

Balanço de Nutrientes no Braço Sul do Estuário do Rio Mondego

António A. L. Sampaio DUARTE ¹

José M. Pereira VIEIRA ²

Fernando J. SEABRA Santos ³

Miguel A. C. PARDAL ⁴

RESUMO

Na sequência de estudos realizados no domínio da análise de vulnerabilidade da costa litoral portuguesa, entendeu-se pertinente desenvolver um programa de investigação sobre o braço sul do estuário do rio Mondego visando, fundamentalmente, os seguintes aspectos: caracterização das marés, caudais fluviais e descargas de fontes poluidoras; modelação hidrodinâmica do sistema; avaliação do balanço anual de nutrientes; análise da vulnerabilidade deste sistema à eutrofização.

Neste trabalho procedeu-se à modelação do sistema utilizando um modelo de qualidade unidimensional (*DUFLOW*) e os dados existentes. A não adopção, nesta fase, dum modelo multidimensional deve-se não só à não simultaneidade das medições dos parâmetros nos vários pontos de amostragem, mas, sobretudo, ao objectivo do presente trabalho: estimar o balanço de nutrientes neste sistema estuarino.

Palavras-chave: modelação matemática; qualidade da água; estuários; balanço de nutrientes; eutrofização, controlo de fontes poluidoras.

¹ - Eng.º Civil, Assistente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.

² - Eng.º Civil, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga.

³ - Eng.º Civil, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, Coimbra.

⁴ - Biólogo, Bolseiro de Doutoramento do Departamento de Zoologia da FCTUC, Coimbra.

1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA FÍSICO

A bacia hidrográfica do rio Mondego localiza-se na região centro de Portugal, apresenta uma orientação nordeste/sudoeste e drena uma área com cerca de 6670 km². Confronta a norte com a bacia do rio Vouga, a sul com as bacias dos rios Tejo e Lis e a leste com a bacia do rio Douro.

A sua zona estuarina é constituída por dois braços (norte e sul), separados pela ilha da Murraceira a cerca de 7 km do mar, que confluem próximo da embocadura do estuário (Figura 1).

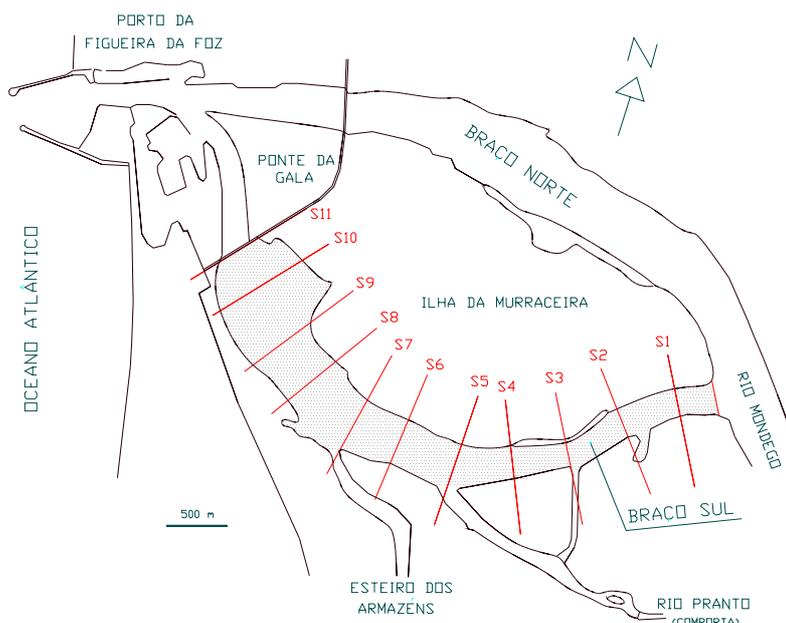


Figura 1 - Representação do sistema estuarino do Rio Mondego.

Estes dois braços apresentam características hidrográficas muito diferentes. O braço norte é mais profundo (5 a 10 m durante a preia-mar) que o braço sul (2 a 4 m de profundidade, durante a preia-mar), facto que determina uma propagação mais rápida da maré no braço norte, provocando aí variações diárias da salinidade mais acentuadas e menores variações diárias da temperatura. O braço sul encontra-se praticamente assoreado a montante, pelo que a entrada de água doce no estuário provém essencialmente do escoamento pelo braço norte, controlado pela Ponte-Açude de Coimbra. A circulação de água no braço sul deve-se maioritariamente à acção da maré e ao escoamento fluvial do rio Pranto, que é artificialmente controlado por uma estrutura de retenção localizada cerca de 2,5 km a montante da sua confluência com o braço sul. Esta situação faz com que a persistência de nutrientes na coluna de água do braço sul seja mais prolongada que no braço norte.

O estuário do Mondego está sujeito a grandes pressões ambientais devidas a actividades humanas diferenciadas, tais como a portuária (o porto comercial da Figueira da Foz), a industrial (com predomínio da alimentar), a aquicultura, a exploração de salinas, e a agrícola (com destaque para a orizicultura). Esta última origina uma entrada significativa e não controlada de nutrientes e de produtos químicos tóxicos (pesticidas) nas águas estuarinas, por lixiviação das áreas agrícolas do vale do Baixo Mondego. A situação é

ainda agravada com o lançamento de esgotos urbanos e industriais sem tratamento adequado.

Como seria de esperar, durante a última década verificou-se um processo de eutrofização do braço sul (na Primavera e no Outono) tendo como consequência o aparecimento de massas de macroalgas (*Enteromorpha spp* e *Ulva spp*) e um declínio dos prados de “*Zostera noltii*”. De acordo com investigações recentes, a eutrofização é mais intensa nas zonas mais interiores do braço sul onde algumas macroalgas (em especial *Enteromorpha spp*) apresentam um desenvolvimento luxuriante e cobrem uma área significativa dos sapais.

Neste estudo, assumiu-se que a maioria dos nutrientes descarregados no braço sul provêm da sua comunicação de jusante com o braço norte, do rio Pranto e do esteiro dos Armazéns de Lavos (onde, apesar de o caudal fluvial ser diminuto, se verifica o arrastamento pela onda de maré, durante a vazante, das águas residuais descarregadas por várias indústrias). A única saída do sistema é a sua fronteira de jusante.

O sistema a modelar apresenta uma extensão aproximada de 5 km, considerando a fronteira de montante na bifurcação dos dois braços (região dos “Cinco Irmãos”) e a de jusante na Ponte da Gala. De acordo com as cartas batimétricas fornecidas pela Direcção Geral de Portos este trecho apresenta uma inclinação média próxima de 1‰. A largura superficial média do canal é de 400 m.

A agitação marítima ao largo da Figueira da Foz e o regime de marés no interior do estuário foram já estudados. No braço sul existe um marégrafo (M5) situado 1 km a montante da Ponte da Gala. Nesta fase do estudo optou-se, no entanto, pela consideração de valores médios anuais das alturas e da amplitude de maré (Quadro 1), obtidos através do recurso às Tabelas de Maré estabelecidas para o Porto da Figueira da Foz pelo Instituto Hidrográfico.

Quadro 1 - Dados médios da maré no Porto da Figueira da Foz

Altura máxima (m)		3,8
Altura média (m)		2,0
Altura mínima (m)		0,2
Preia-mar: (valores médios)	maré viva	3,5
	maré quebrada	2,7
Baixa-mar: (valores médios)	maré viva	0,5
	maré quebrada	1,3

2 - DESCRIÇÃO DO MODELO UTILIZADO

O modelo DUFLOW (ICIM, 1992) foi desenvolvido com o objectivo de dar resposta a uma grande variedade de aplicações, tais como propagação de ondas de maré em estuários, ondas de cheia em rios, operações de irrigação, sistemas de drenagem e problemas de qualidade da água. Atendendo às suas capacidades de modelar, em simultâneo, quantidade e qualidade da água, este modelo constitui uma ferramenta importante como suporte à decisão na gestão da qualidade de águas superficiais.

O modelo é baseado em equações diferenciais de derivadas parciais, que traduzem a formulação matemática das leis de conservação de massa e de quantidade de movimento,

na forma unidimensional, permitindo descrever um escoamento com superfície livre em regime variado.

Podem ser introduzidos no sistema a modelar vários tipos de estruturas hidráulicas, tais como descarregadores, galerias, sifões e estações de bombagem.

A parte do modelo DUFLOW relativa à qualidade é baseada na equação de transporte expressa na forma unidimensional. Esta equação descreve a concentração de um contaminante num sistema em função do tempo e do espaço (na direcção do escoamento):

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} = -\frac{\partial(QC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) + P \quad (1)$$

em que,

C	= concentração de contaminante	[L ⁻³ M]
Q	= caudal no trecho considerado;	[L ³ T ⁻¹]
A	= área da secção molhada;	[L ²]
D	= coeficiente de dispersão;	[L ² T ⁻¹]
t	= tempo;	[T]
x	= distância ao longo do eixo do canal;	[L]
P	= produção do constituinte por unidade de comprimento.	[L ⁻¹ MT ⁻¹]

O termo relativo à produção dum constituinte inclui todos os processos físicos, químicos e biológicos a que esse constituinte está sujeito.

A descrição dos processos pode ser alterada pelo modelador, possibilitando a formulação de diferentes cinéticas para os processos determinantes da qualidade da água. Permite, por isso, efectuar a modelação das variáveis de estado que sejam relevantes para um determinado problema, sendo o utilizador a definir o seu número e as relações entre elas. A discretização, em ordem ao espaço e ao tempo, das equações que traduzem matematicamente as leis da conservação da massa e da quantidade de movimento é efectuada pelo *método de Preissman* ou *dos quatro pontos*.

A acção do vento, sensível em extensas massas de água pouco profundas, pode ser incluída através da definição de séries temporais ou da leitura de ficheiros (ASCII) com uma base de dados.

A definição das secções transversais de sistemas fluviais, os respectivos parâmetros hidráulicos e os coeficientes de resistência podem ser definidos em função da altura de água na secção. Os trechos do sistema a modelar podem apresentar comprimentos distintos.

As condições iniciais requeridas são os valores do nível da água na secção e dos caudais em cada trecho, que podem ser definidos através de registos existentes, resultados de anteriores simulações ou valores plausíveis.

As condições fronteira podem ser especificadas de diferentes modos: por caudais, níveis de água ou concentrações numa dada secção, através duma constante, de séries temporais ou de séries de Fourier; por tabulação de curvas de vazão de estruturas de controlo; e por introdução de caudais exteriores ao sistema e/ou resultantes da escorrência na bacia drenada.

A componente hidrodinâmica e a da qualidade podem ser calculadas em simultâneo ou separadamente, utilizando, se necessário, diferentes intervalos de tempo de simulação, desde que o da qualidade seja múltiplo do da hidrodinâmica. É possível simular

isoladamente os processos bioquímicos no sistema, eliminando-se, neste caso, a contribuição do efeito de transporte sobre esses processos. Em cada trecho pode ser definida uma variável de estado para o leito de modo a descrever a interacção entre a coluna de água e os sedimentos.

Neste modelo existem algumas limitações inerentes às equações e métodos utilizados: as equações aplicam-se a escoamentos unidimensionais, pelo que as massas hídricas com variações significativas de velocidade (na vertical ou transversalmente) não podem ser modeladas; não está prevista a estratificação da massa hídrica, já que a densidade é considerada constante ao longo do sistema; as linhas de corrente devem ser aproximadamente paralelas ao eixo do canal.

3 - MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA

3.1 - Estrutura do Modelo

A segmentação do braço sul do estuário foi efectuada de harmonia com a variação das suas características batimétricas, tendo resultado dez trechos, de comprimento variável mas aproximado (visando minimizar a dispersão numérica), delimitados pelas onze secções transversais que se encontram representadas na Figura 1.

Foi considerada a variação média da largura superficial do canal entre as várias secções e a variação da inclinação do talvegue nos diferentes trechos, resultando a planta e o perfil longitudinal do talvegue representados na Figura 2.

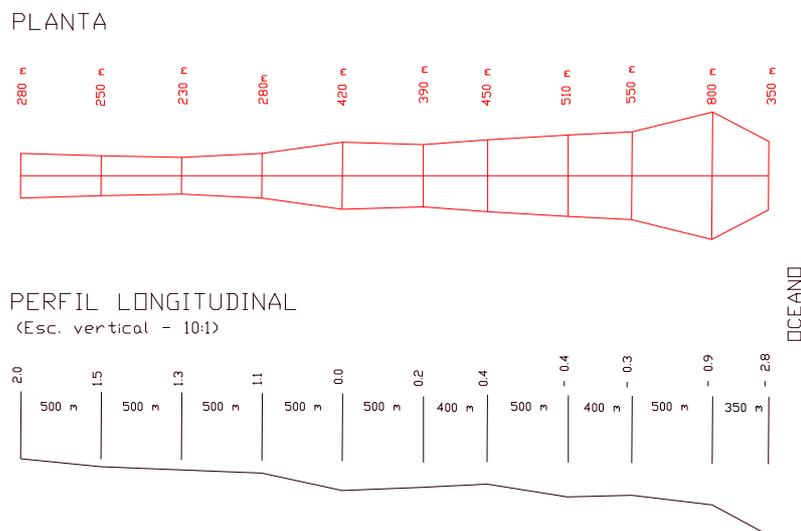


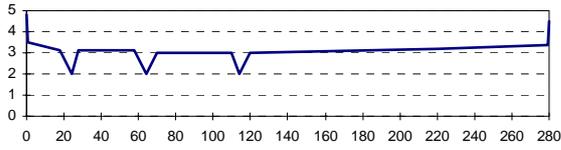
Figura 2 - Planta e perfil longitudinal considerados na modelação

A geometria das secções transversais foi estabelecida com base nas cartas batimétricas (à escala 1:2000) fornecidas pela Direcção Geral de Portos, a partir do levantamento efectuado pela Brigada Hidrográfica em 1987/1988. A representação gráfica das várias secções consideradas consta da Figura 3.

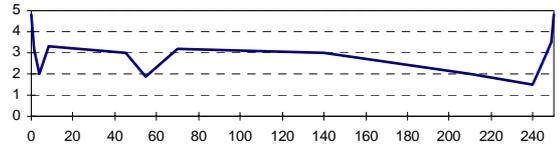
Este modelo permite reproduzir as áreas relativas a leitos maiores, apresentando como limitação a conversão das secções reais em secções (virtuais) simétricas relativamente ao talvegue.

Não foi considerada a variação de direcção do eixo longitudinal de cada segmento, pois nesta fase não foi considerada a acção do vento, uma vez que a análise de sensibilidade efectuada a este parâmetro mostrou não ser relevante.

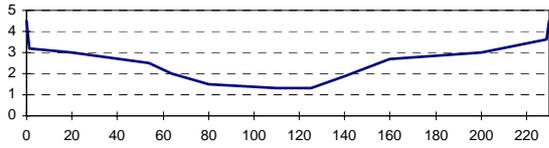
Secção 1



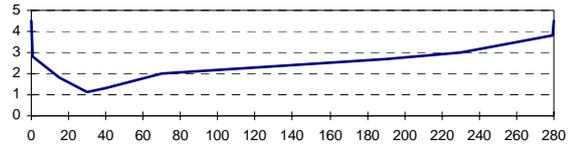
Secção 2



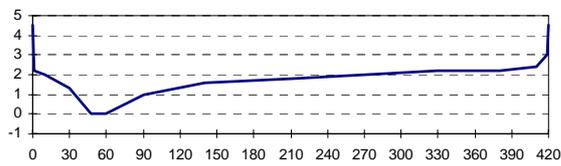
Secção 3



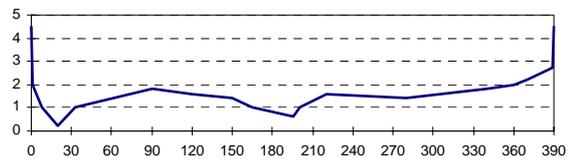
Secção 4



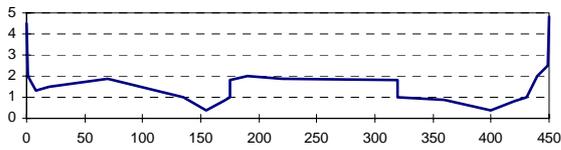
Secção 5



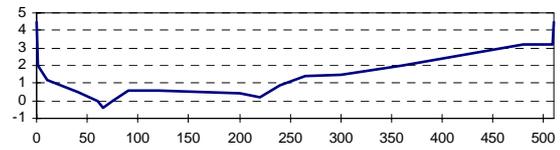
Secção 6



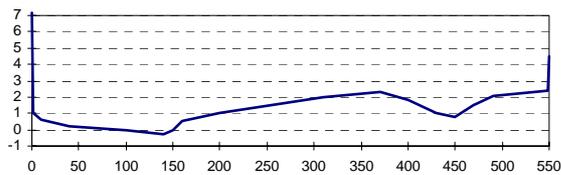
Secção 7



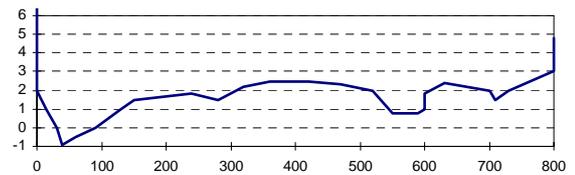
Secção 8



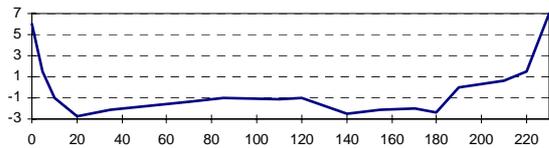
Secção 9



Secção 10



Secção 11



Nota:

- Abcissas: distância à margem esquerda (m)
- Ordenadas: cota hidrográfica (m)

Figura 3 - Secções transversais do braço sul de estuário do rio Mondego

As condições de fronteira estabelecidas na análise hidrodinâmica foram: um valor nulo do caudal na secção de montante e as alturas de água medidas na secção de jusante (Ponte da Gala) durante as campanhas de amostragem, traduzidas numa série de Fourier que reproduz o efeito da maré. Nesta análise não se contabilizaram as descargas do rio Pranto, quer pela sua irregularidade (apenas ocorrem quando o nível a montante das comportas é superior ao de jusante), quer pelo facto de o sistema não ser sensível à entrada desses caudais, mesmo considerados os seus valores máximos.

As condições iniciais adoptadas resultaram dum cálculo preliminar do sistema, de modo a obter um regime estabelecido e a evitar as instabilidades numéricas que podem advir de regimes transitórios.

3.2 - Parâmetros Observados na Campanha de Amostragem

A campanha de amostragem decorreu em três estações, localizadas no rio Pranto, no esteiro dos Armazéns e na Ponte da Gala. Neste trabalho consideram-se os dados recolhidos na coluna de água, referentes ao período de Julho de 1993 a Junho de 1994.

O caudal do rio Pranto, controlado por uma estrutura de retenção constituída por três comportas, foi medido durante algumas aberturas das comportas (num total de sessenta e sete vezes), tendo-se no entanto registado todos os períodos de descarga. Nas outras duas estações foi necessário registar os balanços de caudal (na enchente e na vazante) ao longo de alguns ciclos de maré (dezoito vezes na Ponte da Gala e doze no esteiro dos Armazéns).

Os parâmetros observados na secção da Ponte da Gala foram: velocidade; profundidade; temperatura; oxigénio dissolvido; salinidade; concentração hidrogeniónica (*pH*); potencial *redox* e concentrações de azoto e fósforo, sob a forma de nitritos, nitratos e fosfatos. A velocidade do escoamento foi medida em nove pontos distintos: superfície, meio e fundo no centro e a meia distância de cada uma das margens. A medição dos restantes parâmetros fez-se nos três níveis da coluna de água (superfície, meio e fundo) a cerca de dez metros da margem esquerda. A periodicidade da monitorização foi de uma hora para todos os parâmetros.

No rio Pranto a medição da velocidade foi efectuada em cada uma das comportas, durante o respectivo período de abertura, com intervalos de quinze minutos. Os restantes parâmetros (nesta secção não foi medido o potencial *redox*) foram medidos com uma periodicidade horária.

No esteiro dos Armazéns foram observados os mesmos parâmetros que no rio Pranto, mas com intervalos de trinta minutos face ao efeito significativo da maré nesta secção. A velocidade foi medida na parte central e junto à margem esquerda. Estes valores não foram incluídos nesta fase do estudo atendendo à pouca relevância do caudal descarregado através deste esteiro.

A natureza dos parâmetros seleccionados para esta monitorização está intimamente ligada com o objectivo inicial do estudo que motivou esta campanha de amostragem: estimar as descargas anuais de azoto inorgânico e fósforo no braço sul do estuário e as suas distribuições ao longo do ano, de modo a perceber quais as concentrações que regulam o processo de eutrofização e a estimar o grau de redução necessário na descarga de nutrientes, contribuindo assim para a definição de soluções técnicas apropriadas a adoptar.

3.3 - Calibração do Modelo

A calibração hidrodinâmica do modelo só podia, nesta fase, ser efectuada por comparação entre os valores da velocidade na secção da Ponte da Gala medidos e os valores médios calculados no modelo, dado que não existem registos de outras medições efectuadas ao longo do trecho em estudo. Conhecidas as alturas de água nesta secção procedeu-se à simulação de um ciclo de maré para cada mês. Os resultados obtidos em termos de velocidade média no trecho imediatamente a montante da Ponte da Gala (fronteira jusante do sistema modelado) foram sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2 - Velocidades médias calculadas na secção da Ponte da Gala

HORA DO CICLO DE MARÉ												
MÊS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JAN	-0.053	-0.181	-0.243	-0.199	-0.097	0.026	0.125	0.211	0.265	0.265	0.200	0.149
FEV	0.397	0.450	0.297	0.097	-0.09	-0.278	-0.346	-0.269	-0.112	0.013	0.144	0.326
MAR	0.700	0.572	0.391	0.148	-0.085	-0.257	-0.369	-0.285	-0.154	-0.052	0.110	0.480
ABR	0.383	0.474	0.359	0.155	-0.052	-0.235	-0.359	-0.310	-0.159	-0.029	0.094	0.234
MAI	0.319	0.421	0.339	0.143	-0.074	-0.249	-0.329	-0.285	-0.156	-0.052	0.058	0.202
JUN	0.095	0.191	0.284	0.324	0.253	0.117	-0.042	-0.197	-0.281	-0.227	-0.114	-0.066
JUL	-0.253	-0.234	-0.148	-0.044	0.032	0.100	0.165	0.227	0.269	0.252	0.139	-0.166
AGO	-0.148	-0.164	-0.099	-0.015	0.063	0.137	0.199	0.235	0.224	0.149	0.026	-0.088
SET	-0.025	-0.133	-0.244	-0.274	-0.208	-0.083	0.036	0.151	0.266	0.355	0.362	0.214
OUT	-0.151	-0.273	-0.258	-0.152	-0.032	0.065	0.152	0.225	0.272	0.276	0.225	0.100
NOV	-0.151	-0.273	-0.258	-0.152	-0.032	0.065	0.152	0.225	0.272	0.276	0.225	0.100
DEZ	0.308	0.132	-0.068	-0.201	-0.256	-0.210	-0.104	0.011	0.113	0.201	0.229	0.072

Nas Figuras 4 e 5 apresenta-se uma representação gráfica da sobreposição dos valores obtidos na modelação com os valores médios das velocidades observadas nos três níveis (superfície, meio e fundo) e com os valores médios ponderados para a secção total, respectivamente. Os valores positivos correspondem à vazante e os negativos à enchente.

Da análise sumária destes resultados constata-se que os valores calculados são cerca de 45% a 55% inferiores aos observados. Tal facto, poderia levantar dúvidas sobre o rigor da modelação efectuada (por exemplo, em termos da geometria das secções) ou/e em relação à calibração do instrumento de medida utilizado (molinete) no decurso da campanha de amostragem.

Para esclarecer esta situação procedeu-se à determinação dos volumes de água em cada uma das secções transversais consideradas e para alturas de água, nessas secções, variando de meio em meio metro (Quadro 3), de modo a estimar o valor do prisma de maré para diferentes amplitudes de maré. Com base nessa estimativa pode obter-se o caudal e a velocidade médios nessa secção em ciclos de maré com as amplitudes consideradas.

Os valores obtidos para a gama de amplitudes de maré observadas na Ponte da Gala, em função de diferentes níveis da água na baixa-mar e na preia-mar constam no Quadro 4, admitindo-se na sua elaboração uma amplitude mínima da maré de 1,0 m e uma amplitude máxima de 3,5 m, face aos valores registados nas respectivas Tabelas de Marés.

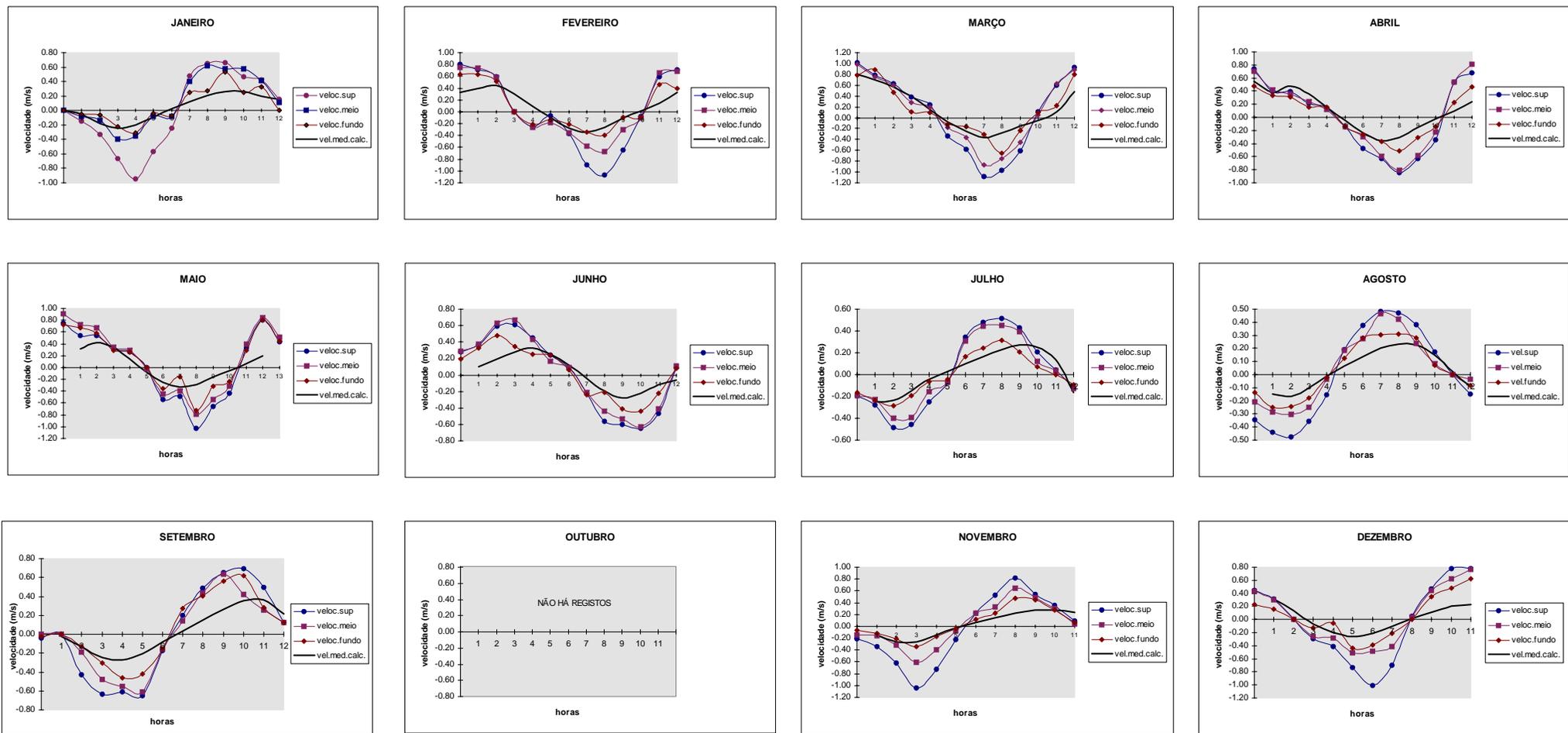


Figura 4 - Comparação entre as velocidades observadas em três níveis e as velocidades calculadas no modelo (Ponte da Gala)

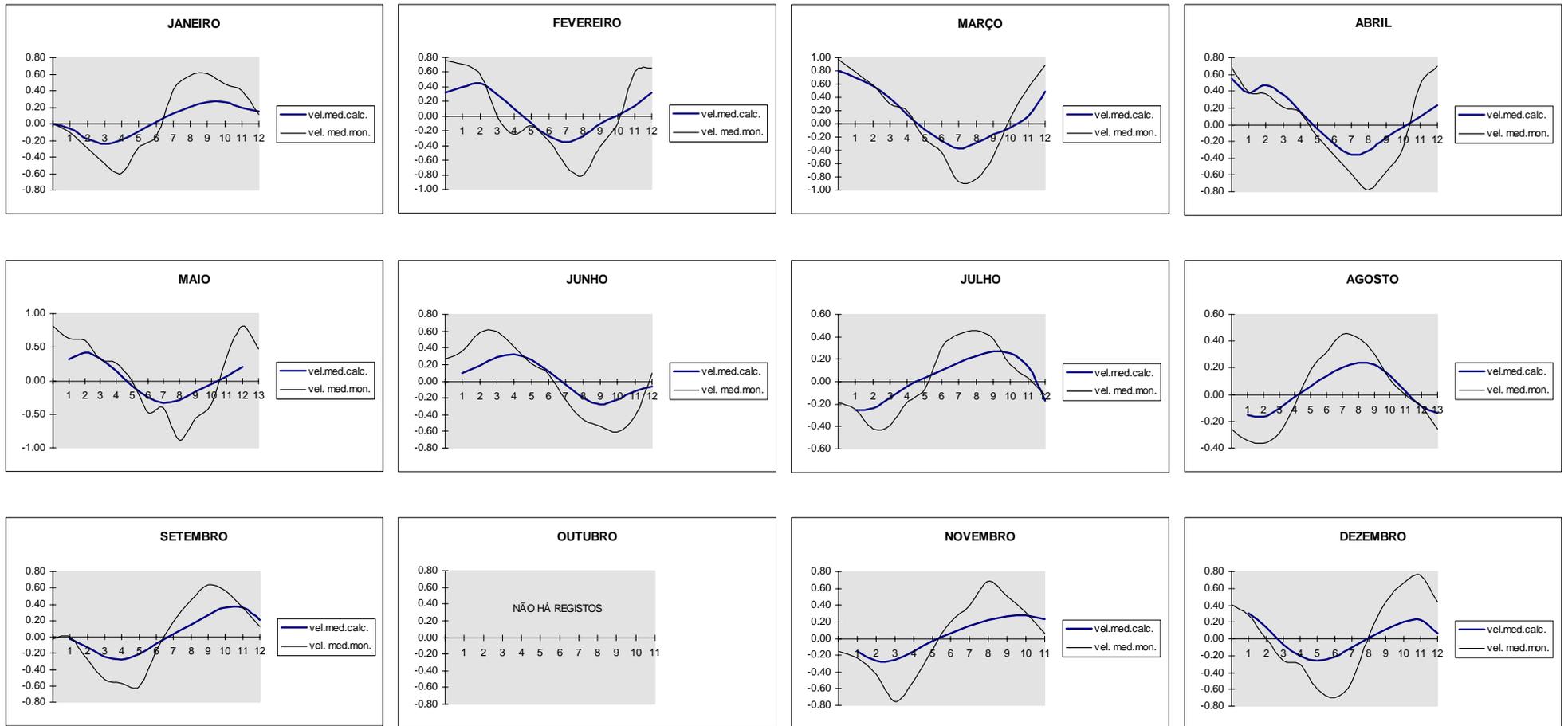


Figura 5 - Comparação entre as velocidades médias no modelo e as velocidades médias monitorizadas (Ponte da Gala)

Quadro 3- Áreas das secções transversais e volumes de água no sistema modelado

COTAS	SEC 1	SEC 2	SEC 3	SEC 4	SEC 5	SEC 6	SEC 7	SEC 8	SEC 9	SEC 10	SEC 11	VOLUME
-2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.2	3360
-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.6	11130
-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128.6	22505
-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	219.8	40303
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.5	26.0	312.2	69260
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	25.0	55.6	62.9	409.5	138770
1.0	0.0	0.0	0.0	5.5	34.7	17.0	37.0	125.0	142.0	123.0	513.0	306700
1.5	0.0	0.0	6.5	26.8	75.6	93.7	123.5	255.0	256.0	218.0	620.0	585140
2.0	0.0	8.0	39.0	79.1	165.8	246.5	227.5	418.4	418.7	389.2	728.8	1029755
2.5	3.2	38.0	84.0	174.4	333.6	432.0	450.0	610.9	640.0	644.8	838.2	1684335
3.0	15.5	93.5	151.0	298.0	541.6	625.0	675.0	828.0	915.0	1036.0	948.2	2483860
3.5	100.0	205.0	255.0	435.0	751.6	820.0	900.0	1053.0	1190.0	1436.0	1060.0	3332050
4.0	240.0	330.0	370.0	575.0	961.6	1015.0	1125.0	1308.0	1465.0	1836.0	1175.0	4206175
4.5	380.0	455.0	485.0	715.0	1171.6	1210.0	1350.0	1563.0	1740.0	2236.0	1290.0	5080300

Quadro 4 - Prisma de maré (m³) no braço sul do estuário do rio Mondego.

PM	BM	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
2.0		960 495	890 985	723 055			
2.5		1 615 075	1 545 565	1 377 635	1 099 195		
3.0		2 414 600	2 345 090	2 177 160	1 898 720	1 454 105	
3.5			3 193 280	3 025 350	2 746 910	2 302 295	1 647 715
4.0				3 899 475	3 621 035	3 176 420	2 521 840
4.5					4 495 160	4 050 545	3 395 965

Por exemplo, para o ciclo diurno de maré do dia 25/01/1994, obtém-se:

- Prisma de maré = 2 177 160 m³ ;
- $Q_{\text{méd.}} = 100.8 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow U_{\text{méd.}} = 0.138 \text{ m/s}$.

Refira-se que os valores médios da velocidade obtidos para este ciclo de maré foram de 0,168 m/s no modelo e de 0,407 m/s na monitorização, o que parece indicar ser a má calibração do molinete o motivo mais plausível do desfasamento entre os valores observados e calculados.

3.4 - Balanço Anual de Nutrientes no Sistema Modelado

A estimativa do balanço anual de nutrientes (nitratos, nitritos e fosfatos) no sistema modelado foi efectuada através da comparação entre a massa de cada um desses nutrientes descarregada pelo rio Pranto e o balanço mássico desses nutrientes na fronteira de jusante

(diferença entre as massas desses compostos que entraram no sistema durante a enchente e que saíram durante a vazante).

A massa de nutrientes descarregada pelo rio Pranto ao longo do período de monitorização foi estimada com base no registo de todos os períodos de abertura das comportas e no cálculo do valor médio horário (para cada mês) das massas de nutrientes descarregadas (Quadro 5).

O fluxo de nutrientes na Ponte da Gala foi calculado com base nas velocidades médias obtidas nas simulações mensais efectuadas e nas concentrações medidas durante a campanha de amostragem.

Este fluxo representa o saldo, nesta secção, entre as saídas de nutrientes (resultantes das descargas por montante e das transformações que ocorrem no interior do sistema) e a entrada destes nutrientes por jusante por acção da maré (contribuição do oceano e do braço norte do estuário). A síntese dos cálculos efectuados consta do Quadro 6.

Quadro 5 - Valores mensais da massa de nutrientes descarregada pelo rio Pranto

MÊS	Tempo total de abertura (h)	Tempo de monitorização (h)	NITRATOS (kg N)		NITRITOS (kg N)		FOSFATOS (kg P)	
			MON.	TOTAL	MON.	TOTAL	MON.	TOTAL
JUN	7.25	7.25	202.8	203	14.7	15	4.5	5
JUL	0	0	0	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	0	0	0	0
SET	15.00	7.5	18.6	37	1.3	3	1.4	3
OUT	198.25	66	4 452.4	13 374	140.7	423	96.1	289
NOV	175.75	49	4 783.8	17 158	135.7	487	78.4	281
DEZ	81.50	40.5	2 658.8	5 350	87.3	176	40.4	81
JAN	290.75	58.5	3 961.0	19 686	168.3	836	86.5	430
FEV	226.25	59.5	3 332.2	12 671	124.4	473	55.1	209
MAR	179.25	43.75	2 103.4	8 618	104.0	426	56.1	230
ABR	25.5	10.5	395.1	960	28.3	69	8.5	21
MAI	109	35.25	1 687.7	5 219	89.8	278	50.5	156
SOMA	---	---	---	83 276	---	3 186	---	1 705

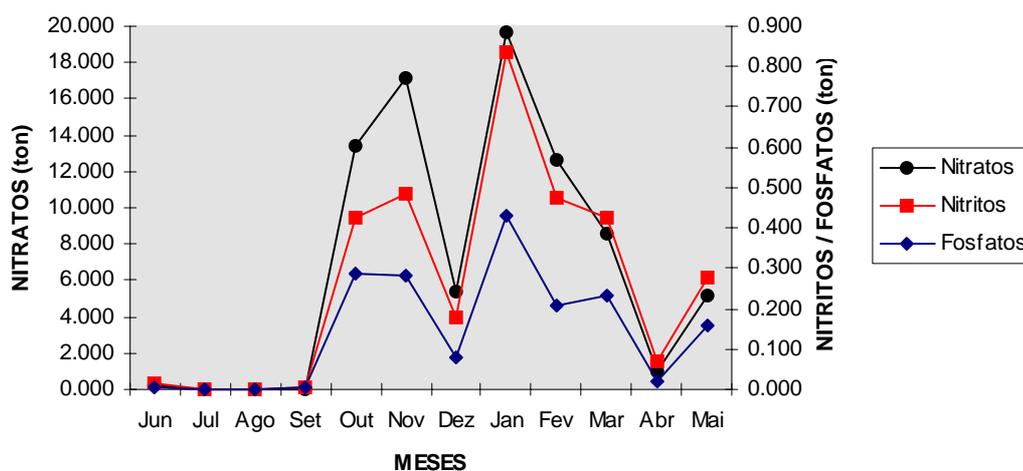


Figura 6 - Evolução mensal da descarga de nutrientes do rio Pranto

Quadro 6 - Fluxos mensais de nutrientes na Ponte da Gala

Meses	Massa (NO ₃) (ton)	Massa (NO ₂) (ton)	Massa (PO ₄) (ton)
Jun	8.208	1.177	0.548
Jul	1.492	-1.826	2.036
Ago	0.809	0.809	1.998
Set	12.936	0.938	1.973
Out	-12.958	0.361	-1.191
Nov	12.183	1.433	2.077
Dez	-14.128	-1.197	0.813
Jan	18.402	1.027	1.075
Fev	33.400	3.690	0.855
Mar	39.196	2.164	2.613
Abr	5.077	1.551	0.685
Mai	18.415	1.778	1.681
	123.032	11.907	15.163

Na Figura 7 representa-se graficamente a evolução mensal quer da descarga de nutrientes pelo rio Pranto, quer do fluxo de nutrientes na secção da Ponte da Gala.

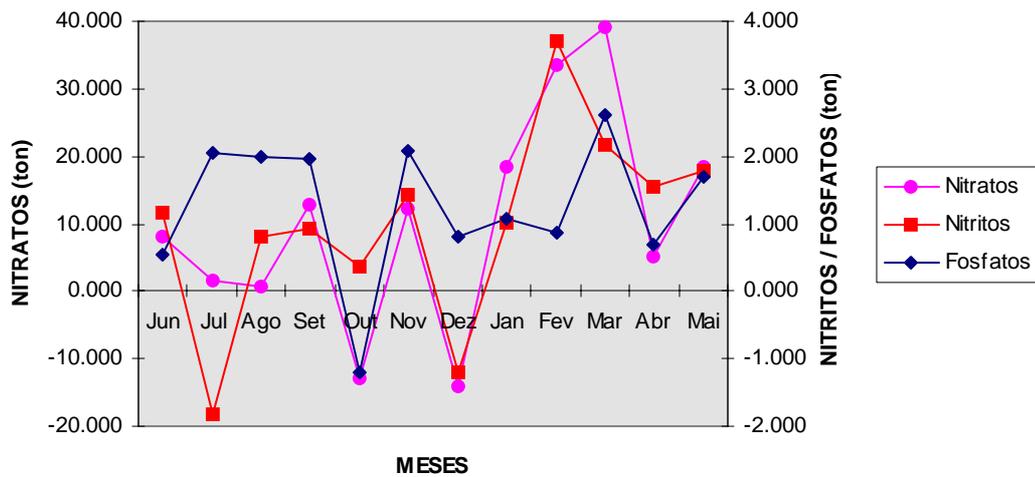


Figura 7 -

Como conclusão dos cálculos efectuados, cujos resultados foram expostos nos Quadros 5 e 6, estima-se, conscientes das muitas simplificações introduzidas nesta análise, que em termos anuais o rio Pranto descarrega no braço sul do estuário do rio Mondego cerca de 86 toneladas de azoto (83 na forma de nitrato e 3 na forma de nitrito) e cerca de 2 toneladas de fósforo (na forma de fosfato), sendo transferidas para o oceano, através da coluna líquida, cerca de 135 toneladas de azoto e cerca de 15 toneladas de fósforo (Figura 7).

No que se refere ao azoto, presume-se que a “produção” no sistema de cerca de 49 toneladas de azoto (em nitratos e nitritos) se deve à oxidação da amónia proveniente dos terrenos agrícolas e cuja concentração, quer a montante quer a jusante do sistema não foi monitorizada. A “produção” de cerca de 13 toneladas de fósforo poderá ser motivada pela acção metabólica ou morte de alguns microrganismos. Esta situação deverá ser justificada com o desenvolvimento da investigação em curso.

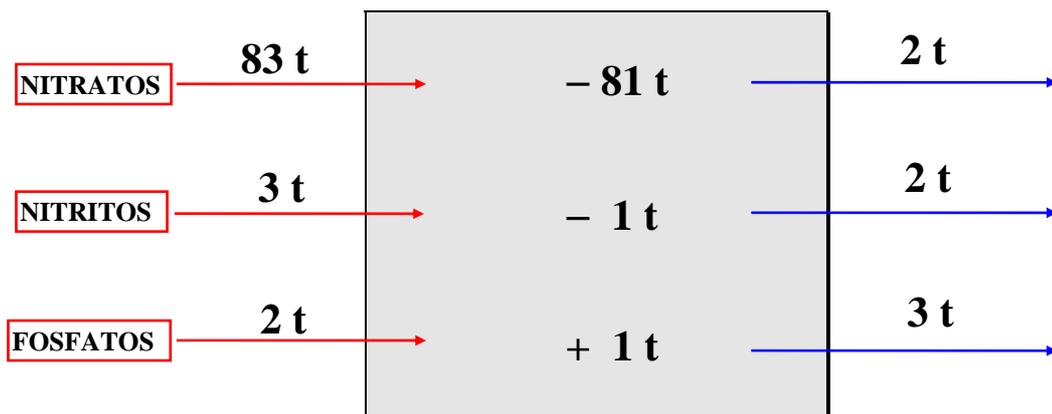


Figura 8 - Balanço anual de nutrientes no braço sul do estuário do rio Mondego

Os dados que estiveram na base deste estudo constituem uma parte dum conjunto mais extenso, referente aos aspectos biológicos da eutrofização, que está a ser utilizado no desenvolvimento dum modelo dinâmico estrutural da eutrofização, que será certamente um

contributo de grande interesse para uma gestão ambiental integrada do estuário do Rio Mondego.

REFERÊNCIAS

- Barroin, G. (1990) - "La pollution des eaux par les phosphates"; revista "La Recherche", nº 221.
- Betty, N.G.; Turner, A.; Tyler, A.O., Falconer, R.A.; Millward, G.E. (1996) - "Modelling contaminant geochemistry in estuaries"- Water Research, vol.30- nº1, pág. 63-74.
- Duarte, A.A.L.S. (1997) - "Modelos de Qualidade da Água em Estuários", Trabalho de Síntese submetido à Universidade do Minho no âmbito de PAPCC, Braga.
- Fisher, H. B. (1981) - "Mixing in inland and coastal waters"; ed. Academic Press, New York., pág. 4-7.
- Guyster, I; West, J.R. (1992) - "Longitudinal dispersion coefficients in estuary"; J.Hydraulic Engineering, vol.118 - nº5, pág. 718-734.
- ICIM (Informatica Centrum voor Infrastructuur en Milieu) (1992)- "DUFLOW 2.0 - Simulation of one-dimensional unsteady flow and water quality in open channel systems"; Wageningen , Neederland.
- Thomann, R.; Mueller, J. (1987) - "Principals of surface water quality modeling and control"; ed. Harper & Row, New York.
- Tompson, G. (1993) - "Mathematical models and engineering design"; Journal I.W.E.M., nº 7 (February), pág. 18-23.
- Vieira, J.P.(1986) - "Aplicação de modelos matemáticos na gestão da qualidade da água"; Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga.
- Vieira J.M.P., Pinho J.L.S. e Duarte A.A.L.S. (1996) - River Water Quality Management Using Mathematical Modelling;. editado nas Actas da Conferência Metropolitan Areas and Rivers, ACEA Publisher, Itália, Vol. 2, pág. 258-270.
- Wang, J.D.; Blumberg, A.F.; Butler, H.L.; Hamilton, P. (1990) - "Transport prediction in partially stratified tidal water"; J. Hydraul. Engineering (ASCE), vol.116- n.º3, pág. 380-395.