

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS ENGENHEIROS DE ÁGUA



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

QUALIDADE DA ÁGUA

NUTRIENTES NO ESTUÁRIO DO TEJO - COMPARAÇÃO DA SITUAÇÃO EM CAUDAIS MÉDIOS E EM CHEIA, COM DESTAQUE PARA ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA.

Margarida Cardoso da Silva Martins  
(Eng. Química, Direcção-Geral da Qualidade do Ambiente, Lisboa, Portugal)

João Gomes Ferreira  
(Lic. em Ciências Biológicas, DGQA, Lisboa, Portugal)

Teresa Calvão  
(Eng. do Ambiente, DGQA, Lisboa, Portugal)

Hortense Figueiredo  
(Eng. Química, DGQA, Lisboa, Portugal)

RESUMO

Esta comunicação reúne a informação disponível obtida nos trabalhos realizados no âmbito do Projecto "Estudo Ambiental do Estuário do Tejo", respeitante à qualidade da água, durante os Invernos de 1980, 1981, 1982 e 1983.

Em 1980 e 1981 os caudais fluviais do Tejo (medidos na estação hidrométrica de Órnias, Santarém) não ultrapassaram o caudal modular; em 1982 e 1983 observaram-se situações de cheia.

A salinidade média diminui regularmente com o aumento do caudal, em paralelo com a diminuição do tempo de residência.

A sílica e as formas oxidadas de azoto apresentam comportamento conservativo nas situações hidrológicas observadas.

As concentrações de fosfato dependem não só do caudal mas também de outras contribuições tais como águas residuais e fluxo sedimento-coluna de água.

A influência do caudal fluvial não é visível nas concentrações de amónia, que provém principalmente das águas residuais.



## 1. INTRODUÇÃO

O Estuário do Tejo (Fig.1), o maior da Europa Ocidental, cobre uma área de aproximadamente  $320 \text{ km}^2$  e tem uma extensão de 80 km desde a Barra (Secção entre as Torres de S.Julião e Bugio) até Muge, limite de influência da maré dinâmica: a intrusão salina, em condições hidrológicas normais, estende-se até à zona de Vila Franca de Xira.

As entradas de água doce para o Estuário provêm dos Rios Tejo e Sorraia e de vários pequenos cursos de água, tendo o Tejo a influência preponderante (caudal modular de  $Q = 300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Loureiro, J.M. 1979)), pois o somatório das outras contribuições representa apenas uma pequena percentagem do caudal do Tejo (Quintela, 1967).

Para o Estuário do Tejo são lançadas as águas residuais dos cerca de 2 milhões de habitantes da grande Lisboa, bem como os afluentes de importantes complexos de indústria química, siderúrgica e de refinação de petróleos, entre outras.

O prisma de maré é de  $0,075 \times 10^{10} \text{ m}^3$  para uma maré média e o volume médio do Estuário é de  $0,19 \times 10^{10} \text{ m}^3$  (DRENA, 1979); a maré é semi-diurna com amplitude máxima da ordem dos quatro metros.

O tempo de residência da água no Estuário, calculado pelo método da percentagem de água doce (Officer, 1976) varia entre cerca de 140 dias para um caudal de  $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e 6 dias para caudais da ordem dos  $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , apresentando o valor de 23 dias quando os caudais se aproximam dos  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Morfologicamente o Estuário do Tejo pode ser dividido em três zonas distintas. A zona superior do Estuário, cujo limite a juzante se situa *grossa modo* na secção Alcochete-Sacavém, é um delta interior de mouchões e esteiros caracterizado por uma grande extensão de espriados de maré.

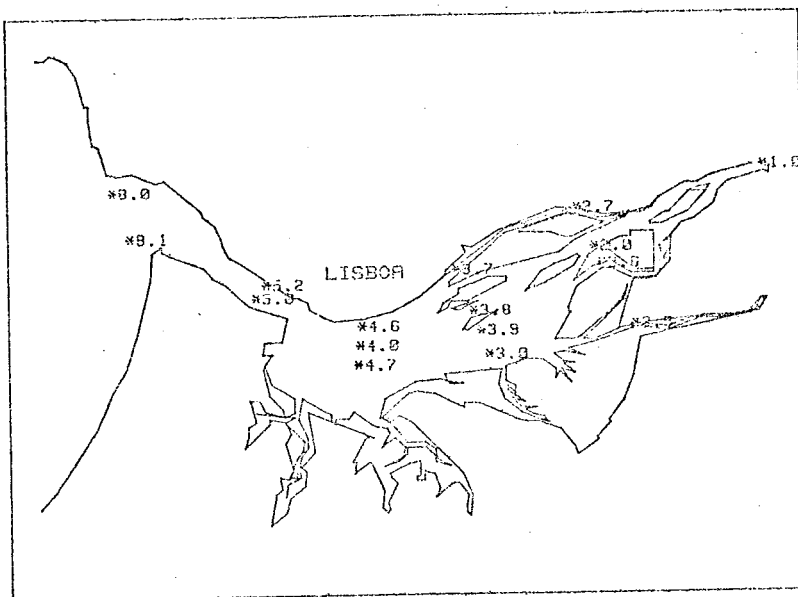


Fig.1 - Estuário do Tejo (até ao limite de intrusão salina) mostrando a localização das estações de amostragem



A zona que se estende até à secção Cacilhas-Cais do Sodré, designada por Mar da Palha, caracteriza-se por uma profundidade média pequena (cerca de 7 metros) tendo em comum com a zona a montante uma razão elevada entre área e volume.

A zona terminal do Estuário - o corredor do Tejo - é, em contraste com as zonas anteriormente descritas, um canal estreito e profundo (profundidade máxima  $\sim 46$  metros), onde se observam intensas correntes de maré.

Durante os anos de 1980, 1981, 1982 e 1983 efectuaram-se estudos intensivos da qualidade da água do Estuário do Tejo.

Estes estudos foram realizados no âmbito do Projecto "Estudo Ambiental do Estuário do Tejo", cujo objectivo global foi o estabelecimento de metodologias para o estudo de problemas de qualidade da água, com base na análise dos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem neste Estuário.

Durante este período a maior parte dos caudais do Rio Tejo não ultrapassaram o valor modular de  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; como reflexo da situação de seca registaram-se caudais excepcionalmente baixos, como por exemplo no Verão de 1981 em que o caudal foi sistematicamente inferior a  $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Fig.2).

No final de 1982 e 1983 ocorreram caudais elevados que em Novembro de 1983 atingiram valores da ordem dos  $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , já característicos de uma situação de cheia.

As observações efectuadas em 25 de Novembro de 1983, altura em que o caudal era de cerca de  $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , permitiram uma caracterização mais completa do Estuário visto que toda a informação anteriormente disponível se referia a situações de estiagem; com base nos tempos de residência e em medições de salinidade efectuadas quando da ocorrência de caudais elevados em 1979, era previsível que se verificassem diferenças significativas entre as situações hidrológicas extremas, nos valores e distribuição dos parâmetros caracterizadores da qualidade da água.

Em particular, procurou-se analisar o comportamento dos sais nutrientes numa e noutra situação, dado que estes compostos são, juntamente com o oxigénio dissolvido, os condicionantes principais da produtividade e equilíbrio do ecossistema estuarial.

## 2. INFORMAÇÃO UTILIZADA

No presente trabalho utilizaram-se dados de caudais do Rio Tejo obtidos na Estação Hidrométrica de Ómias, em Santarém, em conjugação com dados de salinidade, sílica, fosfato, nitrato, nitrito e amónia, obtidos nas observações si-



nópticas efectuadas em Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro de 1980 (Martins, M. e Duffner, M.J., 1982) Janeiro, Outubro e Dezembro de 1981 (Martins, M., Machado, V.H. e Calvão, M.T., 1983) e Janeiro de 1982 (em publicação) e ainda dados obtidos nas campanhas de vigilância regular realizadas em Outubro, Novembro e Dezembro de 1982, e Janeiro, Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro de 1983, bem como os dados referentes às observações da situação de cheia de 25 de Novembro de 1983.

A metodologia de amostragem e análise foi uniforme ao longo do conjunto das observações acima referidas, e está descrita no relatório de dados de 1980 (Martins, M., Duffner, M.J., 1982).

### 3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Pela análise dos diagramas de diluição é possível examinar o comportamento dos sais nutrientes em meio estuarial, e identificar as respectivas fontes e sumidouros.

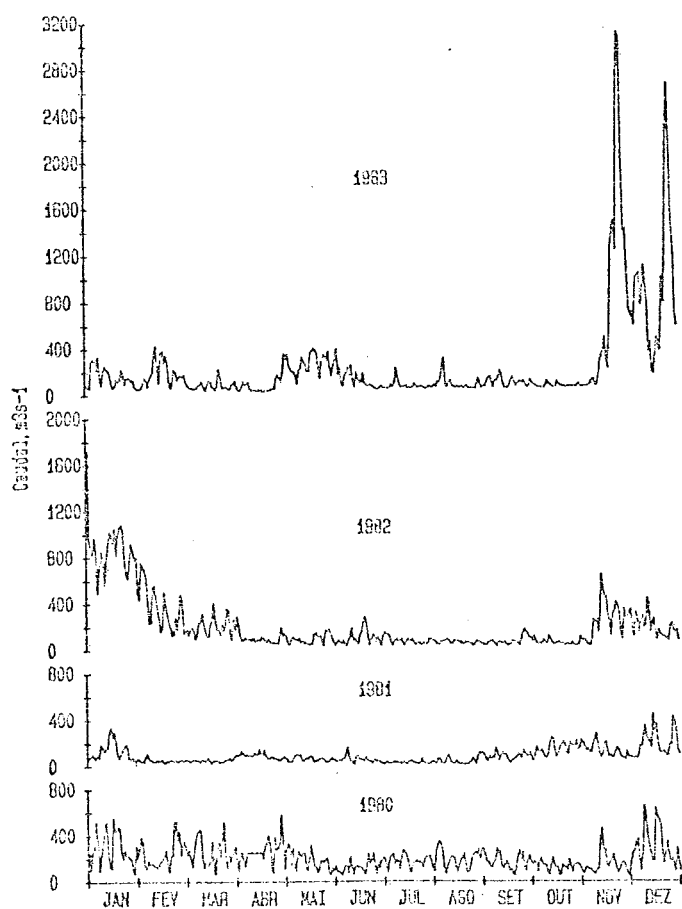


Fig.2 - Caudais do Rio Tejo durante os anos de 1980, 1981, 1982 e 1983

A salinidade, parâmetro de referência dos diagramas de diluição, é também afectada pela alteração das condições hidrológicas, variando o seu valor médio no estuário com o volume de água doce presente e, consequentemente o tempo de residência; procedeu-se à estimativa destes parâmetros e à sua análise, em conjunto com a dos diagramas de diluição, procurando em cada caso definir, pelas diferenças nos diagramas e nos valores dos parâmetros, quais os processos preponderantes em cada situação hidrológica. Analisaram-se resultados referentes a Outono e Inverno, porque, sendo o objectivo do estudo identificar as alterações na qualidade da água provocadas pelas variações do caudal flu-





vial, é assim minimizada a influência de outras variáveis.

Na Fig.2 apresenta-se o gráfico dos caudais do Tejo nos anos de 1980, 1981, 1982 e 1983.

Considerando uma série de observações em diferentes tipos de maré, desde maré morta a maré viva equinocial, verificou-se que as salinidades médias em preia-mar e em baixa-mar são relativamente uniformes quando os

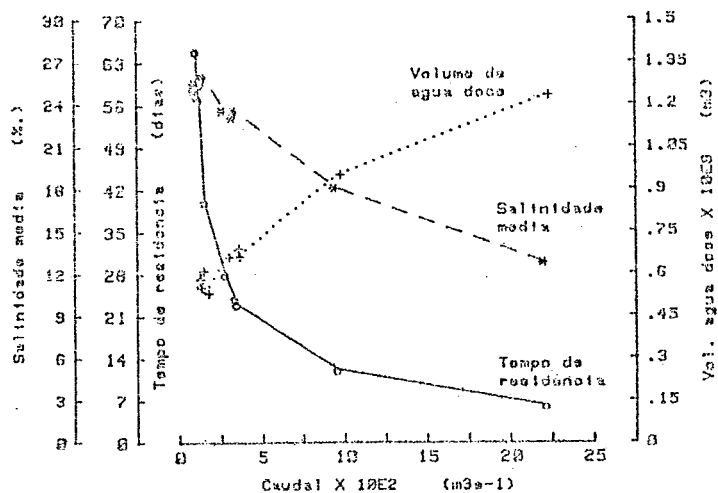


Fig.3 - Salinidade média, tempo de residência e volume de água doce no Estuário do Tejo em função do caudal fluvial

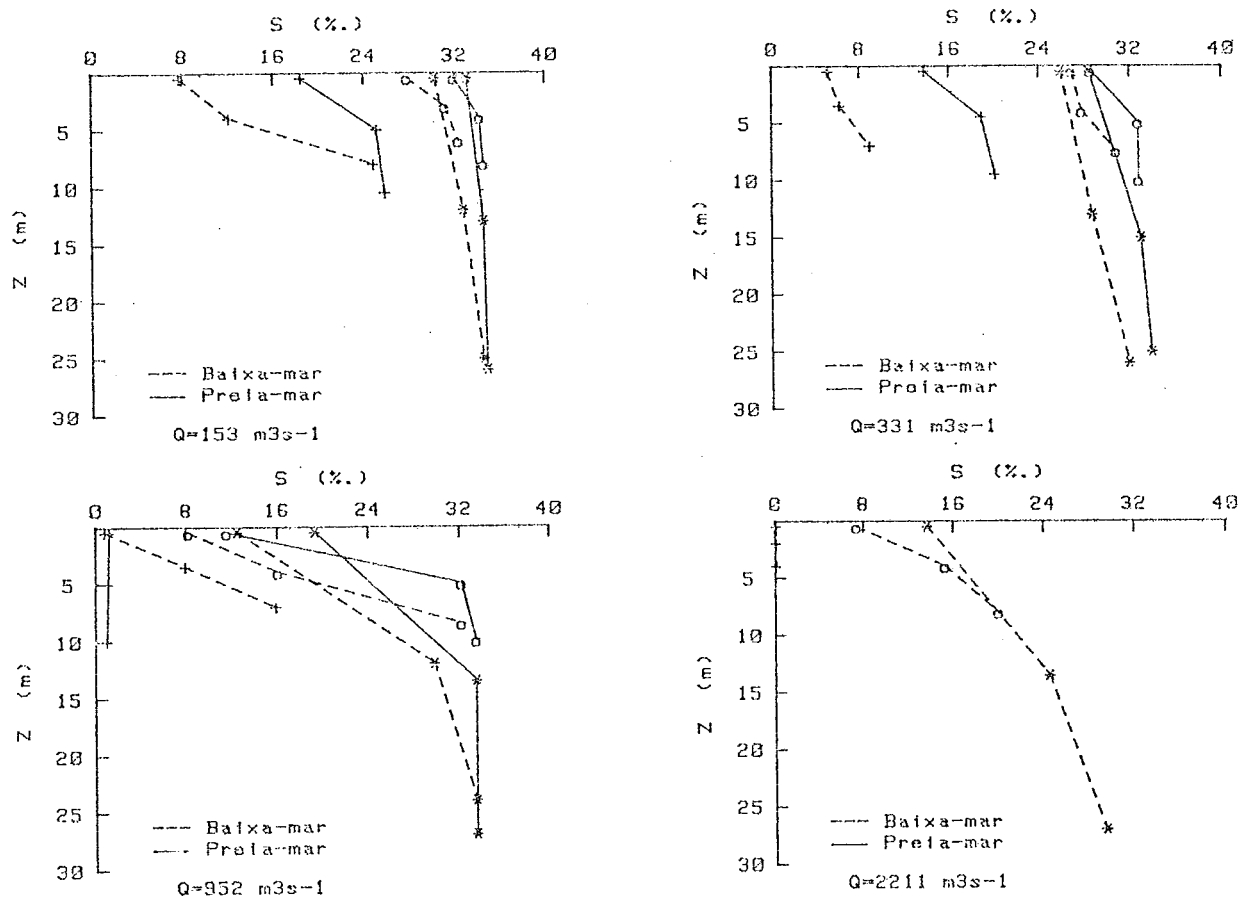


Fig.4 - Perfis verticais de salinidade para três estações no Estuário do Tejo (2.0 (+), 4.0 (o) e 5.0 (\*)) em quatro condições de caudal fluvial



caudais do Tejo têm valores de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; porém quando o caudal aumenta observa-se uma descida regular da salinidade média, como é possível observar na Fig.3.

O outro aspecto de alteração evidente com o caudal é o aparecimento de estratificação na coluna de água. Verifica-se pela observação da Fig.4 que quando o caudal é baixo (por exemplo  $Q=153 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) há homogeneidade vertical, com excepção da estação 2.0 em baixa-mar; para caudais próximos dos  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  não se observa qualquer estratificação. Porém quando os caudais de água doce são mais elevados (por exemplo para  $Q=952 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) a coluna de água apresenta uma estratificação muito pronunciada ( $\Delta S$  máxima entre  $15^\circ/\text{oo}$  e  $30^\circ/\text{oo}$ ).

As observações efectuadas com o caudal de cheia ( $Q=2211 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) indicam que a estratificação é menos acentuada, com  $\Delta S$  máximas da ordem dos  $15^\circ/\text{oo}$ .

O tempo de residência da água doce no Estuário varia entre 65 dias, quando o caudal é da ordem dos  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e 6 dias, para  $Q=2211 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Este facto poderá ter grande importância na qualidade da água do Estuário porque, quando o tempo de residência baixa os fenómenos físico-químicos que se processam no Estuário, como por exemplo fenómenos de interacção sedimento-coluna de água e processos de produção primária fitoplanctónica, passam a ter uma influência menor na composição da coluna de água.

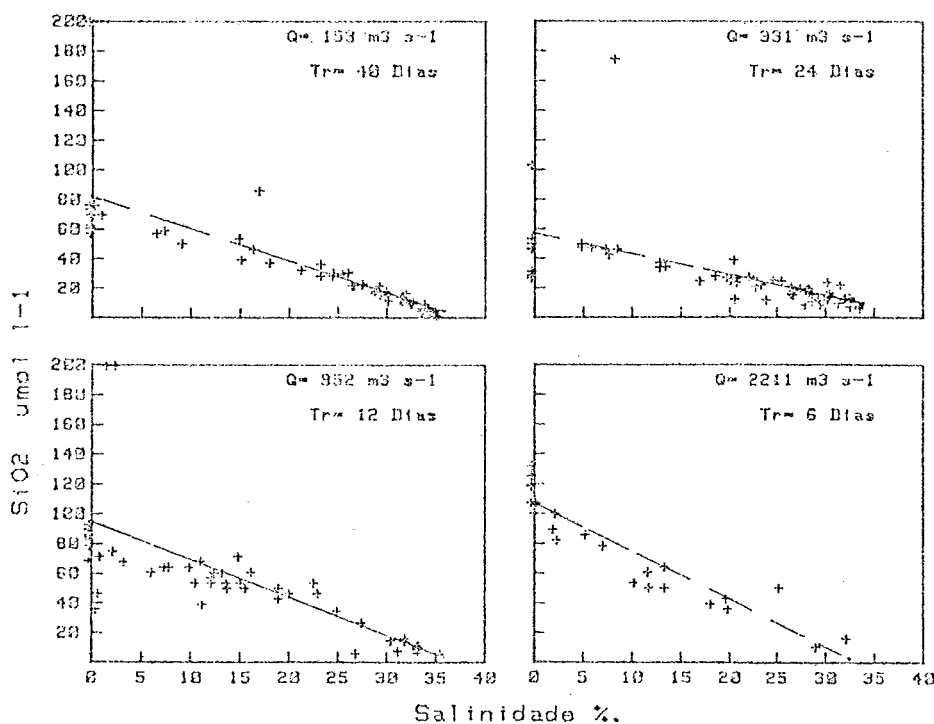


Fig.5 - Diagrama de diluição da Sílica para quatro condições de caudal fluvial

Na Fig.3 representa-se ainda a variação do tempo de residência e do volume de água doce presente em função do caudal.

A análise do comportamento dos sais nutrientes no Estuário foi feita recorrendo ao andamento dos diagramas de diluição e aos valores médios respectivos referentes aos vários caudais.



O diagrama da sílica, conforme se pode ver na Fig.5, é típico de uma substância conservativa de origem predominantemente fluvial; com o aumento do caudal observa-se uma subida no gradiente da recta de diluição, causada pelo aumento da carga de sílica transportada pelo rio.

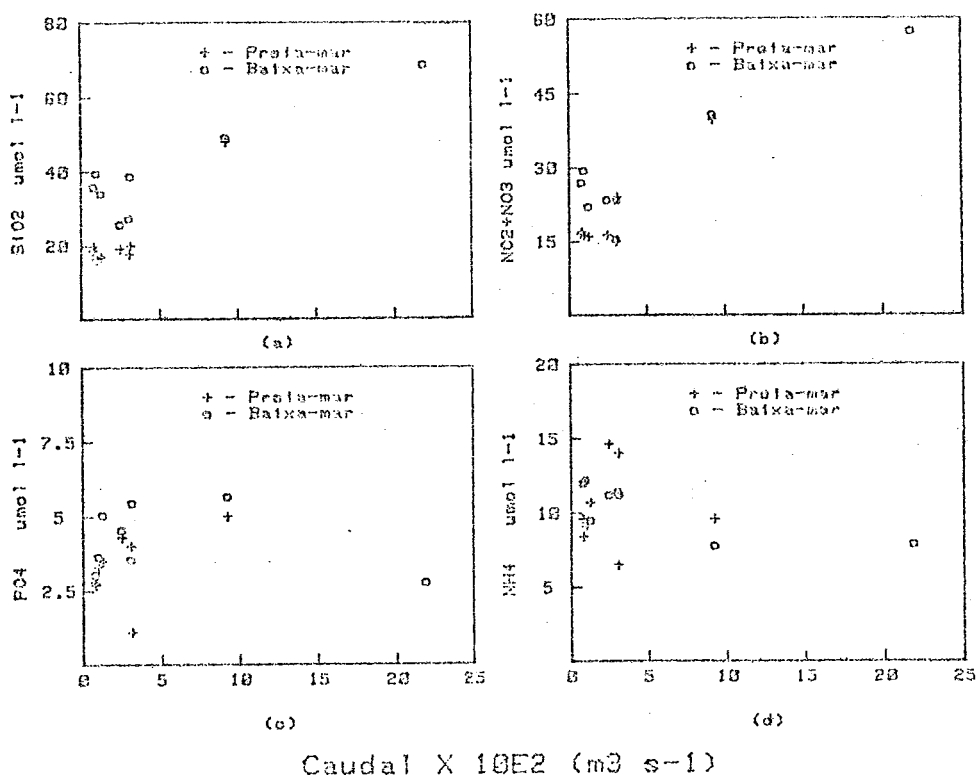


Fig.6 - Valores médios de Sílica, Nitrato+Nitrito, Fosfato e Amônia

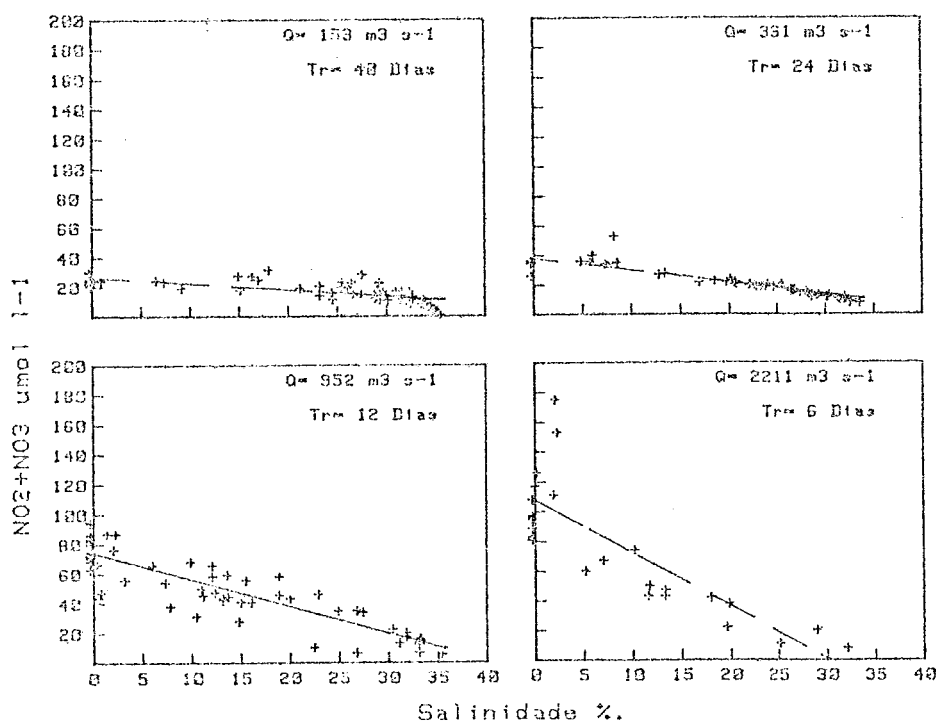


Fig.7 - Diagrama de diluição de Nitrato+Nitrito para quatro condições de caudal fluvial

Em consequência do comportamento conservativo, os valores médios de sílica variam com o caudal de forma inversa ao observado com a salinidade; isto é, os valores são quase constantes quando os caudais são baixos, e sobem regularmente com o aumento do caudal (Fig.6a).

As formas oxidadas de azoto, (nitrato+nitrito), no Estuário têm comportamento semelhante ao



da sílica, sendo evidente o aumento do gradiente da recta de diluição com o aumento do caudal (Fig.7). Como seria de esperar e se pode ver na (Fig.6b), a variação das concentrações médias apresenta aumento equivalente ao observado relativamente à sílica.

O comportamento do fosfato é diferente, provavel-

mente porque este sal nutriente não provém só do rio, mas também porque são importantes as cargas provenientes das águas residuais urbanas e industriais que entram no Estuário ao longo das margens, e o fluxo de fosfato do sedimento para a coluna de água dentro do Estuário, tendo este último processo tanto mais peso quanto maior for a razão entre a área de sedimento e a altura de água.

Quando o caudal é muito baixo (por exemplo  $Q=153 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) o diagrama de diluição (Fig.8) revela que a concentração é relativamente uniforme em todo o Estuário até ao canal de saída; a diminuição da razão área superficial/altura da coluna de água é certamente a causa da descida rápida de concentrações de fosfato observada quando a salinidade é superior a  $30\text{‰}$ .

Os diagramas referentes aos caudais  $Q=331 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $Q=952 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , (Fig.8) mostram que a carga proveniente do rio é consideravelmente superior; no entanto, a convexidade do diagrama de diluição é ainda evidente, demonstrando que as entradas de fósforo de origem não fluvial no Estuário (fluxo sedimento/coluna de água e cargas domésticas e industriais) são ainda factores importantes na regulação das concentrações observadas.

Nas observações efectuadas com o caudal de  $2211 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  verifica-se que a concentração de fosfato no rio é mais baixa do que as referentes a quaisquer das outras situações; provavelmente tal facto advém de ser reduzida a quantidade de fosfato lixiviável presente na camada superficial do solo da bacia hidrográfica.

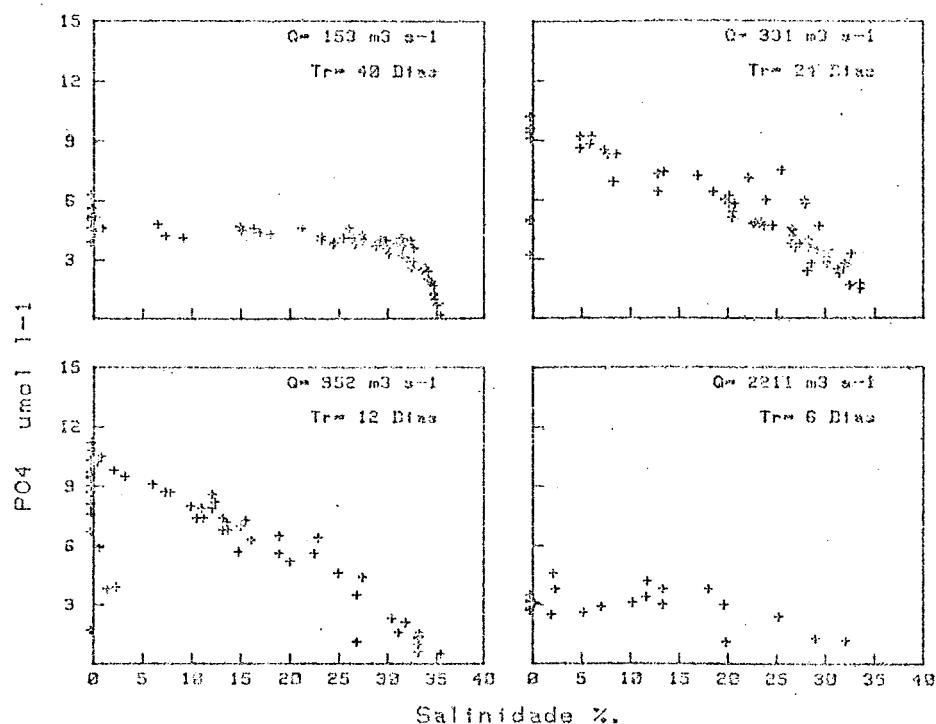


Fig.8 - Diagrama de diluição de Fosfato para quatro condições de caudal fluvial





A concentração de fosfato é quase constante ao longo de todo o Estuário; o reduzido tempo de residência da água doce no Estuário ( $Tr=6$  dias) vai certamente minimizar o efeito das entradas de fosfato provenientes das águas residuais e dos fluxos bentônicos sobre a concentração na coluna de água. Não se observa qualquer tendência na variação da concentração média de fosfato com o caudal (Fig.6c).

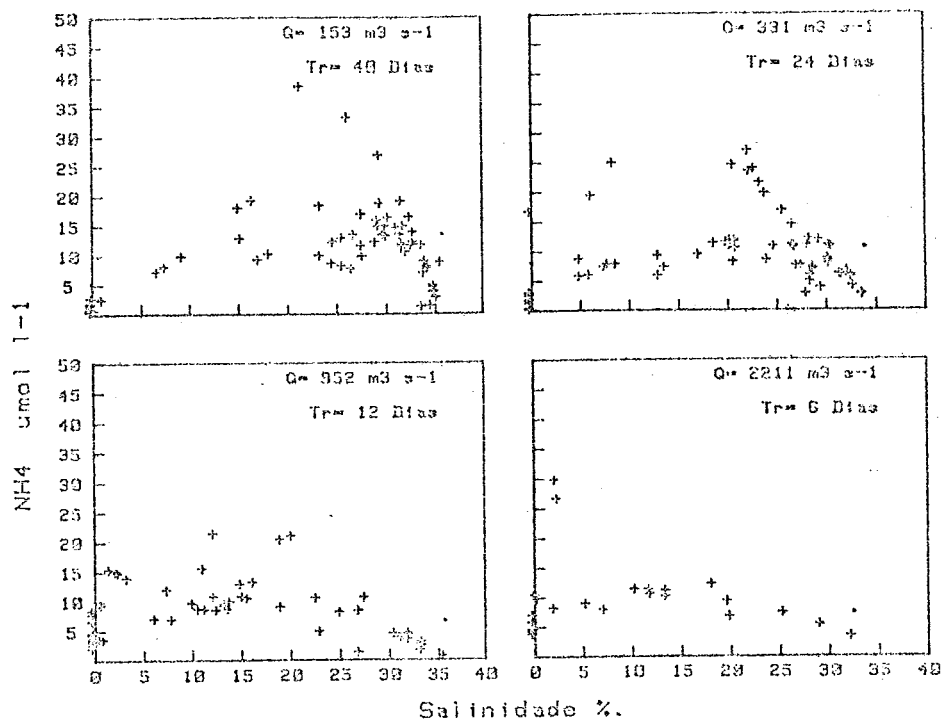


Fig.9 - Diagrama de diluição de Amônia para quatro condições de caudal fluvial

Os valores das concentrações de amônia na água doce são aproximadamente uniformes em todas as condições de caudal, como se observa na Fig.9. Dentro do Estuário a concentração é muito variável, sem qualquer padrão de variação evidente; porém, é sistemática a ocorrência de valores máximos nas estações 2.7 e 3.7, como seria de esperar dada a forte influência na zona das águas provenientes do Rio Trancão, o afluente do Tejo com maior carga poluente orgânica (Janneiro, 1981).

Não é também observável qualquer tendência na variação da concentração média de amônia com o caudal (Fig.6d).

#### 4. COMENTÁRIO FINAL

A cheia observada em Novembro de 1983, foi pequena em relação a outras que ocorreram neste rio, nomeadamente em 1979, tendo tido no entanto efeitos apreciáveis no Estuário.

Como resultado da análise dos dados disponíveis efectuada anteriormente, po-



de concluir-se que a alteração mais notável na hidrografia do Estuário deu-se na distribuição horizontal da salinidade, na ocorrência de estratificação e na diminuição da salinidade média.

Como o tempo de residência da água doce diminui drasticamente poder-se-á esperar que uma cheia possa ter no Estuário uma acção de diluição de poluentes, transportando-os para o mar em quantidades apreciáveis.

Os resultados disponíveis, nomeadamente os de amónia, mais relevantes neste aspecto não permitem verificar a validade desta hipótese; como se viu, a concentração média não sofreu alterações com a ocorrência do caudal elevado sendo sempre maior a variabilidade dos resultados em cada condição hidrológica do que de caso para caso.

##### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DRENA - HIDROPROJECTO - EPAL (1979) - Região de Saneamento Básico de Lisboa, II - Estudos de Base de Engenharia, Documento Preliminar, Ed do A. p. 135
- Janeiro, A.F.F. (1981) - Avaliação da Carga Poluidora Afluente ao Estuário do Tejo, Relatório I, Estudo Ambiental do Estuário do Tejo, DGRAH, DSCP - 31/R-T, 1981
- Loureiro, J.M. (1979) - Curvas de Duração dos Caudais Médios Diários no Rio Tejo, DGRAH, DSH, Div. Hidrometria, Lisboa, 1979, p.6
- Martins, M. e Duffner, M.J. (1982) - Estudo Ambiental do Estuário do Tejo, Estudo da qualidade da Água, Resultados referentes às observações sinópticas em 1980, CNA/TEJO Nº14, REL, p.210
- Martins, M., Machado, V.H. e Calvão M.T. (1983) - Estudo Ambiental do Estuário do Tejo, Estudo da qualidade da água, Resultados referentes às observações sinópticas em 1981, CNA/TEJO Nº29, REL.26, em publicação
- Officer, C.B. (1976) - Physical Oceanography of Estuaries (and Associated Coastal Waters), John Wiley & Sons, New York, p.465
- Quintela, A. (1967) - Recursos de águas superficiais em Portugal Continental, Gulbenkian, 1967

