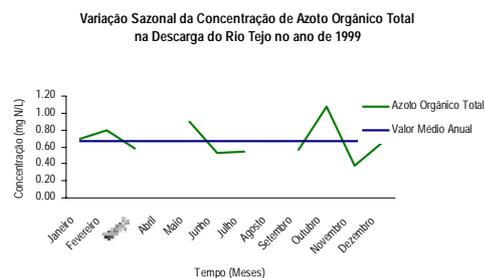
FiguraIV.12 - Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerando um cenário de Ano Realista



FiguraIV.14 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Amoniacal presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista

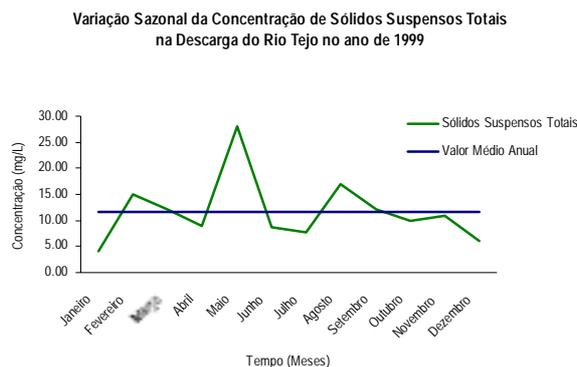


FiguraIV.13 - Variação Sazonal da Concentração de Nitrato presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista



FiguraIV.15 - Variação Sazonal da Concentração de Azoto Orgânico Total presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista

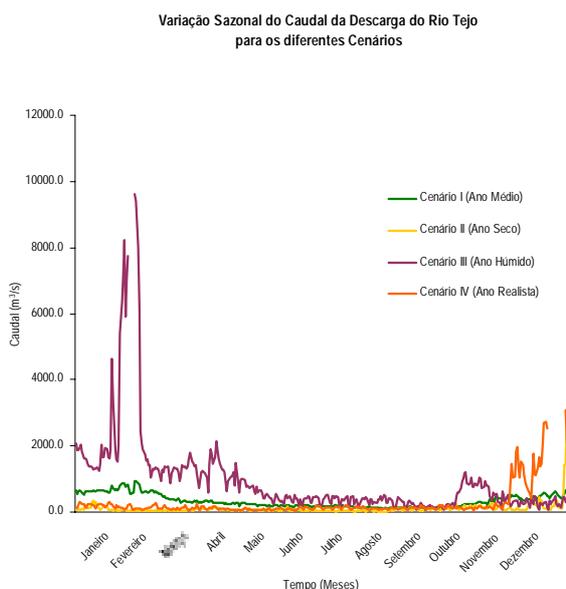
Note-se que para a propriedade de Azoto Orgânico Total não foram registados valores durante os meses de Abril e de Agosto. Para valores relativos a estes meses, optou-se, como forma de aproximação, se considerar igual valor ao último registado até então.



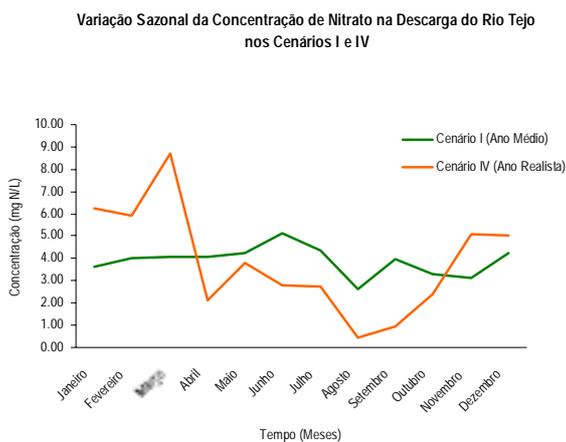
FiguralV.16 - Variação Sazonal da Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente na descarga do Rio Tejo na Zona do Estuário considerada para um cenário de Ano Realista

## 5. Síntese dos Cenários

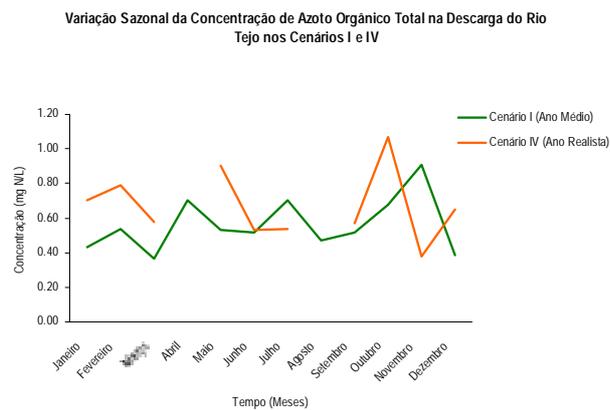
Apresentam-se, em seguida algumas figuras que permitem, de uma forma mais directa, comparar os valores utilizados em cada cenário. Em termos de caudal a comparação é feita entre os quatro cenários. Para a qualidade da água é feita a comparação apenas para as propriedades consideradas mais relevantes (Nitrito, Azoto Amoniacal, Azoto Orgânico Total e Sólidos Suspensos Totais) e para os Cenários I e IV, uma vez que os restantes cenários utilizam os valores referentes ao primeiro.



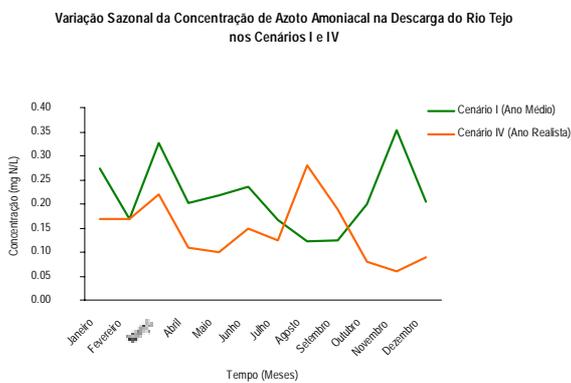
FiguralV.17 - Variação do Caudal Médio Diário nos quatro cenários considerados: Cenário I (Ano Médio), Cenário II (Ano Seco), Cenário III (Ano Húmido), Cenário IV (Ano Realista)



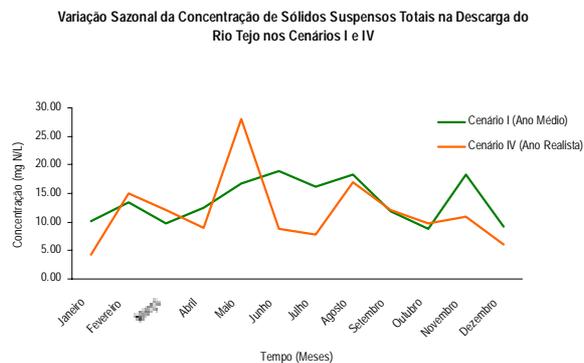
FiguraIV.18 - Variação da Concentração de Nitrato nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)



FiguraIV.20 - Variação da Concentração de Azoto Orgânico Total nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)

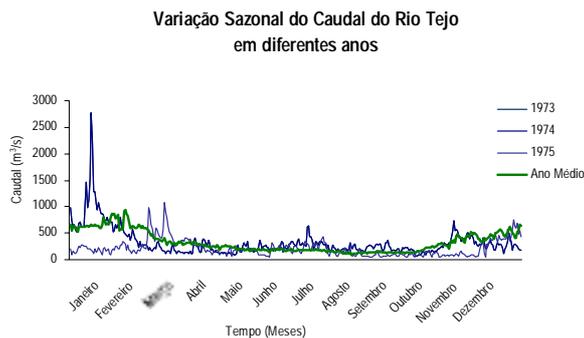


FiguraIV.19 - Variação da Concentração de Azoto Amoniacoal nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)

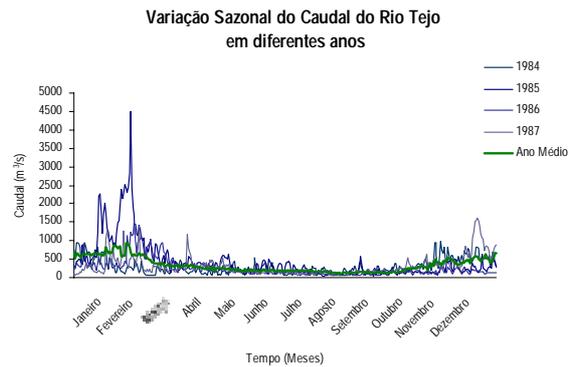


FiguraIV.21 - Variação da Concentração de Sólidos Suspensos Totais nos Cenários I (Ano Médio) e IV (Ano Realista)

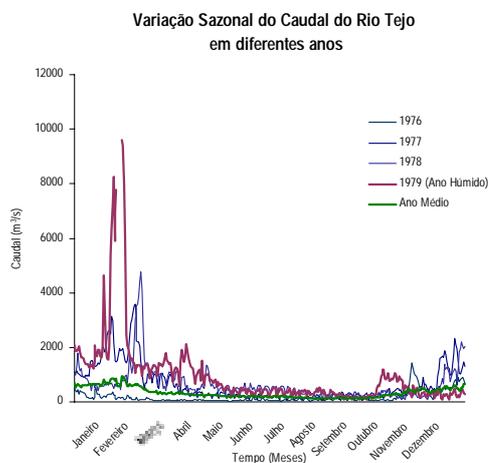
## APÊNDICE



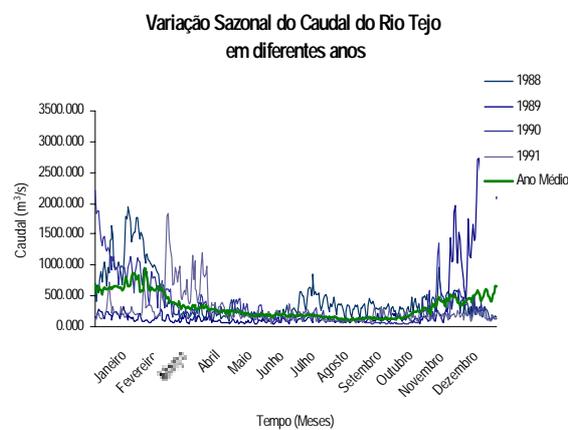
FiguraA.1 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1973, 1974 e 1975



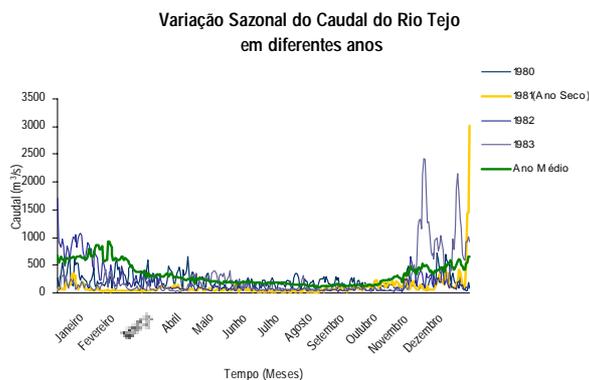
FiguraA.4 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1984, 1985, 1986 e 1987



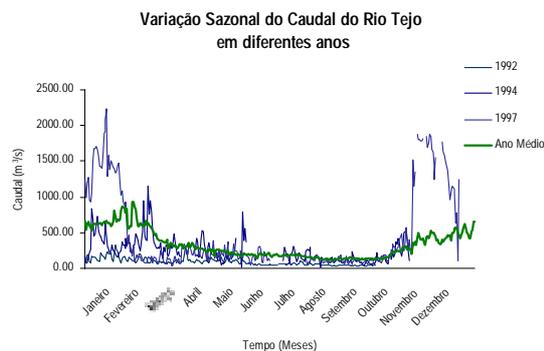
FiguraA.2 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1976, 1977, 1978 e 1979



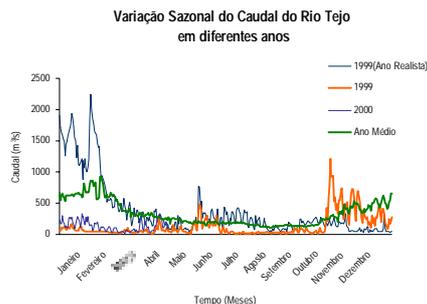
FiguraA.5 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1988, 1989, 1990 e 1991



FiguraA.3 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1980, 1981, 1982 e 1983

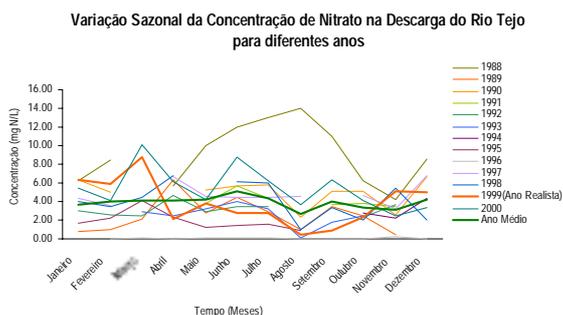


FiguraA.6 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1992, 1994 e 1997

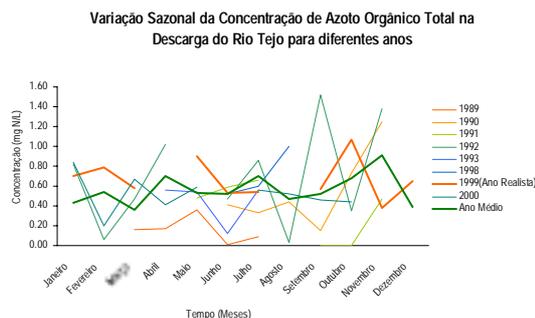


FiguraA.7 - Comparação do Caudal Médio Diário de um Ano Médio com os anos de 1998, 1999 e 2000

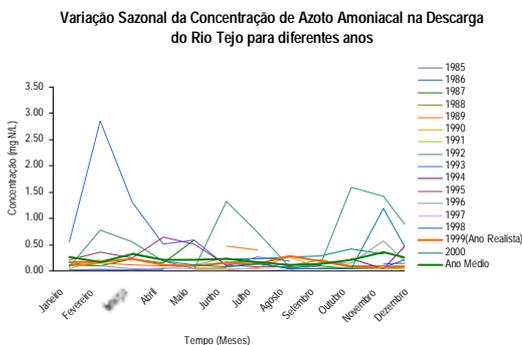
Relativamente às concentrações das diversas propriedades da água, apresentam-se os gráficos relativos à variação de Nitrato, Azoto Orgânico Total e Azoto Amoniacal por se considerar que estas são as propriedades mais relevantes neste estudo. Os gráficos seguintes permitem a comparação entre os valores considerados para uma situação média e os registados efectivamente na estação de amostragem.



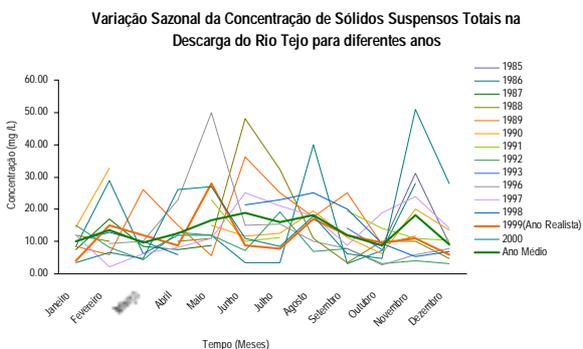
FiguraA.8 - Comparação dos valores de Concentração de Nitrato presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1988 até 2000



FiguraA.10 - Comparação dos valores de Concentração de Azoto Orgânico presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1989 até 2000



FiguraA.9 - Comparação dos valores de Concentração de Azoto Amoniacal presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1985 até 2000

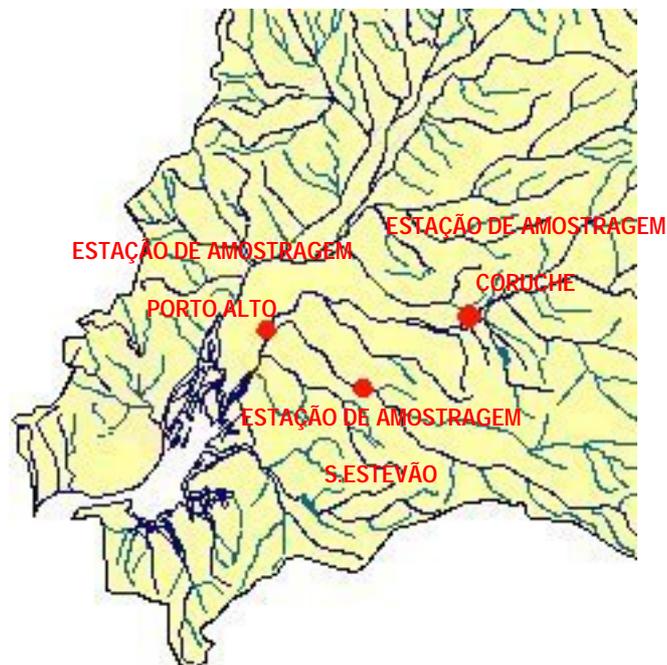


FiguraA.11 - Comparação dos valores de Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente na descarga do Rio Tejo considerados para o cenário de Ano Médio e os valores registados nos anos de 1985 até 2000

## **Anexo V**

### **Descarga do Rio Sorraia na Zona de Estuário**

A Rede de Amostragem existente na bacia do Rio Tejo não possui uma única estação que permita registar as propriedades características da descarga do Rio Sorraia. Deste modo, opta-se por considerar, para a quantificação do caudal de descarga, que existem duas linhas de água principais, que contribuem para o caudal total do Rio Sorraia, nas quais existem estações hidrométricas pertencente ao INAG: S. Estevão, código 20E/02 e Coruche, código 20F/02. O valor de caudal corresponde ao resultante da média aritmética de todos os dos valores recolhidos nas estações (entre 1990 e 1993). Para a qualidade da água considera-se a Estação de Porto Alto, código T\_039, da rede de amostragem da DGA, representativa da descarga do Rio Sorraia, sendo o valor correspondente o resultados da média aritmética de todos os valores registados na estação entre os anos de 1990 e 1993. Na figura seguinte encontram-se representadas as estações cujos registos são utilizados.



FiguraV.1 - Localização das Estações de Amostragem Utilizadas

Para as formas de Azoto Orgânico, Azoto Dissolvido Refractário, Não Refractário e de Azoto Particulado, não existindo registos destas propriedades, as correspondentes concentrações são determinadas recorrendo aos valores típicos de proporção entre elas já utilizadas para a quantificação da descarga do Rio Tejo. Na tabela seguinte encontram-se os valores considerados para a descarga constante do Rio Sorraia.

Propriedade	Descarga Total do Rio Sorraia	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	39,5	
Sólidos Suspensos Totais (mg / L)	196,2	
Carência Bioquímica de Oxigénio (mg O <sub>2</sub> / L)	8,30	
Azoto Inorgânico	Nitrito (mg N / L)	0,436
	Nitrato (mg N / L)	4,2
Azoto Amoniacal (mg N / L)	0,567	
Azoto Orgânico	Azoto Orgânico Dissolvido	0,26
	Refractário (mg N / L)	
Dissolvido	Azoto Orgânico Dissolvido	0,613
	Não Refractário (mg N / L)	
Azoto Orgânico Particulado (mg N / L)	0,88	
Fitoplâncton (mg N/L)	0.05	
Zooplâncton (mg N/L)	0.005	

QuadroV.1 - Características da Descarga Total do Rio Sorraia no Estuário do Tejo

## **Anexo VI**

### **Descarga do Rio Trancão na Zona de Estuário**

## ÍNDICE DE QUADROS

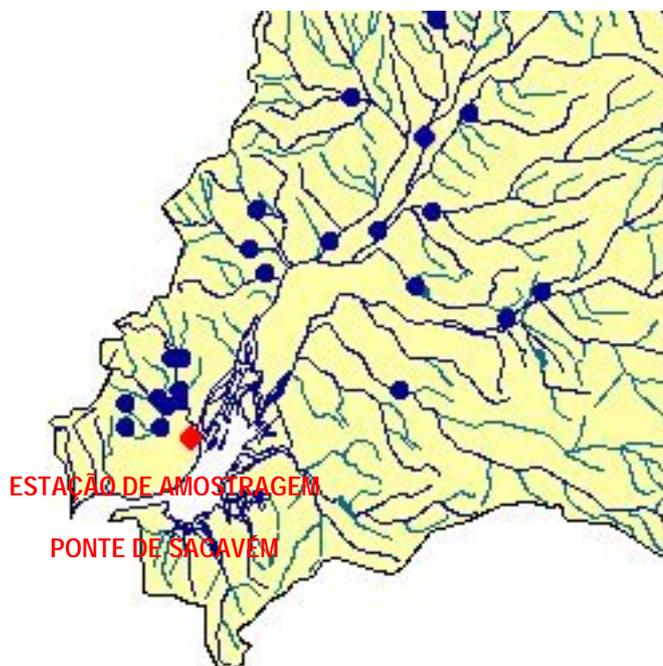
QuadroVI.1 - Características da Descarga Total do Rio Trancão no Estuário do Tejo	2
QuadroVI.2 - Características das Descargas do Rio Trancão e das ETAR's de Beirolas, S.João da Talha e Frielas	3

## ÍNDICE DE FIGURAS

FiguraVI.1 - Localização da Estação de Ponte de Sacavém	1
---	---

Considera-se neste estudo que a descarga do Rio Trancão é constituída por dois componentes: o Rio Trancão e o efluente que resulta de três ETAR's em funcionamento, situadas nas suas margens, Beirolas, S. João da Talha e Frielas.

O caudal e qualidade da água registados na estação de amostragem situada na Ponte de Sacavém, código 21C/03, da rede de qualidade da água, sob responsabilidade do INAG, dizem respeito às características da descarga efectiva do Rio Trancão para o estuário, incluindo já os efluentes das ETAR's sendo, desta forma, os valores considerados neste estudo. Tais valores resultam de uma média aritmética de todos os registos, em Baixa e Preia-mar e apresentam-se no Quadro VI.1. Na figura seguinte pode visualizar-se a estação de amostragem referida.



FiguraVI.1 - Localização da Estação de Ponte de Sacavém

Para as formas de Azoto Orgânico, Azoto Dissolvido Refractário, Não Refractário e de Azoto Particulado, não existindo registos destas propriedades, as correspondentes concentrações são determinadas recorrendo aos dados de funcionamento das ETAR's, uma vez que se considera que os efluentes delas resultantes e descarregados do Rio terão uma contribuição bastante significativa, no que diz respeito a estas propriedades. A determinação das correspondentes

concentrações é feita recorrendo aos pressupostos definidos no Anexo V deste trabalho, tendo em consideração o efeito de diluição devido ao caudal do Rio Trancão, cujo resultado é também apresentado no Quadro VI.1.

Propriedade	Descarga Total do Rio Trancão	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	6	
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	83,5	
Carência Bioquímica de Oxigénio (mg O <sub>2</sub> /L)	30,2	
Azoto Inorgânico	Nitrito (mg N/L)	0,24
	Nitrato (mg N/L)	4,4
Azoto Amoniacal (mg N/L)	7,6	
Azoto Orgânico	Azoto Orgânico Dissolvido	1,42
	Refractário (mg N/L)	
	Dissolvido	
	Azoto Orgânico Dissolvido	0
	Não Refractário (mg N/L)	
Azoto Orgânico Particulado (mg N/L)	4,25	

QuadroVI.1 - Características da Descarga Total do Rio Trancão no Estuário do Tejo

No quadro da página seguinte (QuadroVI.2) são apresentados os dados característicos do funcionamento das ETAR's, cujos efluentes são descarregados no Rio Trancão para o efluente à entrada e saída da estação. Não sendo fundamental para o desenvolvimento deste estudo, estes valores surgem como resultado do tratamento de dados, sendo apresentado a título de curiosidade, completando assim a análise efectuada às descargas ETAR's situadas na envolvente do Estuário do Tejo.

Descarga	Rio Trancão	ETAR de Beirolas		ETAR de S. João da Talha		ETAR de Frielas		
		Efluente Bruto	Efluente Tratado	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Efluente Bruto	Efluente Tratado	
População Equivalente (hab)	-	213510		178000		286000		
Caudal (m³ / s)	6	0,63		0,41		0,66		
Sólidos Suspensos Totais (mg / L)	83,5	270	35	454	68	290	26	
Carência Bioquímica de Oxigénio ( mg O <sub>2</sub> / L)	30,2	260	25	300	30	420	15	
Azoto Inorgânico	Nitrito (mg N / L)	0,24	0,06	0	10	0	0,08	0
	Nitrato (mg N / L)	4,4	8,5	1,3	15	15	12	1,8
Azoto Amoniacal (mg N / L)	7,6	9	8,1	16	14,4	12,7	11,4	
Azoto Orgânico	Azoto Orgânico Dissolvido	-	4	3,4	6,8	5,8	5,6	4,7
	Refractário (mg N / L)	-	9,5	0	19,9	0	13,4	0
Dissolvido	Azoto Orgânico Dissolvido	-	9,5	0	19,9	0	13,4	0
	Não Refractário (mg N / L)	-	13	11,1	22,8	19,3	18,3	15,6
Azoto Orgânico Particulado (mg N / L)	-	13	11,1	22,8	19,3	18,3	15,6	

Quadro VI.2 - Características das Descargas do Rio Trancão e das ETAR's de Beirolas, S.João da Talha e Frielas

## **Anexo VII**

### **Descarga de Águas Residuais Urbanas**

## ÍNDICE

1. Localização dos pontos de Descarga	1
2. Parâmetros em Análise	3
3. Caracterização do Efluente Bruto	4
4. Eficiência de Tratamento	6
5. Caracterização da Descarga de Águas Residuais Urbanas no Estuário do Tejo	7

## ÍNDICE DE QUADROS

QuadroVII.1 - Caracterização das Estações de Tratamento de Águas Residuais consideradas no estudo	2
QuadroVII.2 - Valores típicos considerados para a caracterização do efluente à entrada da ETAR	3
QuadroVII.3 - Caracterização da Águas Residuais Urbanas à entrada de cada uma das Estações de tratamento consideradas	5
QuadroVII.4 - Eficiências de remoção	7
QuadroVII.5 - Características consideradas para as descargas de Águas Residuais Urbana	8

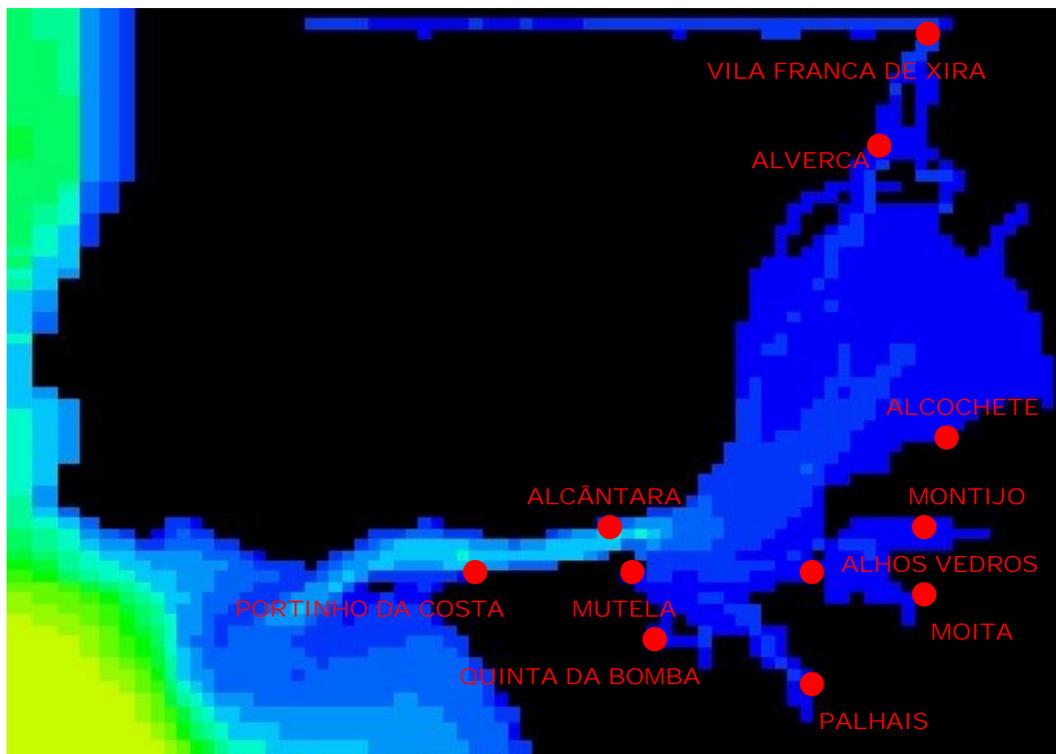
## ÍNDICE DE FIGURAS

FiguraVII.1 - Localização das descargas das Estações de Tratamento de Águas Residuais	1
FiguraVII.2 - Proporções entre as várias formas consideradas de Azoto, existentes nas Águas Residuais Urbanas	4

## 1. Localização dos pontos de Descarga

Na figura seguinte são apresentadas as células que correspondem à descarga de cada uma das ETAR's existentes na envolvente do Estuário Tejo, excepto as estações de Beirolas, S. João da Talha e Frielas.

O *Quadro VIII1* apresenta as ETAR's consideradas, indicando a célula da malha correspondente à localização da sua descarga, bem como a população servida e o tipo de tratamento que utiliza.



FiguraVII.1 - Localização das descargas das Estações de Tratamento de Águas Residuais

Nome	Posição		Coordenadas Militares		Coordenadas Geográficas		População Servida (População Equivalente)	Estado	Tipo de Tratamento
	I_CELL	J_CELL	X	Y	Latitude	Longitude			
Mutela	19	52	111550	190000	38° 40' N	9° 9' W	147900	Projectada	-
Portinho da Costa	20	40	105450	190250	38° 41' N	9° 13' W	140000	Projectada	-
Quinta da Bomba	14	54	112750	187050	38° 39' N	9° 8' W	277750	Funcionamento	Secundário
Alcântara	24	50	109400	192800	38° 42' N	9° 11' W	623435	Funcionamento	Primário
Chelas	29	59	115150	195700	38° 44' N	9° 6' W	210698	Funcionamento	Secundário com Remoção de Azoto
Alhos Vedros	19	66	120400	190250	38° 41' N	9° 3' W	4000	Funcionamento	Secundário
Moita	17	74	124500	188850	38° 38' N	9° 1' W	75780	Projectada	-
Palhas	10	66	119350	185350	38° 38' N	9° 4' W	342467	Funcionamento	Secundário
Montijo	24	74	123850	193200	38° 42' N	9° 1' W	60000	Funcionamento	Primário
Alcochete	32	76	125900	197750	38° 45' N	8° 59' W	10000	Funcionamento	Secundário
Vila Franca de Xira	70	75	126750	221500	38° 58' N	8° 58' W	60100	Projectada	-
Alverca	58	71	122650	213350	38° 53' N	9° 2' W	213339	Projectada	-

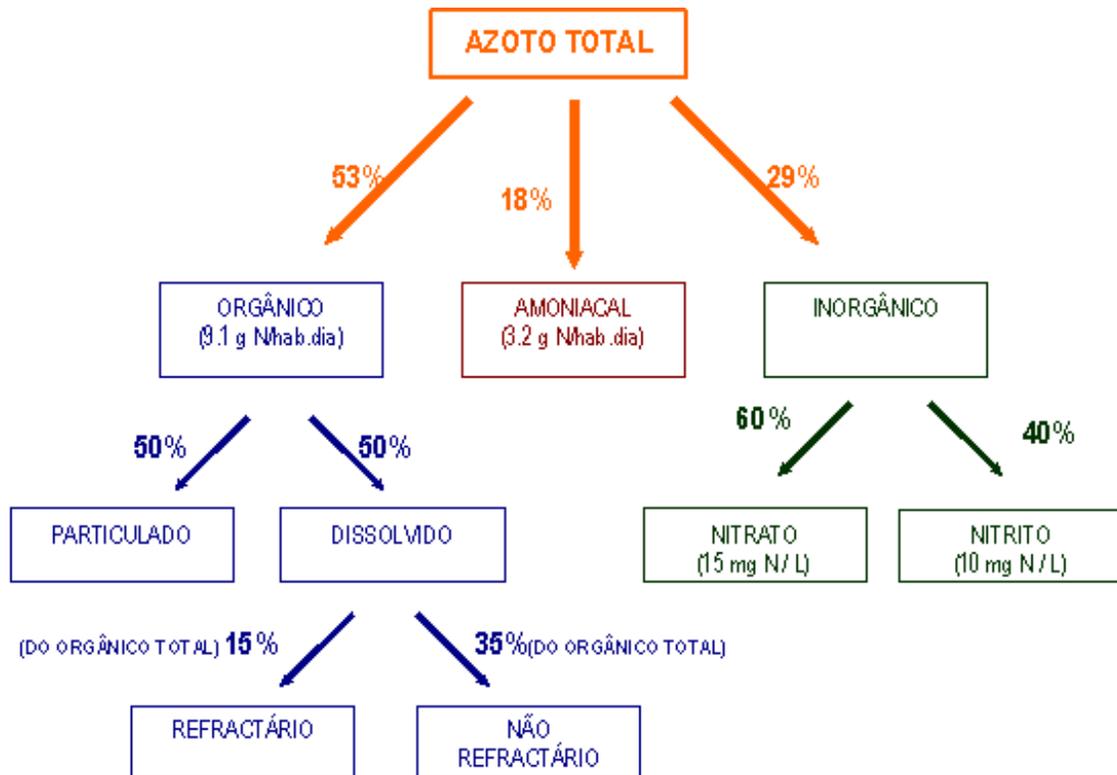
QuadroVII.1 - Caracterização das Estações de Tratamento de Águas Residuais consideradas no estudo

## 2. Parâmetros em Análise

O quadro seguinte apresenta uma síntese dos valores típicos e das considerações utilizadas na quantificação das descargas. Para uma melhor percepção apresentam-se, também, esquematicamente, as proporções consideradas entre as várias formas de Azoto Total.

Propriedade		Considerações
Caudal Médio Diário		200 L / hab. dia
Sólidos Suspensos Totais		90,7 g / hab. dia
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> )		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
Dissolvido	Azoto Orgânico Dissolvido Não Refractário	35% do Azoto Orgânico Total
	Azoto Orgânico Dissolvido Refractário	15% do Azoto Orgânico Total
	Particulado	50% do Azoto Orgânico Total

QuadroVII.2 - Valores típicos considerados para a caracterização do efluente à entrada da ETAR



FiguraVII.2 - Proporções entre as várias formas consideradas de Azoto, existentes nas Águas Residuais Urbanas

### 3. Caracterização do Efluente Bruto

O quadro seguinte apresenta as características do efluente à entrada de cada ETAR, determinadas tendo em conta as considerações estabelecidas no ponto anterior.

Nome	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sólidos Suspensos Totais (mg / L)	Carência Bioquímica de Oxigénio (mg O <sub>2</sub> / L)	Nitrato (mg N /L)	Nitrito (mg N /L)	Azoto Amoniacal (mg N /L)	Azoto Orgânico Dissolvido Refractário (mg N /L)	Azoto Orgânico Dissolvido Não Refractário (mg N /L)	Azoto Orgânico Particulado (mg N /L)
Mutela	0,301	516	341	15,00	10,00	18,2	7,8	18,1	25,9
Portinho da Costa	0,259	567	375	15,00	10,00	20,0	8,5	19,9	28,4
Quinta da Bomba	0,707	413	246	15,00	10,00	14,6	6,2	14,5	20,7
Alcântara	1,985	280	280	7,65	0,05	8,1	3,6	8,6	11,7
Chelas	0,608	180	200	7,65	0,05	8,1	3,6	8,6	18,3
Alhos Vedros	0,009	120	180	11,63	0,08	12,3	5,5	13,0	17,8
Moita	0,175	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Palhas	0,793	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Montijo	0,139	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Alcochete	0,023	160	210	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Vila Franca de Xira	0,139	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Alverca	0,494	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8

QuadroVII.3 - Caracterização da Águas Residuais Urbanas à entrada de cada uma das Estações de tratamento consideradas

#### 4. Eficiência de Tratamento

Em cada uma das ETAR's em funcionamento o efluente é sujeito a um processo de tratamento para redução da concentração de algumas propriedades referentes à qualidade da água. Uma vez que este tratamento difere de estação para estação opta-se por considerar, tendo em conta os dados disponíveis para cada ETAR, que o tratamento por estas realizado pode, de uma forma global, inserir-se em três tipos diferentes de tratamento: Tratamento Primário, Secundário e Secundário com remoção de Azoto. A distinção entre estes dois últimos tipos de tratamento está exactamente na remoção de azoto, pelo que as eficiências respectivas variarão apenas nas propriedades que permitem a quantificação das várias formas de azoto consideradas

Em cada um dos tipos de tratamento, as eficiências de remoção variam, para cada propriedade, dependendo do processo utilizado e também das condições de funcionamento da estação. Consideram-se, deste modo, rendimentos de remoção médios para cada tipo, encontrados na literatura.

Para algumas das ETAR's é possível utilizar dados reais, obtidos através de consulta de relatórios de funcionamento, pelo que para certos parâmetros não é necessário recorrer a valores médios tabelados. Para as restantes, dependendo do seu tipo de tratamento, são considerados os valores indicados no Quadro V.4 para posterior cálculo das características do efluente tratado, que desaguará na zona do Estuário do Tejo.

Note-se que só são aplicadas eficiências de remoção para as ETAR's que se encontram em funcionamento até à data de realização deste estudo. Para as águas residuais relativas às ETAR's previstas ou já projectadas, mas ainda não em funcionamento, considera-se que o efluente bruto é descarregado directamente na zona do estuário onde, posteriormente com o funcionamento da estação, será descarregado o efluente tratado.

Propriedade		Tratamento Primário	Tratamento Secundário	Tratamento Secundário com Desnitrificação
Sólidos Suspensos Totais		50%	85%	85%
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> )		20%	90%	90%
Azoto	Nitrato	0%	100%	100%
Inorgânico	Nitrato	0%	0%	85%
Azoto Amoniacal		0%	10%	10%
Azoto Orgânico		10%	30%	30%
Dissolvido	Azoto Orgânico Dissolvido Refractário	3%	15%	15%
	Azoto Orgânico Dissolvido Não Refractário	3%	100%	100%
	Particulado	4%	15%	15%

QuadroVII.4 - Eficiências de remoção

## 5. Caracterização da Descarga de Águas Residuais Urbanas no Estuário do Tejo

As descargas de Águas Residuais Urbanas no Estuário do Tejo correspondem ao efluente tratado no caso das ETAR's em funcionamento e ao efluente bruto para as projectadas. No quadro seguinte encontram-se os resultados da análise descrita nos pontos anteriores, correspondendo ao que se consideram ser as descargas das águas residuais urbanas na zona do estuário.

Nome	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sólidos Suspensos Totais (mg / L)	Carência Bioquímica de Oxigénio (mg O <sub>2</sub> / L)	Nitrato (mg N /L)	Nitrito (mg N /L)	Azoto Amoniacal (mg N /L)	Azoto Orgânico Dissolvido Refractário (mg N /L)	Azoto Orgânico Dissolvido Não Refractário (mg N /L)	Azoto Orgânico Particulado (mg N /L)
Mutela	0,301	516	341	15,00	10,00	18,2	7,8	18,1	25,9
Portinho da Costa	0,259	567	375	15,00	10,00	20,0	8,5	19,9	28,4
Quinta da Bomba	0,707	67	35	15,00	0	13,1	5,2	0	17,6
Alcântara	1,985	126	196	7,65	0,05	8,1	3,5	8,3	11,2
Chelas	0,608	35	25	1,15	0	7,3	3,1	0	15,5
Alhos Vedros	0,009	83	160	11,63	0	11,1	4,7	0	15,1
Moita	0,175	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Palhais	0,793	68	30	15,00	0	14,4	5,8	0	19,3
Montijo	0,139	227	240	15,00	10,00	16,0	6,6	15,4	21,8
Alcochete	0,023	20	180	15,00	0	14,4	5,8	0	19,3
Vila Franca de Xira	0,139	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8
Alverca	0,494	454	300	15,00	10,00	16,0	6,8	15,9	22,8

QuadroVII.5 - Características consideradas para as descargas de Águas Residuais Urbana

## **Anexo VIII**

### **Quantificação Relativa das Descargas no Estuário do Tejo**

## ÍNDICE

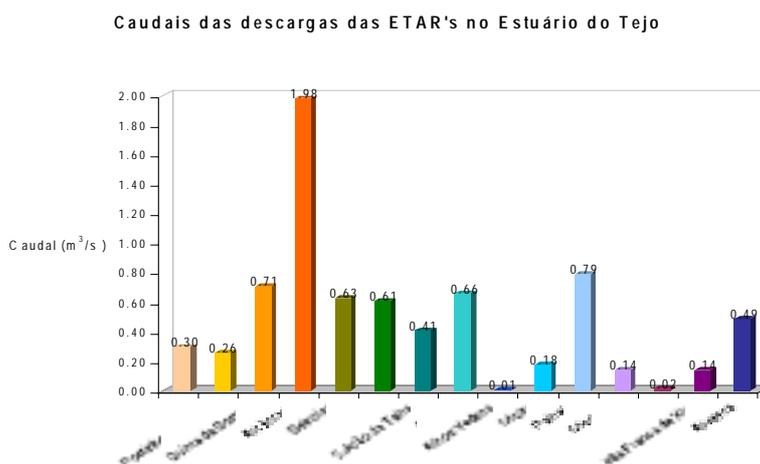
1. Concentração das Propriedades em cada Descarga _____	2
2. Quantificação relativa das várias Descargas _____	5

## ÍNDICE DE FIGURAS

FiguraVIII.1 -Caudais das Descargas das ETAR's	1
FiguraVIII.2 -Concentração de Nitratos presentes nas várias Descargas	2
FiguraVIII.3 -Concentração de Azoto Amoniacal presente nas várias Descargas	3
FiguraVIII.4 -Concentração de Azoto Orgânico Total presente nas várias Descargas	4
FiguraVIII.5 -Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente nas várias Descargas	4
FiguraVIII.6 -Contribuições das várias descargas para o input de Nitratos no Estuário do Tejo	5
FiguraVIII.7 -Contribuições das várias descargas para o input de Azoto Amoniacal no Estuário do Tejo	5
FiguraVIII.8 -Contribuições das várias descargas para o input de Azoto Orgânico Total no Estuário do Tejo	6
FiguraVIII.9 -Contribuições das várias descargas para o input de Sólidos Suspensos Totais no Estuário do Tejo	7

A título de curiosidade, apresentam-se neste anexo alguns gráficos comparativos das características das descargas no estuário, incluindo o Rio Tejo, os efluentes das ETAR's envolventes e o contributo dos Rio Trancão e Sorraia. São consideradas para esta comparação apenas as propriedades mais relevantes neste estudo: Caudal, Concentração de Nitrato, Azoto Amoniacal, Azoto Orgânico Total e Sólidos Suspensos Totais. Esta análise permite, de uma forma global, hierarquizar algumas das principais fontes de nutrientes existentes no estuário o que poderá, eventualmente, contribuir para uma melhor compreensão dos resultados obtidos pelo modelo.

As características do Rio Tejo consideradas nesta análise são as correspondentes à situação média e a comparação é feita para a descarga efectiva no estuário, isto é, considerando o efluente tratado das ETAR's que actualmente se encontram em funcionamento. Também por curiosidade, são apresentadas as descargas relativas às três ETAR's que descarregam no Rio Trancão, permitindo uma comparação mais completa entre ETAR's situadas na envolvente ao estuário. Os valores das concentrações das propriedades destas ETAR's têm associados um efeito de diluição, uma vez que os seus efluentes são transportados pelo Rio Trancão até à zona do Estuário, onde desaguam com concentrações inferiores às iniciais. Após uma primeira análise relativamente às concentrações das descargas consideradas propõe-se uma comparação em termos percentuais das quantidades de cada propriedade presentes nas várias descargas, permitindo uma mais real comparação das contribuições de cada descarga. Em termos de caudal a comparação é feita apenas entre descargas de ETAR's. Os caudais correspondentes ao Rio Tejo, Rio Trancão e Rio Sorraia respectivamente com valores médios de 329,3, 6 e 39,5 m<sup>3</sup>/s, são claramente superiores.

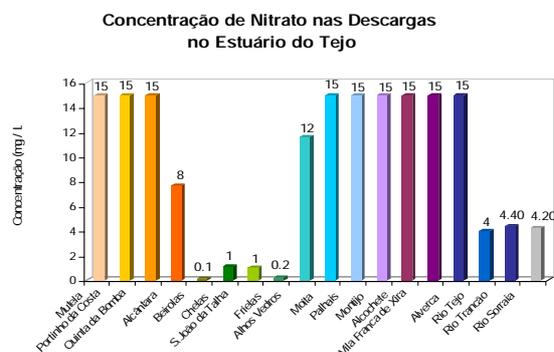


FiguraVIII.1 - Caudais das Descargas das ETAR's

A ETAR de Alcântara sobressai de uma forma muito significativa em resultado do valor de caudal médio diário bastante superior às restantes. Esta ETAR é responsável pelo tratamento de águas residuais urbanas correspondentes a 623435 habitantes. Daí resulta um caudal a tratar muito elevado.

No total, ETAR's que estão ainda em fase de projecto (Mutela, Portinho da Costa, Moita, Vila Franca de Xira e Alverca) permitirão servir uma população equivalente a cerca de 637119 habitantes, embora o caudal a tratar por cada ETAR independente seja relativamente baixo. A estação de Alverca será aquela que, em termos de dimensão, mais se aproxima das estações já em funcionamento.

## 1. Concentração das Propriedades em cada Descarga



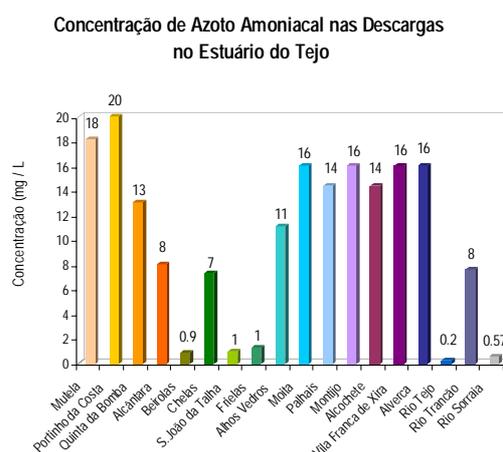
FiguraVIII.2 - Concentração de Nitratos presentes nas várias Descargas

Relativamente às concentrações de nitratos existentes em cada uma das descargas, como é possível visualizar no gráfico anterior, à maior parte dos efluentes das ETAR's está associado um valor de 15 mg N/L o que é explicável pelo facto de este ser um valor assumido como típico, tendo sido admitido quando não se encontravam disponíveis os valores reais.

Salienta-se o caso da ETAR de Alcântara que, apesar de servir uma maior quantidade de habitantes e de apenas proceder ao tratamento primário dos efluentes, não apresenta valores muito elevados de nitrato. Para esta ETAR encontram-se disponíveis relatórios que permitem atribuir o valor de 7.7 para a concentração de nitratos. Esta situação pode indicar que relativamente a esta propriedade o valor típico de 15 mg N/L será possivelmente um valor superior ao que se verifica na realidade o que, de certa forma, corresponde a uma majoração da descarga deste tipo de efluentes.

Pode ainda referir-se que as estações de Beirolas, Chelas e Frielas possuem tratamento secundário com remoção de Azoto. Os níveis de nitratos dos efluentes resultantes são significativamente mais baixos que nas restantes estações. Relativamente à estação de Chelas, esta apresenta um valor de concentração de nitratos que, apesar de pertencer ao grupo de valores significativamente inferiores em termos globais, é mais elevado do que seria de esperar, em especial se comparado com o valor atingido pela estação de S. João da Talha, que apenas possui Tratamento Secundário. Deve, no entanto, referir-se que a descarga das estações de S. João da Talha, Beirolas e Frielas, são lançadas no Rio Trancão, apresentando-se já relativamente diluídas ao chegarem à zona do estuário e, por consequência, com valores muito inferiores às restantes que descarregam directamente para o estuário.

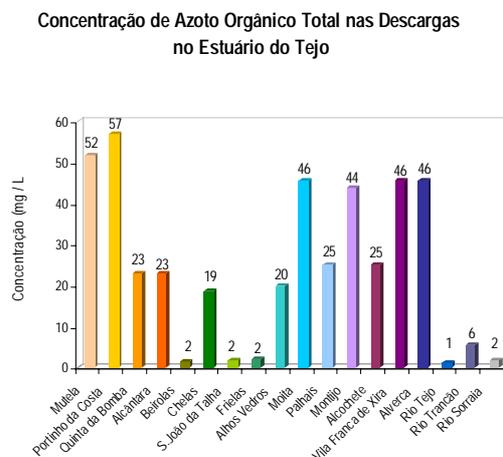
Da observação do gráfico anterior pode ainda dizer-se que, possivelmente, e tendo em conta os pressupostos assumidos para a quantificação deste tipo de descargas, o Rio Trancão e o Rio Sorraia têm uma contribuição, em termos de nitratos, semelhante.



FiguraVIII.3 - Concentração de Azoto Amoniacal presente nas várias Descargas

Das descargas de Azoto Amoniacal no estuário salientam-se os efluentes brutos das futuras ETAR's de Mutela e Portinho da Costa, bem como das outras estações ainda em fase de projecto. Como seria de esperar, as estações que utilizam um tratamento secundário com remoção de Azoto são aquelas cujas descargas, em termos de Azoto Amoniacal, são menores. Mais uma vez as estações de Beirolas, S. João da Talha e Frielas atingem valores muito baixos, em particular o caso de S. João da Talha relativamente a Chelas, podendo, mais uma vez, ser explicado pelo efeito de diluição dos efluentes no Rio Trancão.

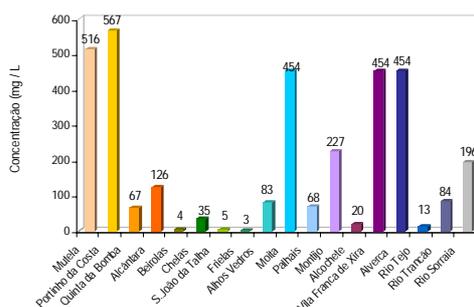
O Rio Trancão, no que diz respeito ao Azoto Amoniacal, apresenta valores bastante significativos ao contrário do Rio Tejo e do Rio Sorraia.



FiguraVIII.4 - Concentração de Azoto Orgânico Total presente nas várias Descargas

Em termos de Azoto Orgânico Total, as maiores contribuições surgem das descargas que correspondem a ETAR's que se encontram em fase de projecto, sendo os seus valores correspondentes muito superiores aos que resultam de ETAR's já em funcionamento. Identificam-se, mais uma vez, as ETAR's de Beirolos, S.João da Talha e Frielas como as menos "poluidoras" do estuário, em termos de Azoto Orgânico Total.

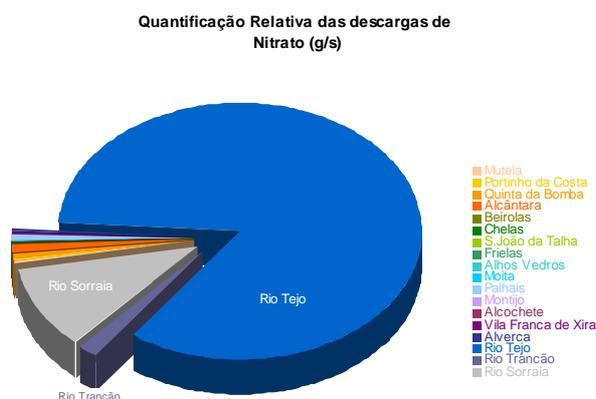
**Concentração de Sólidos Suspensos Totais nas Descargas  
no Estuário do Tejo**



FiguraVIII.5 - Concentração de Sólidos Suspensos Totais presente nas várias Descargas

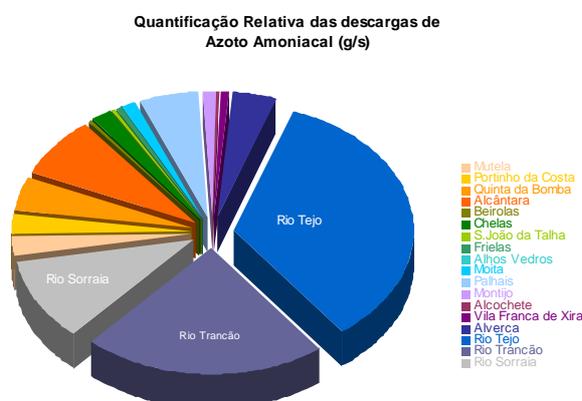
O gráfico anterior evidencia claramente os efluentes das ETAR's que se encontram em fase de projecto, como sendo as descargas mais significativas de sólidos suspensos totais, em oposição às ETAR's de Beirolos, S. João da Talha e Frielas que também, para esta propriedade, apresentam os valores mais baixos. O Rio Sorraia apresenta valores de concentração de Sólidos Suspensos Totais significativamente maiores que os restantes rios considerados.

## 2. Quantificação relativa das várias Descargas



FiguraVIII.6 - Contribuições das várias descargas para o input de Nitratos no Estuário do Tejo

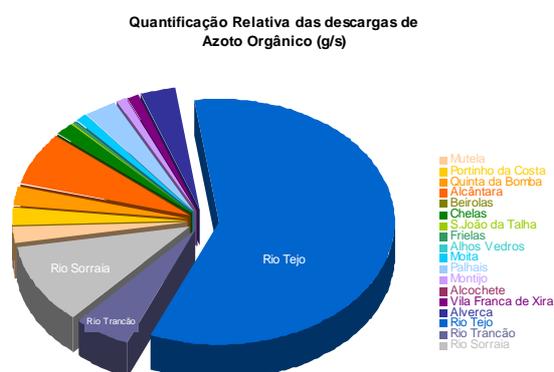
A figura anterior permite identificar quais as contribuições, da propriedade Nitrato, das diferentes descargas, para o Estuário do Tejo. Esta contribuição é quantificada em termos de percentagem face ao total de input para o Estuário. Pode concluir-se que o Rio Tejo é a principal fonte de Nitratos do estuário, representando cerca de 84% do total de descargas. Segue-se a contribuição do Rio Sorraia, com 11% e o Rio Trancão com 2%. Conclui-se que efectivamente as ETAR's totalizam uma contribuição bastante baixa de nitratos para o Estuário do Tejo, apenas cerca de 4% das descargas totais de nitrato.



FiguraVIII.7 - Contribuições das várias descargas para o input de Azoto Amoniacal no Estuário do Tejo

Em termos de Azoto Amoniacal verifica-se, observando a figura anterior que as contribuições das ETAR's para a descarga total na Zona do Estuário não podem ser desprezadas atingindo no total cerca de 33% do total de descargas, valor este que se aproxima bastante daquele que é característico do Rio Tejo, 35%. Também os Rio Trancão e Sorraia apresentam valores importantes, respectivamente 22 e 11%.

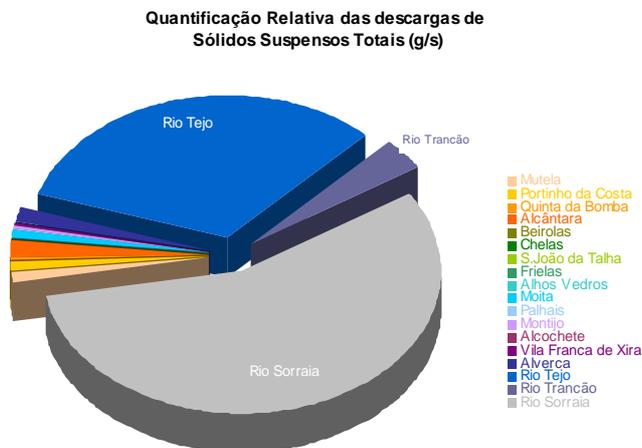
Analisando apenas entre as várias ETAR's destaca-se a ETAR de Alcântara com uma contribuição de 8%, seguida de Palhais com 5%. Note-se que a ETAR de Alcântara além de servir uma maior quantidade de população, cerca de 623425 habitantes, apenas dispõe de tratamento primário, pelo que os rendimentos na remoção de Azoto Amoniacal são mais baixos, ao que corresponderá descargas com maiores contribuições. A estação de Palhais é também uma das estações com maior população equivalente explicando-se desta forma os valores relativamente mais elevados. As estações de Alverca e de Quinta da Bomba apresentam valores na ordem dos 4%.



FiguraVIII.8 - Contribuições das várias descargas para o input de Azoto Orgânico Total no Estuário do Tejo

Em termos de descargas de Azoto Orgânico Total, mais uma vez destaca-se o Rio Tejo como principal contribuinte, com 59% do total das descargas, seguindo do Rio Sorraia, 11% e da ETAR de Alcântara com cerca de 7%, uma vez que utiliza um tratamento primário de remoção de nutrientes. O Rio Trancão aparece nesta figura com um valor de 5% uma vez que apesar de em termos de concentração apresentar um valor superior aos restantes rios, o seu caudal é significativamente mais baixo pelo que a sua contribuição em termos de carga efectiva é menor.

Em termos globais as ETAR's contribuem para a descarga de Azoto Orgânico Total com cerca de 26% o que é significativo.



FiguraVIII.9 - Contribuições das várias descargas para o input de Sólidos Suspensos Totais no Estuário do Tejo

Relativamente às descargas em termos de Sólidos Suspensos Totais o Rio Sorraia apresenta uma contribuição de 56%, seguida do Rio Tejo, com 32%. A ETAR's, em termos de Sólidos Suspensos Totais totalizam uma contribuição de 8% enquanto o Rio Trancão representa apenas cerca de 4%. De entre as ETAR's analisadas destaca-se a estação de Alcântara que devido à grande quantidade de população que abastece apresenta uma contribuição um pouco superior às restantes.

## **Anexo IX**

### **Sistematização de Tratamento de Dados**

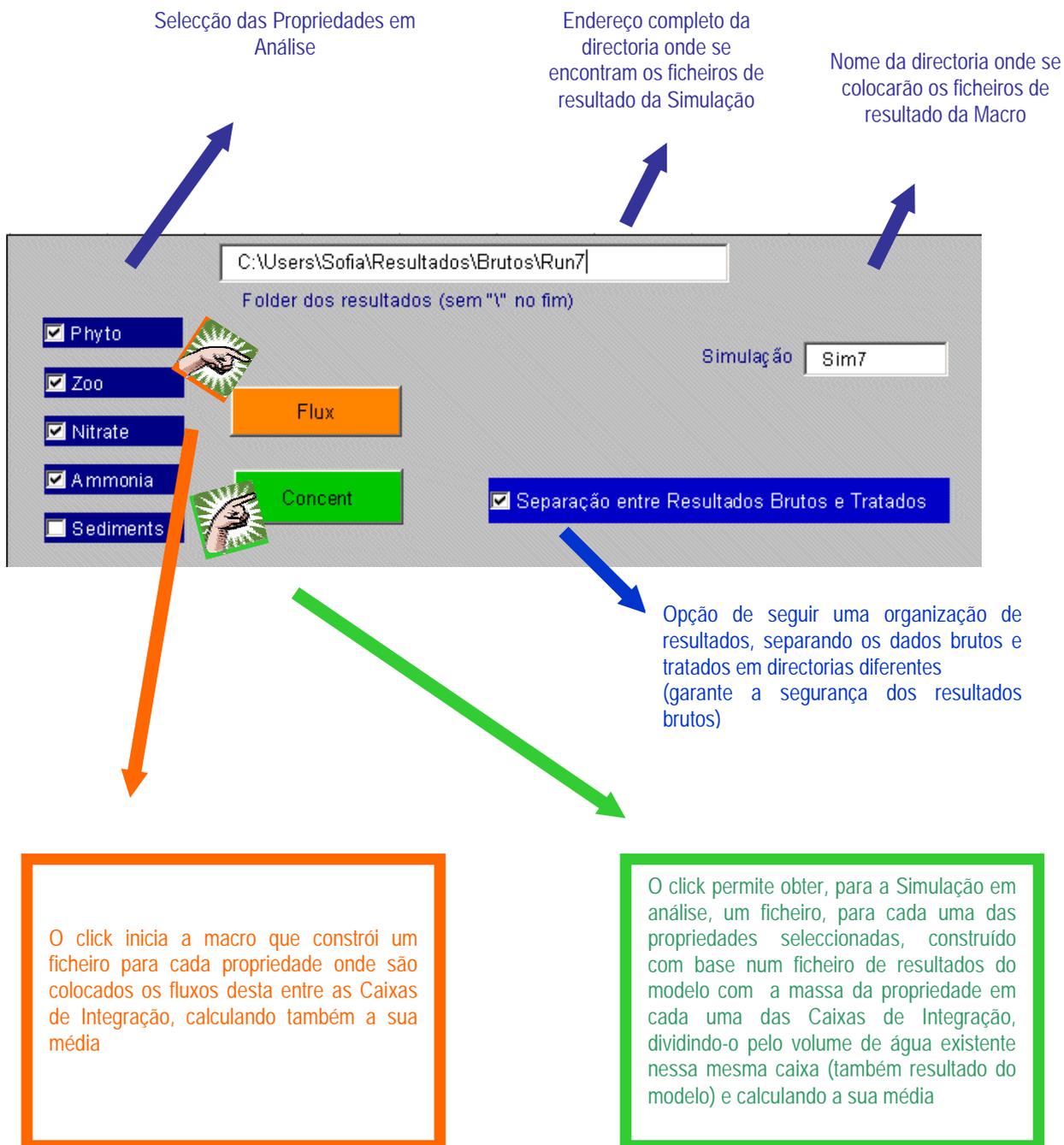
## INTRODUÇÃO

A análise dos resultados obtidos pelo modelo nas várias simulações é de facto uma das etapas fundamentais da execução de um estudo deste tipo. Talvez a melhor forma de interpretar esses mesmos resultados seja a utilização de gráficos comparativos.

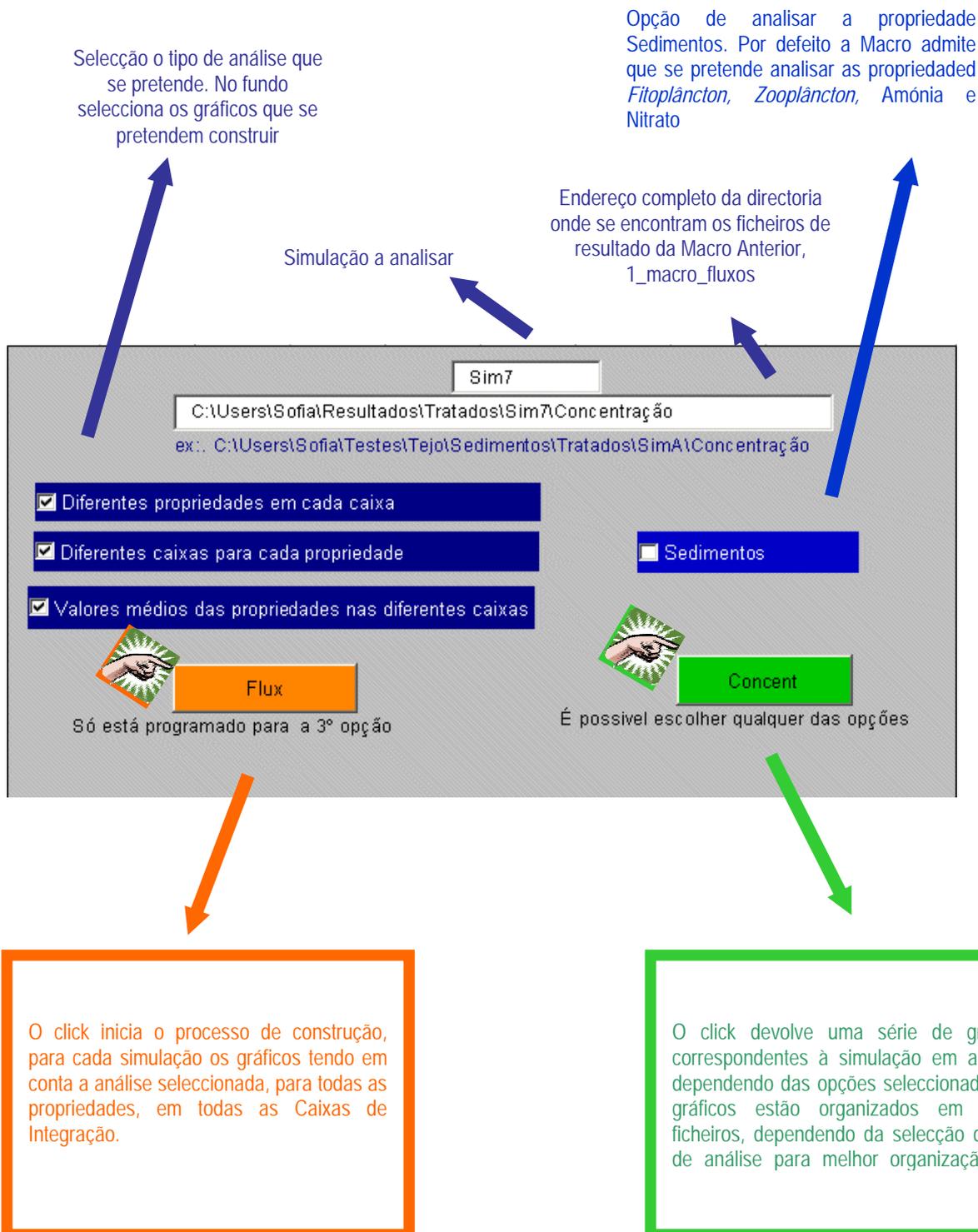
Ao trabalhar com uma grande quantidade de resultados, na forma de séries temporais com um grande número de linhas, de várias propriedades, em vários cenários, fazendo médias e balanços, que são no fundo tarefas muito repetitivas, é muito provável que aconteça um erro humano, por vezes pondo em causa possíveis conclusões importantes. Associando ainda a quantidade tempo dispendida na construção desses mesmos gráficos, torna-se fundamental a sistematização do processo de tratamento de dados. Nesse sentido, para a execução deste estudo, foi utilizada a programação em Visual Basic (VB) de funções típicas do Excel, recorrendo a Macros.

Foram criadas três Macros principais que devem se utilizadas pela ordem correcta, as quais sinteticamente se descrevem de seguida.

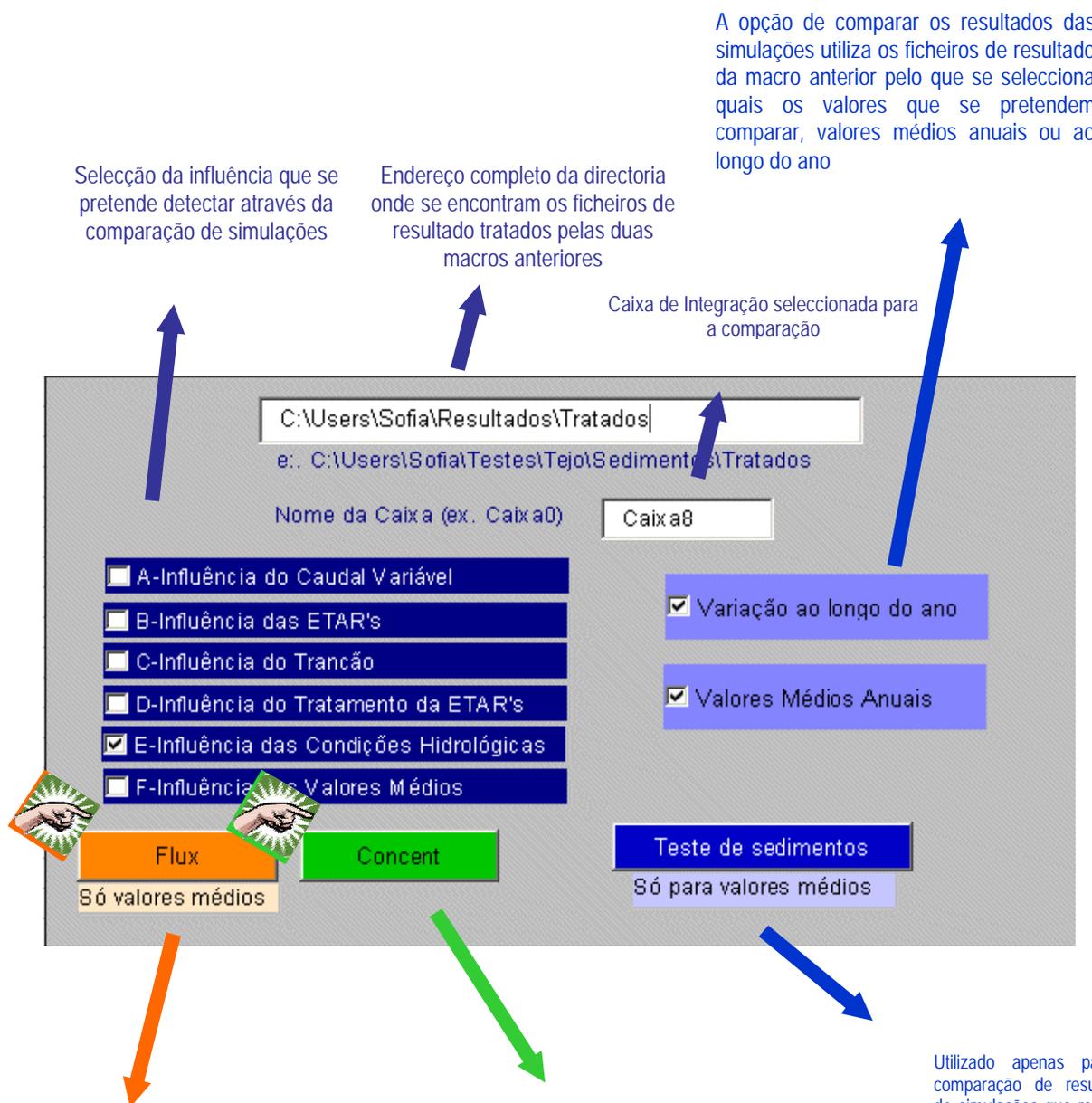
# 1\_macro\_fluxos



## 2\_SimChart



### 3\_Comp\_Chart



A opção de comparar os resultados das simulações utiliza os ficheiros de resultado da macro anterior pelo que se selecciona quais os valores que se pretendem comparar, valores médios anuais ou ao longo do ano

Funciona da mesma forma que para a concentração mas com a diferença de esta comparação só ser feita recorrendo aos valores médio de fluxo e não há sua variação ao longo do ano.

Dependendo da selecção do tipo de influência, o programa escolhe quais as simulações que precisa comparar e abre os ficheiros resultantes das duas macros anteriores, sabendo à partida que se pretendem comparar o tipo de dados seleccionado (médios ou anuais). São construídos os gráficos correspondentes e devolvidos num ficheiro com a letra correspondente à comparação

Utilizado apenas para a comparação de resultados de simulações que resultam de um teste de sedimentos. Sabendo quantas simulações constituem o teste de sedimentos, compara os seus resultados através dos ficheiros que resultam das outras macros apenas para os valores médios nas caixa. Constrói também os gráficos relativos à comparação de fluxos entre caixas

## **Anexo X**

### **Análise dos Resultados para a Situação de Referência**

**(Ano Médio)**

## ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
1. Figuras de Resultados	2
2. Análise das Séries Temporais	4
2.1. Concentração das Propriedades	4
2.1.1. Variação ao longo do Tempo	4
2.1.2. Valores Médios Anuais	9
2.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas	10

## ÍNDICE DE FIGURAS

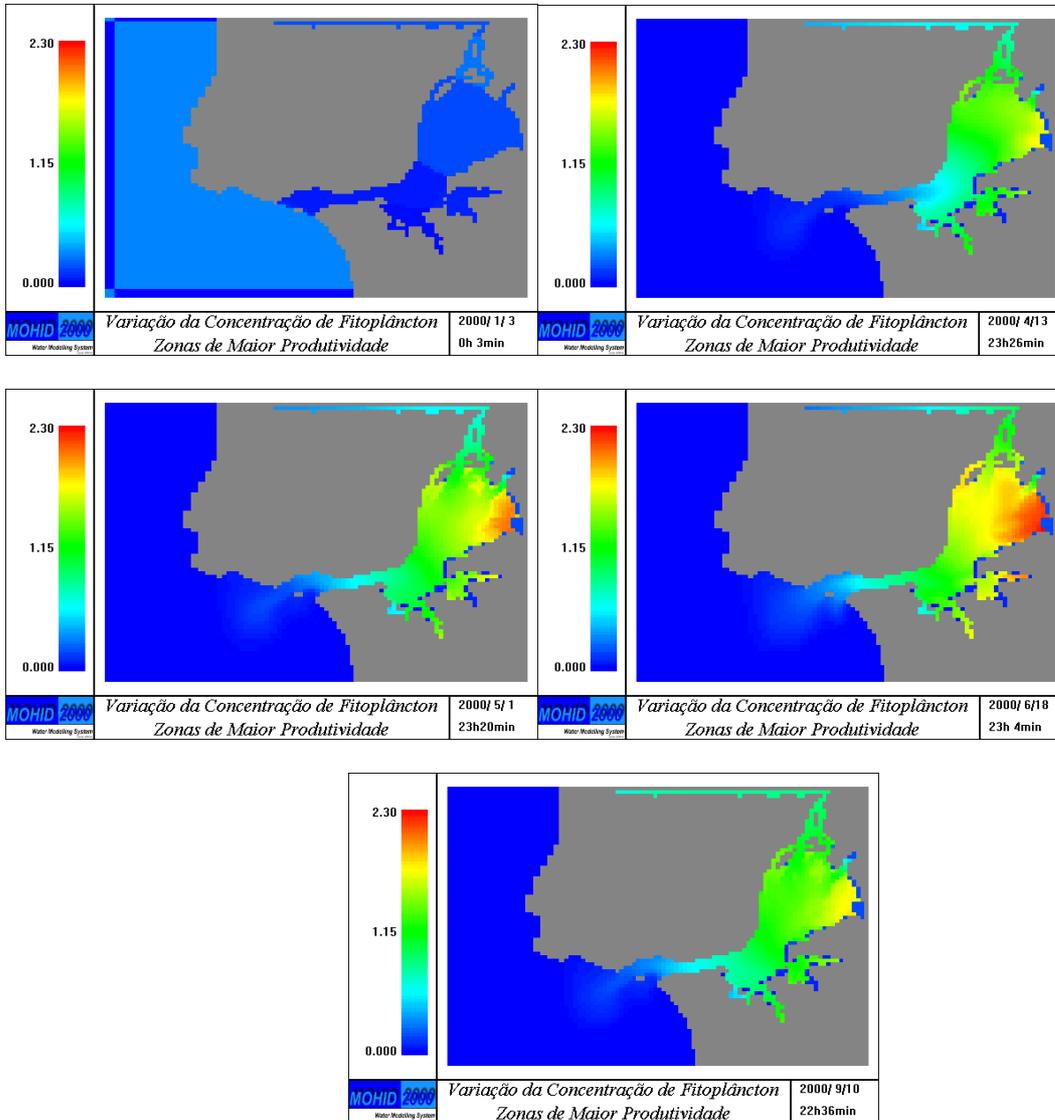
Figura X.1 -Variação da Concentração de <i>Fitoplâncton</i> ao longo do ano nas várias Caixas de Integração	4
Figura X.2 -Variação da Concentração de <i>Zooplâncton</i> ao longo do ano nas várias Caixas de Integração	5
Figura X.3 -Variação da Concentração de Amónia ao longo do ano nas várias Caixas de Integração	6
Figura X.4 -Variação da Concentração de Nitrato ao longo do ano nas várias Caixas de Integração	7
Figura X.5 -Variação de Concentração ao longo do ano, na Caixa 5	8
Figura X.6 -Valores Médios de Concentração em cada caixa	9
Figura X.7 -Valores Médios Anuais de Fluxo de Massa entre caixas	10
Figura X.8 -Fluxo Médio Anual de <i>Fitoplâncton</i> entre caixas caixas para um Ano Médio	11
Figura X.9 -Fluxo Médio Anual de <i>Zooplâncton</i> entre caixas para um Ano Médio	11
Figura X.10 -Fluxo Médio Anual de Amónia entre caixas para um Ano Médio	12
Figura X.11 -Fluxo Médio Anual de Nitrato entre caixas para um Ano Médio	13
Figura X.12 -Fluxos Anuais de Entrada e Saída do Estuário	14
Figura X.13 -Balanço de <i>Fitoplâncton</i> no Estuário do Tejo	14
Figura X.14 -Balanço Anual de <i>Zooplâncton</i> no Estuário do Tejo	15
Figura X.15 -Balanço Anual de Amónia no Estuário do Tejo	15
Figura X.16 -Balanço Anual de Nitrato no Estuário do Tejo	16
Figura X.17 -Taxa de Consumo do Nitrato pelo <i>Fitoplâncton</i>	17
Figura X.18 -Taxa de Consumo de Nitrato pelo Processo de Desnitrificação	17
Figura X.19 -Taxa de Produção de Nitrato pela Nitrificação	17
Figura X.20 -Quantidade de nitrato consumida pelo <i>Fitoplâncton</i> em cada caixa	Error! Bookmark not defined.
Figura X.21 -Quantidade de nitrato consumida pela Desnitrificação em cada caixa	Error! Bookmark not defined.
Figura X.22 -Quantidade de nitrato produzida pela Nitrificação	Error! Bookmark not defined.

## INTRODUÇÃO

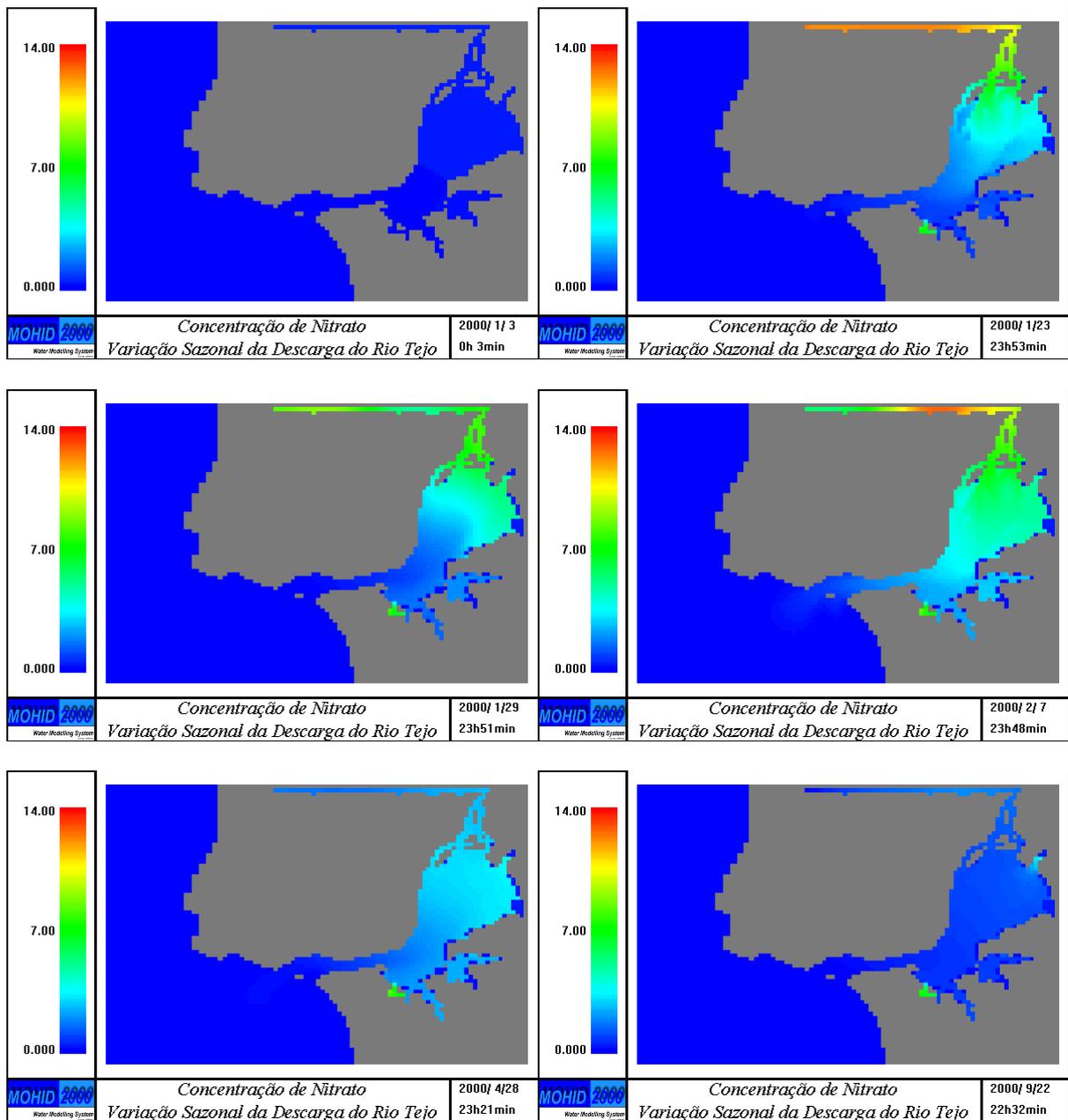
Pretende-se com este Anexo descrever de uma forma mais detalhada os resultados obtidos para a simulação que se considera de referência, isto é, aquela que servirá de base para detectar as influências que se pretendem estudar. Esta simulação considera que existem quatro descargas para o Estuário do Tejo: a descarga do Rio Tejo, variável ao longo do tempo e considerando condições de um Ano Médio, descarga dos Rios Trancão e Sorraia que são constantes ao longo do ano e ainda as descargas dos efluentes tratados das Estações de Tratamento localizadas na envolvente do Estuário.

A análise é feita recorrendo às séries temporais de valores registados em cada caixa de integração, que por sua vez resulta da média de valores registados nas células que constituem cada uma das caixas. Os resultados serão maioritariamente apresentados sob a forma de gráficos ou figuras e atendendo a que se pretendem analisar as variações de Fitoplâncton, Zooplâncton, Nitrato e Amónia. Como resultado do modelo pode ainda obter-se as séries de fluxos de massa das várias propriedades entre as caixas.

## 1. Figuras de Resultados



As figuras revelam que a caixa 8 é a caixa mais produtiva no Estuário do Tejo, correspondendo a uma zona de Sapal. A sequência das figuras indica um período de maior crescimento durante a estação de Primavera/Verão.



Verifica-se a variabilidade da descarga de Nitrato do Rio Tejo bem como, em algumas figuras a descarga do Rio Sorraia. No período de calor, durante o crescimento máximo do *Fitoplâncton* parece existir uma acentuada diminuição da concentração de Nitrato no meio, provocada pelo consumo deste produtor primário.

## 2. Análise das Séries Temporais

A análise dos resultados é feita recorrendo às séries temporais que constituem os ficheiros de saída do modelo. Os resultados que se apresentam resultam da aplicação de macros construídas a partir do Excel, com o objectivo de facilitar e sistematizar o tratamento dos dados de cada simulação.

### 2.1. Concentração das Propriedades

Numa primeira fase são apresentadas e discutidas as variações de cada propriedade ao longo do tempo, seguindo-se uma análise em termos de médias anuais.

#### 2.1.1. Variação ao longo do Tempo

As figuras seguintes permitem evidenciar a variação de concentração de *Fitoplâncton* e *Zooplâncton* ao longo de um ano, nas várias caixas de integração de forma a verificar possíveis anomalias no andamento das curvas.

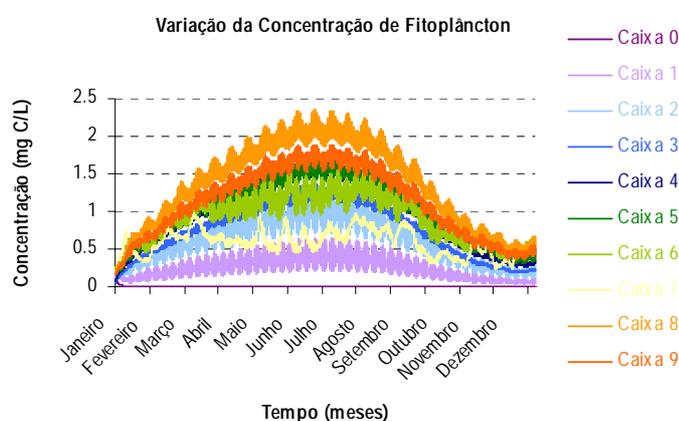


Figura X.1 - Variação da Concentração de *Fitoplâncton* ao longo do ano nas várias Caixas de Integração

A variação de *Fitoplâncton* ao longo do ano parece ter, em todas as caixas, um comportamento semelhante e até certo ponto previsível. Ou seja, no início do ano, no mês de Janeiro os valores são baixos, subindo gradualmente, acompanhando o aumento de temperatura característico de um ano médio, atingindo um pico de concentração na altura da Primavera, por volta do mês de Junho, ou

Julho, descendo depois até ao final do ano. Este andamento verifica-se para todas as caixas de integração à excepção da caixa 7, onde se encontra localizada a descarga do Rio Tejo. Nesta caixa, a curva descrita pela concentração de *Fitoplâncton* evidencia uma variabilidade acentuada que difere das restantes caixas, variabilidade esta explicada pela forte influência que a descarga do Rio Tejo exerce sobre esta caixa.

A caixa 0, que corresponde ao mar, apresenta igualmente diferenças, relativamente às outras pelo facto de nela se apresentarem concentrações muito baixas, para todas as propriedades analisadas, o que seria de esperar uma vez que se trata de uma massa de água muito maior. O pico de concentração na estação do calor é uma das características do crescimento do *Fitoplâncton* nos climas temperados. A existência deste pico é explicada, por diversos autores, como o resultado da subida da temperatura nesta estação do ano, acompanhado pelo aumento das horas de luz o que consequentemente indicará uma maior quantidade de energia primária para desencadear o processo da fotossíntese, levada a cabo pelo *Fitoplâncton*, como foi já referido em outros pontos do trabalho. O valor mais elevado da concentração neste pico de Primavera é atingido na caixa que corresponde à região do Sapal, caixa 8, de encontra às expectativas, uma vez que intuitivamente esta seria a caixa mais produtiva, com valores próximos de 2,5 mg C/L.

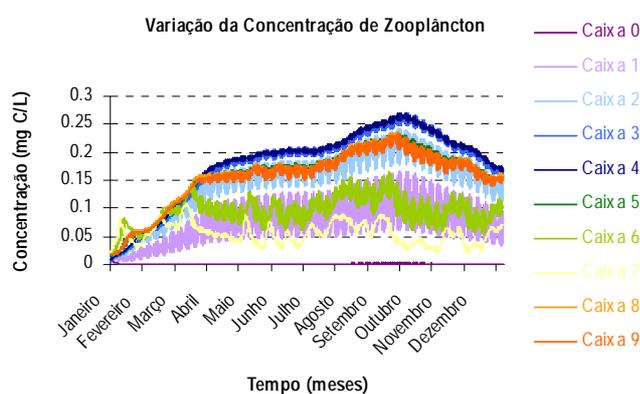


Figura X.2 - Variação da Concentração de *Zooplâncton* ao longo do ano nas várias Caixas de Integração

O *Zooplâncton* apresenta um comportamento ao longo do ano que também seria de esperar, tendo em conta o seu comportamento típico em zonas de Estuário. Ou seja, sendo o *Fitoplâncton* a sua principal fonte de energia, o crescimento deste influencia de uma forma muito significativa o crescimento do

*Zooplâncton*. Desta forma, também este produtor secundário apresenta um pico de concentração em determinada altura do ano, no mês de Outubro que acontece um pouco desfasado do pico do *Fitoplâncton*, este desfasamento depende da capacidade de consumo do *Zooplâncton*, do seu tempo de resposta.

Apesar de não se considerar muito significativo, será interessante tentar explicar o facto de a concentração de *Zooplâncton* revelar um maior crescimento em dois períodos do ano: Março/Abril e em Setembro/Outubro, quando se esperaria apenas um. A concentração de nutrientes no estuário é maior no período inicial do ano, estação das chuvas, e, apesar de não ser a estação de maior crescimento de *Fitoplâncton*, esta maior abundância de nutrientes poderia ter, de alguma forma, incentivar o seu crescimento. Mesmo que, em termos globais, esse crescimento não seja detectável, talvez tenha sido o suficiente para permitir também ao *Zooplâncton* maior crescimento e, este ser mais perceptível, uma vez que a sua concentração face à do *Fitoplâncton* é cerca de uma ordem de grandeza inferior, pelo que pequenas subidas são mais facilmente detectáveis. Após este primeiro crescimento, surge um pequeno “patamar”, talvez devido ao possível abrandamento do crescimento do *Fitoplâncton*. Surge depois a estação do calor, intensificando-se o consumo dos nutrientes e o aumento da produção de biomassa, em primeiro lugar do produtor primário, seguindo-se-lhe por consequência e com algum desfasamento o pico natural do produtor secundário.

Mais uma vez em todas as caixas existe um comportamento semelhante ao longo do ano atingindo-se maiores concentrações de *Zooplâncton*.

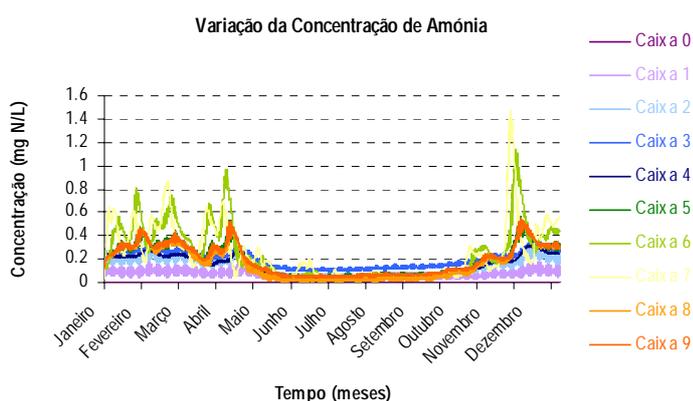


Figura X.3 - Variação da Concentração de Amónia ao longo do ano nas várias Caixas de Integração

Na figura anterior verifica-se que as caixas 6 e 7 são aquelas que apresentam uma maior variabilidade de concentrações possivelmente relacionada com o facto de estas estarem muito sujeitas à descarga imposta no Rio Tejo. Na caixa 7 está localizado o ponto de descarga do Rio Tejo e a caixa 6 é aquela que no fundo corresponde à primeira caixa do Estuário. Apresentam, no entanto, o mesmo tipo de variação ao longo do ano que as restantes caixas.

Durante o Verão a concentração de Amónia, de uma maneira geral, diminui, o que é claramente explicado pelo grande consumo deste nutriente pelo *Fitoplâncton* que tem neste período do ano o seu máximo de crescimento. Pode ainda referir-se, que como seria de esperar, nas caixas onde existe maior produção de *Fitoplâncton* são as caixas onde a diminuição de Amónia mais se faz sentir. Diminuição esta que se converte em aumento, no final do pico de Primavera.

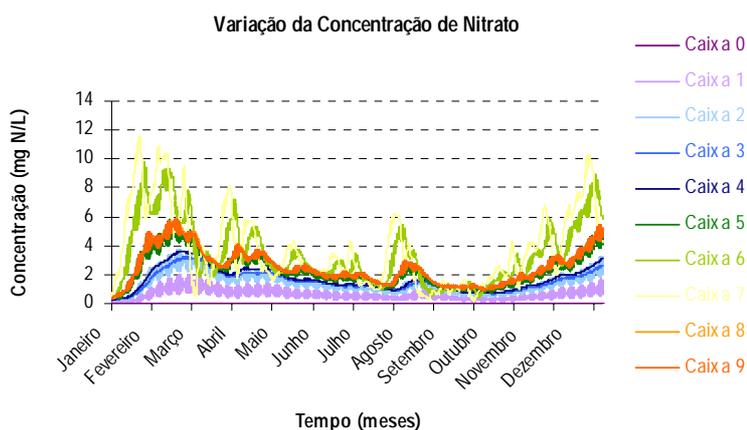


Figura X.4 - Variação da Concentração de Nitrato ao longo do ano nas várias Caixas de Integração

De maneira geral, em todas as caixas as concentrações de Nitrato existentes são superiores às concentrações de Amónia, o que reflecte de certa forma a preferência do *Fitoplâncton* por este nutriente relativamente ao Nitrato.

Da observação da figura anterior mais uma vez se evidencia a semelhança da variação da concentração de Nitrato, ao longo do ano, nas diferentes caixas de integração. Embora sendo um nutriente menos consumido, verifica-se que na estação de maior calor, que corresponde à estação de maior crescimento de *Fitoplâncton*, existe uma clara diminuição da concentração de nitrato presente no meio, que vem de encontro ao que se esperaria.

Para uma melhor visualização das proporções entre as propriedades analisadas, apresenta-se na figura seguinte, *Figura X.5*, a variação das concentrações das propriedades no interior da caixa 5, apenas como exemplo.

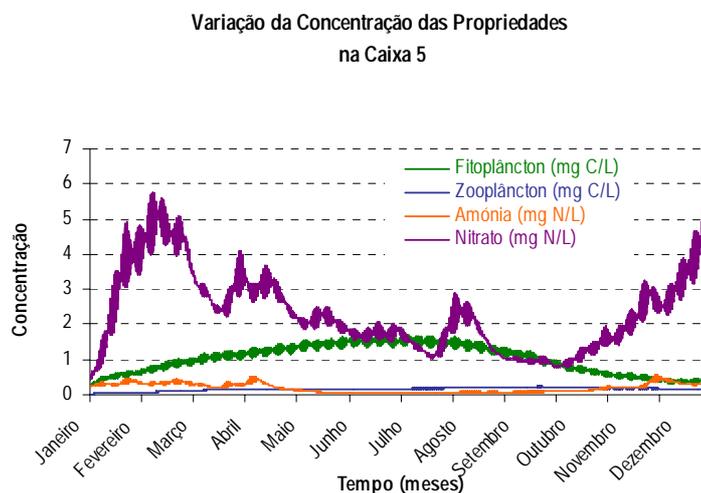


Figura X.5 - Variação de Concentração ao longo do ano, na Caixa 5

As quantidades de Nitrato existente no meio são de facto superiores às restantes propriedades apesar de durante o crescimento do *Fitoplâncton* se atingir valores mais baixos. As concentrações de Amónia e também de Zooplâncton são bastante inferiores às restantes. A Amónia por ser um nutriente que é consumido preferencialmente em relação a outros, encontra-se no meio marinho em concentrações bastante baixas, não atingindo, no entanto, valores nulos uma vez que igualmente se trata de um dos maiores produtos de excreção de grande parte dos animais e mesmo do *Fitoplâncton*. A concentração de Zooplâncton é também bastante inferior à de *Fitoplâncton*, uma vez que pertence ao nível trófico seguinte, sendo necessário para satisfazer as necessidades energéticas de cada organismo Zooplâncton, mais do que um indivíduo de *Fitoplâncton*.

## 2.1.2. Valores Médios Anuais

A figura seguinte representa as concentrações médias atingidas em cada uma das caixas de integração que constituem o Estuário do Tejo.

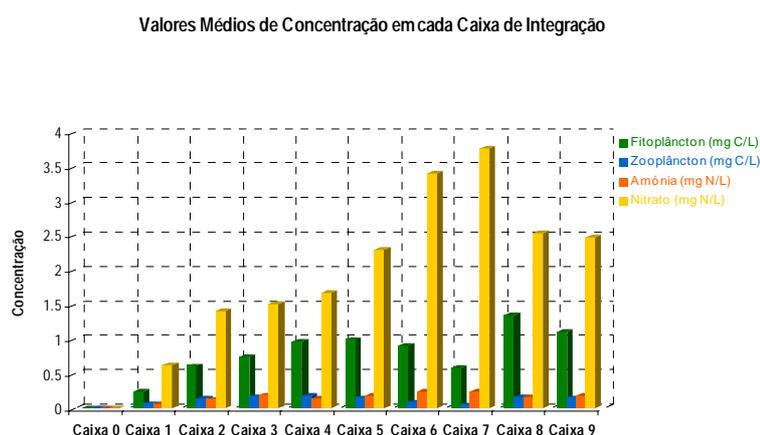


Figura X.6 - Valores Médios de Concentração em cada caixa

Mais uma vez se evidencia a maior quantidade de Nitrato presente no meio relativamente às restantes propriedades. Estes valores são particularmente elevados nas caixas 7 e 6 que, como referido anteriormente, dizem respeito a caixas que à partida estarão mais sujeitas ao efeito das descargas do Rio Tejo, cuja componente em Nitratos é bastante elevada. Em termos de Amónia, apesar de os valores serem significativamente mais baixos, também nas caixas 6 e 7 se encontram valores considerados elevados, mais um efeito da descarga do Rio Tejo. Também nas caixas 3 e 4 a concentração de Amónia é um pouco superior, possivelmente devido à descarga dos efluentes da ETAR's, uma vez que estas são as caixas onde estão localizadas a maior parte das estações, sendo a Amónia um dos principais constituintes destas descargas.

A caixa 8, com 1.25 mg C/L, seguida da caixa 9, são as aquelas que em termos médios apresentam uma maior concentração de *Fitoplâncton*, como seria de esperar após a análise da variação ao longo do ano. Correspondem a caixas com uma produtividade em termos de biomassa fitoplanctónica superior às restantes. Para o *Zooplâncton* são, as caixas 4 (0.18 mg C/L) e 3 aquelas com maior valor

médio de concentração, não sendo, no entanto, uma diferença muito significativa relativamente à caixa 8 (0.16 mg C/L) na qual seria de esperar uma maior concentração de *Zooplâncton*.

## 2.2. Fluxo das Propriedades entre Caixas

A figura seguinte representa os valores médios anuais do fluxo de massa das propriedades entre as Caixas de Integração de forma a visualizar o movimento no interior do estuário e possivelmente detectar zonas de maior produção ou maior consumo de nutrientes.

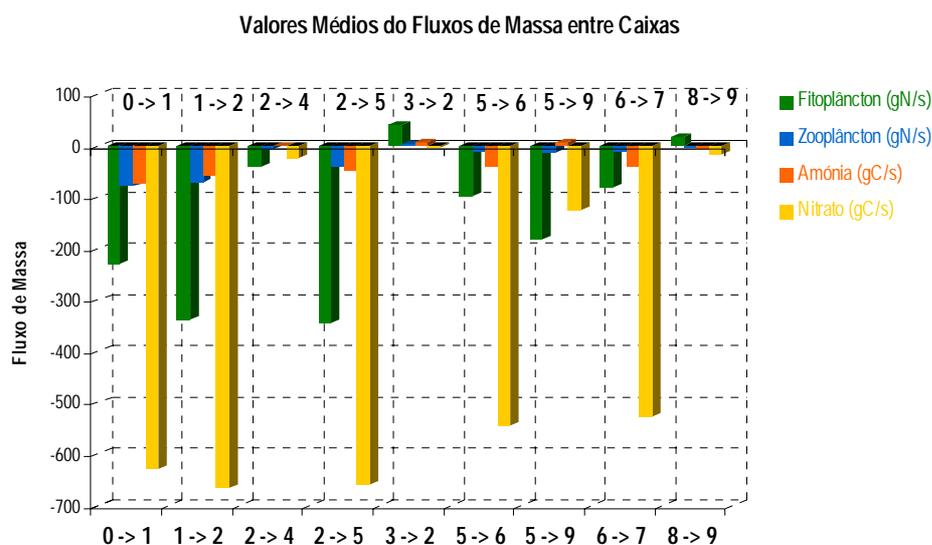


Figura X.7 - Valores Médios Anuais de Fluxo de Massa entre caixas

O facto de alguns dos fluxos serem negativos é apenas uma convenção para definir o sentido desses mesmos fluxos. As figuras seguintes são no fundo uma outra maneira de visualizar os resultados que nos permite compreender o sentido dos fluxos apresentados no gráfico anterior.

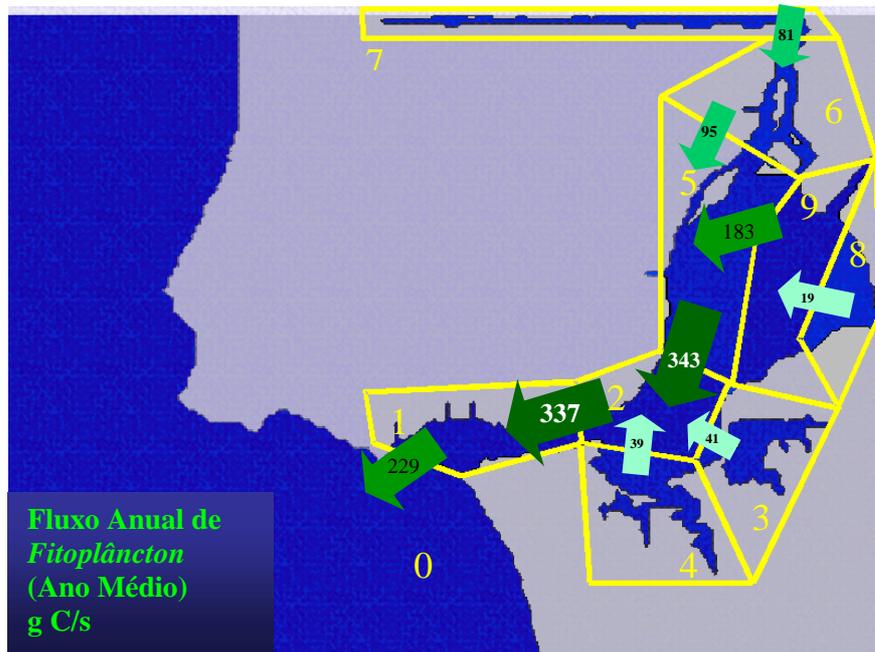


Figura X.8 - Fluxo Médio Anual de *Fitoplâncton* entre caixas para um Ano Médio

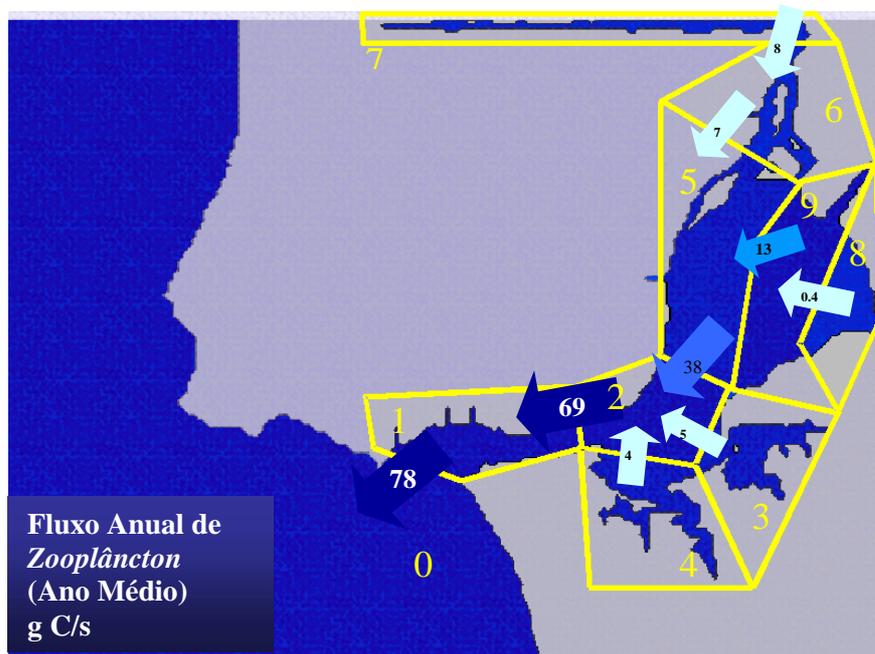


Figura X.9 - Fluxo Médio Anual de *Zooplâncton* entre caixas para um Ano Médio

Verifica-se que, em todas as caixas, o fluxo tem o sentido de dentro para fora, pelo que se pode concluir que o Estuário exporta *Fitoplâncton* e *Zooplâncton* para o mar. O fluxo entre as caixas 2 e 5 revela-se como o mais elevado, seguido do fluxo entre as caixas 5 e 9, o que revela a elevada

produção nas caixas 8 e 9 que depois transferem alguma quantidade para a caixa 5, esta para a caixa 2 e seguindo para a caixa 1 que conduz finalmente à saída do Estuário, a caixa 0. Note-se ainda, que a transferência de massa da caixa 8 para a caixa 9 é bastante reduzida pelo que a primeira apresenta valores de concentração superiores às restantes.

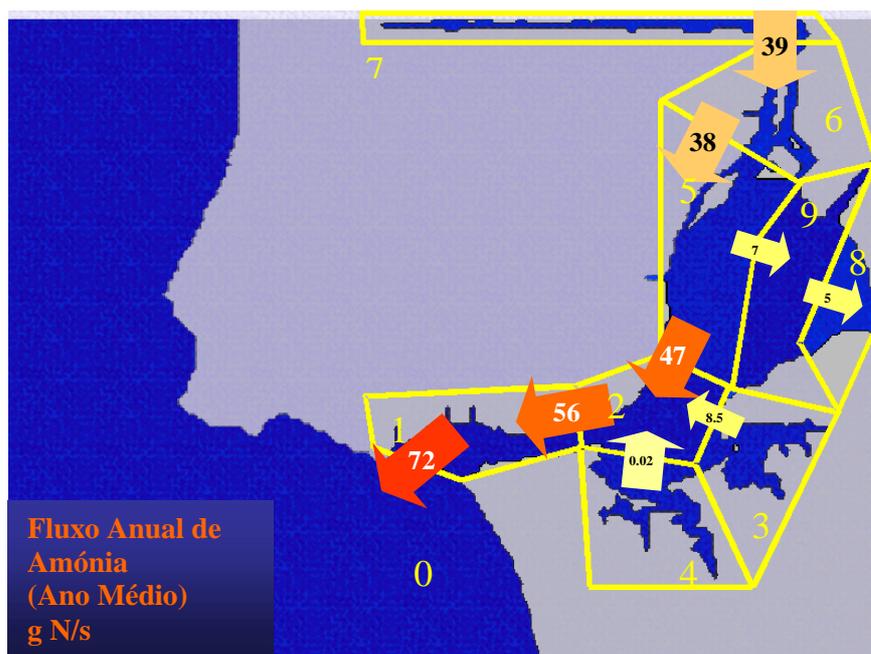


Figura X.10 - Fluxo Médio Anual de Amónia entre caixas para um Ano Médio

Relativamente aos fluxos de nutrientes, verifica-se que na maior parte dos fluxos que se estabelecem entre as caixas, o Nitrato surge como a propriedade mais transportada o que não será de estranhar uma vez que a sua concentração no meio é significativamente maior, como foi concluído nas análises anteriores. Tal como no caso da biomassa o sentido dos fluxos indicam uma exportação de nutrientes mas, no caso das caixas 8 e 9 verifica-se que existe um fluxo de nitrato para o seu interior. Porque estas caixas são aquelas onde existe uma maior produção de biomassa, são também aquelas que, como consequência apresentarão valores inferiores de nutriente uma vez que são consumidos com mais intensidade. Desta forma estas caixas apresentam em média valores mais baixos de nutriente do que a caixa seguinte, a caixa 5 e, desta forma existe um fluxo de massa de uma caixa com maior quantidade para outra com menor.

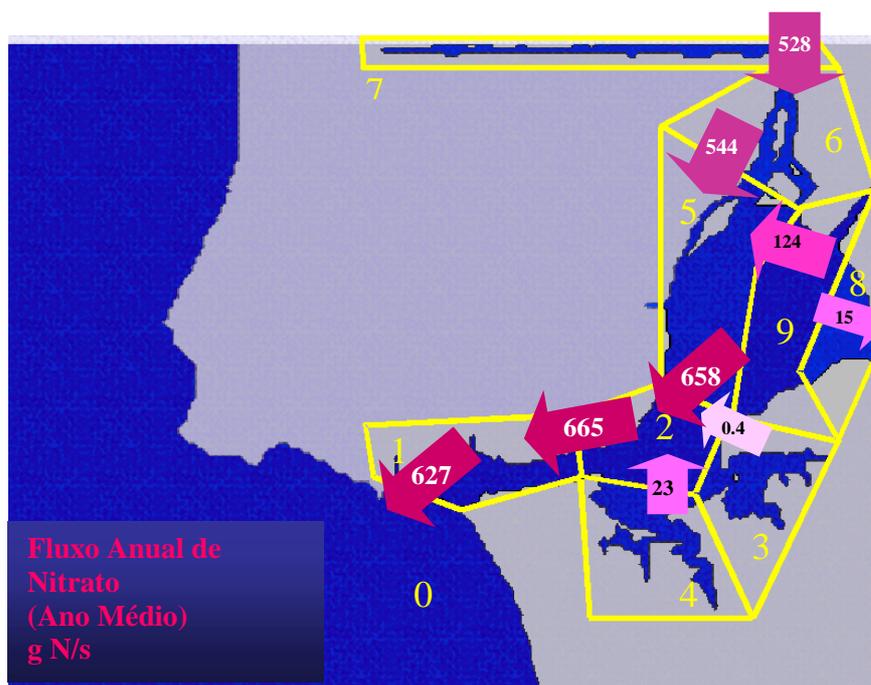


Figura X.11 - Fluxo Médio Anual de Nitrato entre caixas para um Ano Médio

Relativamente aos fluxos de Nitrato através das diferentes caixas de integração constata-se que mais uma vez a caixa 8 surge como um local de grande consumo, sendo a única caixa com importação de Nitrato. Ao contrário do que acontecia no caso da Amónia, parece ser que, na caixa 9, apesar de ser uma área também muito produtiva em termos de biomassa e como consequência haver algum consumo de Nitrato por parte do *Fitoplâncton*, existe uma elevada produção deste nutriente nesta caixa indicando possivelmente uma intensa actividade de nitrificação.

Talvez com maior importância que a análise de todos os fluxos existentes na zona do Estuário, será a análise global dos fluxos de entrada no estuário, que é no fundo o resultado quer da descarga do Rio Tejo, Sorraia e Trancão, quer dos efluentes da ETAR's e do fluxo de saída, representado no gráfico como 0 -> 1 (que é negativo pelo facto de o transporte acontecer de 1 para 0, ou seja do estuário para o mar. As figuras seguintes permitem ter uma ideia mais clara destes fluxos, evidenciando os locais de entrada dos fluxos para o estuário.

Fluxos de Entrada e Saída de Nitrato do Estuário

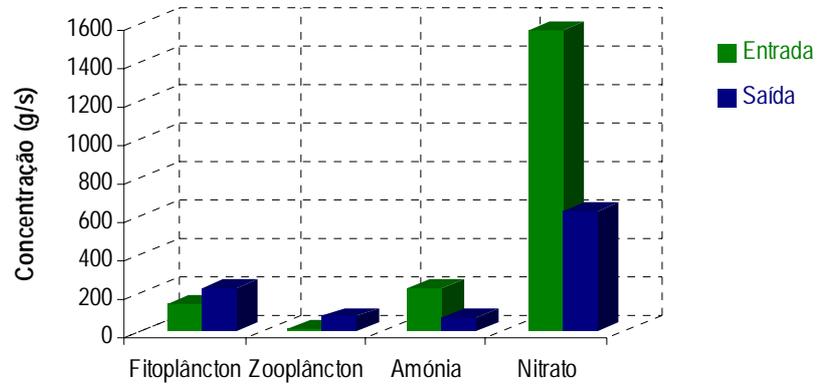


Figura X.12 - Fluxos Anuais de Entrada e Saída do Estuário

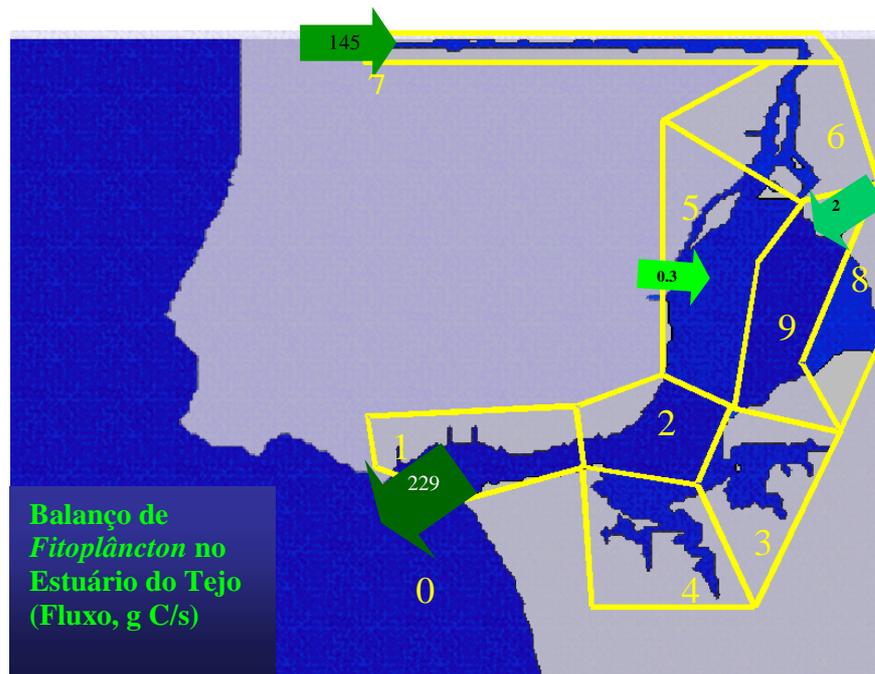


Figura X.13 - Balço de *Fitoplâncton* no Estuário do Tejo

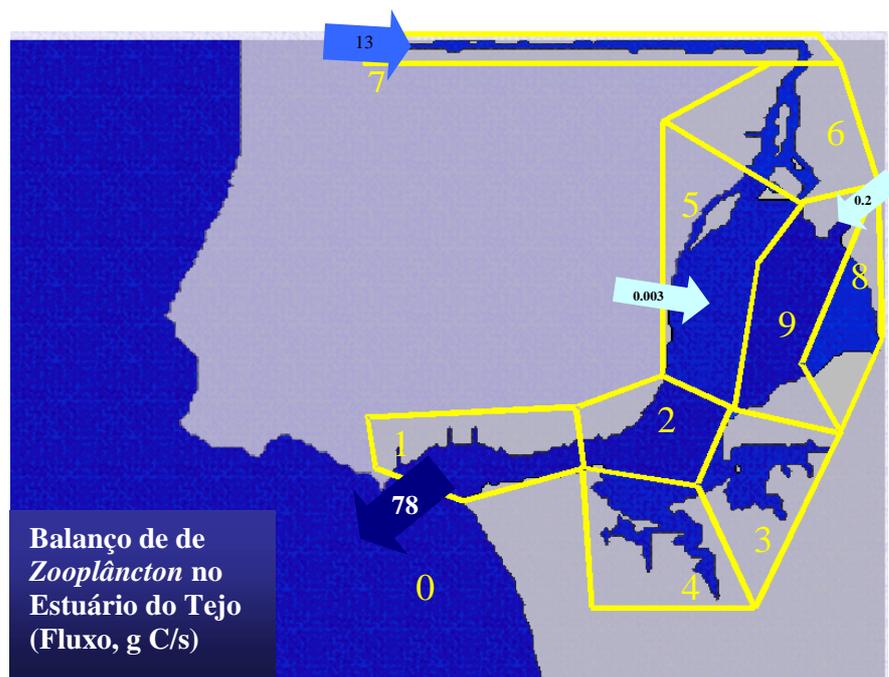


Figura X.14 - Balanço Anual de Zooplâncton no Estuário do Tejo

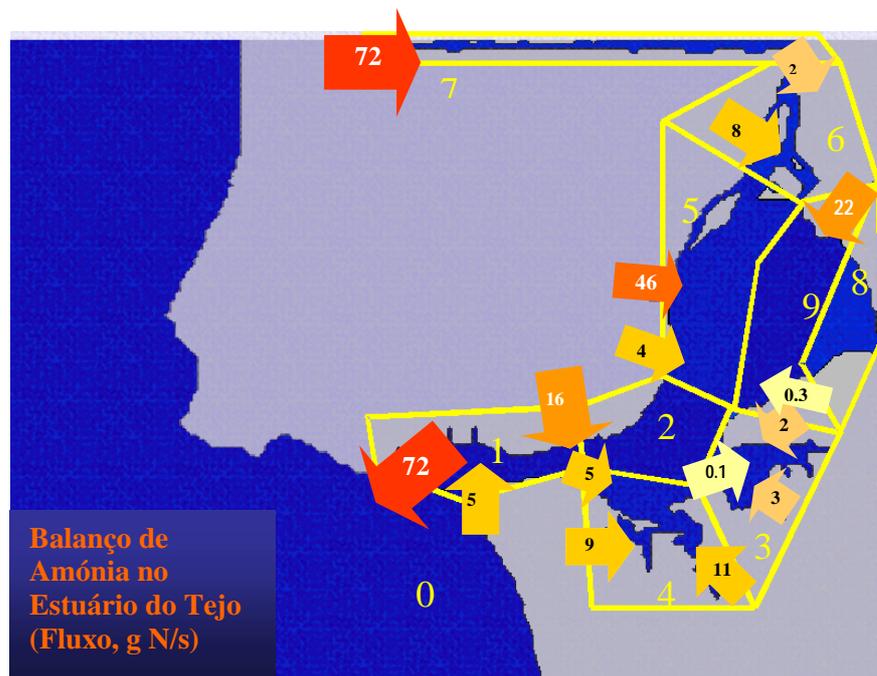


Figura X.15 - Balanço Anual de Amónia no Estuário do Tejo

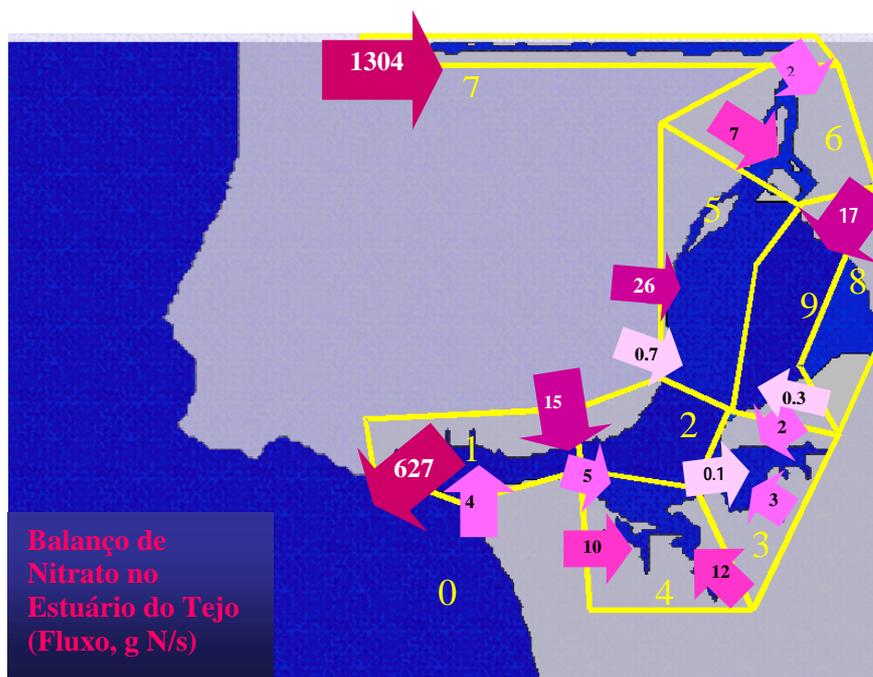


Figura X.16 - Balanço Anual de Nitrato no Estuário do Tejo

Pode sentido pode dizer-se que entram anualmente no Estuário do Tejo cerca de 147 g N/L, saindo para o mar em média 230 g/L. Esta diferença de valores verifica que existe uma produção anual de biomassa no interior do estuário, como seria de esperar uma vez que uma das principais características do estuário é ser considerado como um sistema eutrófico.

Acompanhando esta produção de biomassa existe um consumo de Amónia que pode ser explicado, não só pelo consumo deste nutriente pelo *Fitoplâncton* mas também, pela presença de processos de nitrificação no interior do estuário que convertem a Amónia e Nitrato. Quanto ao Nitrato, este parece ser um nutriente muito consumido no interior do estuário. De facto o consumo de Nitrato pelo estuário é cerca de 63% do valor de entrada, o que é muito significativo. O que significa que globalmente em todo o estuário, a quantidade de Nitrato consumida, tanto pelo *Fitoplâncton* como pela desnitrificação é superior à quantidade resultante dos processos de desnitrificação. Os resultados do modelo permitem a construção de gráficos que proporcionam uma melhor visualização da variação das taxas destes processos entre as várias caixas que poderão revelar-se úteis para algumas explicações.

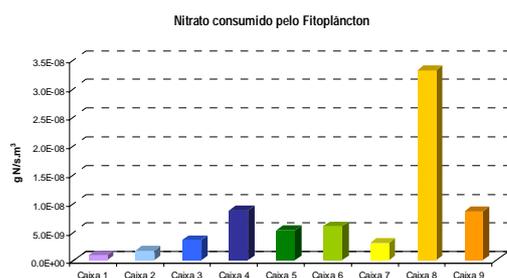
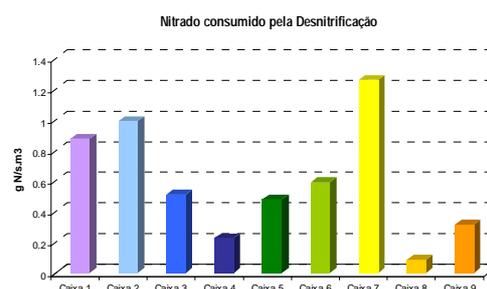
Figura X.17 - Taxa de Consumo do Nitrato pelo *Fitoplâncton*

Figura X.18 - Taxa de Consumo de Nitrato pelo Processo de Desnitrificação

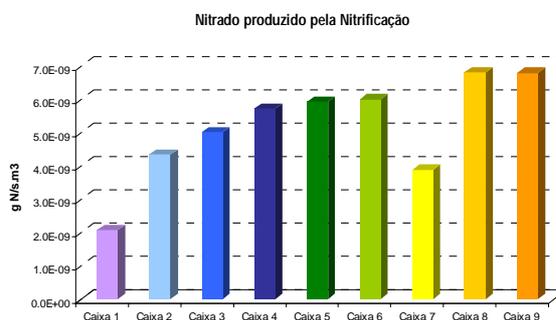


Figura X.19 - Taxa de Produção de Nitrato pela Nitrificação

Estas figuras representam as taxas de produção ou consumo de Nitrato por m<sup>3</sup> cada caixa, ou seja é possível identificar as caixas onde a produção e o consumo são mais intensos. De facto verifica-se que a Desnitrificação é um processo muito importante no Estuário do Tejo, sendo em geral muito mais intenso que os processos de Nitrificação e de consumo pelo *Fitoplâncton*.

Analisando, de novo, os fluxos de Nitrato do balanço ao estuário, Figura X.16, verifica-se, o que já neste trabalho foi constatado, que a maior parcela de Nitrato que entra anualmente no Estuário do Tejo provém exactamente do Rio Tejo, com cerca de 1304 g N/s o que corresponde a 84% do total das descargas. Também se verifica que o fluxo entre as caixas 7 e 6 é de 528 g N/s é já muito próximo do valor de exportação do estuário, o que significa que o maior consumo de Nitrato é exactamente na caixa 7, a primeira caixa do estuário e é feito de uma forma muito significativa quando comparada com as outras caixas. Nas figuras anteriores verifica-se que na caixa 7 existe por um lado uma taxa de desnitrificação muito elevada, ao mesmo tempo que a nitrificação é mais baixa, o que globalmente conduz a um consumo superior nesta caixa.

## **Anexo XI**

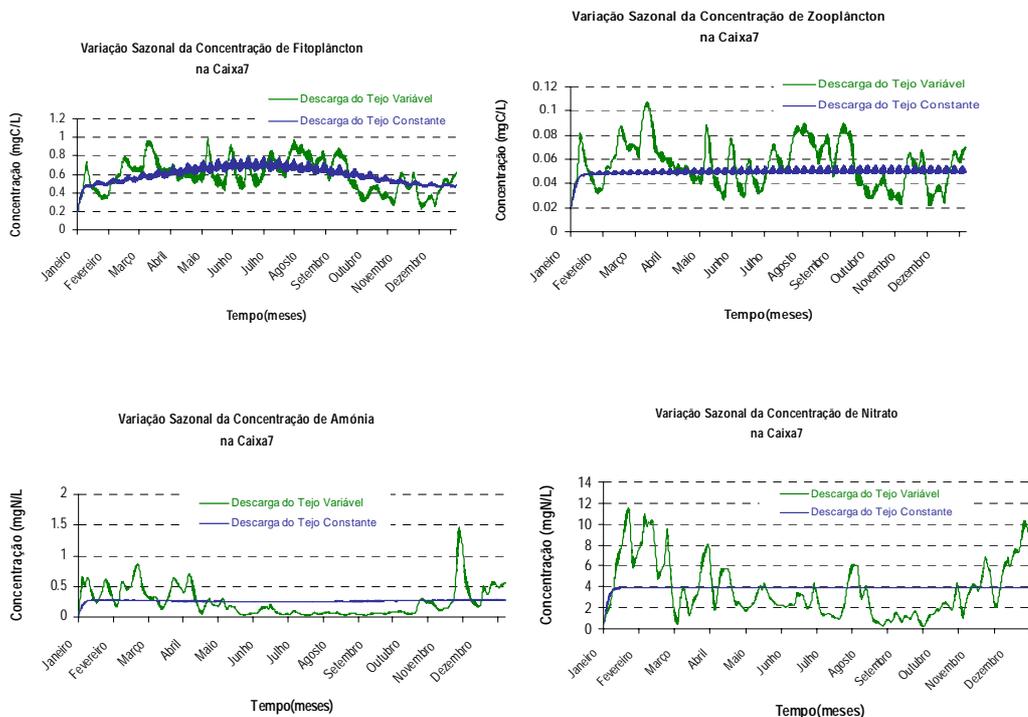
### **Figuras Complementares da Análise dos Resultados**

## ÍNDICE

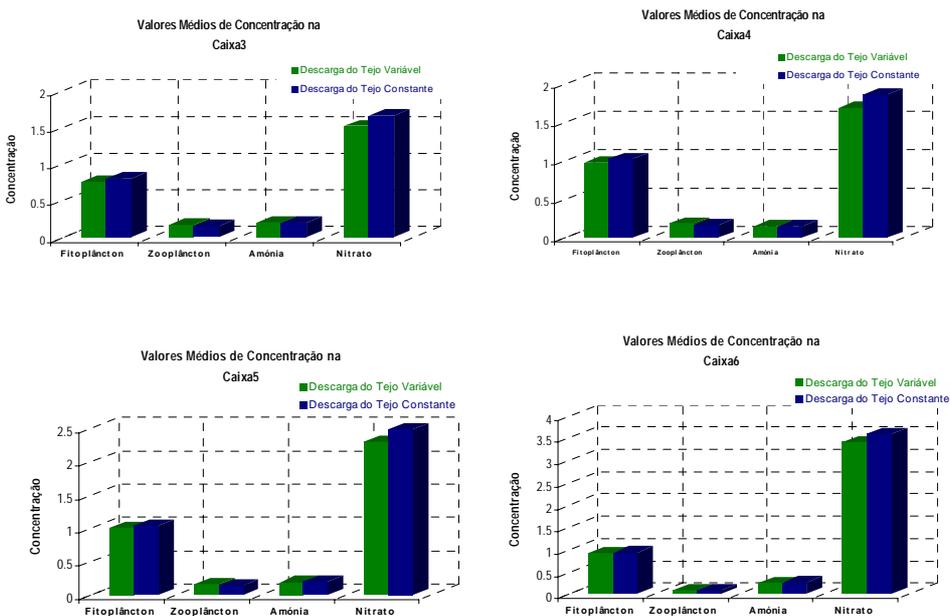
<b>1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo</b>	<b>1</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	1
Concentrações Médias Anuais	1
Fluxos Médio Anuais	2
<b>2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia</b>	<b>3</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	3
Concentrações Médias Anuais	3
Fluxos Médio Anuais	4
<b>3. Influência das Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo</b>	<b>5</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	5
Concentrações Médias Anuais	6
Fluxos Médio Anuais	6
<b>4. Influência do Tratamento das ETAR's</b>	<b>7</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	7
Concentrações Médias Anuais	7
Fluxos Médio Anuais	8
<b>5. Influência das Condições Hidrológicas</b>	<b>9</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	9
Concentrações Médias Anual	10
Fluxos Médio Anuais	11
<b>6. Comparação entre Ano Médio e Ano Realista</b>	<b>12</b>
Variação da Concentração ao longo do Tempo	12
Concentrações Médias Anuais	13
Fluxos Médio Anuais	14

# 1. Influência da Variação Sazonal da Descarga do Rio Tejo

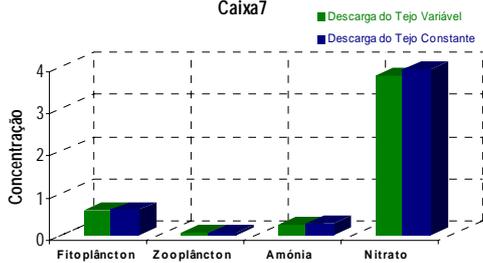
## Variação da Concentração ao longo do Tempo



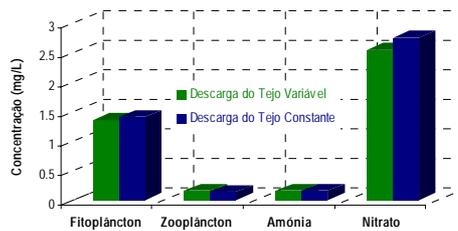
## Concentrações Médias Anuais



Valores Médios de Concentração na Caixa7

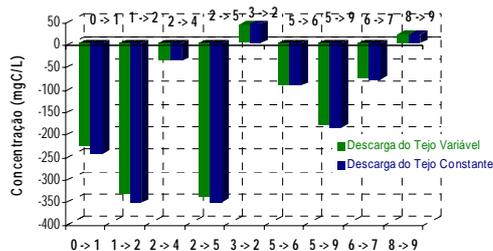


Valores Médios de Concentração na Caixa8

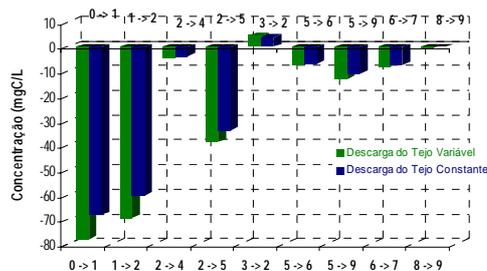


## Fluxos Médio Anuais

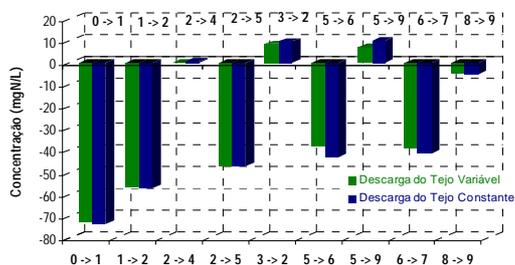
Fluxo Médio Anual de Fitoplâncton entre Caixas



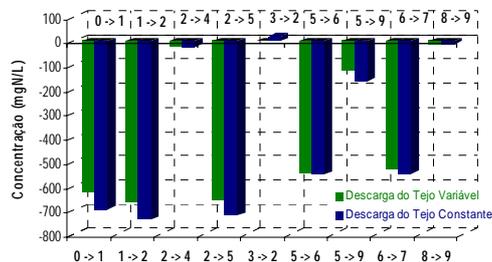
Fluxo Médio Anual de Zooplâncton entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Amônia entre Caixas

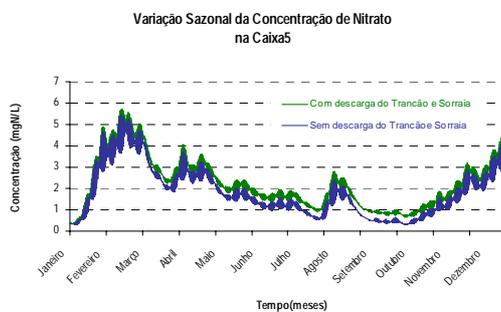
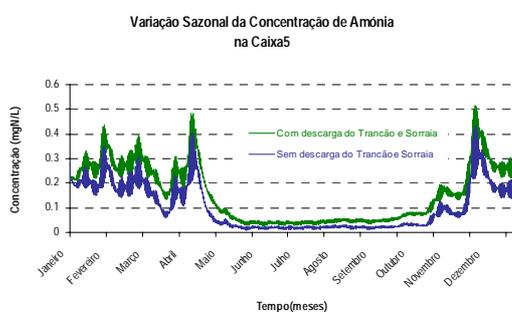
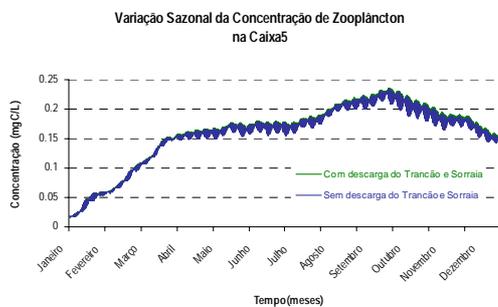
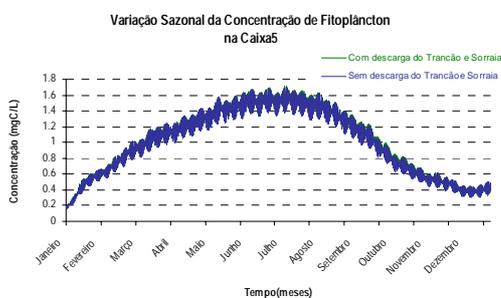


Fluxo Médio Anual de Nitrato entre Caixas

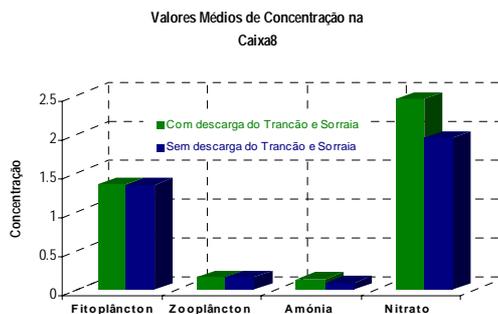
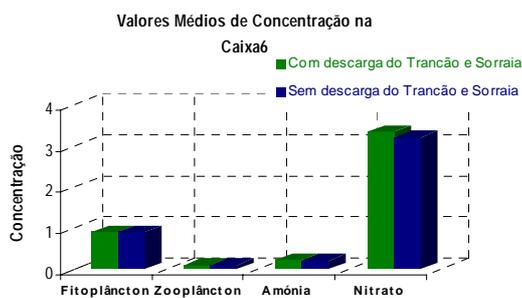
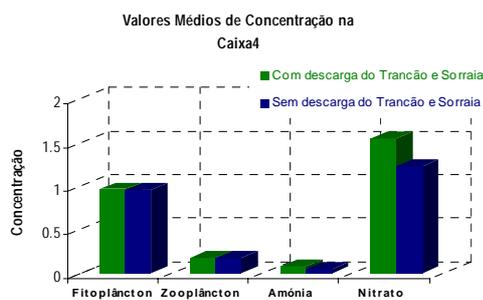
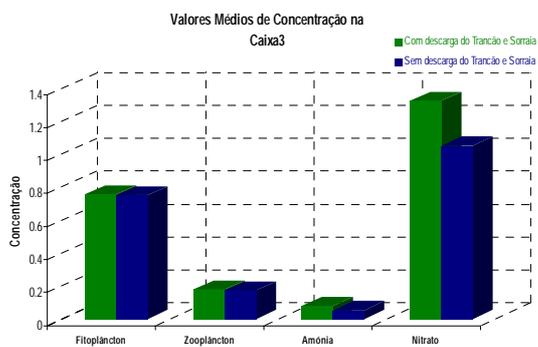


## 2. Influência das Descargas dos Rios Trancão e Sorraia

### Variação da Concentração ao longo do Tempo

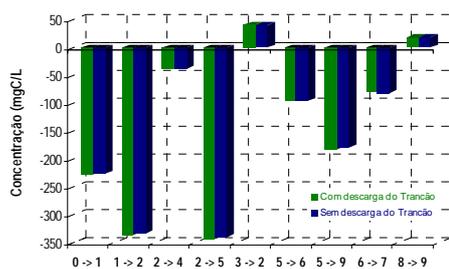


### Concentrações Médias Anuais

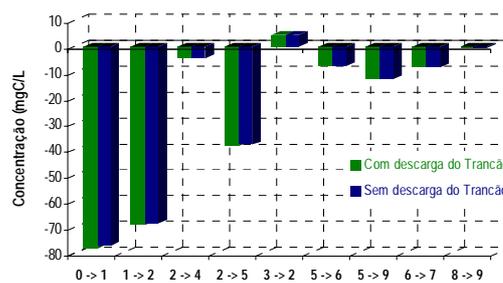


## Fluxos Médio Anuais

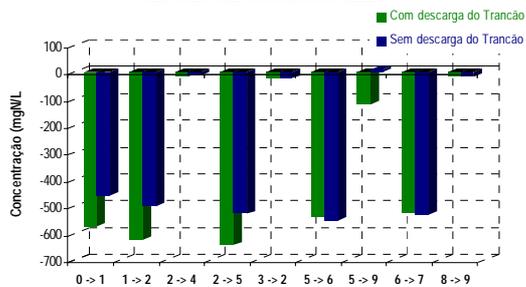
Fluxo Médio Anual de Fitoplâncton entre Caixas



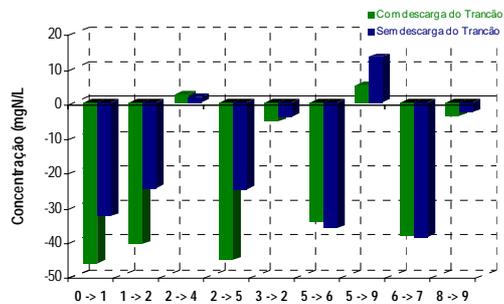
Fluxo Médio Anual de Zooplâncton entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Nitrito entre Caixas

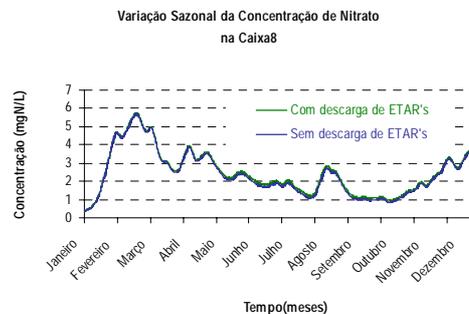
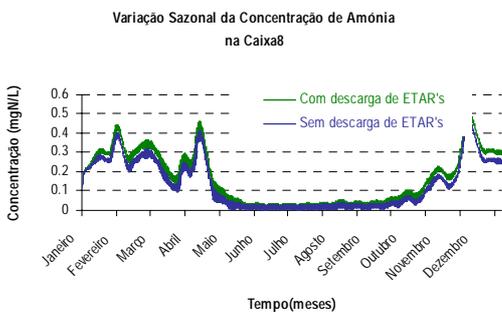
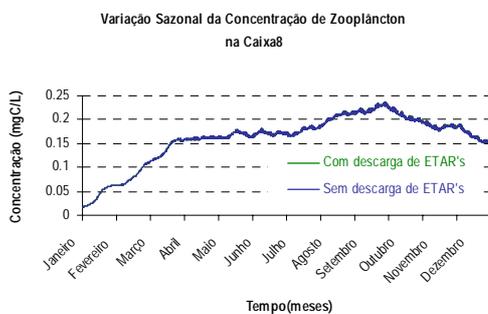
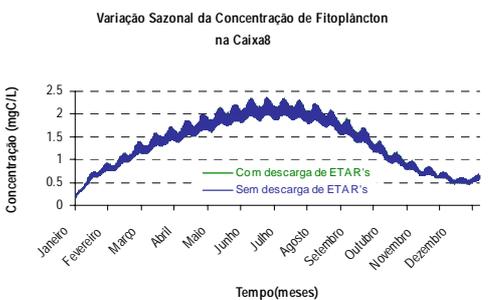
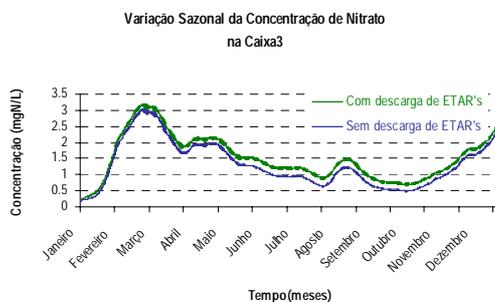
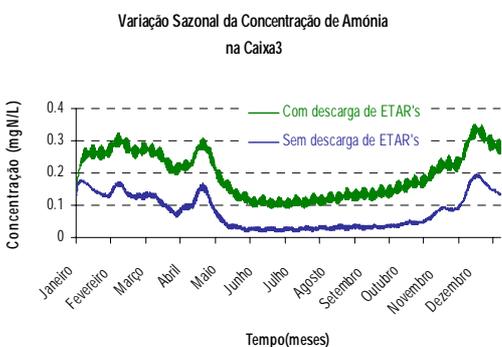
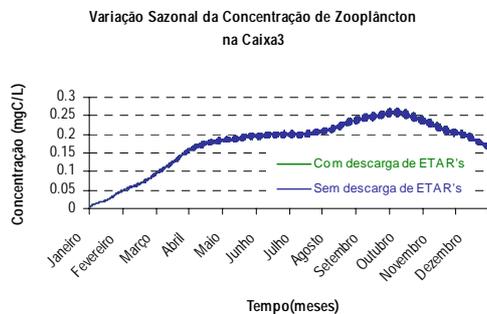
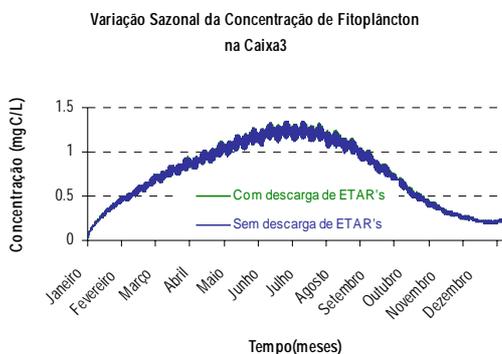


Fluxo Médio Anual de Amônia entre Caixas

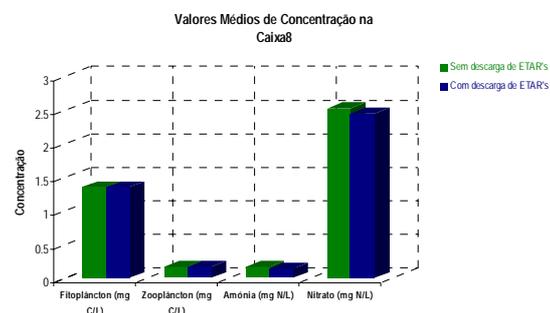
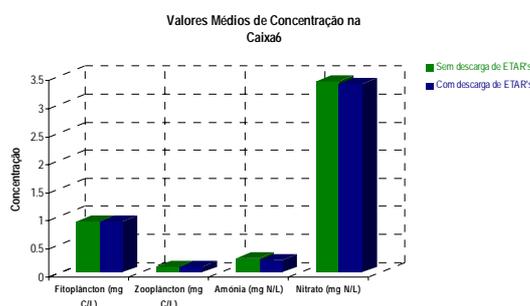
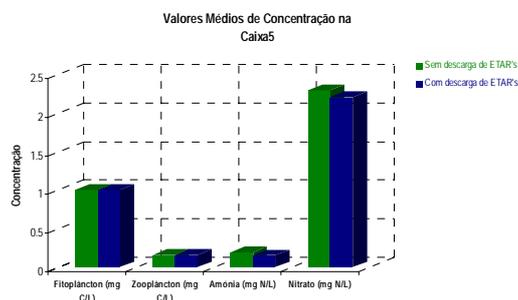
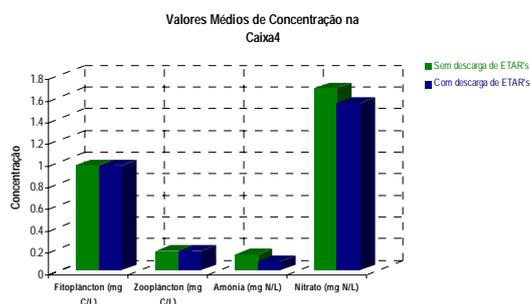


### 3. Influência das Descargas das ETAR's no Estuário do Tejo

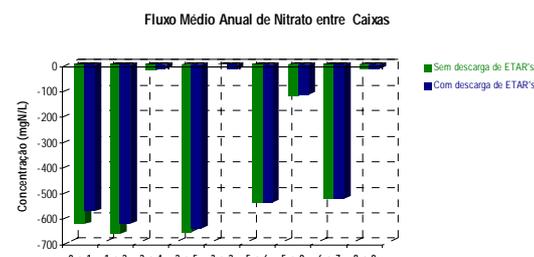
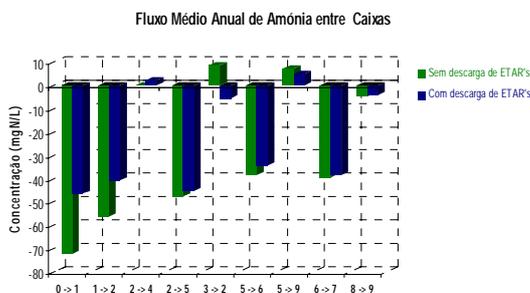
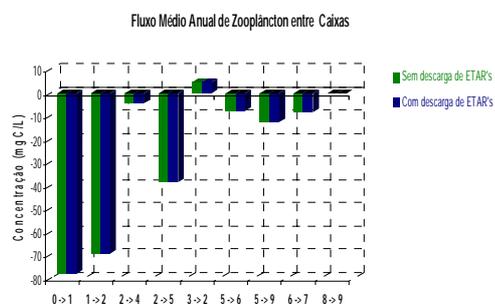
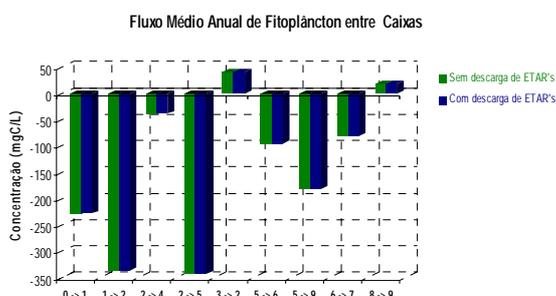
#### Variação da Concentração ao longo do Tempo



## Concentrações Médias Anuais

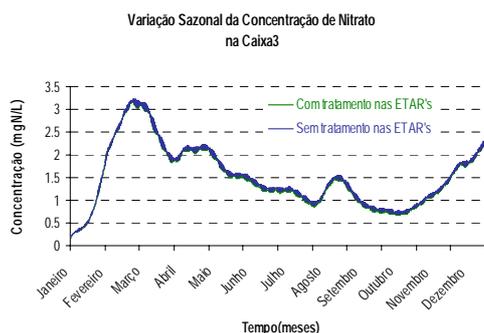
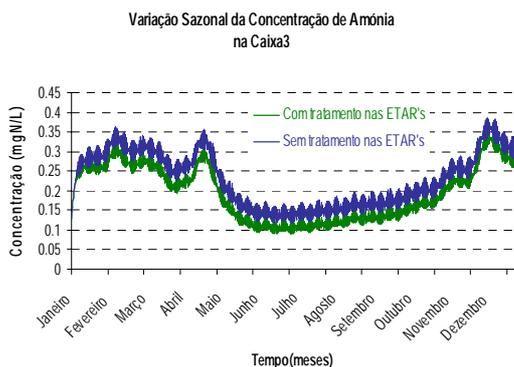
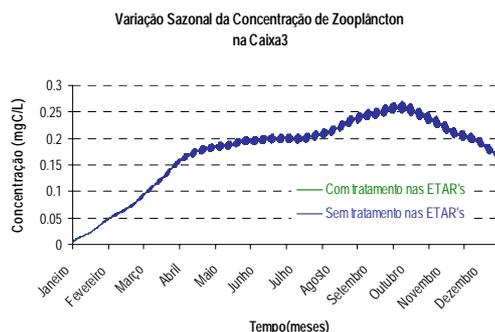
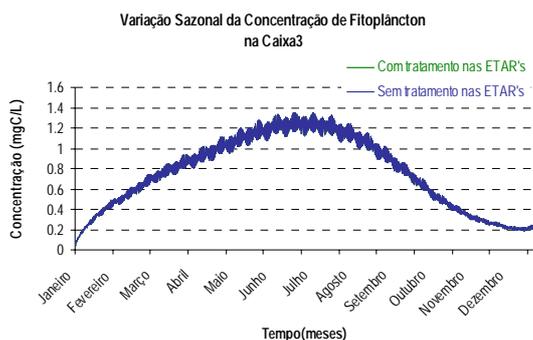


## Fluxos Médio Anuais

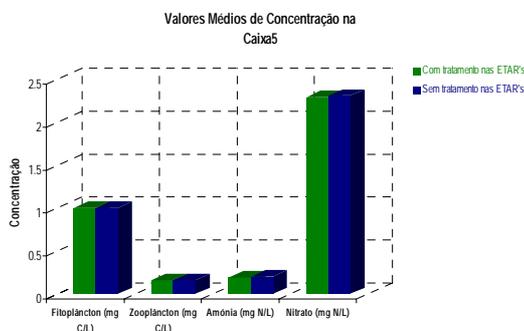
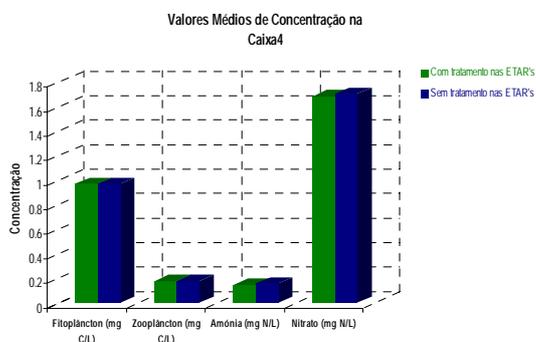


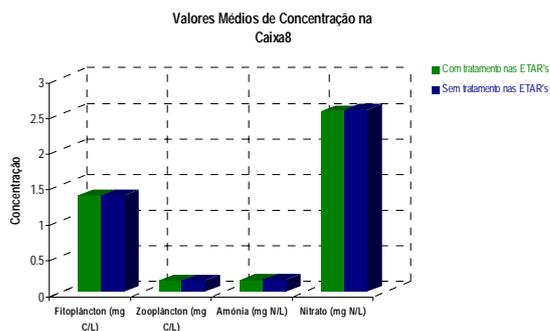
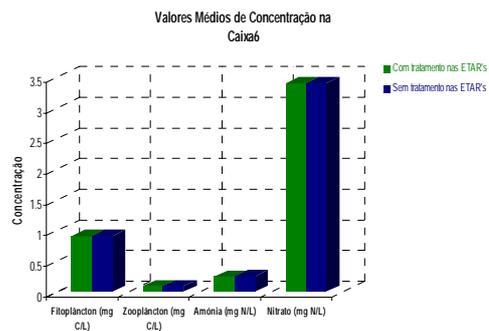
## 4. Influência do Tratamento das ETAR's

### Variação da Concentração ao longo do Tempo

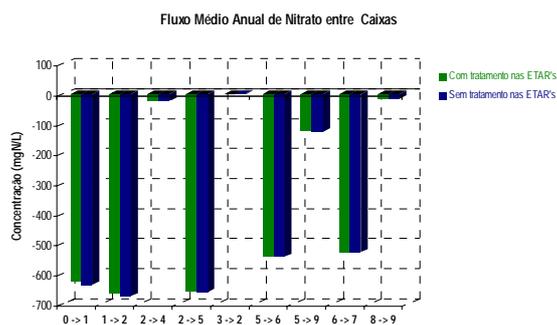
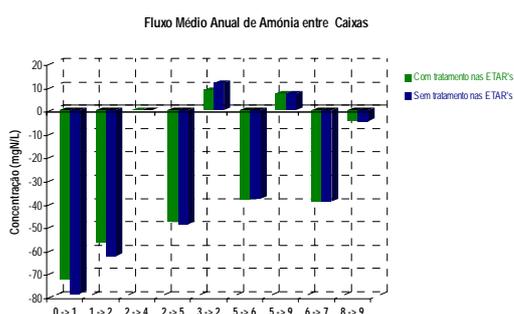
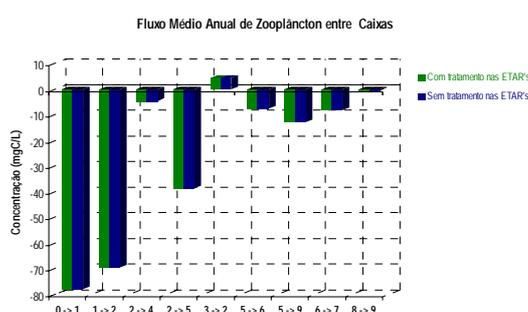
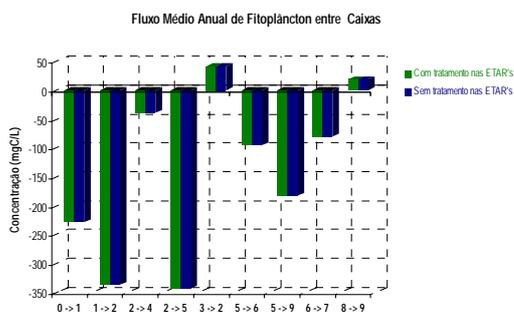


### Concentrações Médias Anuais



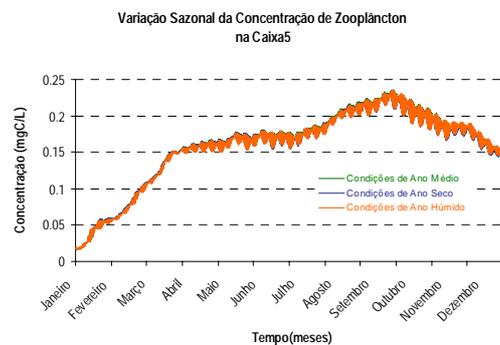
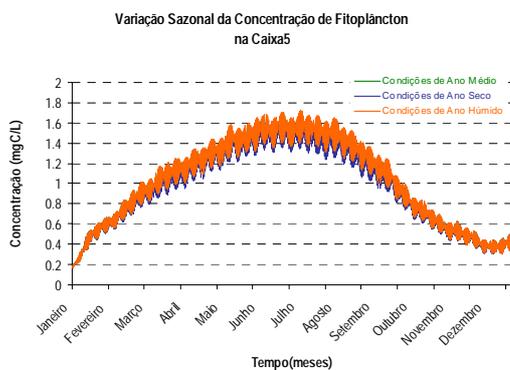
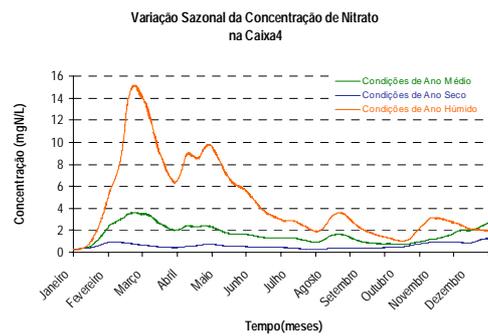
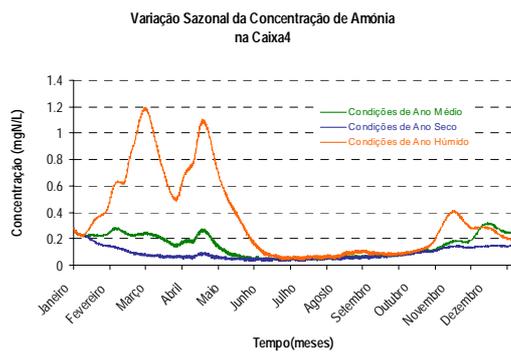
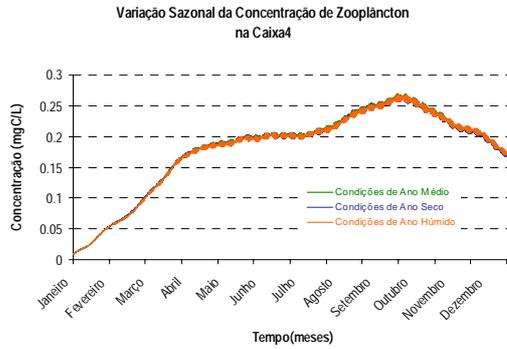
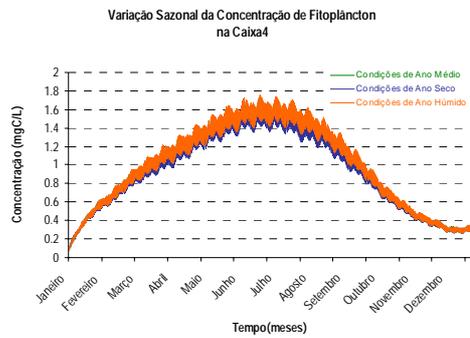


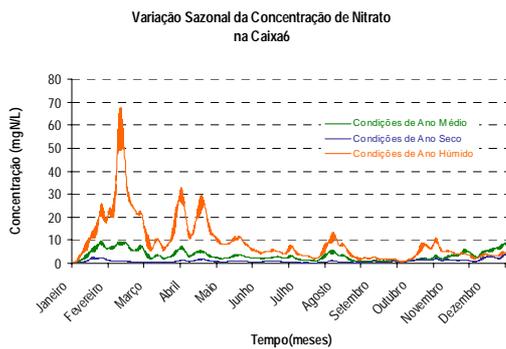
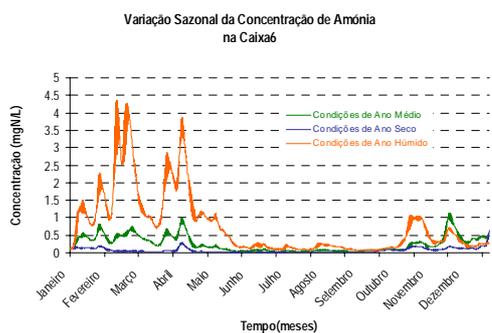
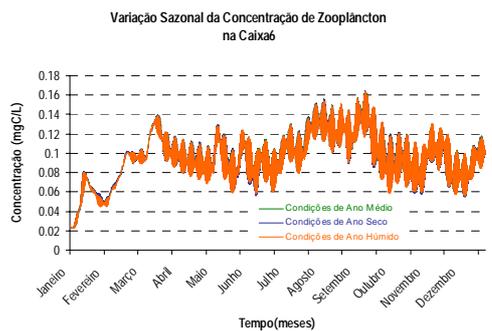
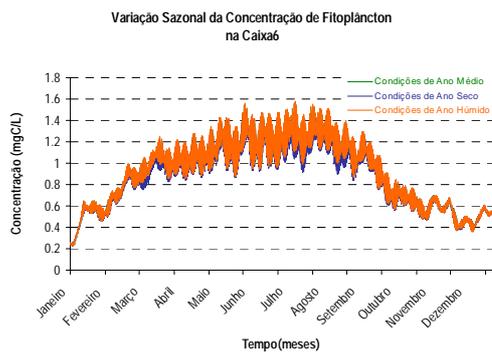
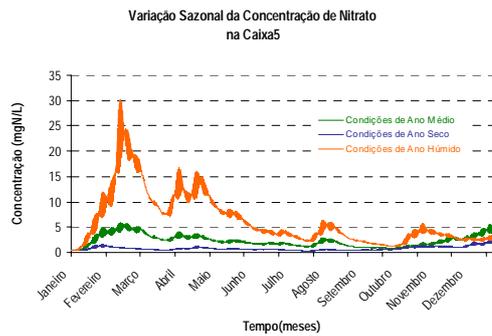
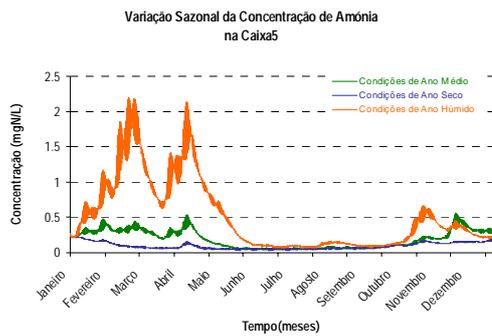
## Fluxos Médio Anuais



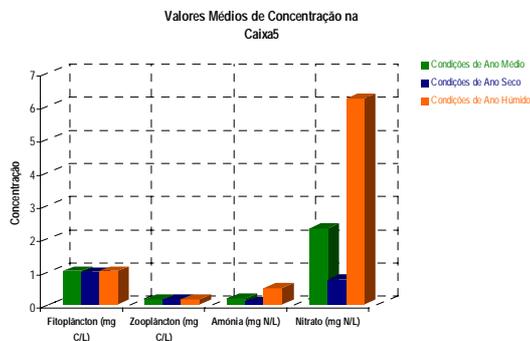
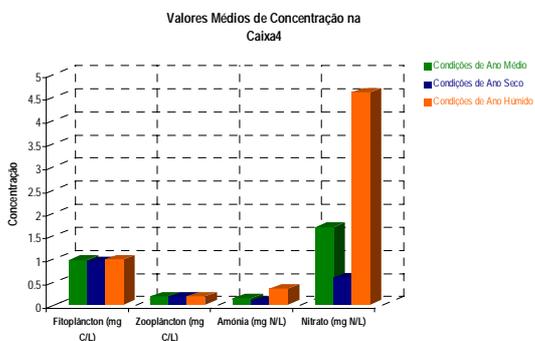
## 5. Influência das Condições Hidrológicas

### Variação da Concentração ao longo do Tempo

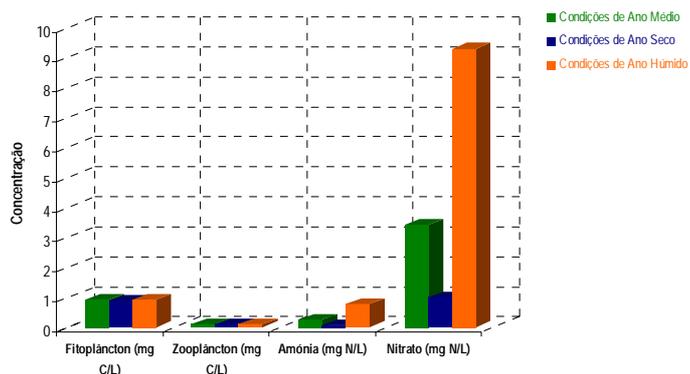




## Concentrações Médias Anuais

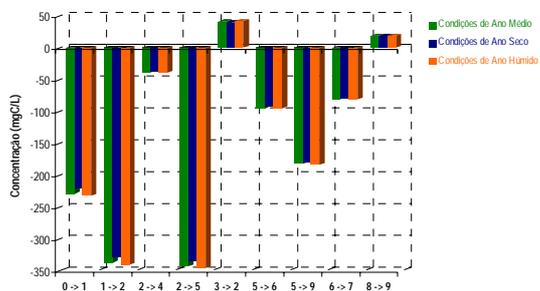


Valores Médios de Concentração na Caixa6

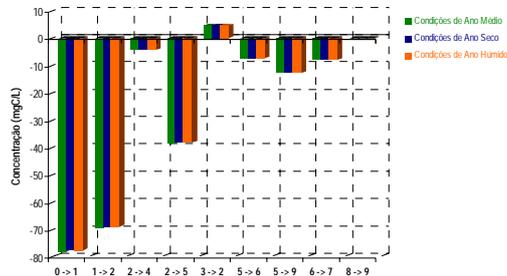


## Fluxos Médio Anuais

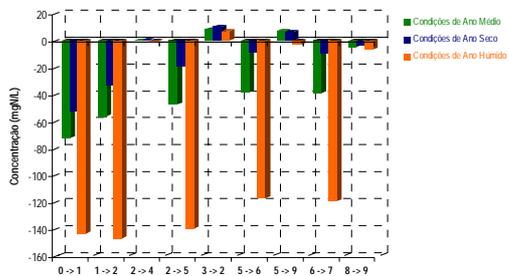
Fluxo Médio Anual de Fitoplâncton entre Caixas



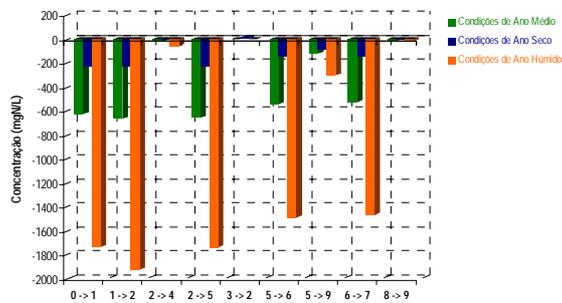
Fluxo Médio Anual de Zooplâncton entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Amônia entre Caixas

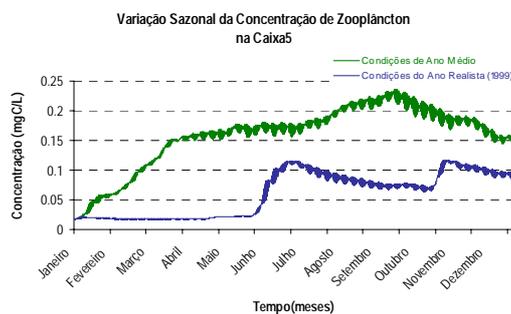
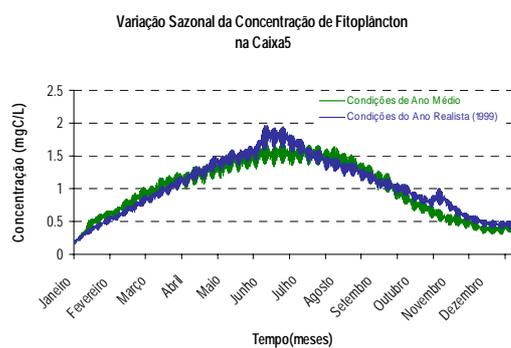
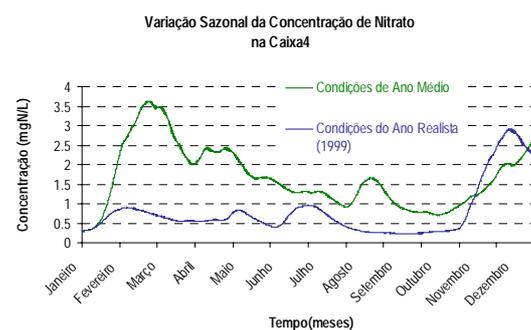
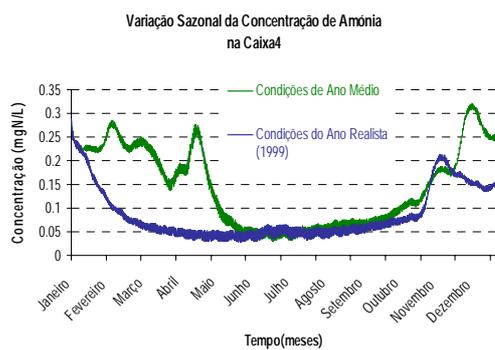
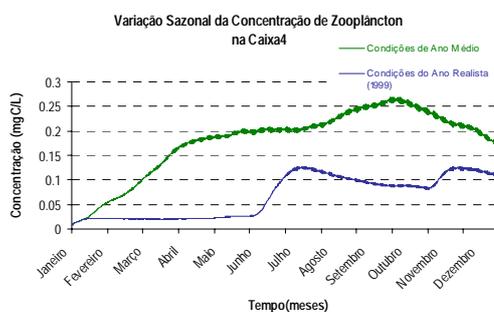
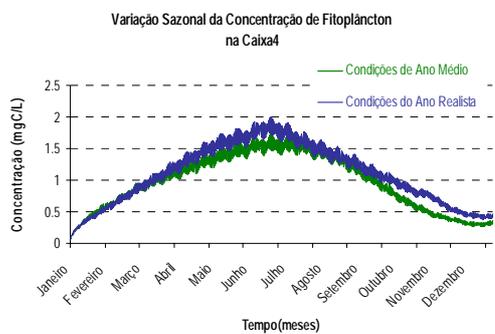


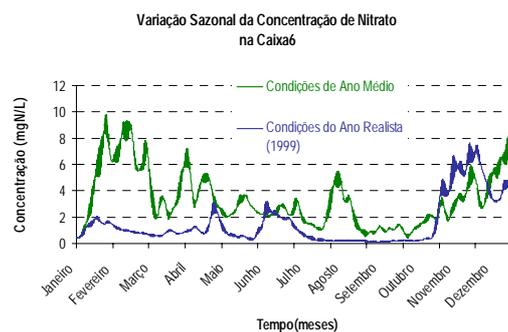
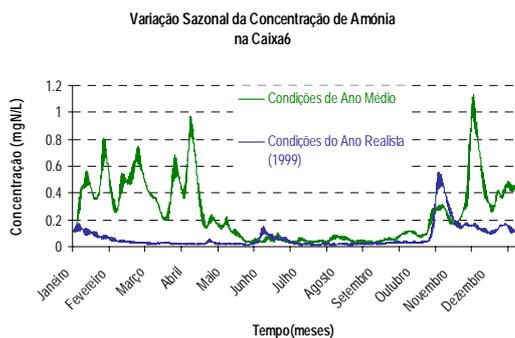
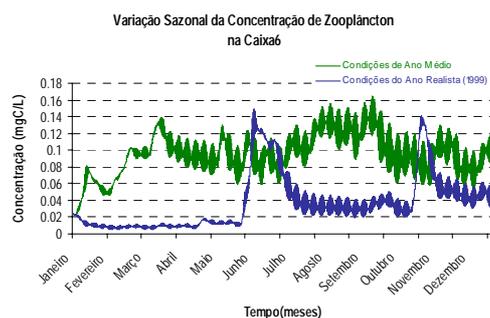
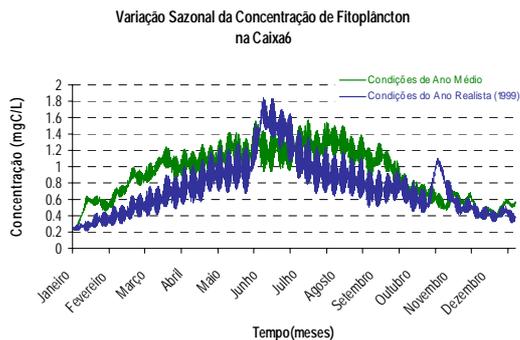
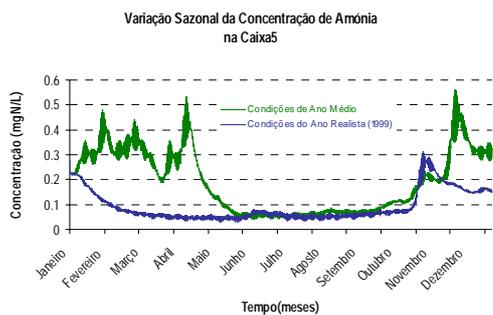
Fluxo Médio Anual de Nitrato entre Caixas



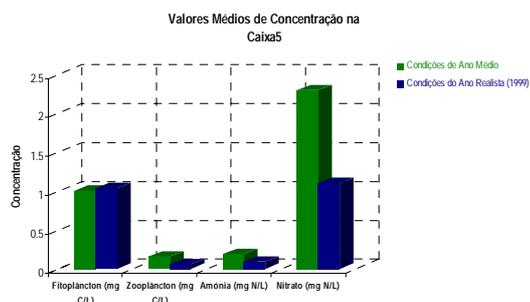
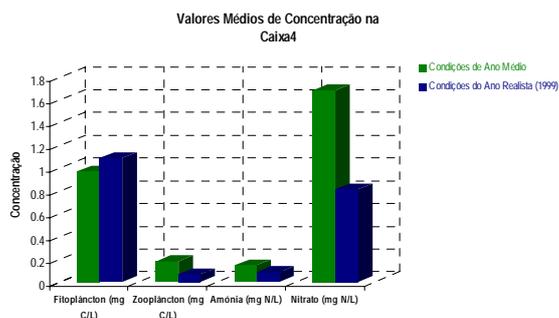
## 6. Comparação entre Ano Médio e Ano Realista

### Variação da Concentração ao longo do Tempo

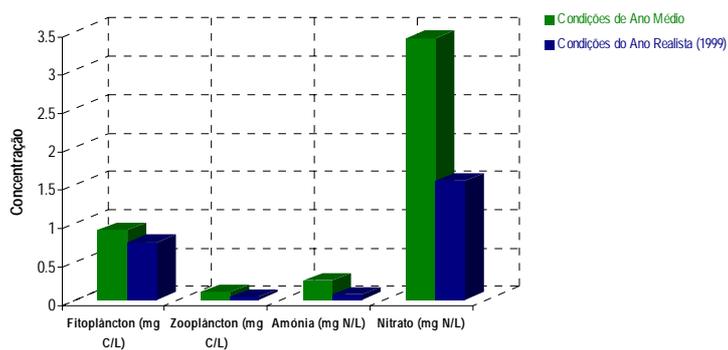




## Concentrações Médias Anuais

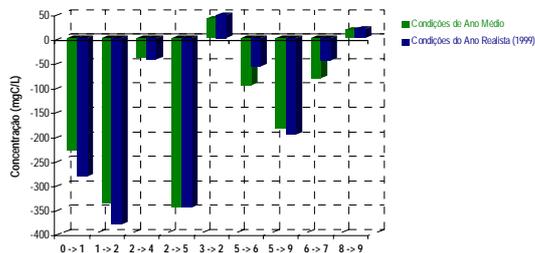


Valores Médios de Concentração na Caixa6

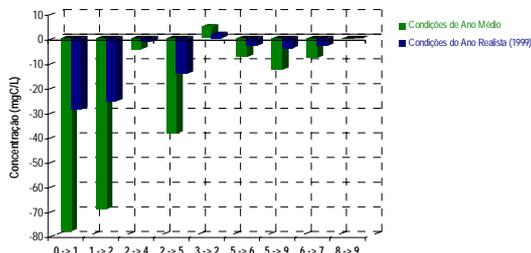


## Fluxos Médio Anuais

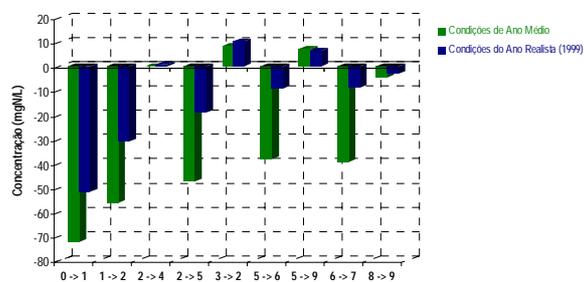
Fluxo Médio Anual de Fitoplâncton entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Zooplâncton entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Amônia entre Caixas



Fluxo Médio Anual de Nitrate entre Caixas

