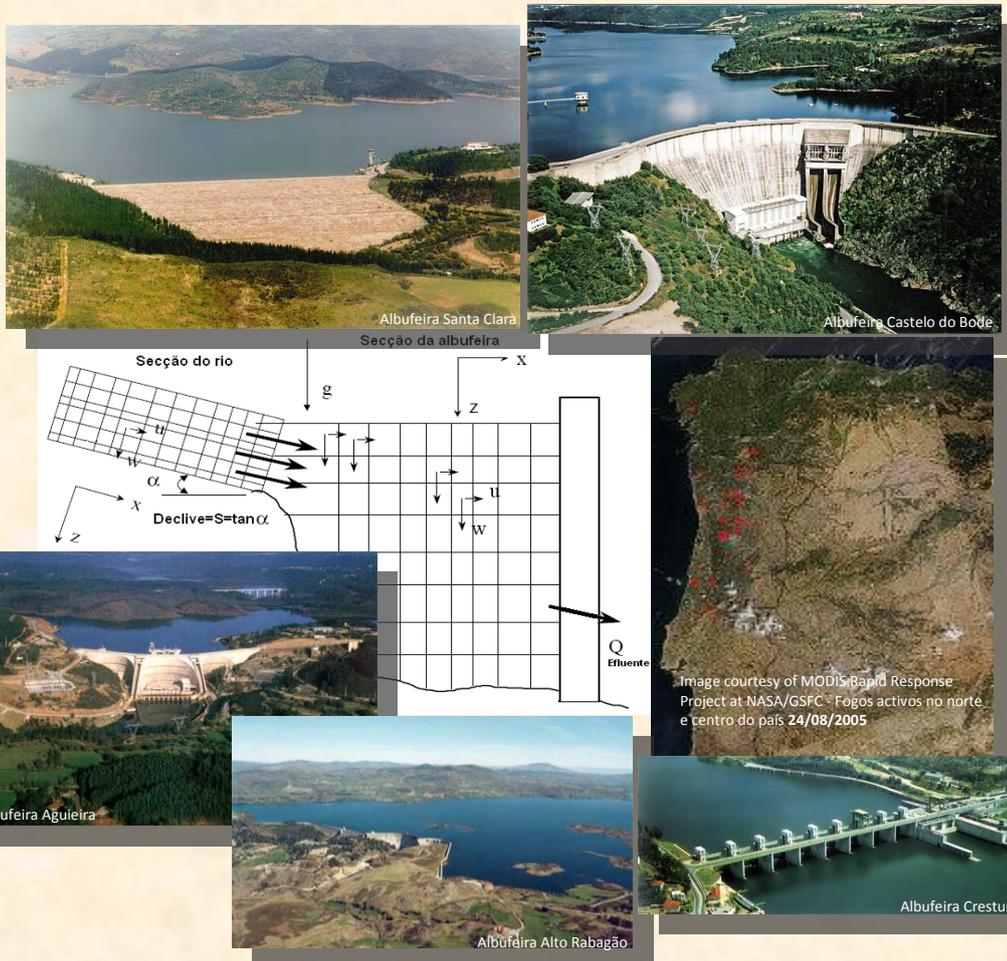




# MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO



## I - ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE





# MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO

## I - ALBUFEIRA DE CASTELO DO BODE

O trabalho de modelação matemática de qualidade da água da Albufeira de Castelo do Bode foi desenvolvido no âmbito de uma parceria técnico e científica entre o Instituto da Água, I.P e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Este documento deve ser citado do seguinte modo:

INAG, I.P. 2011. *Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – I – Albufeira de Castelo do Bode*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P.

### **AUTORES:**

PEDRO SANTOS COELHO

MANUEL ALMEIDA

NELSON MATEUS

### **COLABORADORES:**

FELISBINA QUADRADO

MARGARIDA ALMODOVAR

**DEZEMBRO DE 2011**

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

**EDIÇÃO**

Instituto da Água, I.P.

**COORDENAÇÃO**

Departamento de Ordenamento e Regulação do Domínio Hídrico  
Divisão de Administração das Utilizações

**PRODUÇÃO GRÁFICA, IMPRESSÃO E ACABAMENTO**

Instituto da Água, I.P.

**DEZEMBRO, 2011**

# Nota Introdutória



Dr. Orlando Borges  
Presidente do Instituto da Água, I.P

No âmbito das competências do Instituto da Água, I.P. em assegurar a nível nacional a execução da política no domínio dos recursos hídricos garantindo a sua gestão sustentável, as albufeiras de águas públicas assumem uma importância estratégica, não só pela sua relevância em termos económicos e sociais, mas também pela sua sensibilidade em termos ambientais.

As albufeiras constituem massas de água fortemente modificadas, cujo estado está essencialmente dependente dos usos existentes. A compatibilização destes usos com o atingir do bom potencial ecológico e do bom estado do químico é uma obrigação que assiste a Portugal desde 2000, e que deverá ser atingido até 2015. Os problemas de contaminação, risco de eutrofização e conflitualidade de usos dificultam o atingir deste objectivo tão exigente, expresso na Directiva Quadro da Água e transposto para a Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro.

O planeamento estratégico é assim um dos principais vectores que permite conciliar as diferentes utilizações e definir as medidas necessárias para proteger e melhorar a qualidade da água em geral e em particular destes meios lânticos.

Os Planos de Ordenamento das Albufeiras de Águas Públicas (POAAP), também designados como Planos de Ordenamento das Albufeiras (POA), são planos especiais de ordenamento do território que estabelecem níveis de protecção para o território por eles abrangido, tendo em vista a protecção e valorização dos recursos hídricos na sua área de intervenção, de modo a assegurar a sua utilização sustentável. São instrumentos de gestão do território que vinculam a Administração Pública e os particulares.

A promoção destes Planos, da responsabilidade do INAG, concorre para a melhoria e preservação da qualidade da água da albufeira, estabelecendo regimes de protecção que, em primeira instância, permitem estabelecer medidas tendentes ao controlo das fontes de poluição identificadas na zona terrestre de protecção (500m acima do NPA) e identificar os usos proibidos, condicionados e permitidos no plano de água, tendo a preocupação em salvaguardar os usos principais (abastecimento, rega ou produção de energia) e assegurar o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Os POA são instrumentos que determinam o modo como o território envolvente às albufeiras e as próprias albufeiras podem ser utilizadas considerando a capacidade do meio e dos sistemas que o constituem, promovendo o desenvolvimento das regiões que se inserem, sem

comprometer os recursos em presença e em particular os recursos hídricos. Estes Planos preconizam um modelo de desenvolvimento sustentável para territórios com características únicas, fruto da presença de reservatórios artificiais de água, para os quais se estabelece um patamar de exigências, tanto em termos de medidas como de instrumentos de gestão e de fiscalização.

Assim, cientes das exigências, cada vez mais complexas, a nível da garantia do bom estado nas massas de água fortemente modificadas e para assegurar que as medidas preconizadas nos POA serão conducentes para este objectivo, minimizando os riscos de eutrofização e articulando os diferentes usos, tornou-se evidente a necessidade de desenvolver instrumentos que permitam avaliar, para diferentes cenários de simulação definidos em função das opções dos POA, a evolução da qualidade da água. A utilização de modelos matemáticos foi o caminho escolhido, dado que constituem ferramentas de excelência para suporte à decisão e compreensão do comportamento das massas de água estudadas e para avaliar as estratégias definidas para a sua gestão sustentável.

Dada a especificidade dos estudos a realizar foi promovido uma colaboração científica com a Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa atendendo ao seu reconhecido mérito nestas matérias.

A equipa do Departamento de Ciências e Tecnologia, liderada pelo Prof. Pedro Santos Coelho, que integra o Eng. Manuel Almeida e o Eng. Nelson Mateus, numa estreita e muito profícua colaboração técnica e científica com a equipa do INAG, constituída pela Arq. Margarida Almodovar e pela Eng.ª Felisbina Quadrado, desenvolveram uma série de estudos, que constituem instrumentos essenciais na gestão das massas de água seleccionadas.

Entre 2003 e 2011 foram desenvolvidos estudos que envolveram cinco albufeiras com POA aprovado, designadamente Castelo do Bode, Aguieira, Santa Clara, Alto Rabagão e Crestuma-Lever, seleccionadas por serem aquelas que, quer pela dimensão do plano de água, quer pela relevância dos usos principais a que estão associadas, desempenham uma função estratégica, aliada ao facto de terem sido identificados factores de pressão sobre a albufeira e zona terrestre envolvente. Assim e sobre a temática “Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento” foram desenvolvidos os seguintes Relatórios :

- I. Albufeira de Castelo do Bode.
- II. Albufeira de Castelo do Bode - Impacto da navegação recreativa a motor.
- III. Albufeira da Aguieira.
- IV. Albufeira de Santa Clara.
- V. Efeito de fogos florestais no regime de escoamento e na qualidade da água de rios e albufeiras.
- VI. Albufeira do Alto Rabagão.
- VII. Albufeira de Crestuma-Lever.
- VIII. Incremento dos valores da concentração de fósforo entre 2005 e 2006.

Que pela sua relevância e interesse importa agora partilhar, num momento em que se encerra um ciclo importante da gestão dos recursos hídricos.

Lisboa, Dezembro de 2011.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. Principais características da albufeira e da barragem de Castelo de Bode .....	4
3. Breve análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Castelo de Bode .....	6
4. principais características do modelo CE-QUAL-W2 .....	10
5. Representação conceptual do sistema a modelar.....	12
6. Implementação do modelo CE-QUAL-W2.....	18
6.1. Introdução.....	18
6.2. Dados hidrológicos .....	19
6.3. Dados meteorológicos .....	19
6.4. Dados de qualidade da água das aflúências.....	20
6.5. Batimetria - Verificação do balanço de volumes.....	22
6.6. Condições Iniciais .....	24
7. Resultados obtidos.....	26
7.1 - Introdução .....	26
7.2 - Temperatura .....	26
7.3 - Oxigénio Dissolvido .....	31
7.4 - Carência bioquímica de oxigénio (CBO <sub>5</sub> ) .....	36
7.5 - Nitratos e nitritos .....	41
7.6 - Azoto amoniacal .....	46
7.7 - Fosfatos .....	50
7.8 - Biomassa algal .....	55
7.9 - pH .....	59
7.10 - Sólidos dissolvidos totais (SDT) .....	64
7.11 - Coliformes totais .....	66
7.12 - Coliformes fecais .....	69
7.13 - Análise global dos resultados obtidos .....	71
8. Definição e implementação de cenários de simulação.....	73
8.1 - Introdução .....	73
8.2 - Estimativa de caudais e cargas poluentes afluentes à albufeira de Castelo de Bode .....	73
8.2.1 - Cargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB .....	74
8.2.1.1 - Carga poluente de origem agrícola e florestal.....	74
8.2.1.2 - Carga poluente de origem urbana.....	78
8.2.1.3 - Carga poluente de origem industrial .....	86
8.2.2 - Carga poluente gerada na área drenante não incluída na área de intervenção do POACB.....	87
8.3 - Distribuição espacial das descargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB.....	87
8.4 - Alterações introduzidas no modelo CE-QUAL-W2 face à nova distribuição de cargas afluentes .....	92
8.5 - Simulação matemática de diferentes cenários .....	92
8.5.1 - Introdução .....	92
8.5.2 - Definição de cenários de simulação .....	93
8.5.3 - Integração de cenários de simulação no modelo CE-QUAL-W2.....	94
8.6 - Análise de resultados .....	99

---

8.7 - Análise da influência na qualidade da água do tratamento terciário das cargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB. ....	106
9. Conclusões .....	110
10. Bibliografia .....	112

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto da Água (INAG) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL), celebraram um protocolo relativo a estudos complementares, a realizar no âmbito do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode (POACB), para o ano de 2004.

No âmbito desse protocolo foram desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- ◆ Calibração do modelo bidimensional de simulação hidrodinâmica e de qualidade da água CE-QUAL-W2 para a albufeira de Castelo de Bode e para o ano de 2002: dados utilizados e resultados obtidos.
- ◆ Simulação da qualidade da água para o ano 2003: dados utilizados e resultados obtidos.
- ◆ Definição e desenvolvimento de cenários de simulação e correspondentes resultados obtidos.

A definição dos cenários de simulação da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, teve como principal objectivo avaliar o efeito das restrições estabelecidas pelo regulamento do POACB relativamente ao saneamento básico da sua área de intervenção, constituída pelo plano de água, e zona terrestre de protecção com a largura de 500 m contada a partir do nível de pleno armazenamento da albufeira (NPA) medidos em projecção horizontal.

A metodologia considerada na análise realizada baseou-se, inicialmente, na caracterização da situação de referência da massa de água, relativamente ao período temporal compreendido entre os anos civis de 1996 – 2004.

Após a quantificação de todas as cargas poluentes afluentes à albufeira, tendo como base os conceitos de carga estimada unitária e de eficiência de remoção, associada aos diferentes sistemas de tratamento de águas residuais, procedeu-se à calibração do modelo que posteriormente foi utilizado na simulação dos diferentes cenários considerados.

## 2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA E DA BARRAGEM DE CASTELO DE BODE

A albufeira de Castelo de Bode localiza-se no rio Zêzere, principal afluente da margem direita do rio Tejo em território Nacional, a cerca de 7 km a montante da confluência entre os dois referidos rios.

A bacia hidrográfica do rio Zêzere situa-se na região centro do país (ver Figura 1), aproximadamente entre as latitudes 39º 30' e 40º 30' N e as longitudes 8º 30' e 7º 05' E. É limitada a norte pelas Serras da Estrela, Açor e Lousã, a oeste pela Serra de Aire, a nordeste e a sul pelas Serras da Gardunha, Alvelos e Amêndoa.

A bacia hidrográfica definida na secção da barragem corresponde a uma área que engloba um total de 23 concelhos, repartidos pelos distritos de Coimbra, Castelo Branco, Guarda, Leiria e Santarém. Nessa área, para além da albufeira de Castelo de Bode, localizam-se mais duas grandes albufeiras - a albufeira da Bouçã, com uma capacidade total de 48,4 hm<sup>3</sup> e uma área inundada à cota do NPA (175 m) de 185 ha e, mais a montante, a albufeira do Cabril, com uma capacidade total de 720 hm<sup>3</sup> e uma área inundada à cota do NPA (296 m) de 2 023 ha.

A área da bacia hidrográfica drenante para a albufeira de Castelo de Bode é de aproximadamente 3 950 km<sup>2</sup>, sendo o volume afluído em ano médio da ordem dos 2 600 hm<sup>3</sup>, a que corresponde um escoamento de cerca de 660 mm e um caudal modular de sensivelmente 82 m<sup>3</sup>/s. Os valores da precipitação total anual média oscilam entre os 1 000 mm e os 1 400 mm.

A área inundada à cota do NPA (121,5 m) é de aproximadamente 3 480 ha e a capacidade total de armazenamento é de 1 095 hm<sup>3</sup>, a que corresponde uma capacidade útil de 902,5 hm<sup>3</sup>. O NMC está à cota de 122 m e o NME é de 79 m. O índice de regularização da albufeira, para afluências próprias, é de 0,42.

Ao nível da barragem, verifica-se que os descarregadores de cheias de superfície, em número de dois, estão equipados com comportas de segmento, possuindo uma capacidade de vazão total de 4 200 m<sup>3</sup>/s. As descargas de fundo, igualmente em número de duas, estão equipadas com válvulas de jacto oco, permitindo uma capacidade de vazão total de 300 m<sup>3</sup>/s.

A torre de tomada de água da EPAL, localizada junto à barragem, apresenta secção circular e permite que a captação seja efectuada a diferentes cotas. O aproveitamento de Castelo de Bode é explorado pela EDP, sendo considerado de fins múltiplos, na medida em que suporta várias utilizações, de entre as quais se destacam a produção de energia hidroeléctrica e o abastecimento municipal. Para este último fim são derivados, em média, cerca de 450 000 m<sup>3</sup>/dia.

As actividades principais da albufeira correspondem ao abastecimento de água às populações e à produção de energia hidroeléctrica, sendo que a pesca, os banhos e natação, a navegação recreativa a remo e à vela, a navegação a motor e as competições desportivas constituem actividades secundárias. Com efeito, a água captada na albufeira de Castelo de Bode para abastecimento público constitui a principal origem de água de um sistema que abastece cerca de dois milhões e quinhentas mil pessoas, que habitam em vinte e um municípios da maior área metropolitana do País, conferindo a esta massa de água uma enorme importância estratégica, que obriga a que a sua qualidade seja mantida em nível adequado aos diferentes usos a que se destina.

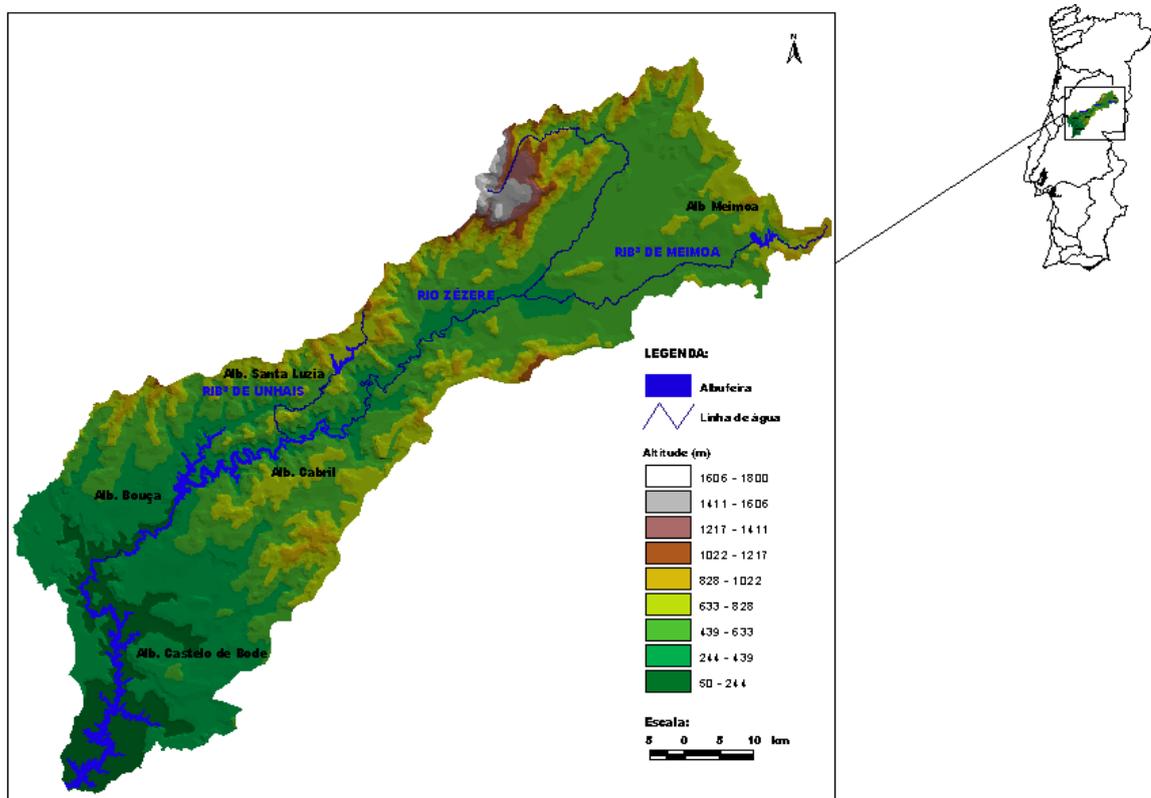
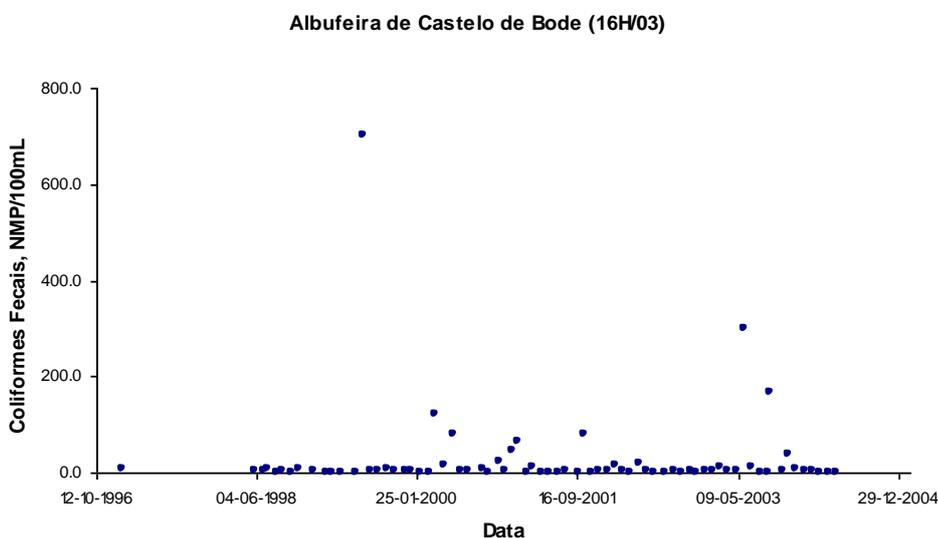


Figura 1. Albufeira de Castelo de Bode: localização e área drenante.

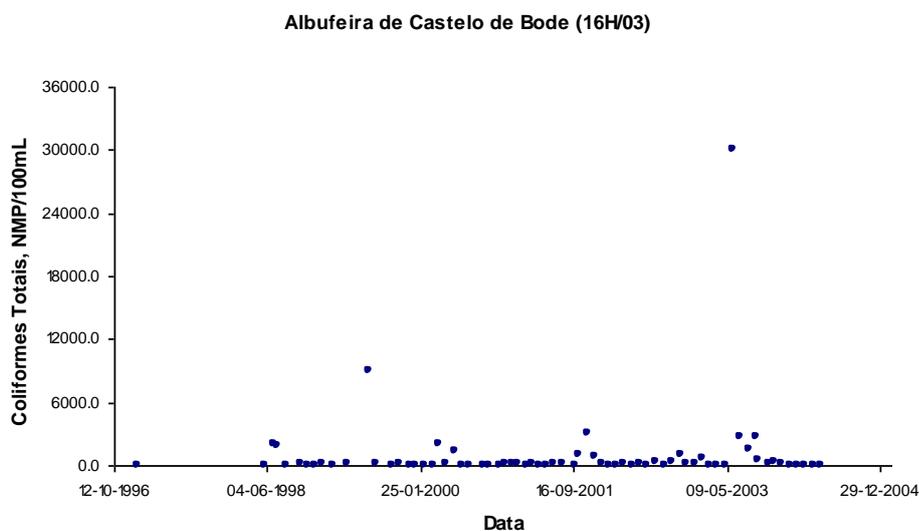
### 3. BREVE ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALBUFEIRA DE CASTELO DE BODE

A análise de alguns dos dados disponíveis relativamente à qualidade da água da albufeira de Castelo de Bode, nomeadamente dos que se referem a anos mais recentes, é indicativa de uma tendência de evolução no sentido de alguma degradação dessa qualidade, considerando-se que a principal origem da referida degradação está associada à descarga de águas residuais não tratadas.

De facto, no que se refere aos parâmetros microbiológicos, tem-se observado uma tendência para concentrações mais elevadas em anos mais recentes, nomeadamente no que diz respeito aos coliformes fecais e sobretudo nos meses de Verão, período em que se verifica uma combinação de menores caudais no escoamento superficial, logo menor capacidade de diluição, temperaturas mais elevadas e uma maior pressão humana.

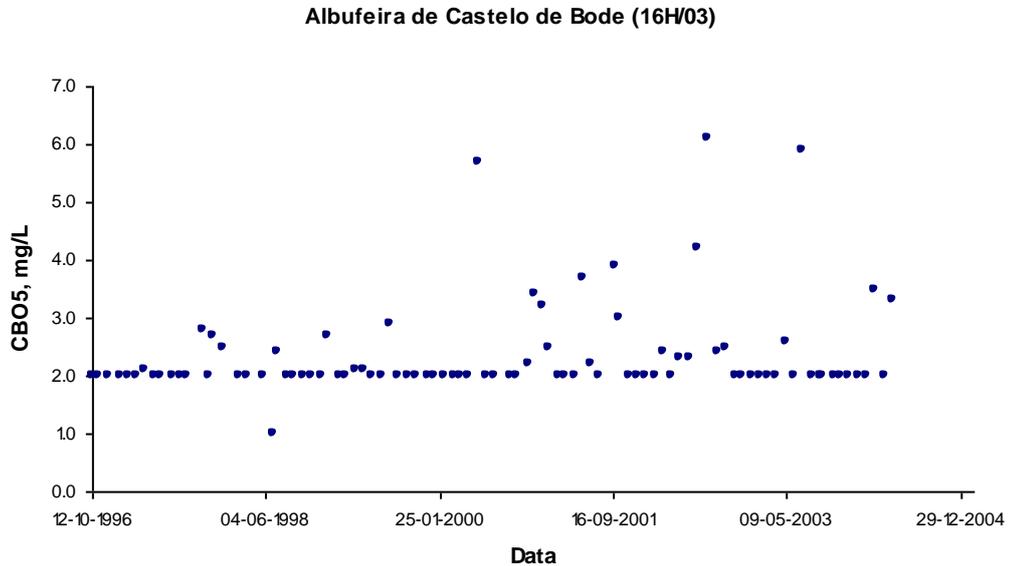


**Figura 2.** Evolução do número de Coliformes fecais ao longo do período de Outubro de 1996 a Maio de 2004.



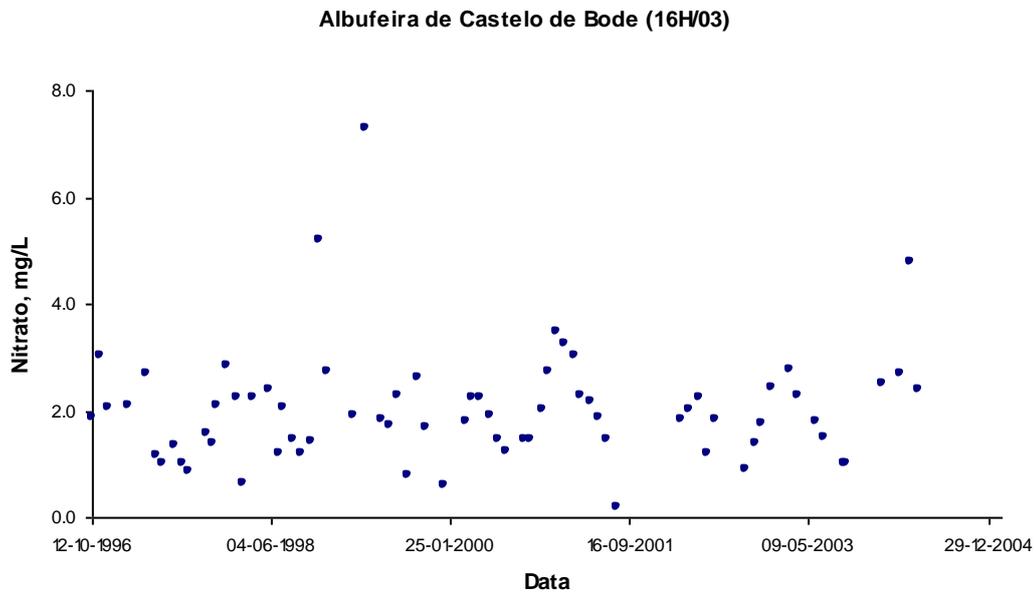
**Figura 3.** Evolução do número de Coliformes totais ao longo do período de Outubro de 1996 a Maio de 2004.

De acordo com os mesmos dados, também os valores da concentração da carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias ( $CBO_5$ ) têm apresentado uma tendência de crescimento nos últimos anos, embora os correspondentes valores não possam, ainda, ser considerados, no absoluto e em termos médios particularmente elevados.



**Figura 4.** Evolução da concentração de  $CBO_5$  ao longo do período de Outubro de 1996 a Maio de 2004.

No que se refere aos valores das concentrações de nitratos, não se identifica qualquer padrão sensível de evolução. No caso do fósforo total e da clorofila- $a$  observa-se um gradiente positivo, indicador de uma tendência de aumento dos valores da concentração destes parâmetros.



**Figura 5.** Evolução da concentração de Nitratos ao longo do período de Outubro de 1996 a Maio de 2004.



efectuadas directamente nessa massa de água, nem às originadas na área que é objecto de análise no âmbito do POACB, mas incluem também as fontes tópicas e difusas existentes na bacia hidrográfica dominada pela secção correspondente à barragem, embora se reconheça que essas últimas caem fora do âmbito de intervenção do referido POACB. Contudo, esta situação não deverá contribuir para uma menor preocupação relativamente às exigências do POACB no sentido da preservação da qualidade da água da albufeira, de forma a possibilitar o seu uso para os fins a que se destina, privilegiando a captação de água para abastecimento público.

#### 4. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO CE-QUAL-W2

Os modelos matemáticos permitem a simulação do comportamento de sistemas, tanto em regime permanente (sem variação com o tempo) como em regime variável (com variação temporal). Por outro lado, podem ser modelos a zero, uma, duas ou três dimensões, dependendo do grau de simplificação adoptado para a representação conceptual do sistema.

No entanto, à medida que cresce a complexidade dos modelos a utilizar, maiores são as exigências em termos dos dados de entrada necessários, bem como da sua discretização espacial e temporal. Assim, opta-se muitas vezes pela utilização de modelos menos complexos, em relação aos quais seja possível reunir os dados necessários, com o grau de confiança adequado ao tipo de análise a desenvolver, de forma a possibilitar a obtenção do melhor compromisso entre o detalhe do modelo a utilizar, a quantidade e qualidade dos dados disponíveis e o tipo de abordagem que se pretende realizar.

Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo de Bode optou-se pela utilização de um modelo bidimensional – o CE-QUAL-W2. A opção por um modelo bidimensional, apesar da sua utilização ser relativamente exigente e complexa, quer em termos de dados de entrada do modelo quer em termos de análise dos seus resultados (nomeadamente em comparação com um modelo unidimensional), é justificada pelas características do sistema em análise e pelos objectivos do trabalho a desenvolver.

Trata-se de um modelo que permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo, e por isso particularmente indicado para o estudo de albufeiras longas e estreitas, com gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água (COLE e WELLS, 2002). O referido modelo permite a definição de uma grelha representativa do sistema em estudo, dividida em segmentos (longitudinalmente) e camadas (verticalmente), cuja dimensão pode variar de segmento para segmento e de camada para camada, permitindo aumentar a resolução da informação a extrair onde seja necessário.

O código da parte hidrodinâmica foi inicialmente desenvolvido por Edinger e Buchak (1978). A adição de algoritmos de qualidade da água resultou no modelo CE-QUAL-W2 V1.0 (MARTIN, 1987, 1988). As alterações realizadas, orientadas de forma a tornar o modelo mais preciso e de mais fácil utilização, resultaram no CE-QUAL-W2 V2.0 (COLE e BUCHAK, 1995). Melhorias adicionais na hidrodinâmica, soluções numéricas e nos algoritmos de qualidade da água deram origem ao CE-QUAL-W2 V3.1 (COLE e WELLS, 2002) e, posteriormente, ao CE-QUAL-W2 V3.2 (COLE e WELLS, 2004).

Este modelo tem sido aplicado com sucesso em várias centenas de estudos técnicos e científicos de simulação matemática de qualidade da água. É o modelo de eleição de várias agências dos Estados Unidos da América onde se incluem a “Environmental Protection Agency” e o “United States Army Corps of Engineers”, no que se refere à simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de albufeiras.

Como principais características do modelo podem referir-se as seguintes:

- a) é aplicável a vários tipos e combinações de massas de água: rios, lagos, albufeiras e estuários;

- b) é aplicável a múltiplas massas de água em simultâneo;
- c) permite a simulação de vários ramos de um sistema, bem como a consideração de múltiplas entradas e saídas de água;
- d) permite a simulação de diversos constituintes, dos quais se salientam a temperatura, oxigénio dissolvido, nitratos e nitritos, fosfatos, biomassa algal, salinidade, azoto amoniacal e sólidos dissolvidos totais;
- e) tem a capacidade de modelar qualquer tipo de sólidos suspensos inorgânicos, algas e os diferentes parâmetros que determinam consumo de oxigénio dissolvido, bem como os seus efeitos nas interações entre algas, nutrientes e o próprio oxigénio dissolvido;
- f) permite modelar constituintes arbitrários conservativos e não conservativos;
- g) tem capacidade para simular com bastante precisão a hidrodinâmica do sistema.

Para apresentação e análise das saídas do modelo está disponível uma interface que permite a visualização dos resultados das simulações sob a forma de perfis verticais em qualquer secção da albufeira, perfis longitudinais para a globalidade da massa de água e séries temporais para qualquer ponto da albufeira.

## 5. REPRESENTAÇÃO CONCEPTUAL DO SISTEMA A MODELAR

O principal objectivo subjacente à utilização de qualquer modelo de simulação da qualidade da água, é o de produzir um instrumento que tenha a capacidade de descrever o comportamento do sistema, em termos das suas componentes hidrodinâmica e de qualidade da água. Esse objectivo passa, normalmente, pela consideração de três fases: a representação conceptual, a representação funcional e a representação computacional.

A representação conceptual envolve a definição gráfica do sistema, através da descrição das suas propriedades geométricas, das suas condições de fronteira e das inter-relações entre as várias secções do mesmo. Normalmente, este processo consiste na divisão do sistema a modelar em elementos discretos, com uma dimensão compatível com os objectivos do modelo, na definição desses elementos de acordo com algumas regras geométricas simples e na definição da forma como esses elementos estão ligados, quer física quer funcionalmente, constituindo partes integrantes de um todo.

A representação funcional refere-se à formulação dos processos ocorrentes no sistema, sob a forma de um conjunto de equações, envolvendo a definição de cada variável e das suas relações com todos os outros parâmetros do modelo.

A representação computacional é o processo através do qual o modelo funcional é transposto para os procedimentos computacionais de cálculo, necessários para a solução do problema em termos de espaço e tempo. Esta representação está subjacente ao desenvolvimento de uma solução técnica específica e à sua codificação em termos de linguagem computacional.

As representações funcional e computacional do sistema estão previamente definidas ao nível da estrutura do modelo, competindo ao utilizador a escolha dos processos que serão activados em cada caso de estudo, através da selecção dos parâmetros de qualidade que pretende modelar, bem como da definição dos valores das variáveis de controlo. Por outro lado, a representação conceptual tem de ser definida pelo utilizador em cada caso, em função das características do sistema que pretende modelar e do grau de discretização dos resultados que pretende obter.

No caso do modelo CE-QUAL-W2, a representação conceptual da massa de água é conseguida através de uma grelha computacional, obtida a partir da batimetria, e é definida por ramos divididos em segmentos (espaçamento longitudinal) e camadas (espaçamento vertical). Tem ainda de se definir a largura média dos segmentos e o declive do fundo de cada um dos ramos. O espaçamento longitudinal e vertical pode variar de segmento para segmento e de camada para camada, no entanto esta variação deve ser gradual, de modo a evitar erros de discretização e de difusão numérica. Algumas aplicações práticas do modelo têm utilizado dimensões longitudinais entre 100 m e 5 000 m e verticais entre 0,2 m e 3 m (COLE e WELLS, 2002).

Tendo em conta estes factores foi representada a batimetria da albufeira de Castelo de Bode, recorrendo a cartas topográficas à escala 1:25 000, anteriores à construção da barragem, nas quais foi possível identificar as curvas de nível no interior da actual albufeira, bem como a cartas

topográficas à escala 1:25 000, mais recentes, posteriores à construção da barragem, onde foi possível verificar os limites da área superficial da albufeira ao NPA.

A albufeira foi dividida em 10 ramos, correspondendo o ramo 1 ao rio Zêzere, e os outros 9 ramos a ribeiras afluentes ao mesmo. Para além dos 10 ramos, foram ainda considerados, inicialmente, 3 tributários. A diferença destes últimos relativamente aos ramos é que são considerados como uma fonte pontual e, como tal, não são incluídos na batimetria da albufeira. Os ramos e tributários foram ordenados de montante para jusante da albufeira, de acordo com o apresentado no Quadro 1. O esquema apresentado na Figura 8 permite visualizar, de uma forma esquemática, os diversos ramos e tributários, considerados na representação conceptual da albufeira de Castelo de Bode.

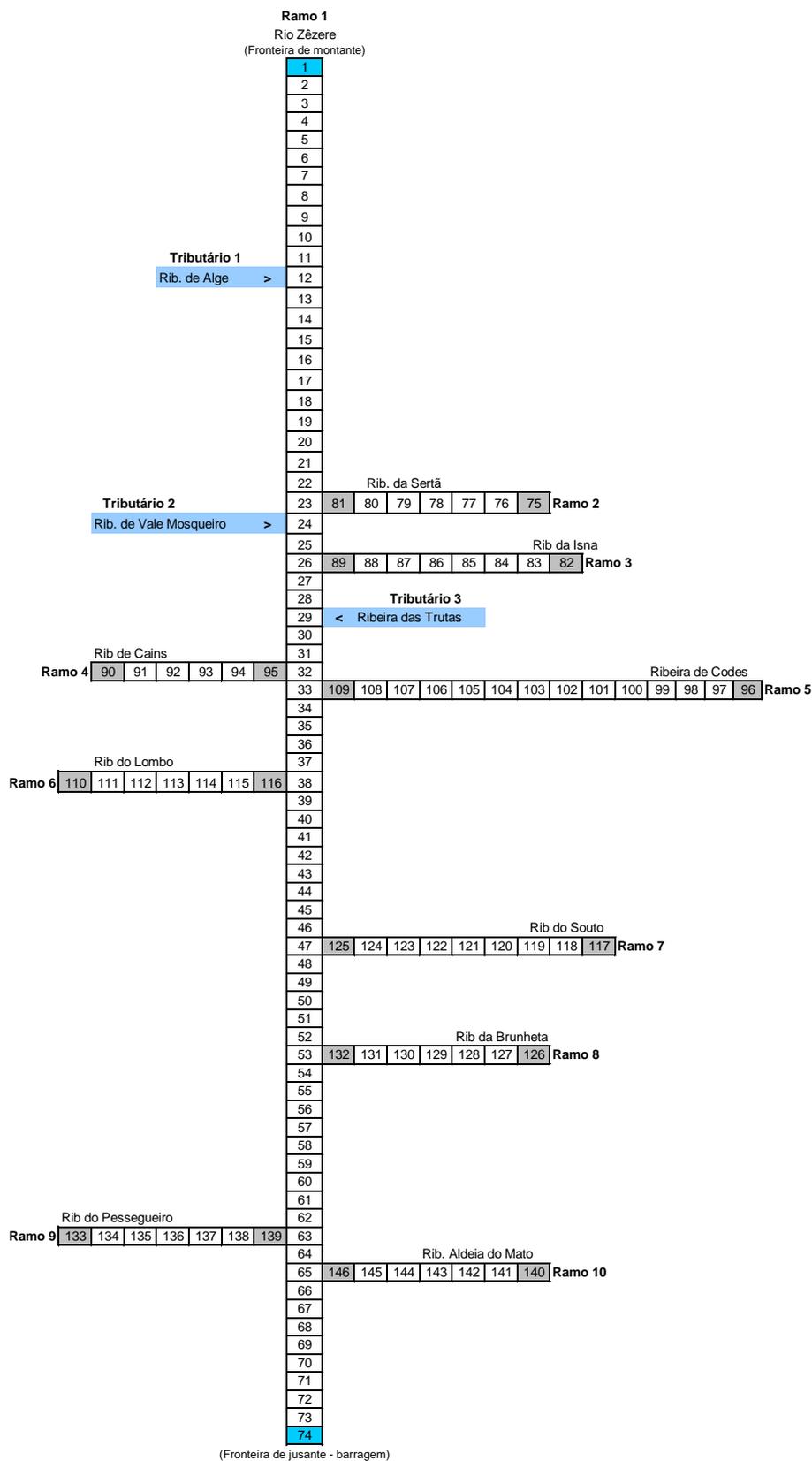
**Quadro 1.** Ramos e tributários da albufeira de Castelo de Bode.

Ramo	Linha de água
Ramo 1	rio Zêzere
Tributário 1	ribeira de Alge
Ramo 2	ribeira da Sertã
Tributário 2	ribeira de Vale Mosqueiro
Ramo 3	ribeira de Isna
Tributário 3	ribeira das trutas
Ramo 4	ribeira de Cains
Ramo 5	ribeira de Codes
Ramo 6	ribeira do Lombo
Ramo 7	ribeira do Souto
Ramo 8	ribeira da Brunheta
Ramo 9	ribeira do Pessegueiro
Ramo 10	ribeira da Aldeia do Mato

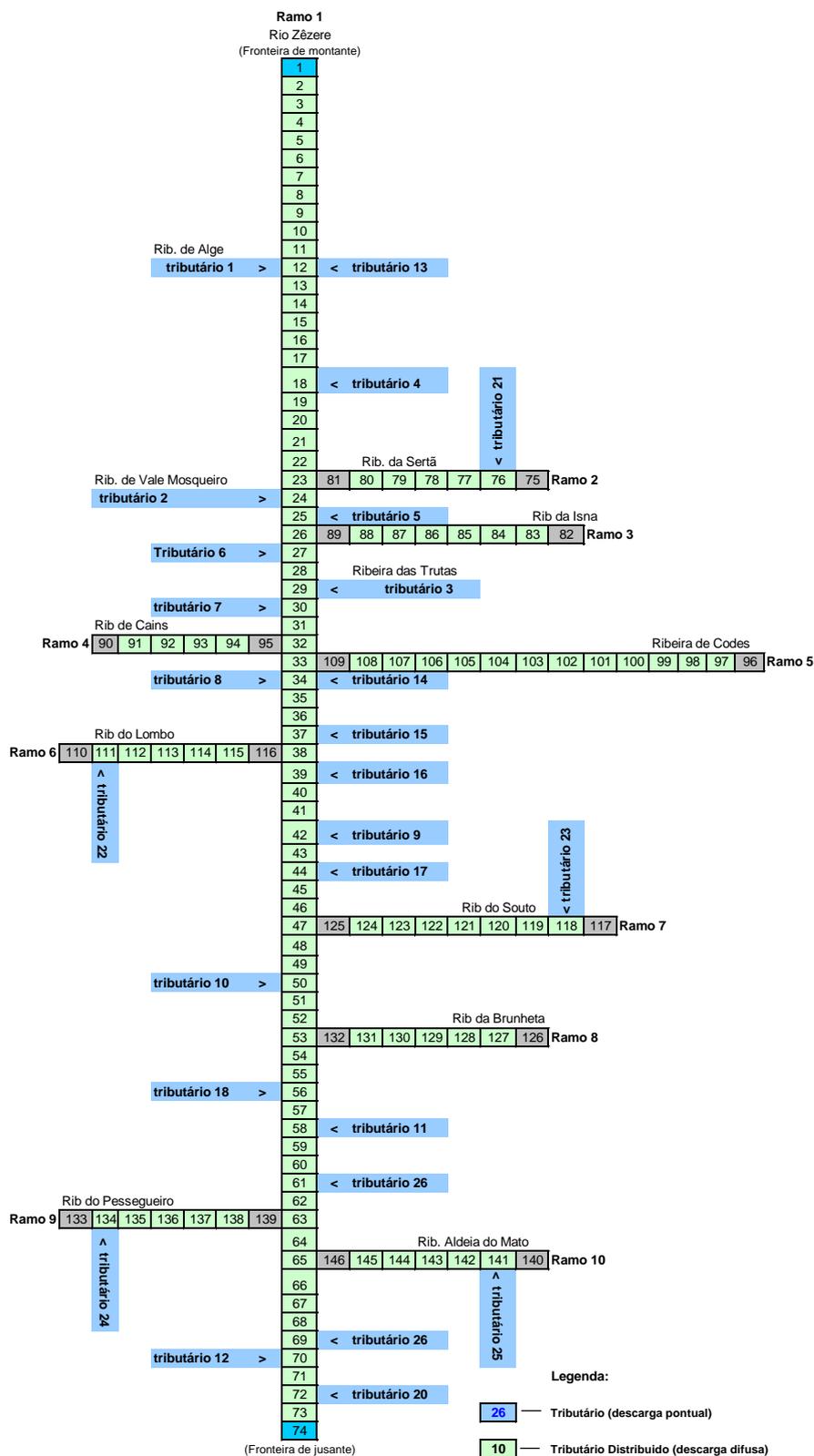
Posteriormente, a definição de diferentes cenários de simulação implicou a consideração adicional de 33 tributários, de acordo com o referido em detalhe ao nível da secção 8.3 do capítulo 8 do presente relatório.

O modelo CE-QUAL-W2 tem a capacidade, que foi aproveitada ao nível da definição de cenários de simulação, de considerar a introdução de descargas poluentes de duas formas distintas, através da introdução de tributários pontuais, ou de tributários distribuídos. Os primeiros representam uma descarga pontual, num segmento definido pelo utilizador, e os segundos uma descarga difusa, distribuída uniformemente pelo ramo considerado.

Os 33 tributários posteriormente incluídos no sistema, dividem-se por 23 tributários pontuais e 10 tributários distribuídos, como se pode observar pela análise da Figura 9.



**Figura 8.** Representação conceptual da albufeira de Castelo de Bode.



**Figura 9.** Alterações sobre a representação conceptual da albufeira de Castelo de Bode em função de cenários posteriormente definidos.

Foram definidos segmentos com comprimento variável entre os 250 m e os 1500 m, e camadas com variação entre 1.5 m e 3.0 m de altura, resultando uma grelha com 48 camadas e 146 segmentos, distribuídos pelos diferentes ramos, correspondendo a um total de 7 008 células.

A definição do comprimento longitudinal e da largura média dos segmentos foi obtida desenhando transectos perpendiculares aos leitos do rio Zêzere e das ribeiras afluentes ao mesmo na área inundada pela albufeira. Estes transectos foram intercalados por uma distância longitudinal de 250 m na zona mais próxima da barragem, aumentando progressivamente, até aos 1 500 m, a cerca de 20 000 m a montante da barragem. Na parte mais a montante da albufeira a distância voltou a ser reduzida, por forma a reproduzir de forma mais rigorosa uma zona cuja inclinação do fundo é mais acentuada. A largura média dos segmentos foi definida pelo valor médio entre as larguras de dois transectos consecutivos, e a largura média das camadas em cada segmento pelo valor médio entre as larguras medidas entre duas cotas consecutivas.

Foi ainda definida a orientação de cada um dos segmentos considerando a direcção do Norte Geográfico e como sentido positivo o da rotação dos ponteiros do relógio.

A grelha batimétrica é definida por células activas e células inactivas ou de fronteira. As células activas são definidas na batimetria como tendo valores de largura diferentes de zero, e as células inactivas ou de fronteira com valor igual a zero. As células de fronteira são aquelas que limitam a massa de água, havendo quatro tipos diferentes: de fundo, de topo, a montante e a jusante de cada um dos ramos da massa de água.

Para cada um dos ramos da albufeira foi criada uma tabela semelhante à representada na Figura 10, com as larguras médias dos segmentos nas diferentes camadas, obtidas na batimetria.

Segmento	n	n+1	n+2	n+3	...	n+x	Cota (m)
Camada							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	121.5
2	0.0	6.0	8.0	9.0	9.0	0.0	...
3	0.0	5.0	7.0	8.0	8.0	0.0	...
4	0.0	4.0	4.0	7.0	7.0	0.0	...
5	0.0	0.0	3.0	6.0	6.0	0.0	...
6	0.0	0.0	2.0	5.0	5.0	0.0	...
7	0.0	0.0	0.0	4.0	4.0	0.0	...
...	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	...
48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0

**Figura 10.** Representação esquemática da grelha batimétrica.

A grelha construída com base na batimetria não é estática, podendo ser redefinida de acordo com o nível de detalhe que se pretenda para determinada zona do sistema. Deste modo, se se desejar um maior nível de detalhe, por exemplo nas zonas de captação de água, ou se forem detectadas dificuldades na identificação de zonas de transição de gradientes, pode-se aumentar a resolução da grelha nessas zonas. O modelo possui uma interface que permite ao utilizador visualizar a

representação conceptual da albufeira, dos ramos, dos segmentos e das camadas. Nesta interface está incluída uma ferramenta de cálculo que permite obter o volume armazenado em cada ramo e em cada segmento, em função da cota da superfície livre (Figura 11).

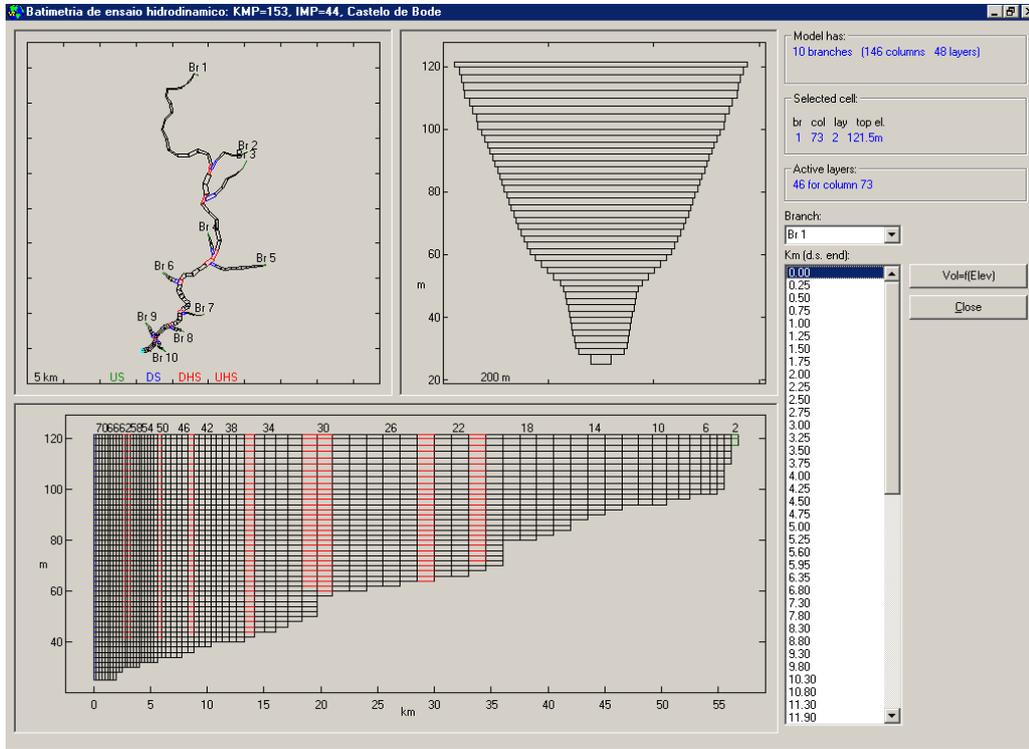


Figura 11. Representação gráfica da batimetria da albufeira, tal como considerada no modelo CE-QUAL-W2.

## 6. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO CE-QUAL-W2

### 6.1. Introdução

A sequência de calibração do modelo passa, normalmente e em primeiro lugar, por aferir a evolução da cota da superfície livre da massa de água ao longo do período de simulação, que depende do nível da albufeira na data inicial da simulação, das entradas e saídas de água no sistema ao longo do período de simulação e dos volumes obtidos a partir da representação batimétrica adoptada.

Em segundo lugar, procede-se habitualmente à calibração da temperatura e da hidrodinâmica do sistema. Segundo Cole (2001), neste processo de calibração devem ser considerados, pelo menos, os coeficientes referidos no Quadro 2, a seguir apresentado:

**Quadro 2.** Coeficientes utilizados na calibração da temperatura.

COEFICIENTE
Viscosidade longitudinal de Eddy
Difusividade longitudinal de Eddy
Coefficiente de Chezy
Coefficiente de protecção ao vento
Radiação solar absorvida na camada superficial
Coefficiente de extinção para água pura
Coefficiente de extinção para sólidos inorgânicos
Coefficiente de extinção para sólidos orgânicos

Por último, deverá proceder-se à calibração dos valores das concentrações dos parâmetros descritores da qualidade da água do sistema.

O processo de calibração envolve a avaliação e a adequação de diversos parâmetros do modelo, a maior parte deles específicos para cada descritor de qualidade da água que se pretende simular. Num processo iterativo, os resultados obtidos em cada simulação são sucessivamente comparados com os dados de campo disponíveis.

No estudo realizado procedeu-se, inicialmente, à calibração do modelo para o ano de 2002. A escolha deste período deveu-se sobretudo à disponibilidade de dados de base essenciais para a realização desse processo de calibração, situação que não se verificava em anos anteriores.

Com o intuito de dar maior consistência aos resultados globais que são objecto do estudo em análise, com destaque para a avaliação dos resultados das simulações efectuadas face aos objectivos definidos no Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode, e beneficiando da disponibilidade de dados relativos ao ano de 2003, foram também realizadas simulações de qualidade da água para esse ano, situação que permitiu, simultaneamente, a validação da calibração efectuada para o ano de 2002.

A definição de diferentes cenários de simulação, implicou a alteração dos valores de carga e de caudal afluentes à albufeira, que caracterizavam a situação de referência inicialmente considerada. Assim, foi necessário retomar o processo de calibração, para que o modelo CE-QUAL-W2 representasse correctamente a nova situação de referência considerada, designada como **Cenário 0**.

Na secção 8 do presente documento, são apresentadas detalhadamente, as diferentes metodologias definidas para a estimativa de cargas afluentes, bem como a distribuição espacial das mesmas pela massa de água e as alterações realizadas no sistema de modelação, que permitiram obter os resultados apresentados na secção 7 deste documento, relativos ao processo de calibração do **Cenário 0**.

Nas secções seguintes são identificados os principais tipos de dados de entrada necessários ao funcionamento do modelo CE-QUAL-W2, bem como as fontes de informação que foram utilizadas para a obtenção desses dados.

## 6.2. Dados hidrológicos

Para a determinação dos valores dos caudais afluentes ao sistema e efluentes do sistema, durante os anos civis de 2002 e de 2003, foram consultados os dados disponibilizados através do SNIRH, que permitiram estabelecer um balanço de massa entre os caudais afluentes a partir da barragem da Bouçã, os caudais lançados para jusante através do sistema de produção de energia hidroeléctrica da barragem de Castelo de Bode, os caudais descarregados, os caudais captados para consumo municipal e a variação do volume armazenado na albufeira num determinado intervalo de tempo.

Uma vez calculado o volume total afluente à albufeira, foi possível estimar os valores dos caudais afluentes através de todos os restantes ramos considerados, tendo a sua alocação sido efectuada com base nas áreas de drenagem correspondentes a cada um deles.

Os parâmetros hidráulicos necessários para a aplicação do modelo são introduzidos através do ficheiro de controlo e englobam, entre outros, coeficientes de dispersão horizontal, de difusão vertical e de rugosidade do leito da massa de água.

## 6.3. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos são utilizados pelo modelo CE-QUAL-W2 essencialmente ao nível do balanço de energia na interface ar-água, e englobam parâmetros como a temperatura do ar, a temperatura do ponto de orvalho, nebulosidade, humidade relativa e velocidade e direcção do vento, permitindo o cálculo da temperatura da massa de água.

Os valores considerados para estes parâmetros foram obtidos, para ambos os anos submetidos a simulação, através dos registos das estações meteorológicas de Cernache (automática) e de Alvega.

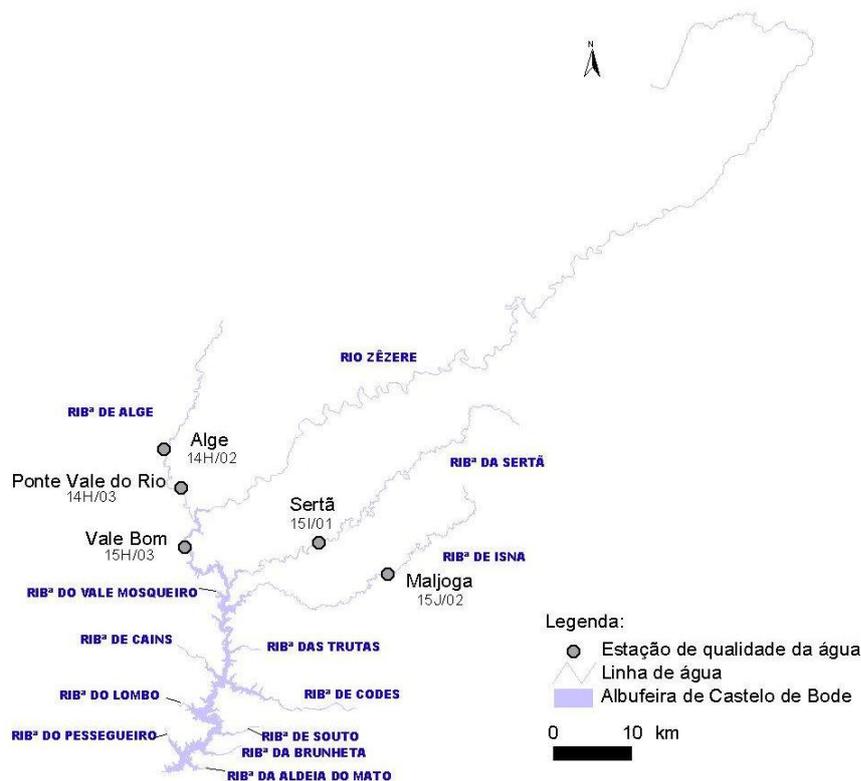
Da estação de Cernache obtiveram-se os valores da temperatura do ar e da humidade relativa, para permitir o cálculo da temperatura do ponto de orvalho. Estes valores, quando disponíveis, foram obtidos com discretização média diária. Da estação de Alvega retiraram-se os valores de nebulosidade, velocidade e direcção do vento, e ainda dados de temperatura do ar e humidade

relativa, no que se refere aos meses de Novembro e de Dezembro, período em que não existem dados disponibilizados pela estação automática de Cernache. Estes dados relativos à estação de Alvega foram obtidos com discretização média mensal.

#### 6.4. Dados de qualidade da água das aflúências

Consideraram-se como pontos de aflúencia ao sistema, as secções de montante dos dez ramos da albufeira submetidos a simulação e 36 tributários, todos caracterizados em termos de caudal, temperatura e concentração dos diferentes constituintes. Como pontos de efluência, foram considerados o sistema de produção de energia hidroeléctrica, os descarregadores de fundo e de superfície da barragem e os caudais captados destinados a consumo municipal.

Os dados que permitiram caracterizar a qualidade das aflúências das linhas de água consideradas na calibração inicial, distribuídas por 10 ramos e 3 tributários, foram obtidos com base nos elementos disponibilizados através do SNIRH, nomeadamente para as estações de qualidade de: Vale Bom (15H03 – rio Zêzere); Sertã (15I/01 – ribeira da Sertã); Maljoga (15J/02 – ribeira da Isna), Alge (14H/02 – ribeira de Alge) e Ponte Vale do Rio (14H/03 – ribeira de Alge). A localização das estações de qualidade pode ser observada na Figura 12.



**Figura 12.** Localização das estações de qualidade da água.

As fontes de dados assumidas na calibração inicial, para cada um dos parâmetros de qualidade da água simulados, para cada aflúente e para cada tributário, são indicadas no Quadro 3. Os valores de

concentração e de caudal, associados aos 36 tributários considerados com a implementação dos cenários, foram calculados de acordo com o descrito na secção 8 do presente documento.

**Quadro 3. Fonte de dados de qualidade da água para os diferentes ramos e tributários.**

Parâmetro	Ramo										Tributário		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
Temperatura	a	b	c	c	c	c	c	c	c	c	d	b	c
Oxigénio Dissolvido	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	d	b	d
Clorofila- <u>a</u>	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
Fosfatos	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
Azoto Amoniacal	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
Nitritos	a	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
Nitratos	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
CBO <sub>5</sub>	a	b	c	c	c	c	c	c	c	c	d	b	c
Sólidos Dissolvidos Totais	a	b	c	c	c	c	c	c	c	c	d	b	c
Coliformes Fecais	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
Coliformes Totais	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d

Notas: Vale Bom – a; Sertã – b; Maljoga – c; Alge – d.; Ponte Vale do Rio – e.

No processo de recolha de informação, relativa à qualidade da água dos afluentes, foram detectadas lacunas, já referidas no relatório final de Dezembro de 2003, correspondente ao trabalho desenvolvido durante esse ano. Essa situação é determinada por falhas nos registos de algumas estações de qualidade relativamente a alguns parâmetros descritores considerados, e também porque nem todos os ramos possuem estações de monitorização de qualidade da água, obrigando assim à utilização de dados recolhidos em outras estações, de acordo com o que pode ser observado no Quadro 3.

Para além das limitações referidas no parágrafo anterior, relativas à caracterização da qualidade das aflúncias ao sistema, outras limitações foram encontradas, enumerando-se de seguida as mais relevantes:

- No que se refere à concentração de nutrientes não foi possível obter registos relativamente ao mês de Janeiro, pelo que se optou por considerar os valores correspondentes ao mês de Fevereiro.
- Relativamente à clorofila-a não se obtiverem registos da concentração deste parâmetro nos meses de Janeiro e de Julho, situação que determinou que, para esses meses, fossem considerados os valores de concentração obtidos nos meses seguintes, respectivamente Fevereiro e Agosto.
- Adicionalmente, e ainda em relação à clorofila-a, verifica-se que o modelo simula a biomassa algal e não a clorofila-a, pelo que necessita que na caracterização das aflúncias ao sistema sejam considerados valores de concentração de biomassa algal. Assim, foi necessário converter os valores de clorofila-a em valores de biomassa algal. De acordo com Nicholls & Dillon, 1978, a clorofila-a representa entre 0,1% a 9,7% da biomassa algal, pelo que, conservativamente, se optou por admitir que a clorofila-a representa 9,7% da biomassa algal e

estabelecer as necessárias conversões para obter valores de concentração para esse parâmetro.

- O modelo considera que o fósforo está completamente disponível no sistema sob a forma de ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ). Atendendo a que nos registos das estações de monitorização de qualidade da água consideradas apenas estão disponíveis valores de fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), assumiu-se que os valores de fosfato correspondem na sua totalidade aos ortofosfatos.
- As estações de monitorização de qualidade da água consideradas não apresentam registos de valores de sólidos dissolvidos totais. Para suprir esta lacuna foram estimados valores deste parâmetro a partir de valores de condutividade, registados na estação considerada como representativa para cada ramo ou tributário, através da seguinte relação:

$$\text{Sólidos dissolvidos totais} = \text{condutividade} \times 0.65$$

A relação considerada corresponde à média de valores obtida para vários lagos localizados no hemisfério norte. (MICHAUD, J.P. 1991)

Na simulação matemática da qualidade da água é comum a carência de dados e a necessidade de se recorrer a estimativa dos dados em falta. Contudo, é igualmente verdade que essas situações são potencialmente indutoras de maiores dificuldades na calibração dos modelos de simulação e de menor fiabilidade nos resultados dessas simulações. Esta situação não poderá ser esquecida na análise dos resultados do exercício de simulação desenvolvido, análise essa que será realizada em secções seguintes do presente relatório.

## 6.5. Batimetria - Verificação do balanço de volumes

É essencial que o modelo reproduza correctamente as variações de volume de água armazenada na albufeira ao longo do período de simulação, bem como as correspondentes cotas da superfície livre, em função das entradas e saídas de água na albufeira.

Através da representação batimétrica adoptada, o modelo permitiu obter o volume de água armazenada em função da cota da superfície livre, ou seja permitiu definir uma curva característica da albufeira, de cotas *versus* volumes armazenados. Estabeleceu-se a comparação entre duas curvas características: a obtida pelo modelo e a definida pela EDP para a albufeira de Castelo de Bode, cuja função analítica é de seguida apresentada. A referida comparação pode ser visualizada através da Figura 13.

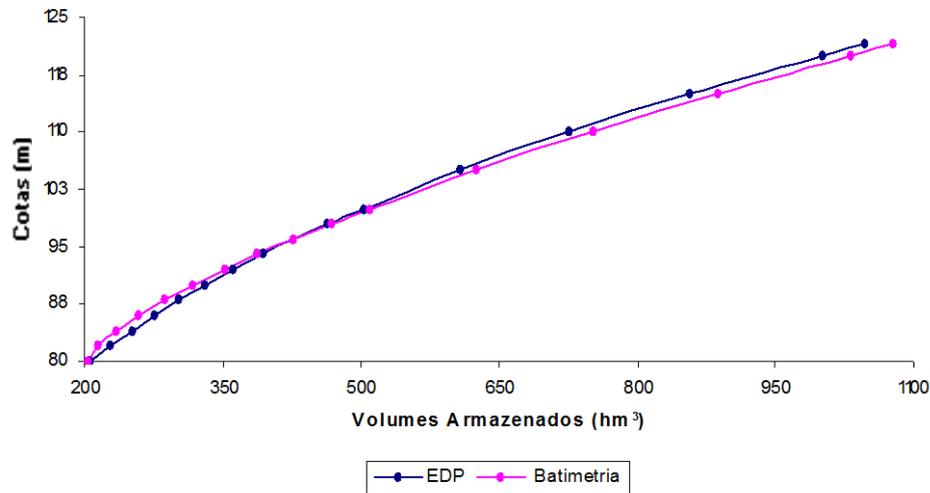
$$H = H_0 + \alpha \cdot (V - V_0)^\beta \quad (1)$$

$$H_0 = 80.0 \text{ m} \quad \alpha = 0.370$$

$$V_0 = 205.0 \text{ hm}^3 \quad \beta = 0.697$$

H - altura de água na albufeira (m)  
 $H_0$  - altura de água de referência (m)  
V - volume de água na albufeira ( $\text{m}^3$ )  
 $V_0$  - volume de água de referência ( $\text{m}^3$ )

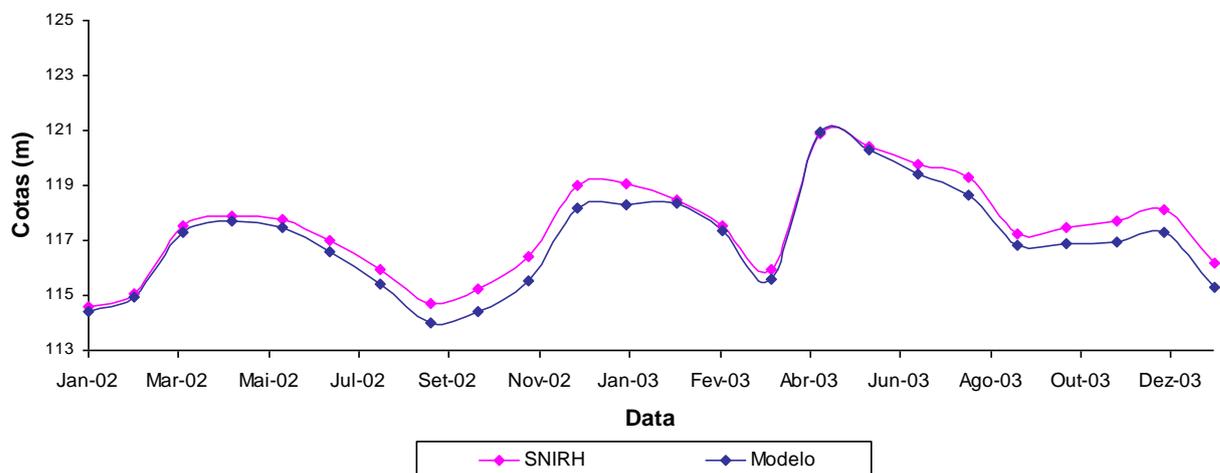
$\alpha$ ,  $\beta$  - parâmetros específicos para a albufeira em estudo



**Figura 13.** Curvas de cotas *versus* volumes armazenados.

A análise da Figura 13 permite verificar que existe um bom ajustamento entre as duas curvas características em comparação, o que significa que a grelha batimétrica definida para o modelo tem capacidade para reproduzir correctamente a relação de cotas *versus* volumes armazenados no sistema em análise.

Em seguida, estabeleceu-se a comparação entre as cotas da superfície livre simuladas pelo modelo e as cotas da superfície livre registadas ao longo dos anos civis de 2002 e de 2003. Essa comparação é apresentada na Figura 14.



**Figura 14.** Albufeira de Castelo Bode. Comparação das cotas da superfície livre.

Da análise da Figura 14, pode concluir-se que a batimetria definida para o modelo representa bem o que ocorre na realidade, ao nível da reprodução das cotas da superfície livre observadas ao longo do período de simulação, o que significa que se conseguiu obter uma boa representação quer da batimetria do sistema, quer do correspondente balanço de volumes.

De acordo com a batimetria definida, o volume da albufeira de Castelo de Bode divide-se pelos vários ramos considerados da seguinte forma:

**Quadro 4.** Volumes armazenados nos vários ramos da albufeira.

Ramo	Massa de água	Volume (hm <sup>3</sup> )
Ramo 1	Rio Zêzere	818,7 (78%)
Ramo 2	Rib. da Sertã	19,2 (2%)
Ramo 3	Rib. da Isna	48,1 (5%)
Ramo 4	Rib. de Cains	21,3 (2%)
Ramo 5	Rib. de Codes	45,9 (4%)
Ramo 6	Rib. do Lombo	33,4 (3%)
Ramo 7	Rib. do Souto	11,2 (1%)
Ramo 8	Rib. da Brunheta	18,2 (2%)
Ramo 9	Rib. do Pessegueiro	19,6 (2%)
Ramo 10	Rib. da Aldeia do Mato	13,0 (1%)
<b>Albufeira de Castelo de Bode</b>		<b>1 048,6 (100%)</b>

## 6.6. Condições Iniciais

As condições iniciais do processo de simulação são definidas no ficheiro de controlo do modelo, no ficheiro de batimetria e, no caso de existir informação para esse efeito e de se considerar que é relevante, em ficheiros com perfis verticais e/ou longitudinais dos diferentes parâmetros a simular. No ficheiro de controlo são definidas, entre outras, as seguintes condições iniciais:

- ◆ Período de simulação – data inicial e final de simulação.
- ◆ Temperatura inicial. No caso de existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais de temperatura.
- ◆ Concentração inicial dos constituintes a simular. Também neste caso, se existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais dos constituintes a simular.
- ◆ Número, localização e características dos pontos de afluência e de descarga ou tomada de água.
- ◆ Cota da superfície livre no início da simulação.
- ◆ Tipo de massa de água – água doce ou salgada.

A definição das condições iniciais da qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode, relativamente ao ano de 2002, baseou-se em dados recolhidos pela EDP, na zona da principal captação de água, no decurso do mês de Janeiro. Admitiu-se que os valores de temperatura e de concentração dos diferentes parâmetros de qualidade da água são constantes para toda a albufeira, o que corresponde a assumir condições de mistura completa no início do período de simulação. Os valores considerados para as condições iniciais são em seguida apresentados:

**Quadro 5.** Condições iniciais de simulação do ano de 2002.

<b>Cota da superfície livre</b>	114,28 m
<b>Temperatura</b>	11,9 °C
<b>Oxigénio dissolvido</b>	8,7 mg/L
<b>Fosfatos</b>	0,011 mg/L
<b>Biomassa algal</b>	0,008 mg/L
<b>Azoto amoniacal</b>	0,05 mg/L
<b>Nitratos + Nitritos</b>	2,07 mg/L
<b>CBO<sub>5</sub></b>	0,7 mg/L
<b>Sólidos dissolvidos totais</b>	41,7 mg/L
<b>Coliformes fecais</b>	12 NMP/L
<b>Coliformes totais</b>	1 000 NMP/L
<b>Carbono inorgânico total</b>	6,0 mg/L
<b>Alcalinidade</b>	22,0 mg/L

Após a calibração efectuada para o ano de 2002, e de acordo com o já anteriormente referido, realizou-se um outro exercício de simulação, com a aplicação do modelo para as condições correspondentes ao ano de 2003, tendo em atenção as diferenças relativas às condições iniciais de simulação, aos dados hidráulicos e meteorológicos, bem como no que se refere à qualidade das aflúencias. Este segundo exercício de simulação permitiu também desenvolver o necessário processo de verificação da calibração anteriormente efectuada. Tal como para o ano de 2002, as fontes utilizadas na recolha da informação necessária para a simulação foram os dados disponibilizados pela EPAL, pela EDP e pelo INAG.

Os valores considerados para o início da simulação do ano de 2003, que correspondem aos dados recolhidos pela EDP em Janeiro desse ano, são apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6.** Condições iniciais de simulação do ano de 2003.

<b>Cota da superfície livre</b>	119,04 m
<b>Temperatura</b>	12,6 °C
<b>Oxigénio dissolvido</b>	9,2 mg/L
<b>Fosfatos</b>	0,01 mg/L
<b>Biomassa algal</b>	0,004 mg/L
<b>Azoto amoniacal</b>	0,05 mg/L
<b>Nitratos + Nitritos</b>	2,53 mg/L
<b>CBO<sub>5</sub></b>	0,5 mg/L
<b>Sólidos dissolvidos totais</b>	45,7 mg/L
<b>Coliformes fecais</b>	120 NMP/L
<b>Coliformes totais</b>	800 NMP/L
<b>Carbono inorgânico total</b>	6,0 mg/L
<b>Alcalinidade</b>	4,5 mg/L

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

### 7.1 - Introdução

Após a calibração do modelo CE-QUAL-W2 para a situação relativa ao ano de 2002, procedeu-se à simulação do ano de 2003, sendo que as únicas alterações introduzidas, relativamente às simulações de 2002, se reportam aos dados de entrada do modelo, de acordo com o referido no final do capítulo anterior. Assim, foi possível avaliar que a calibração realizada para o ano de 2002 permite ao modelo simular correctamente as condições inerentes a 2003, ou seja, proceder à validação do processo de calibração desenvolvido.

Os resultados obtidos pelo modelo foram comparados com os perfis verticais, monitorizados pela EDP nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro de 2002 e de 2003, junto à barragem, bem como com os perfis verticais relativos aos meses de Janeiro, Março, Maio, Julho, Outubro e Novembro de 2002, e aos meses de Janeiro, Março, Maio, Julho, Setembro e Novembro de 2003, monitorizados pela EPAL, junto à captação de Castelo de Bode. Foram ainda comparados os resultados obtidos com os registos do SNIRH, monitorizados ao longo dos dois anos considerados, relativos a amostragens efectuadas à superfície e junto à barragem.

Nas secções seguintes serão apresentados e analisados os resultados obtidos para todos os parâmetros simulados, relativos aos exercícios de simulação desenvolvidos para os anos de 2002 e de 2003.

### 7.2 - Temperatura

Na utilização de modelos matemáticos de simulação da qualidade da água em albufeiras é particularmente importante a calibração do comportamento térmico do sistema, no sentido em que este condiciona em larga medida a hidrodinâmica da massa de água e, conseqüentemente, as respostas do sistema às pressões a que se encontra sujeito.

Da análise do comportamento térmico da albufeira ao longo dos anos de 2002 e de 2003, pode observar-se que a massa de água apresenta um comportamento característico de um lago monomítico quente, típico das zonas temperadas, em que os valores da temperatura da água nunca descem abaixo dos 4°C, quer à superfície quer em profundidade, bem como uma alternância de períodos de homogeneização dos valores da temperatura ao longo de toda a coluna de água com períodos de forte estratificação térmica, característicos, respectivamente, dos períodos mais frios e mais quentes do ano.

A Figura 15 representa os valores da temperatura da massa de água, ao longo da globalidade do seu ramo principal (rio Zêzere), no dia 3 de Julho de 2002, onde é bem patente a forte estratificação térmica que se faz sentir em toda a albufeira. Em anexo ao presente relatório, em suporte digital, são apresentadas várias animações em formato “avi”, referentes à evolução dos valores de alguns parâmetros, ao longo do ano de 2002 e considerando a totalidade do ramo principal da albufeira. Uma dessas animações corresponde à temperatura da água. A sua visualização permite identificar a

referida alternância entre os períodos de homogeneização e de estratificação térmica na massa de água.

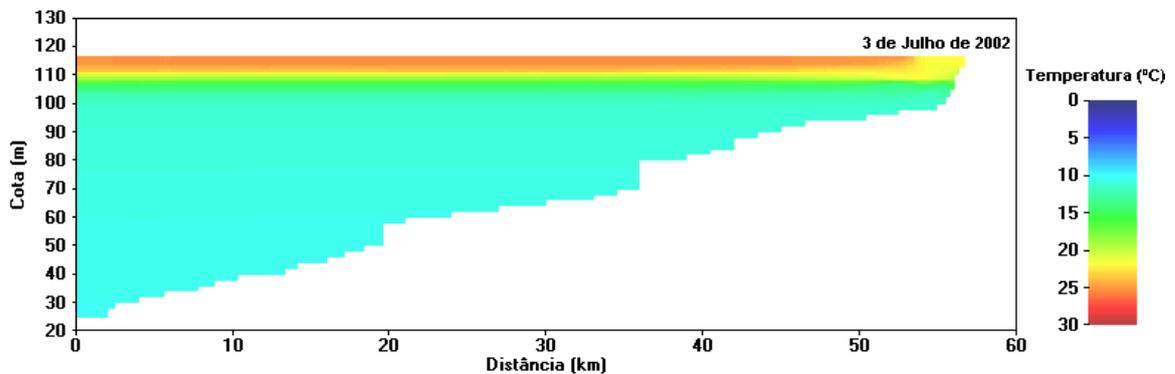


Figura 15. Temperatura da massa de água ao longo do ramo principal (rio Zêzere).

Estabelecendo a comparação entre os resultados do modelo e os registos da EDP, EPAL e do SNIRH obtidos durante os anos de 2002 e de 2003, e de acordo com o que se pode observar através da análise das Figuras 16 a 37, verifica-se que se obteve um bom ajustamento entre os dois conjuntos de resultados. Esta situação significa que, face aos dados disponíveis, se pode concluir que o modelo descreve bem o comportamento térmico da albufeira, o que permite assumir que este deverá descrever igualmente bem o comportamento hidrodinâmico do sistema.

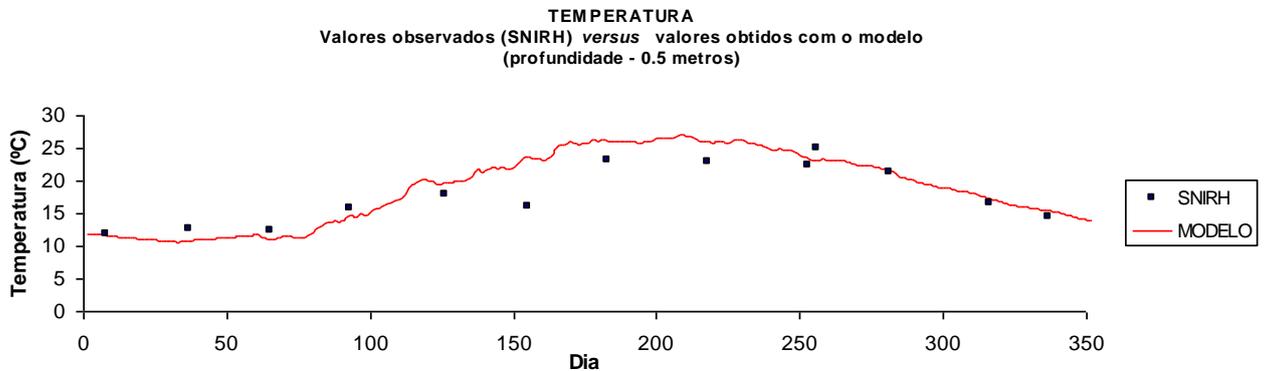


Figura 16. Série temporal dos valores de temperatura obtidos para o ano de 2002.

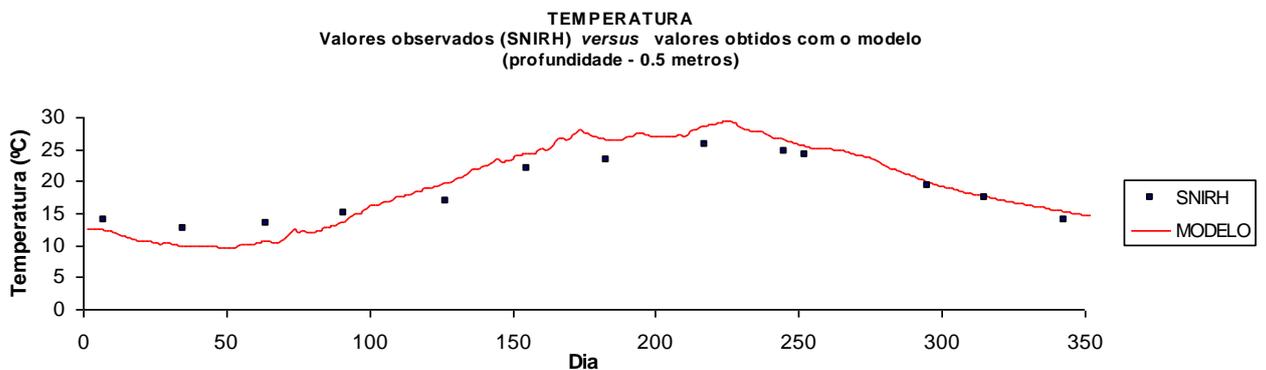
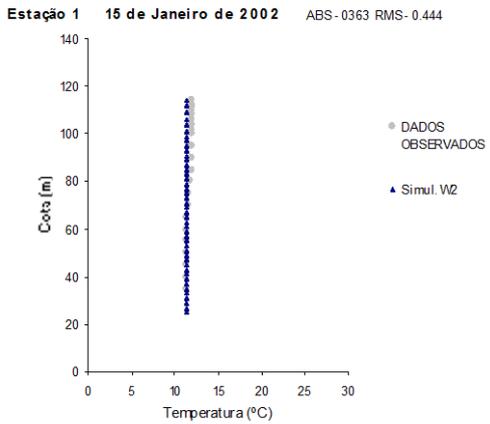
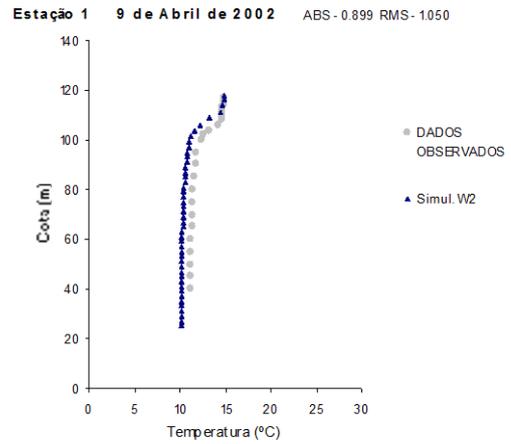


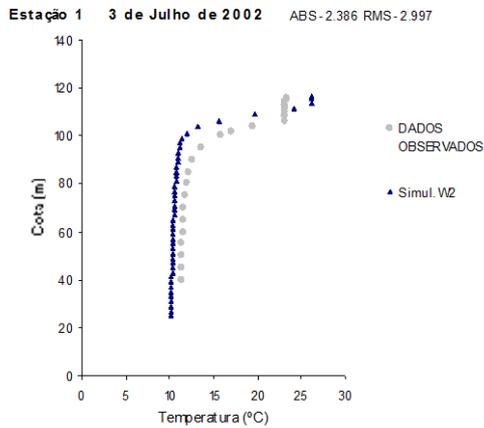
Figura 17. Série temporal dos valores de temperatura obtidos para o ano de 2003.



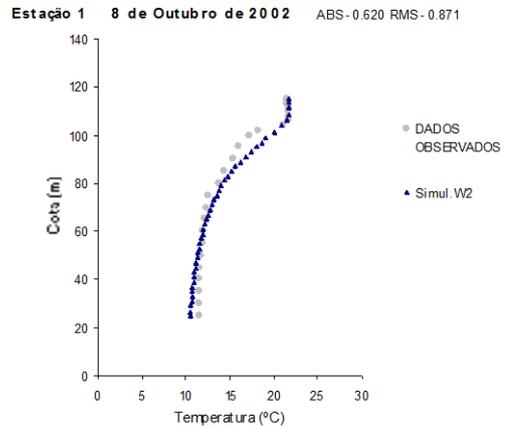
**Figura 18.** Perfil de temperatura EDP 15/01/2002



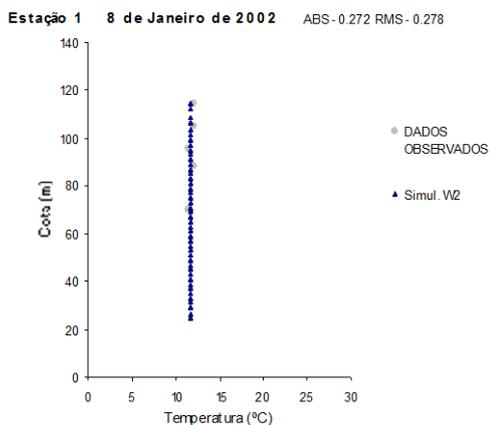
**Figura 19.** Perfil de temperatura EDP 09/04/2002



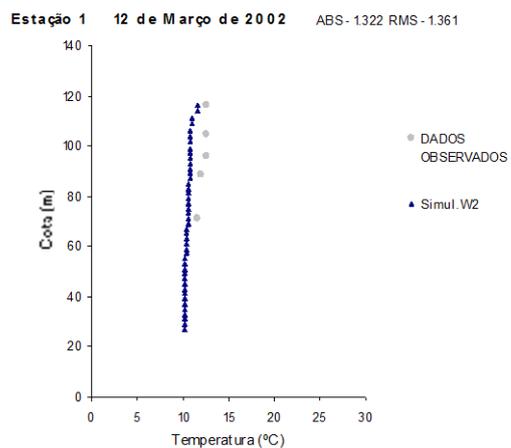
**Figura 20.** Perfil de temperatura EDP 03/07/2002



**Figura 21.** Perfil de temperatura EDP 08/10/2002



**Figura 22.** Perfil de temperatura EPAL 08/01/2002



**Figura 23.** Perfil de temperatura EPAL 12/03/2002

Estação 1 7 de Maio de 2002 ABS-2.325 RMS-2.871

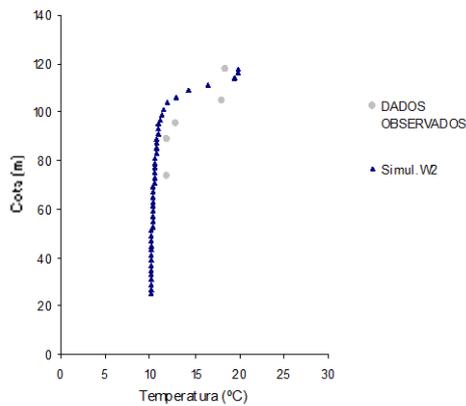


Figura 24. Perfil de temperatura EPAL 07/05/2002

Estação 1 23 de Julho de 2002 ABS-1.854 RMS-2.104

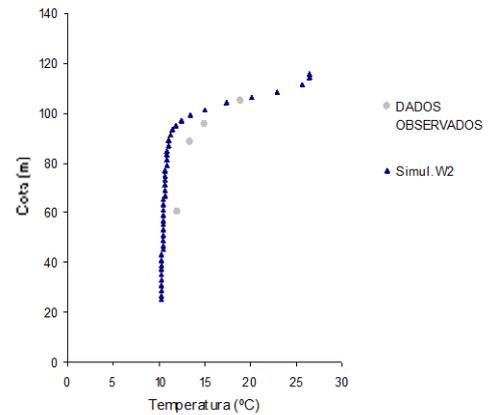


Figura 25. Perfil de temperatura EPAL 23/07/2002

Estação 1 10 de Outubro de 2002 ABS-0.981 RMS-1.505

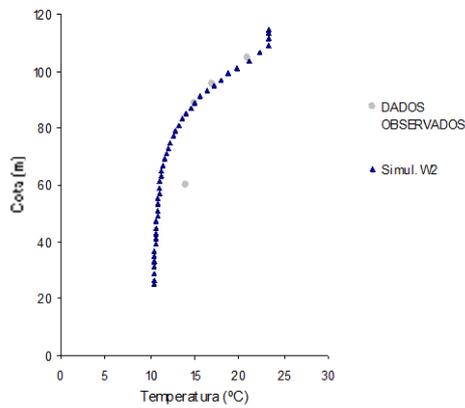


Figura 26. Perfil de temperatura EPAL 10/10/2002

Estação 1 4 de Novembro de 2002 ABS-1.491 RMS-1.573

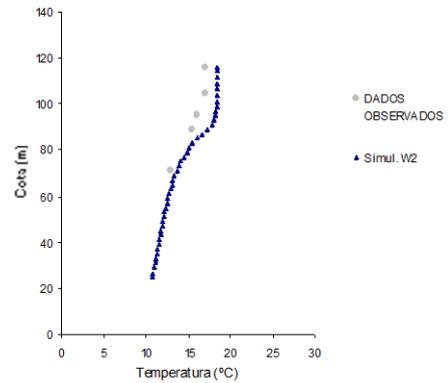


Figura 27. Perfil de temperatura EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS-1.833 RMS-1.936

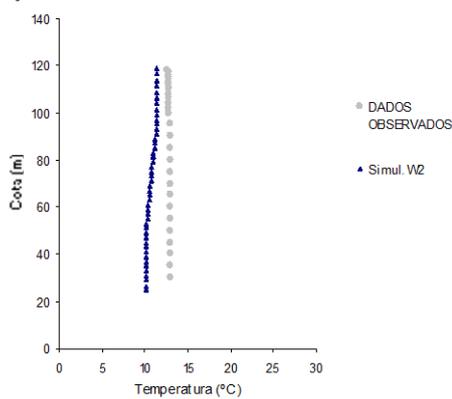


Figura 28. Perfil de temperatura EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS-1.535 RMS-1.780

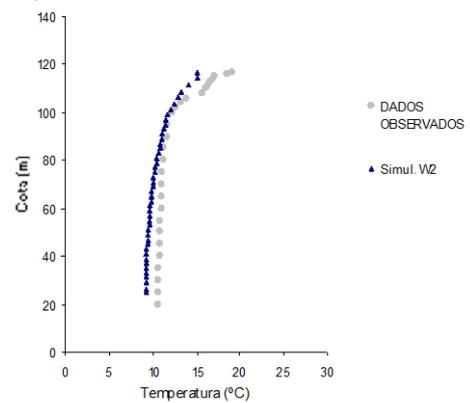
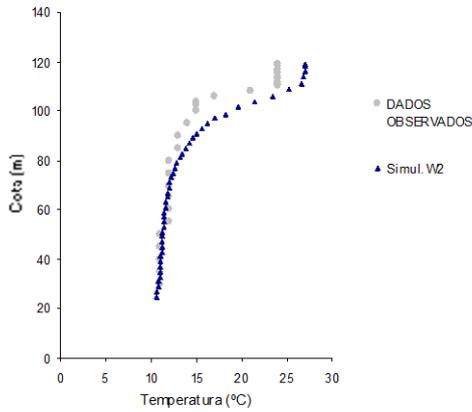


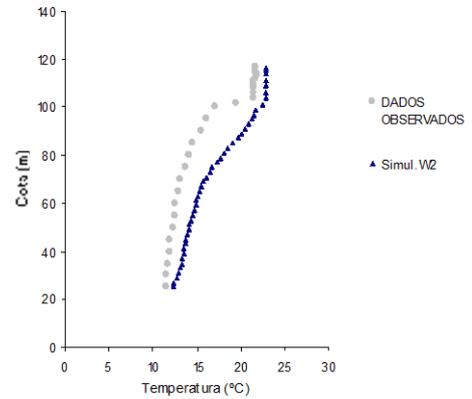
Figura 29. Perfil de temperatura EDP 07/04/2003

**Estação 1 22 de Julho de 2003** ABS- 2.099 RMS- 2.760



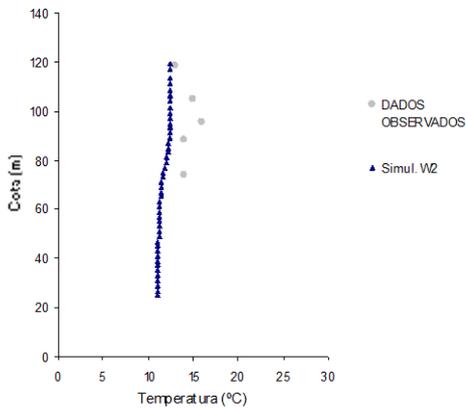
**Figura 30. Perfil de temperatura EDP 22/07/2003**

**Estação 1 6 de Outubro de 2003** ABS- 2.167 RMS- 2.528



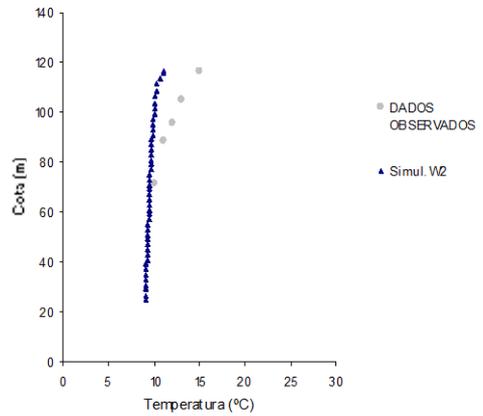
**Figura 31. Perfil de temperatura EDP 06/10/2003**

**Estação 1 7 de Janeiro de 2003** ABS- 2.159 RMS- 2.377



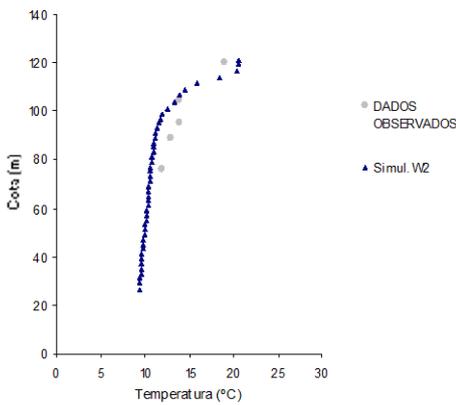
**Figura 32. Perfil de temperatura EPAL 07/01/2003**

**Estação 1 11 de Março de 2003** ABS- 2.145 RMS- 2.474



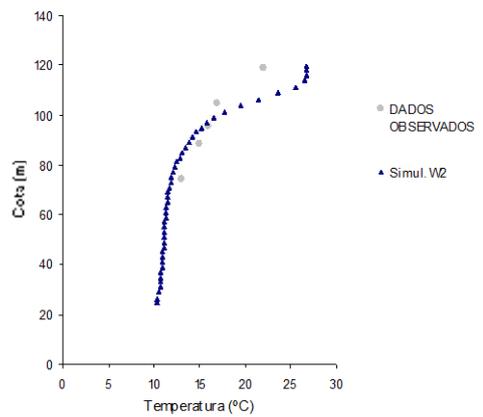
**Figura 33. Perfil de temperatura EPAL 11/03/2003**

**Estação 1 12 de Maio de 2003** ABS- 1.564 RMS- 1.694



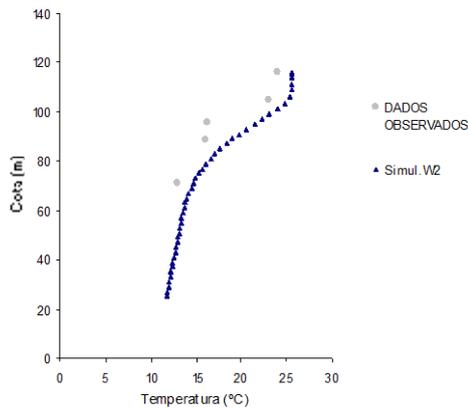
**Figura 34. Perfil de temperatura EPAL 12/05/2003**

**Estação 1 8 de Julho de 2003** ABS- 2.243 RMS- 2.715



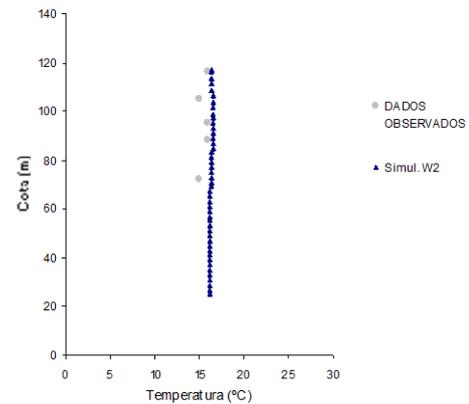
**Figura 35. Perfil de temperatura EPAL 08/07/2003**

Estação 1 8 de Setembro de 2003 ABS-2.677 RMS-3.025



**Figura 36.** Perfil de temperatura EPAL 08/09/2003

Estação 1 25 de Novembro de 2003 ABS-0.820 RMS-0.938

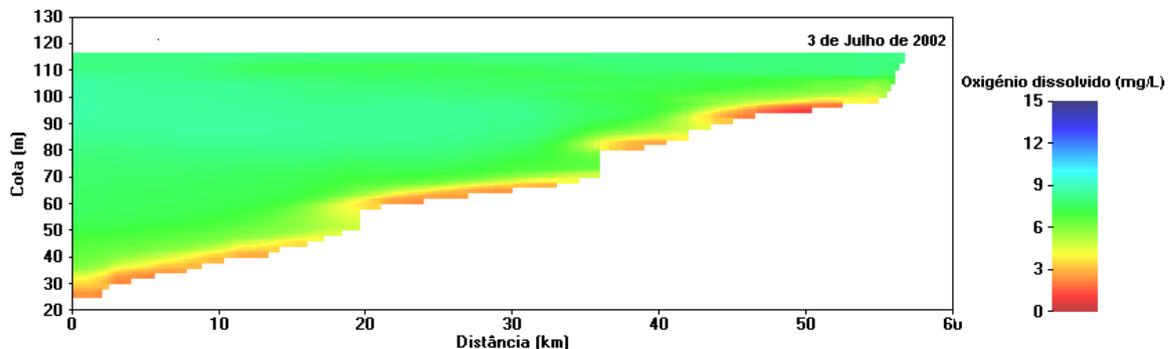


**Figura 37.** Perfil de temperatura EPAL 25/11/2003

### 7.3 - Oxigénio Dissolvido

O teor de OD de uma massa de água revela-se de uma importância primordial em qualquer estudo de qualidade, uma vez que qualquer alteração dos valores deste parâmetro no sistema tem influência nos ciclos de nutrientes e consequentemente em toda a dinâmica ecológica do mesmo.

A Figura 38 permite visualizar os resultados da concentração de OD, ao longo do ramo principal da albufeira (rio Zêzere), no dia 3 de Julho de 2002. A análise desta figura permite verificar que junto ao fundo da massa de água se registam níveis bastante baixos de concentração de OD, situação que é comum nessa altura do ano em reservatórios profundos com forte estratificação térmica.



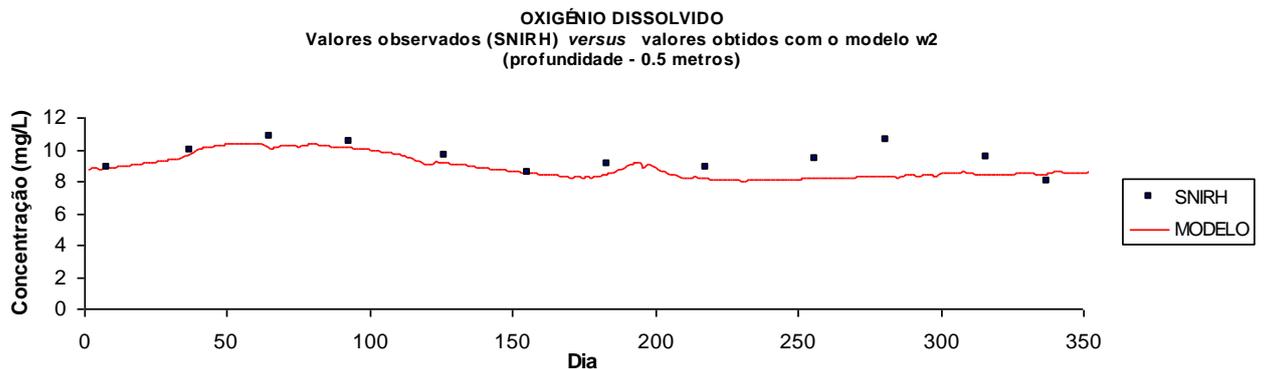
**Figura 38.** Oxigénio dissolvido da massa de água ao longo do ramo principal (rio Zêzere).

A comparação dos resultados do modelo com os valores disponíveis no SNIRH relativos à concentração de OD à superfície para os anos de 2002 (Figura 39) e de 2003 (Figura 40), e com os valores dos registos de OD obtidos pela EDP para esses mesmos anos (Figuras 41 a 44, e 51 a 54, respectivamente) permite verificar que se obteve um bom ajustamento entre os dois conjuntos de resultados.

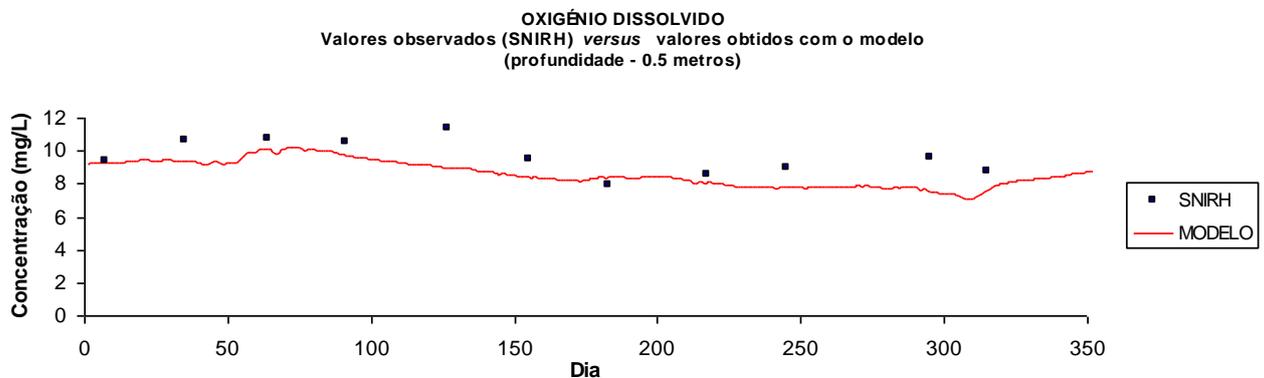
Para além dos valores expressos em mg/L, o modelo também permite obter valores em percentagem de saturação, o que possibilitou a sua comparação com os os valores disponibilizados pela EPAL expressos dessa forma. Como se pode observar nas Figuras 45 a 50 (ano de 2002), e nas Figuras 55 a 60 (ano de 2003), os resultados do modelo acompanham bem os valores dos registos da EPAL, com

excepção do mês de Novembro de 2002 e dos meses de Março e de Maio de 2003, em que o afastamento entre os dois conjuntos de resultados assume algum significado. Contudo, atendendo a que não existem registos da EPAL para profundidades inferiores a 45 m, não é possível avaliar a qualidade do ajustamento no que se refere às camadas mais profundas da massa de água, durante os referidos meses.

Assim, pode-se concluir que a tendência de evolução dos dois conjuntos de resultados, quer à superfície quer ao longo da coluna de água, é semelhante e que, face aos dados disponíveis, o modelo descreveu de forma satisfatória o comportamento do OD na albufeira.



**Figura 39.** Série temporal dos valores de oxigênio dissolvido obtidos para o ano de 2002.



**Figura 40.** Série temporal dos valores de oxigênio dissolvido obtidos para o ano de 2003.

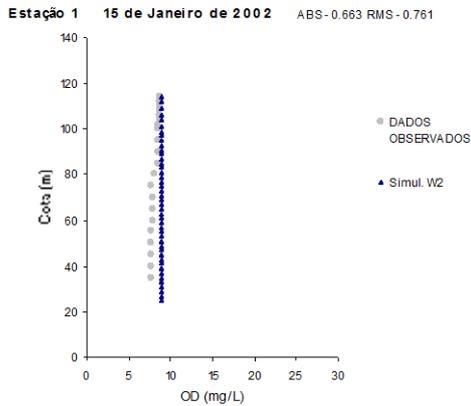


Figura 41. Perfil de OD EDP 15/01/2002

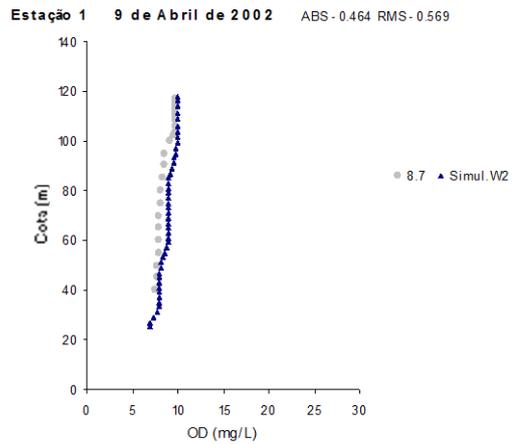


Figura 42. Perfil de OD EDP 09/04/2002

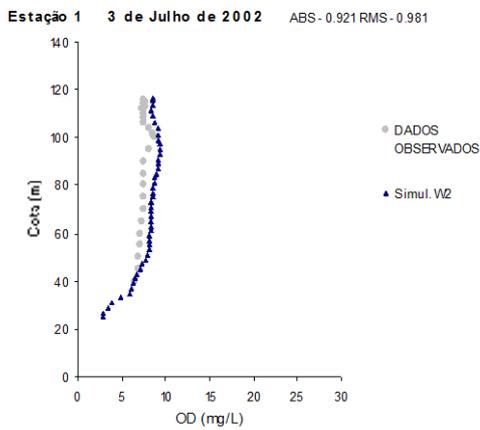


Figura 43. Perfil de OD EDP 03/07/2002

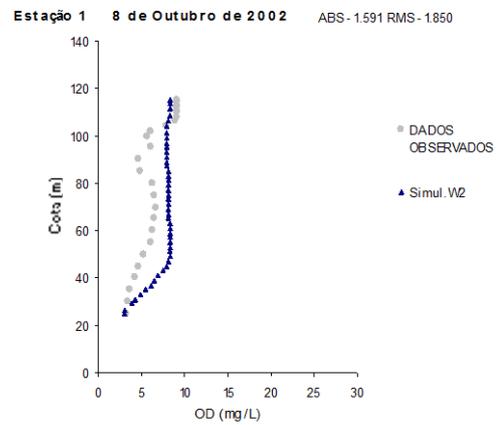


Figura 44. Perfil de OD EDP 08/10/2002

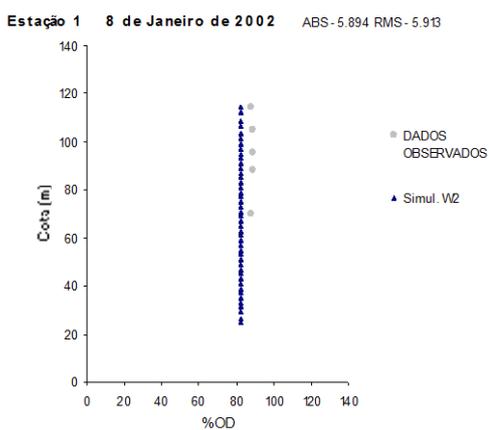


Figura 45. Perfil de OD EPAL 08/01/2002

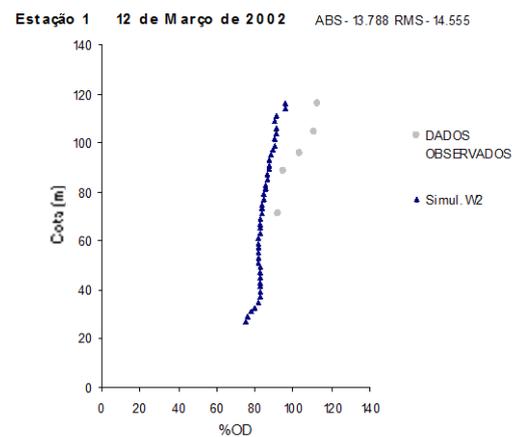


Figura 46. Perfil de OD EPAL 12/03/2002

Estação 1 7 de Maio de 2002 ABS - 10.999 RMS - 12.062

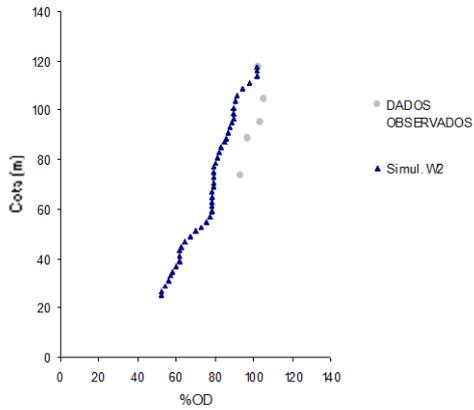


Figura 47. Perfil de OD  
EPAL 07/05/2002

Estação 1 23 de Julho de 2002 ABS - 10.883 RMS - 11.675

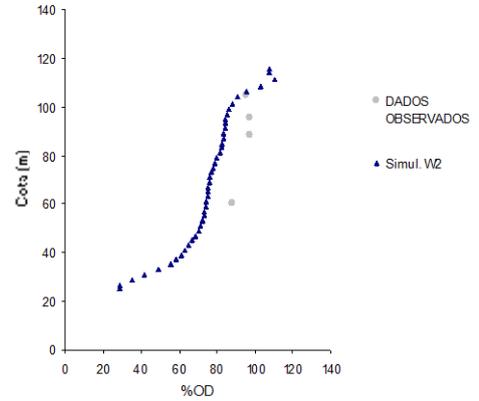


Figura 48. Perfil de OD  
EPAL 23/07/2002

Estação 1 10 de Outubro de 2002 ABS - 6.496 RMS - 7.233

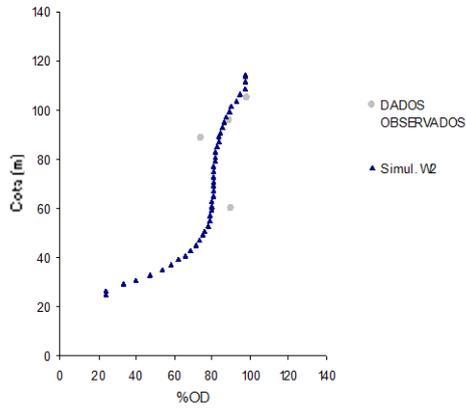


Figura 49. Perfil de OD  
EPAL 10/10/2002

Estação 1 4 de Novembro de 2002 ABS - 10.780 RMS - 15.334

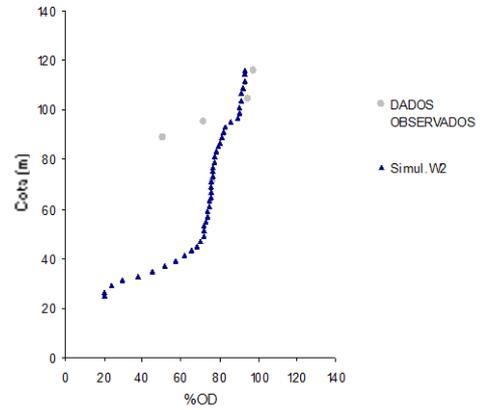


Figura 50. Perfil de OD  
EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS - 0.222 RMS - 0.265

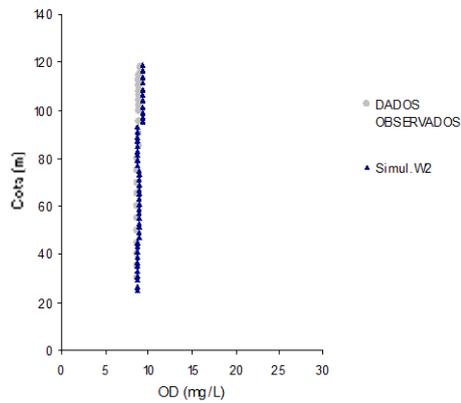


Figura 51. Perfil de OD  
EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS - 1.673 RMS - 1.740

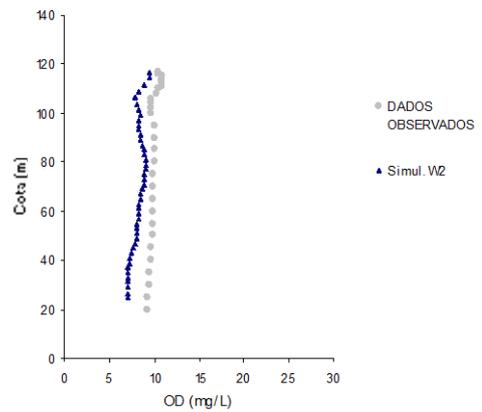


Figura 52. Perfil de OD  
EDP 07/04/2003

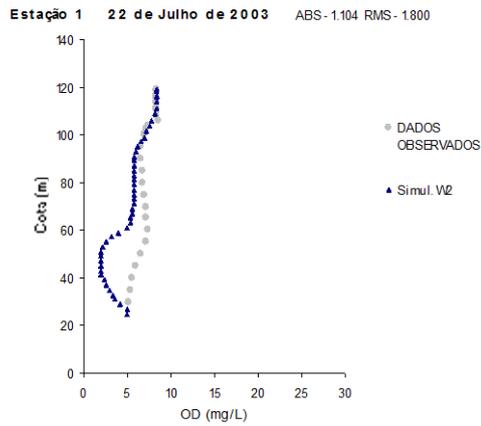


Figura 53. Perfil de OD  
EDP 22/07/2003

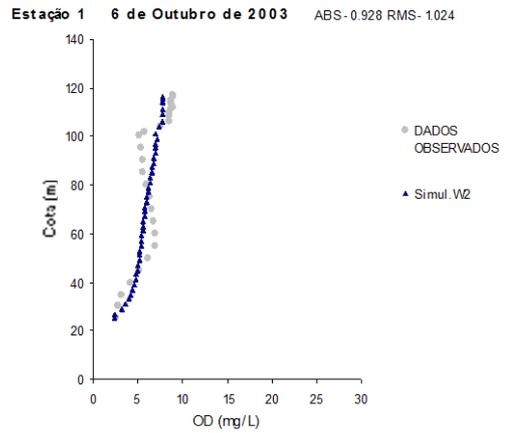


Figura 54. Perfil de OD  
EDP 06/10/2003

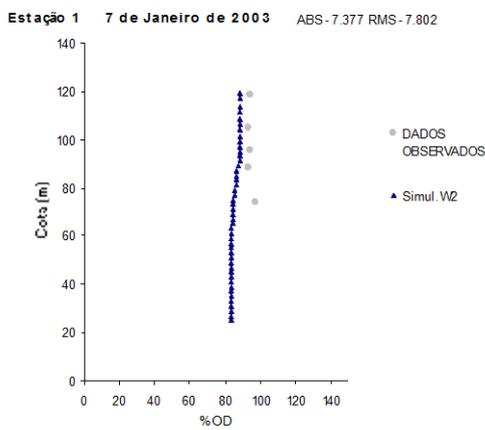


Figura 55. Perfil de OD  
EPAL 07/01/2003

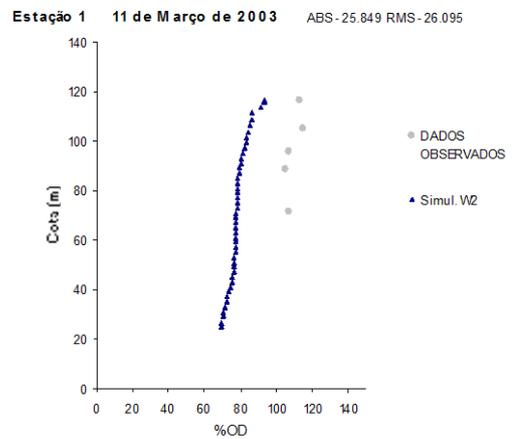


Figura 56. Perfil de OD  
EPAL 11/03/2003

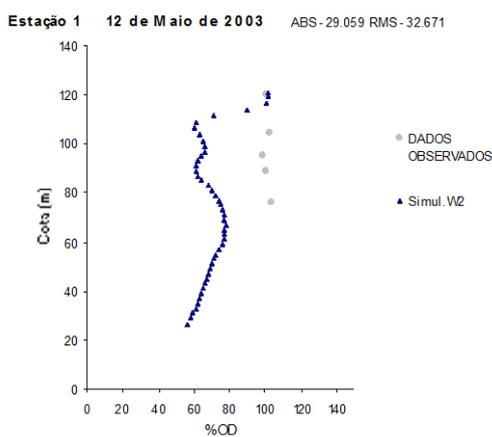


Figura 57. Perfil de OD  
EPAL 12/05/2003

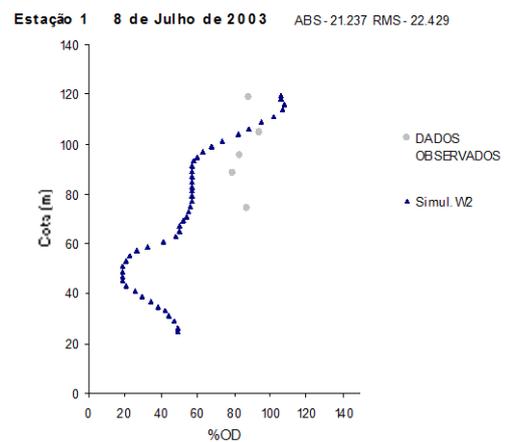
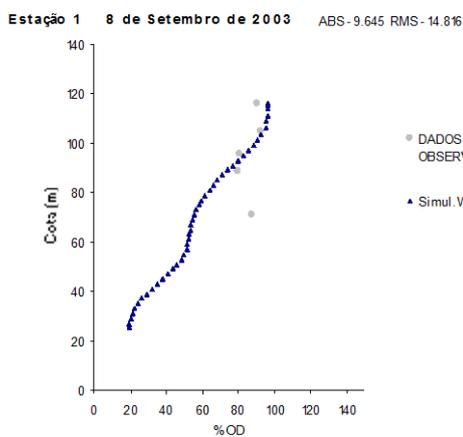
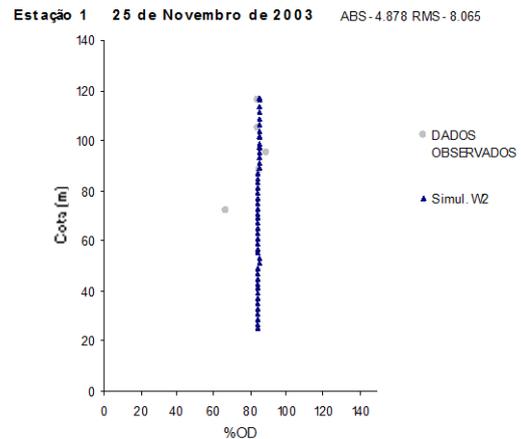


Figura 58. Perfil de OD  
EPAL 08/07/2003



**Figura 59.** Perfil de OD  
EPAL 08/09/2003

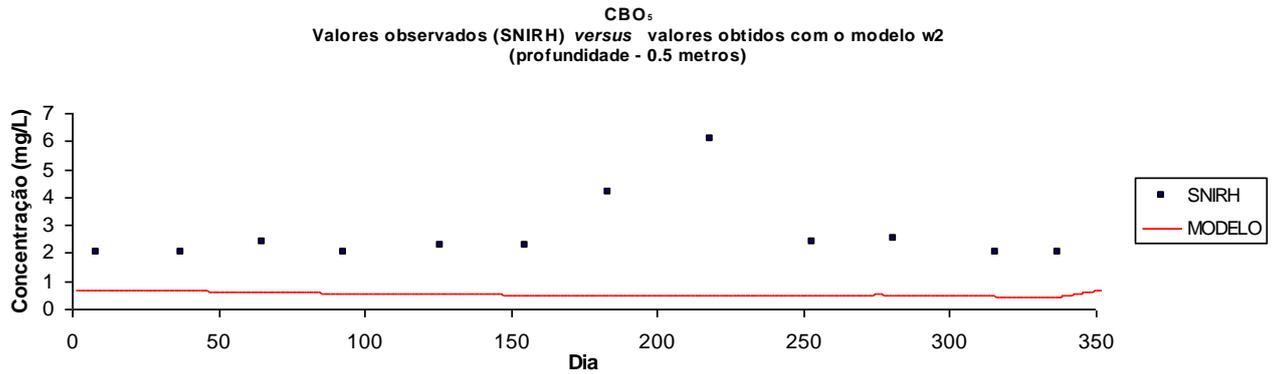


**Figura 60.** Perfil de OD  
EPAL 25/11/2003

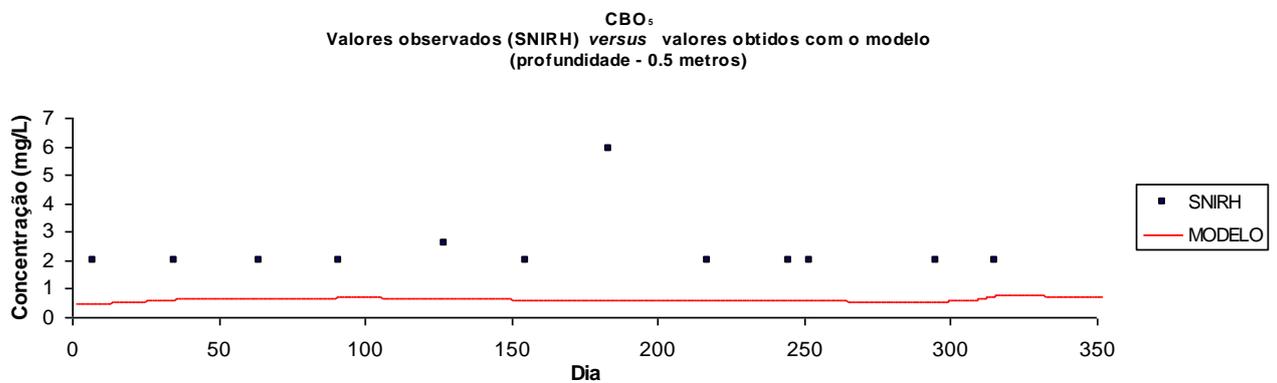
#### 7.4 - Carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>)

Relativamente à CBO<sub>5</sub>, verifica-se que a qualidade do ajustamento obtido entre os resultados do modelo e os valores monitorizados pela EDP é aceitável, como se pode observar através da análise das Figuras 63 a 66 e das Figuras 73 a 76, referentes aos anos de 2002 e de 2003, respectivamente. É de salientar que a análise das Figuras 61 e 62 (correspondentes à comparação com dados do SNIRH), das Figuras 67 a 72 e das Figuras 77 a 82 (correspondentes à comparação com dados da EPAL), deve ser efectuada com alguma reserva, pois existe um limite de detecção dos valores de concentração de CBO<sub>5</sub> de 2 mg/L, dificultando assim uma análise consistente dos resultados obtidos.

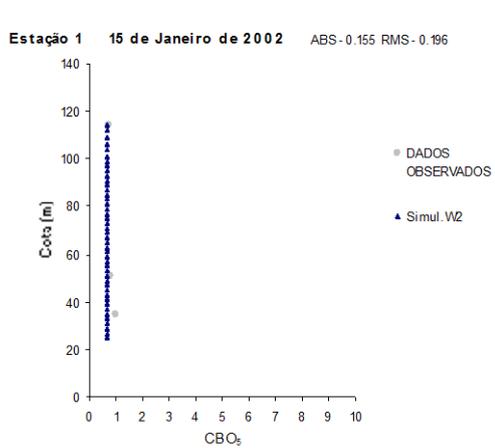
A tendência que se verifica em ambas as séries temporais (Figuras 61 e 62), em que é possível observar valores bastante elevados de concentração de CBO<sub>5</sub>, nomeadamente um valor de 4,2 mg/L em 02/07/2002, e um valor de 5,9 mg/L em 03/07/2003, evidencia o carácter pontual de algumas descargas de poluentes e a dificuldade acrescida da sua simulação, face aos dados disponíveis. Concretamente, verifica-se que a comparação dos dados monitorizados em 2/07/2002 pelo SNIRH, (Figura 61 – dia 218) e em 3/07/2002 pela EDP ( Figura 65), não são consistentes, e que, adicionalmente, os valores monitorizados pela EPAL e pela EDP para o mês de Julho de 2003 (Figuras 75 e 80), são significativamente inferiores ao valor monitorizado pelo SNIRH, para esse mesmo mês (Figura 62 – dia 183).



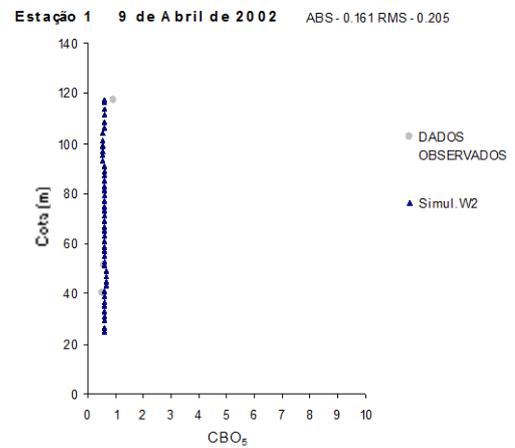
**Figura 61.** Série temporal dos valores de CBO<sub>5</sub> obtidos para o ano de 2002.



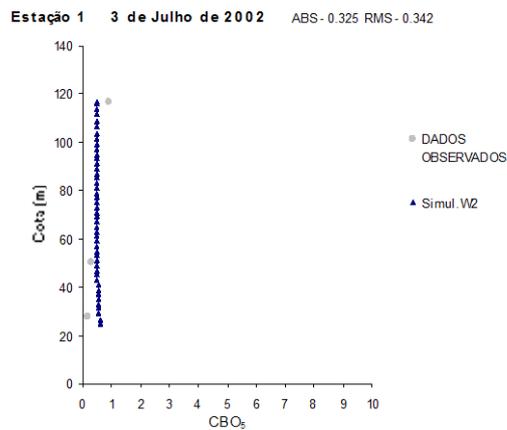
**Figura 62.** Série temporal dos valores de CBO<sub>5</sub> obtidos para o ano de 2003.



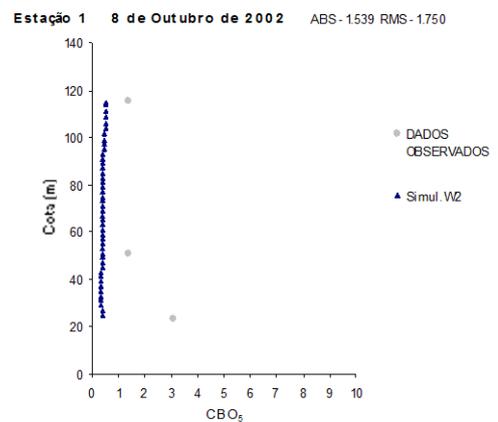
**Figura 63.** Perfil de CBO<sub>5</sub>  
EDP 15/01/2002



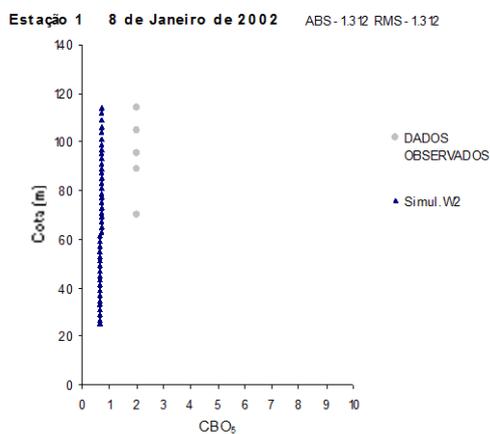
**Figura 64.** Perfil de CBO<sub>5</sub>  
EDP 09/04/2002



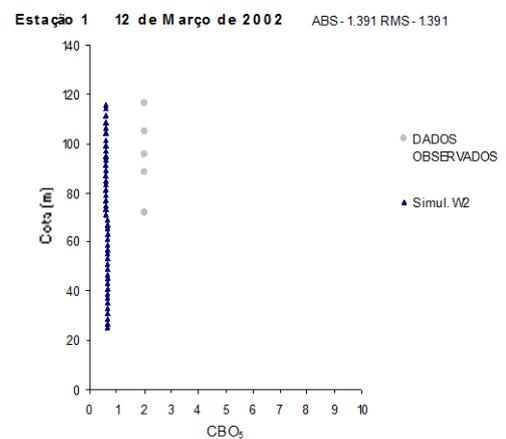
**Figura 65.** Perfil de  $CBO_5$   
EDP 03/07/2002



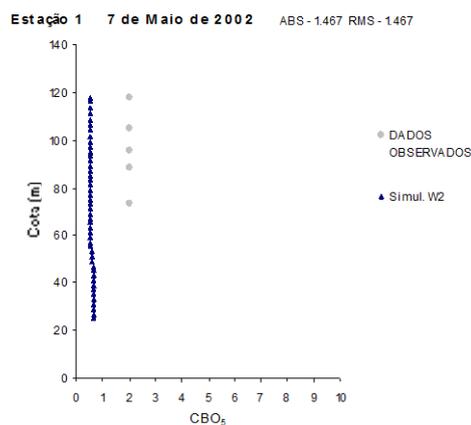
**Figura 66.** Perfil de  $CBO_5$   
EDP 08/10/2002



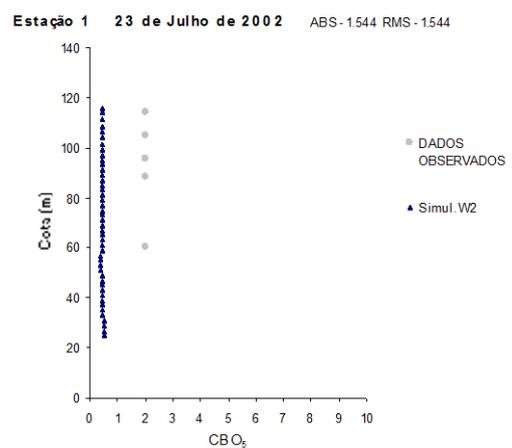
**Figura 67.** Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 08/01/2002



**Figura 68.** Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 12/03/2002



**Figura 69.** Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 07/05/2002



**Figura 70.** Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 23/07/2002

Estação 1 10 de Outubro de 2002 ABS-1.563 RMS-1.563

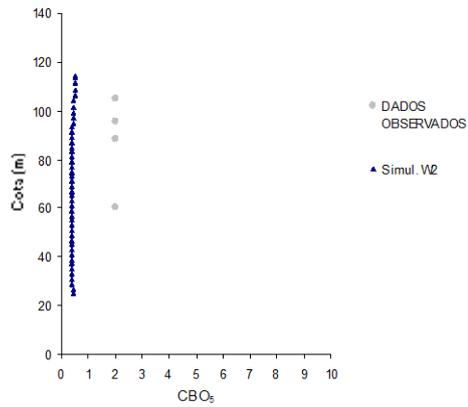


Figura 71. Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 10/10/2002

Estação 1 4 de Novembro de 2002 ABS-1.562 RMS-1.563

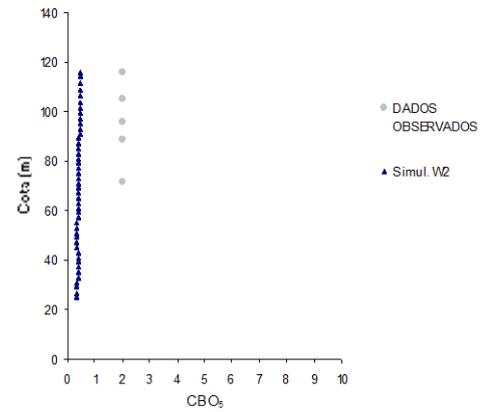


Figura 72. Perfil de  $CBO_5$   
EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS-1.067 RMS-1.739

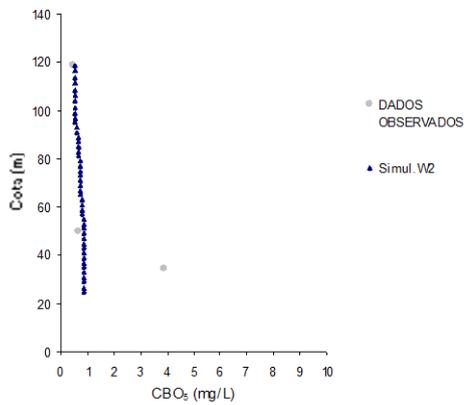


Figura 73. Perfil de  $CBO_5$   
EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS-0.165 RMS-0.236

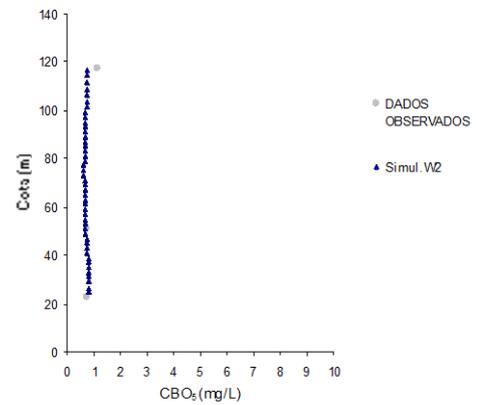


Figura 74. Perfil de  $CBO_5$   
EDP 07/04/2003

Estação 1 22 de Julho de 2003 ABS-0.215 RMS-0.300

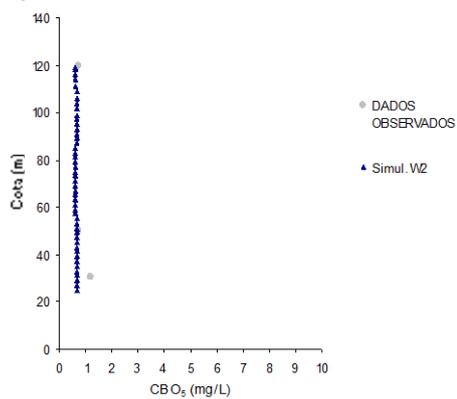


Figura 75. Perfil de  $CBO_5$   
EDP 22/07/2003

Estação 1 6 de Outubro de 2003 ABS-0.666 RMS-0.714

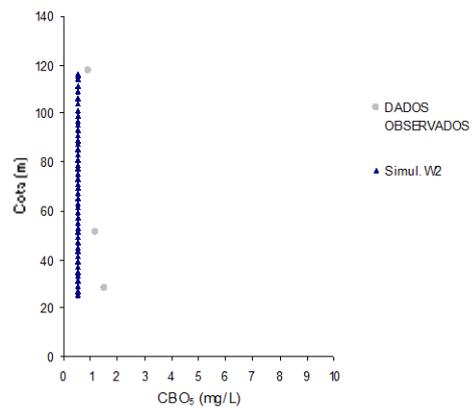
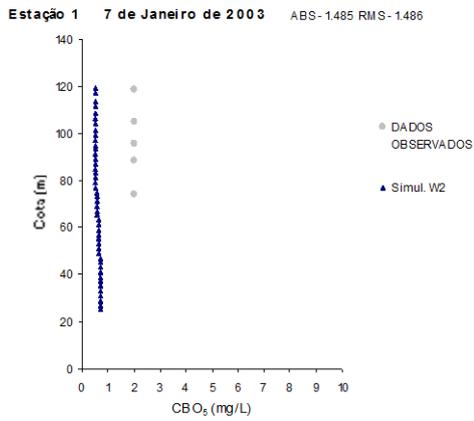
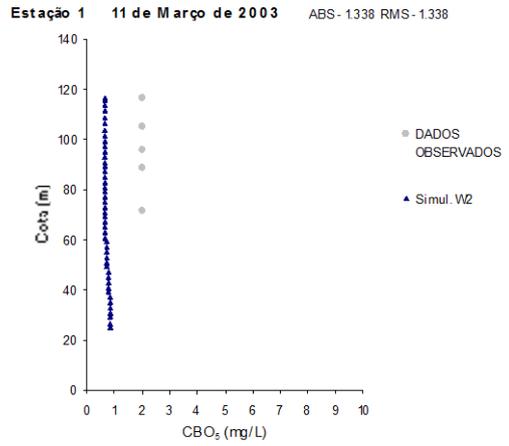


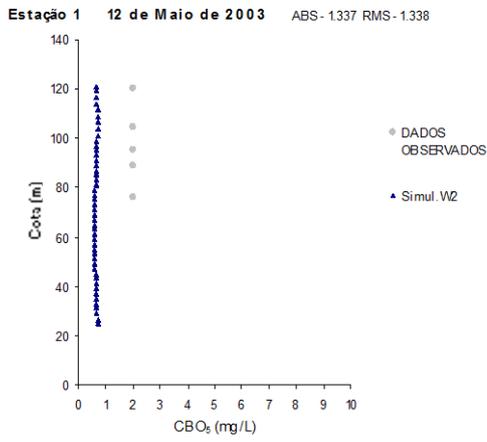
Figura 76. Perfil de  $CBO_5$   
EDP 06/10/2003



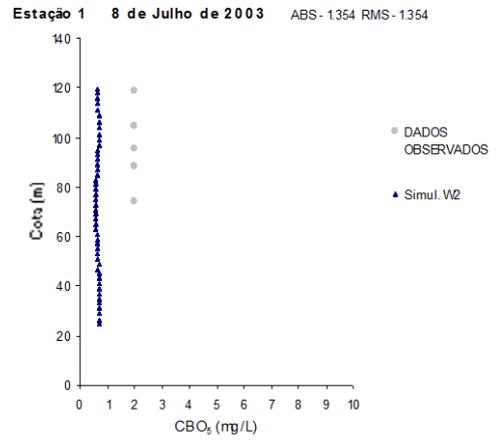
**Figura 77. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 07/01/2003**



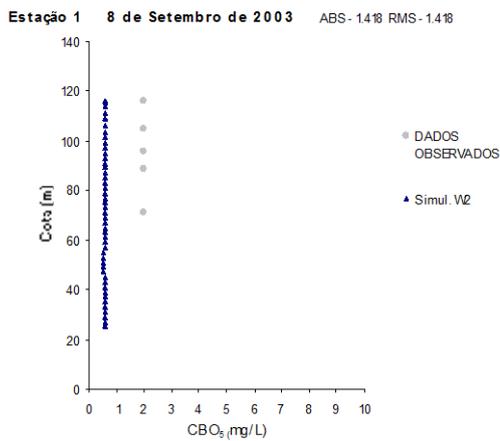
**Figura 78. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 11/03/2003**



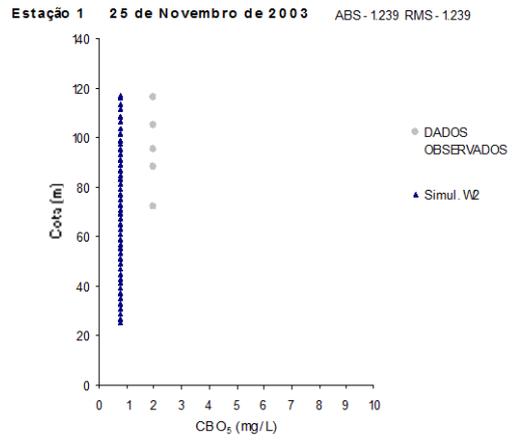
**Figura 79. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 12/05/2003**



**Figura 80. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 08/07/2003**



**Figura 81. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 08/09/2003**



**Figura 82. Perfil de CBO<sub>5</sub> EPAL 25/11/2003**

## 7.5 - Nitratos e nitritos

O ciclo do azoto, apesar da sua elevada complexidade, encontra-se bem representado pelos resultados do modelo. Uma das dificuldades encontradas esteve associada ao facto da calibração não depender apenas das afluências de azoto nas suas diferentes formas. Com efeito, é necessário calibrar em simultâneo todos os compartimentos que constituem as fontes e sumidouros de azoto, e que dependem directamente ou indirectamente da concentração deste constituinte.

A análise das figuras em que se comparam os valores obtidos pelo modelo com os dados monitorizados pelo SNIRH (Figura 83), pela EDP (Figuras 85 a 88) e pela EPAL (Figuras 89 a 94), relativas ao ano de 2002, revelam um melhor ajustamento entre os dois conjuntos de resultados, comparativamente com o ajustamento que se pode observar nas Figuras 84 e 95 a 104, relativas ao ano de 2003. De facto, e relativamente a esse ano, observa-se a existência de alguma discrepância entre os valores produzidos pelo modelo e os valores monitorizados, sendo, geralmente, os primeiros mais elevados que os segundos, quer à superfície (Figura 84), quer ao longo da coluna de água (Figuras 95 a 104).

O ajustamento menos satisfatório conseguido em 2003 pode ser justificado pelo facto dos valores de  $\text{NO}_x$  observados na estação de qualidade da água de Vale Bom nos meses de Janeiro e Fevereiro do ano de 2003, que caracterizam a qualidade das afluências ao ramo principal da albufeira, no que a este parâmetro se refere, não descreverem correctamente a sua concentração na massa de água. Com efeito, nos meses referidos anteriormente, as afluências de caudal são bastante elevadas, chegando mesmo a atingir o valor de caudal mais alto dos dois anos simulados ( $211,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , em Janeiro de 2003). Como a discretização dos valores de qualidade é mensal, o valor de concentração associado a estes caudais determina uma carga afluente de  $\text{NO}_x$  que se considera sobreestimada, de acordo com a avaliação efectuada através da análise da Figura 84, das Figuras 96 a 98 e das Figuras 100 a 103.

Apesar das elevadas afluências das cargas de  $\text{NO}_x$  justificarem os valores sobreestimados pelo modelo nos primeiros meses do ano, verificou-se que os valores produzidos pelo mesmo continuaram a ser mais elevados do que os valores monitorizados ao longo de praticamente todo o ano de 2003, o que poderá resultar da acumulação de compostos de azoto na massa de água em função das importantes afluências registadas nos primeiros meses do ano, bem como, e de acordo com a análise efectuada ao fluxo simulado pelo modelo, do processo de nitrificação.

NITRATO - NITRITO  
Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo w2  
(profundidade - 0.5 metros)

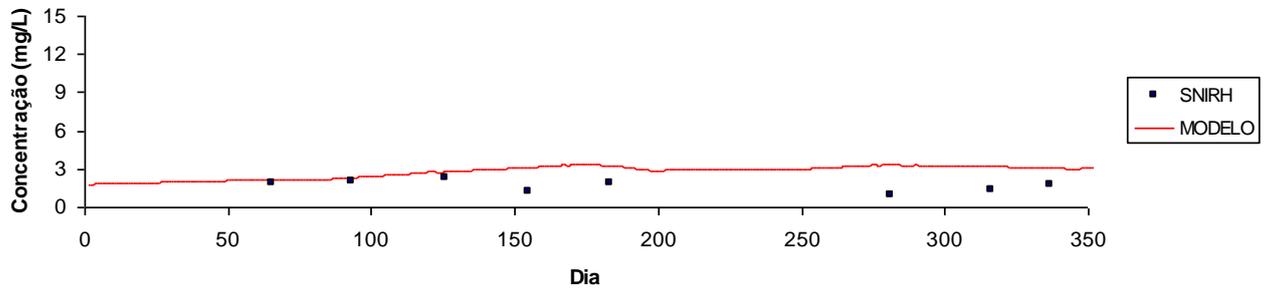


Figura 83. Série temporal dos valores de NO<sub>x</sub> obtidos para o ano de 2002.

NITRATO - NITRITO  
Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo  
(profundidade - 0.5 metros)

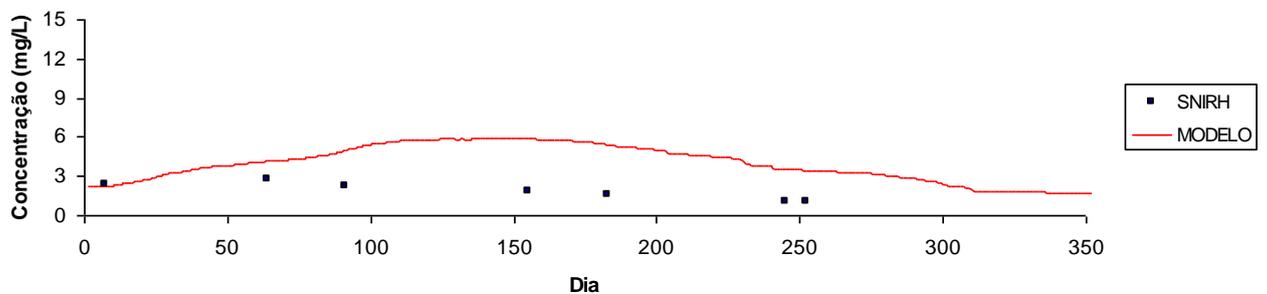


Figura 84. Série temporal dos valores de NO<sub>x</sub> obtidos para o ano de 2003.

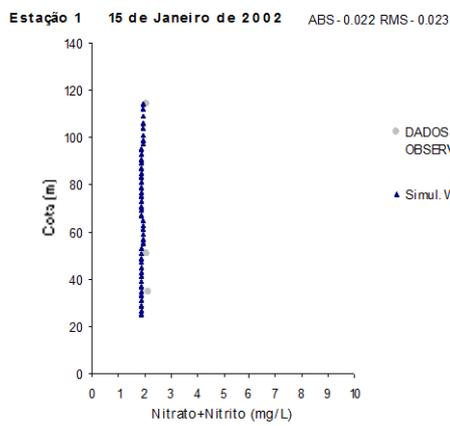


Figura 85. Perfil de NO<sub>x</sub>  
EDP 15/01/2002

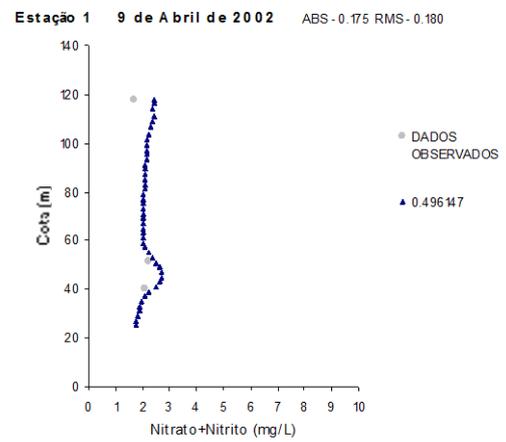
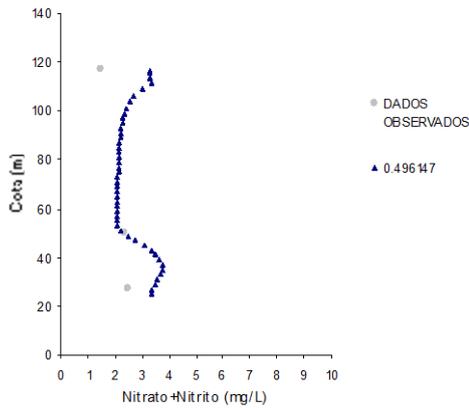


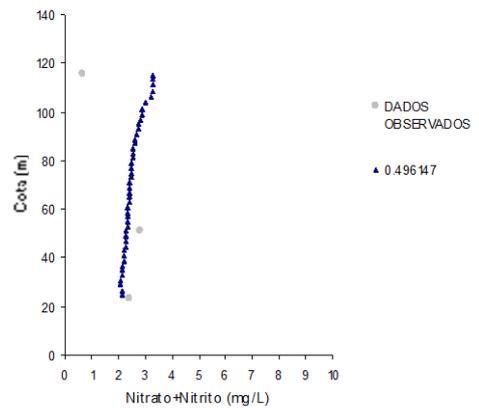
Figura 86. Perfil de NO<sub>x</sub>  
EDP 09/04/2002

**Estação 1 3 de Julho de 2002** ABS - 0.305 RMS - 0.359



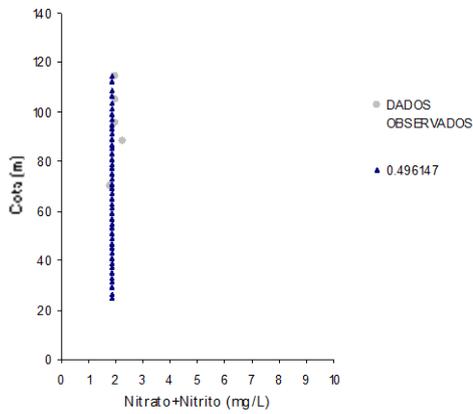
**Figura 87. Perfil de NOx EDP 03/07/2002**

**Estação 1 8 de Outubro de 2002** ABS - 0.250 RMS - 0.413



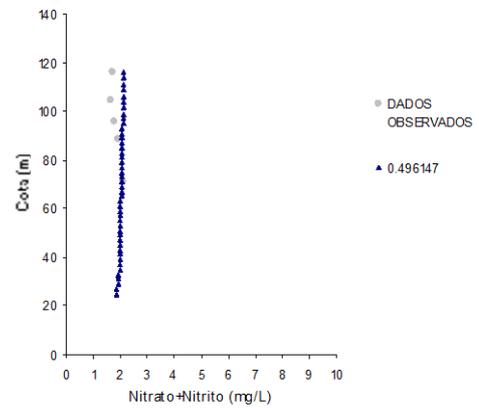
**Figura 88. Perfil de NOx EDP 08/10/2002**

**Estação 1 8 de Janeiro de 2002** ABS - 0.038 RMS - 0.042



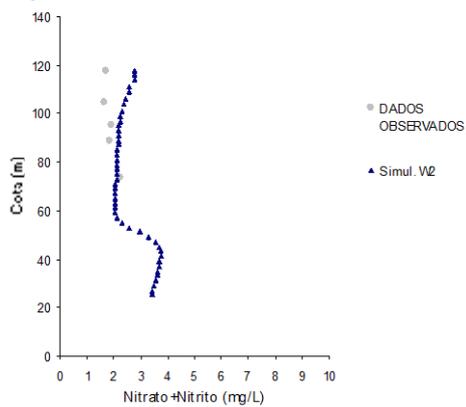
**Figura 89. Perfil de NOx EPAL 08/01/2002**

**Estação 1 12 de Março de 2002** ABS - 0.126 RMS - 0.134



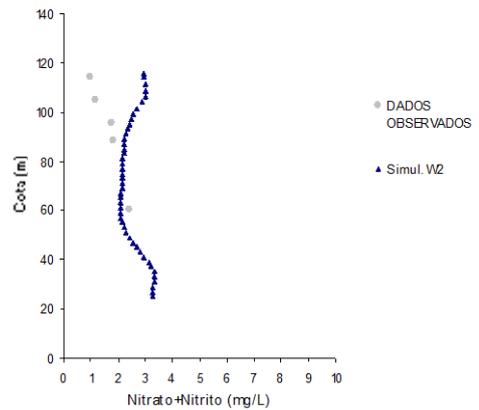
**Figura 90. Perfil de NOx EPAL 12/03/2002**

**Estação 1 7 de Maio de 2002** ABS - 0.183 RMS - 0.209



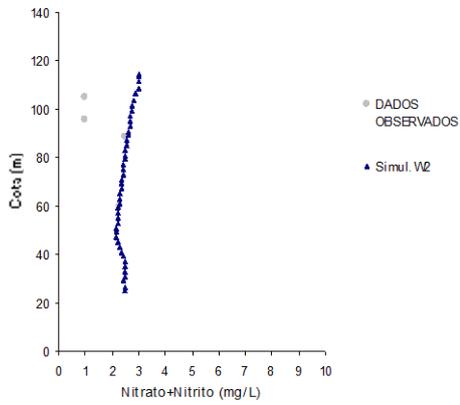
**Figura 91. Perfil de NOx EPAL 07/05/2002**

**Estação 1 23 de Julho de 2002** ABS - 0.286 RMS - 0.348



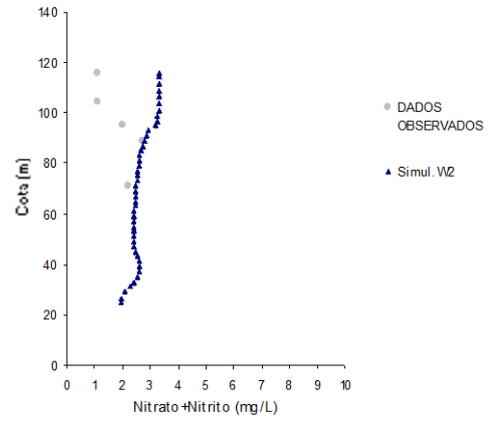
**Figura 92. Perfil de NOx EPAL 23/07/2002**

**Estação 1 10 de Outubro de 2002** ABS-0.285 RMS-0.350



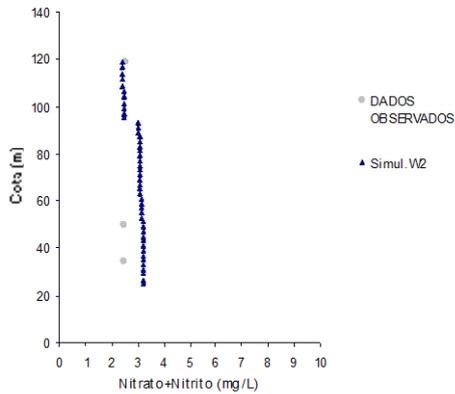
**Figura 93. Perfil de NOx  
EPAL 10/10/2002**

**Estação 1 4 de Novembro de 2002** ABS-0.366 RMS-0.424



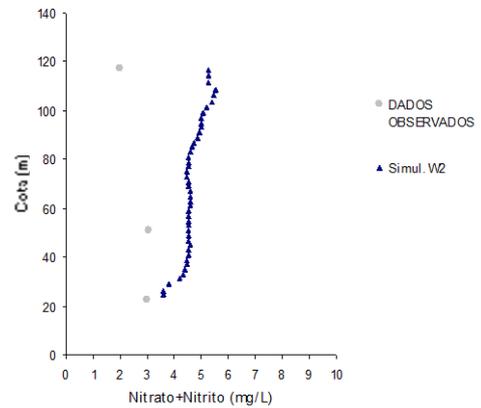
**Figura 94. Perfil de NOx  
EPAL 04/11/2002**

**Estação 1 14 de Janeiro de 2003** ABS-0.199 RMS-0.221



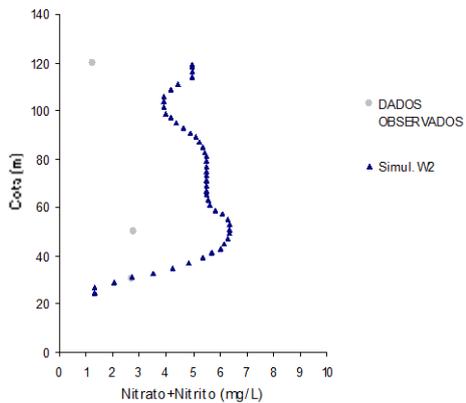
**Figura 95. Perfil de NOx  
EDP 14/01/2003**

**Estação 1 7 de Abril de 2003** ABS-0.549 RMS-0.614



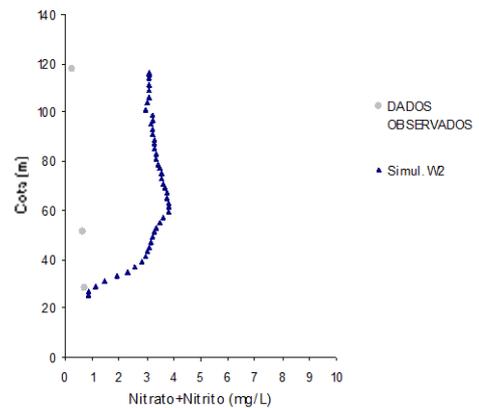
**Figura 96. Perfil de NOx  
EDP 07/04/2003**

**Estação 1 22 de Julho de 2003** ABS-0.676 RMS-0.822



**Figura 97. Perfil de NOx  
EDP 22/07/2003**

**Estação 1 6 de Outubro de 2003** ABS-0.388 RMS-0.416



**Figura 98. Perfil de NOx  
EDP 06/10/2003**

Estação 1 7 de Janeiro de 2003 ABS-0.042 RMS-0.044

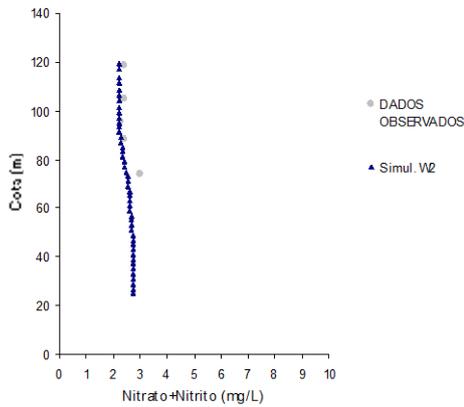


Figura 99. Perfil de NOx  
EPAL 07/01/2003

Estação 1 11 de Março de 2003 ABS-0.458 RMS-0.463

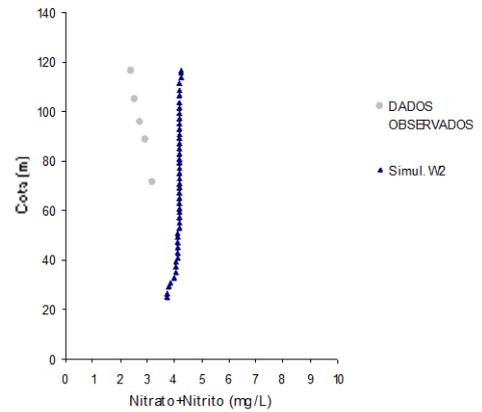


Figura 100. Perfil de NOx  
EPAL 11/03/2003

Estação 1 12 de Maio de 2003 ABS-0.916 RMS-0.946

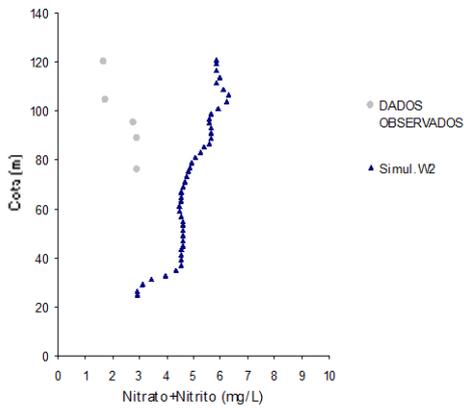


Figura 101. Perfil de NOx  
EPAL 12/05/2003

Estação 1 8 de Julho de 2003 ABS-0.743 RMS-0.762

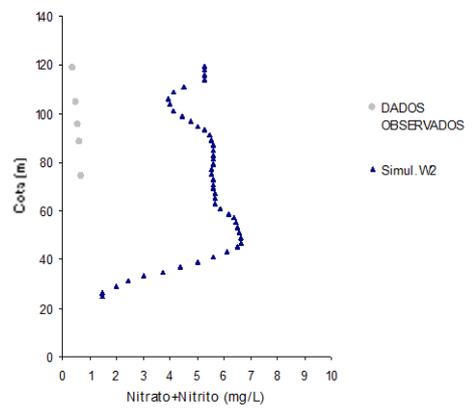


Figura 102. Perfil de NOx  
EPAL 08/07/2003

Estação 1 8 de Setembro de 2003 ABS-0.488 RMS-0.509

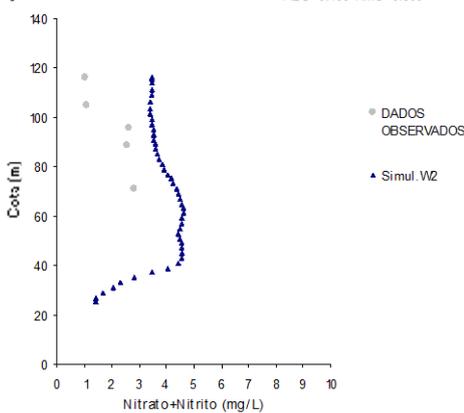


Figura 103. Perfil de NOx  
EPAL 08/09/2003

Estação 1 25 de Novembro de 2003 ABS-0.060 RMS-0.066

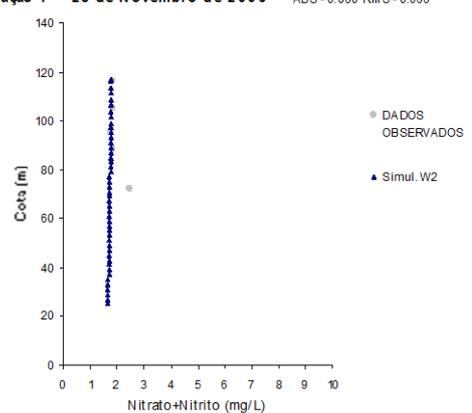
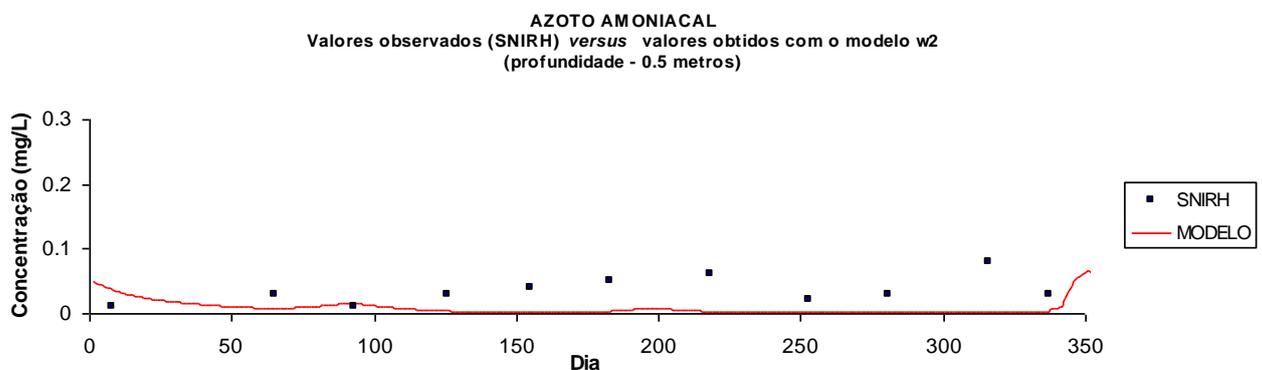


Figura 104. Perfil de NOx  
EPAL 25/11/2003

## 7.6 - Azoto amoniacal

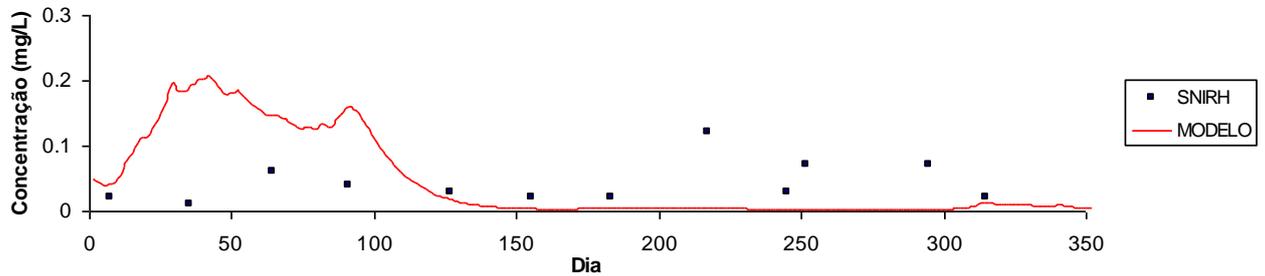
O ajustamento obtido para o azoto amoniacal no ano de 2002 é satisfatório, como se pode observar através da análise dos resultados apresentados na Figura 105 e nas Figuras 107 a 116, verificando-se que os valores da concentração deste constituinte são bastante baixos em termos médios, sendo, em geral, inferiores a 0,1 mg/L. Contudo, é importante referir que, tal como relativamente à CBO<sub>5</sub>, a análise dos valores de concentração de NH<sub>4</sub> cedidos pela EPAL deve ser realizada com alguma precaução, pois também para este parâmetro existe um limite de detecção, que neste caso é de 0,07 mg/L.

Relativamente a 2003 e, apesar do ajustamento obtido se considerar satisfatório, verificou-se que os valores de NH<sub>4</sub> produzidos pelo modelo para os meses de Janeiro a Abril são algo elevados quando comparados com os valores monitorizados, como se pode observar na Figura 106, bem como, com maior evidência, nas Figuras 117, 121 e 122. Tal como em relação ao NO<sub>x</sub>, a explicação para este facto poderá estar relacionada com as elevadas afluências, e correspondentes cargas associadas às mesmas, nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março. O efeito dessas afluências na concentração de NH<sub>4</sub> na massa de água, não impediu, no entanto, uma boa calibração deste parâmetro no resto do ano, como o demonstra a análise dos perfis verticais apresentados nas Figuras 118 a 120 e nas Figuras 123 a 126, uma vez que o excesso de NH<sub>4</sub> foi removido pelo processo de nitrificação, o que corrobora a análise efectuada na secção anterior, em que as elevadas concentrações de NO<sub>x</sub> para esse período foram parcialmente justificadas pelos processos de nitrificação que ocorreram na massa de água.

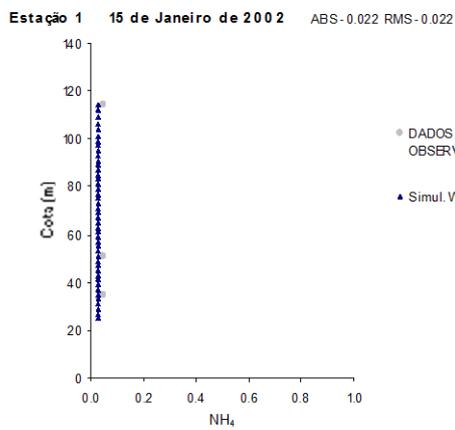


**Figura 105.** Série temporal dos valores de NH<sub>4</sub> obtidos para o ano de 2002.

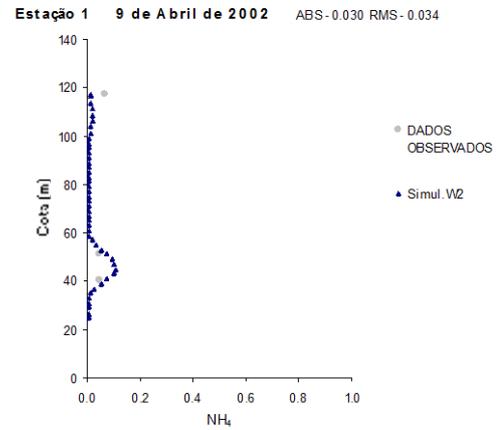
**AZOTO AMONICAL**  
**Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo**  
**(profundidade - 0.5 metros)**



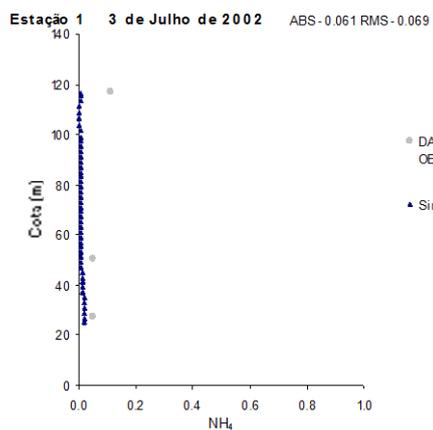
**Figura 106.** Série temporal dos valores de  $\text{NH}_4$  obtidos para o ano de 2003.



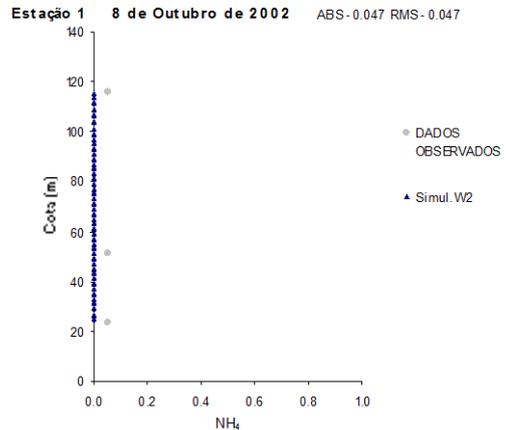
**Figura 107.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EDP 15/01/2002



**Figura 108.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EDP 09/04/2002



**Figura 109.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EDP 03/07/2002



**Figura 110.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EDP 08/10/2002

Estação 1 8 de Janeiro de 2002 ABS- 0.033 RMS- 0.033

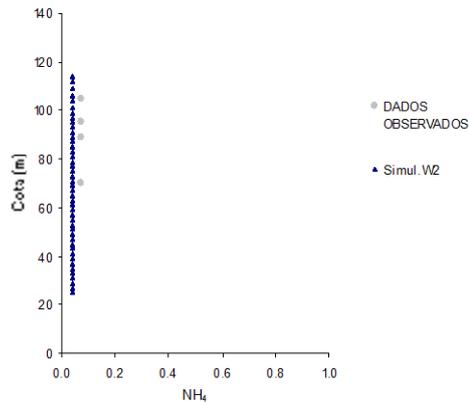


Figura 111. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 08/01/2002

Estação 1 12 de Março de 2002 ABS- 0.062 RMS- 0.062

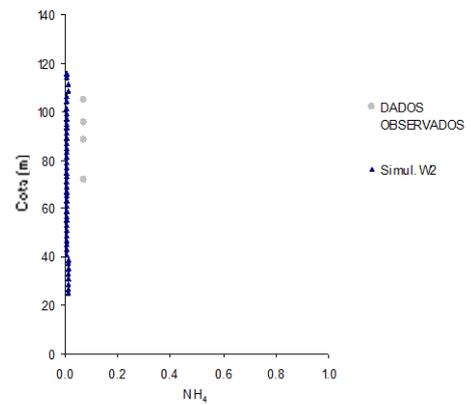


Figura 112. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 12/03/2002

Estação 1 7 de Maio de 2002 ABS- 0.065 RMS- 0.065

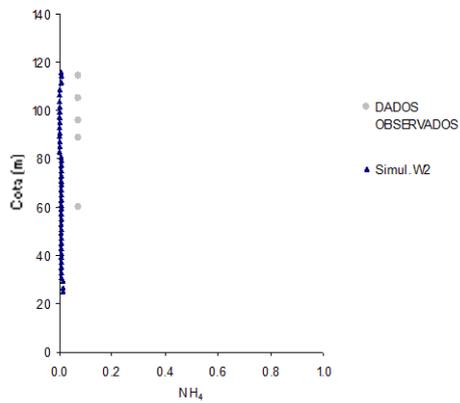


Figura 113. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 07/05/2002

Estação 1 23 de Julho 2002 ABS- 0.066 RMS- 0.060

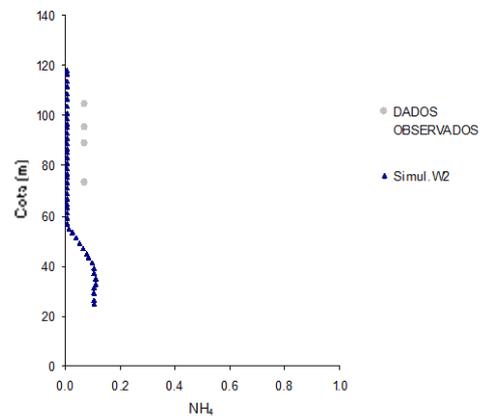


Figura 114. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 23/07/2002

Estação 1 10 de Outubro de 2002 ABS- 0.068 RMS- 0.068

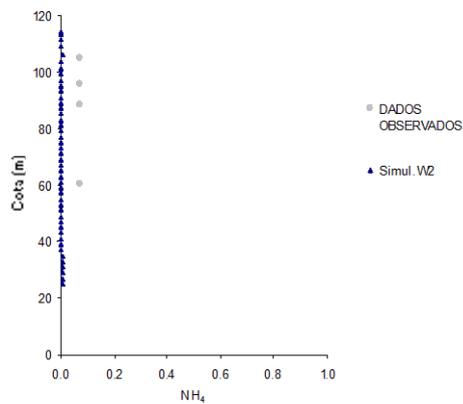


Figura 115. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 10/10/2002

Estação 1 4 de Novembro de 2002 ABS- 0.068 RMS- 0.068

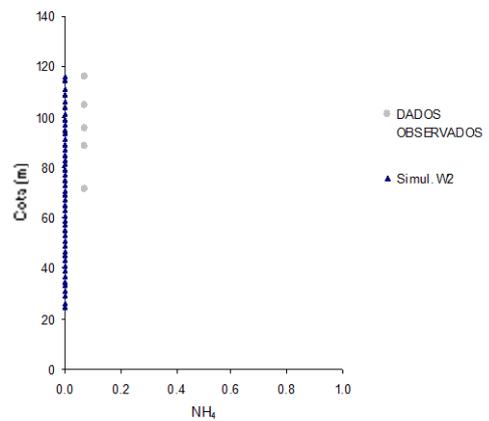


Figura 116. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS-0.324 RMS-0.383

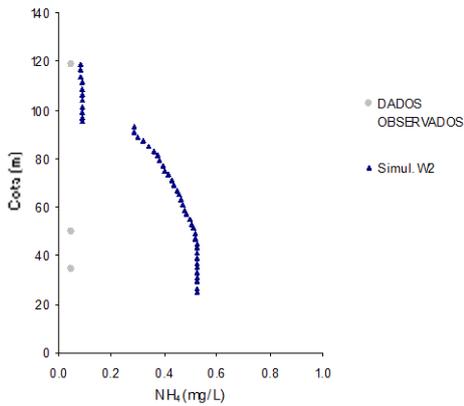


Figura 117. Perfil de  $NH_4$   
EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS-0.122 RMS-0.135

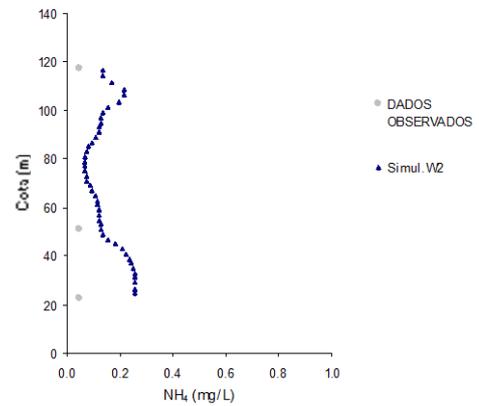


Figura 118. Perfil de  $NH_4$   
EDP 07/04/2003

Estação 1 22 de Julho de 2003 ABS-0.040 RMS-0.040

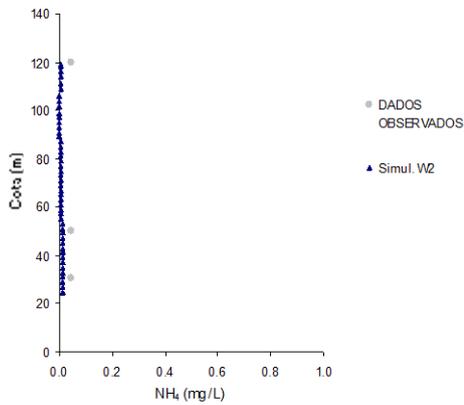


Figura 119. Perfil de  $NH_4$   
EDP 22/07/2003

Estação 1 6 de Outubro de 2003 ABS-0.047 RMS-0.047

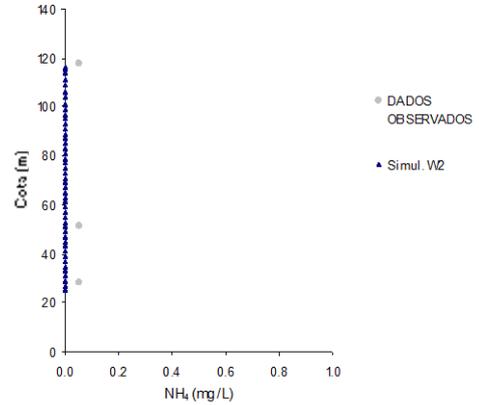


Figura 120. Perfil de  $NH_4$   
EDP 06/10/2003

Estação 1 7 de Janeiro de 2003 ABS-0.055 RMS-0.083

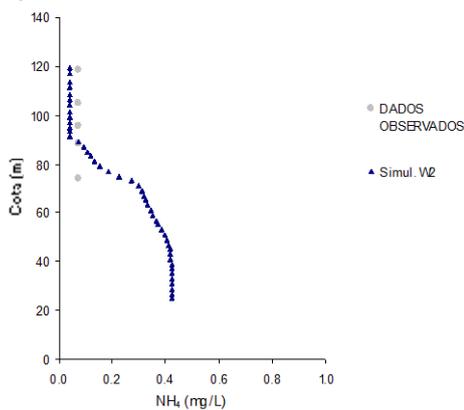


Figura 121. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 07/01/2003

Estação 1 11 de Março de 2003 ABS-0.069 RMS-0.069

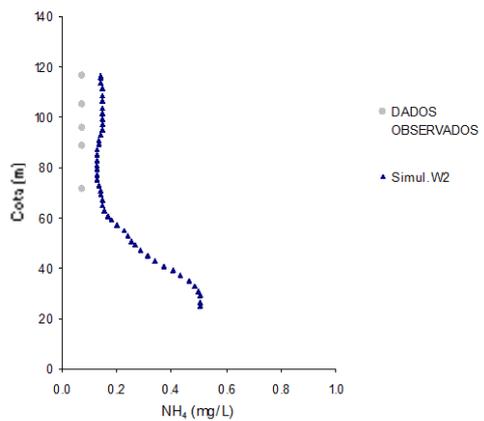
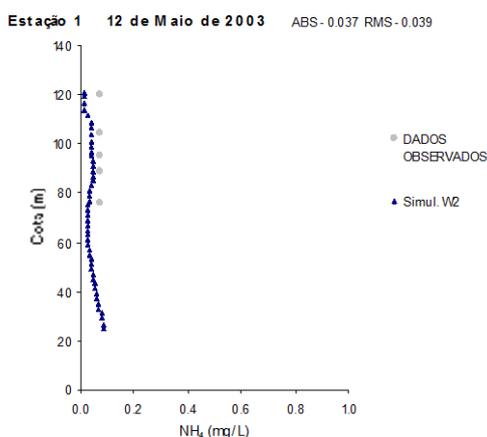
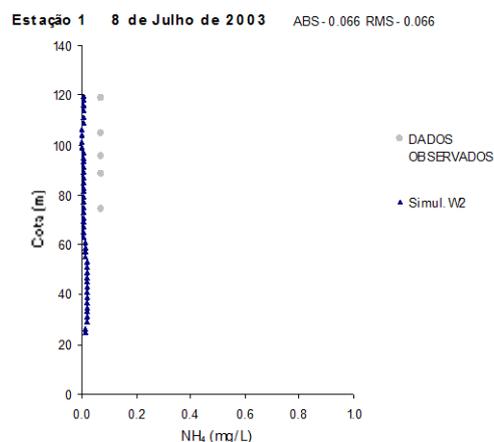


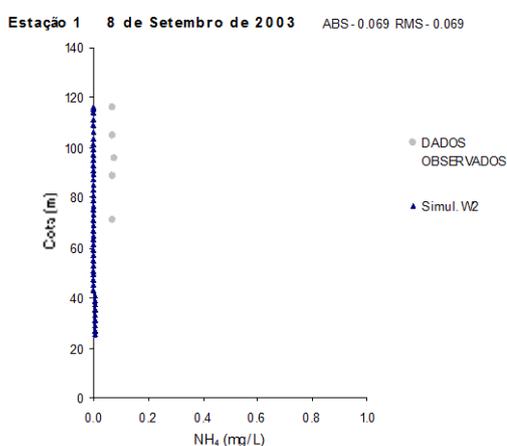
Figura 122. Perfil de  $NH_4$   
EPAL 11/03/2003



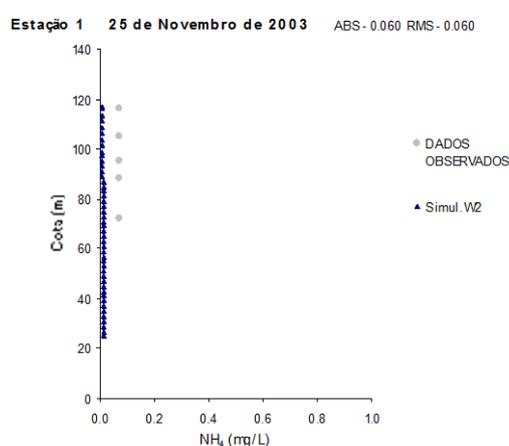
**Figura 123.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EPAL 12/05/2003



**Figura 124.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EPAL 08/07/2003



**Figura 125.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EPAL 08/09/2003



**Figura 126.** Perfil de  $\text{NH}_4$   
EPAL 25/11/2003

## 7.7 - Fosfatos

Através da análise da Figura 127 e das Figuras 129 a 132, verifica-se que existe um bom ajustamento entre os valores de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , medidos e simulados para o ano de 2002. Na análise das Figuras 133 a 138 deve-se considerar a existência de um limite de detecção de 0,05 mg/L.

A análise dos resultados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  obtidos pelo modelo para o ano de 2003 revelam um ajustamento razoável com os valores monitorizados pelo SNIRH, à superfície, ao longo desse ano. No entanto, a comparação dos valores resultantes do modelo com os valores medidos pela EDP, ao longo da coluna de água, confirmam a tendência já verificada relativamente ao  $\text{NO}_x$  e ao  $\text{NH}_4$ . De facto, e tal como para esses parâmetros, os valores resultantes do modelo estão sobrestimados, como se pode verificar através da análise das Figuras 139 a 142.

De acordo com o já referido para o ano de 2002, os valores monitorizados pela EPAL relativos ao ano de 2003 (Figuras 142 a 147), não permitem uma conclusão definitiva relativamente à qualidade do ajustamento obtido, face à existência do limite de detecção de 0,05 mg/L.

FOSFATOS  
Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo  
(Profundidade - 0.5 metros)

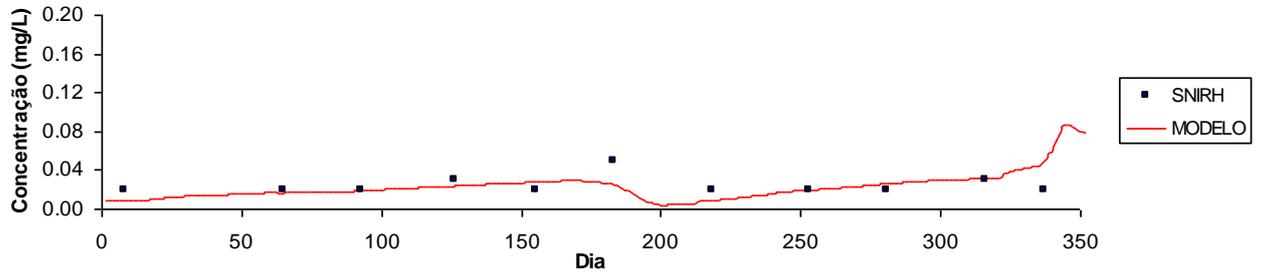


Figura 127. Série temporal dos valores de  $P_2O_5$  obtidos para o ano de 2002.

FOSFATOS  
Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo  
(Profundidade - 0.5 metros)

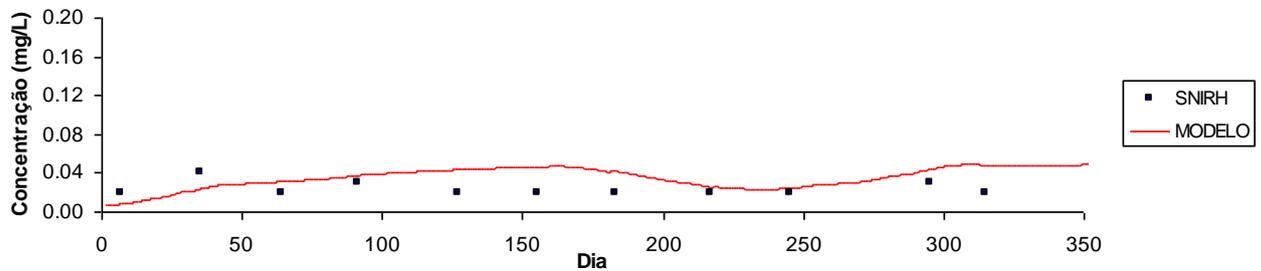


Figura 128. Série temporal dos valores de  $P_2O_5$  obtidos para o ano de 2003

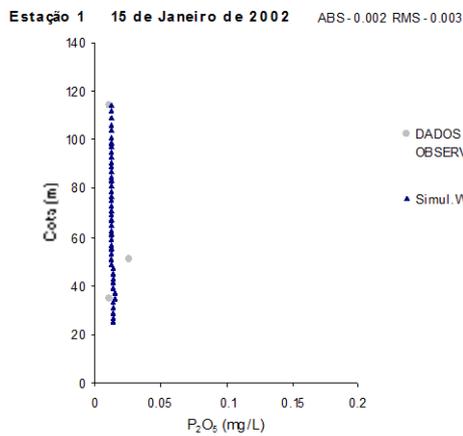


Figura 129. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 15/01/2002

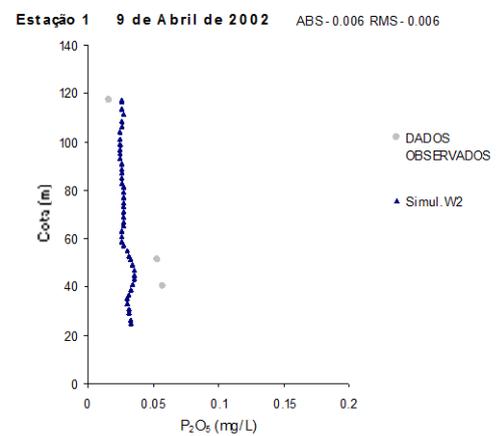


Figura 130. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 09/04/2002

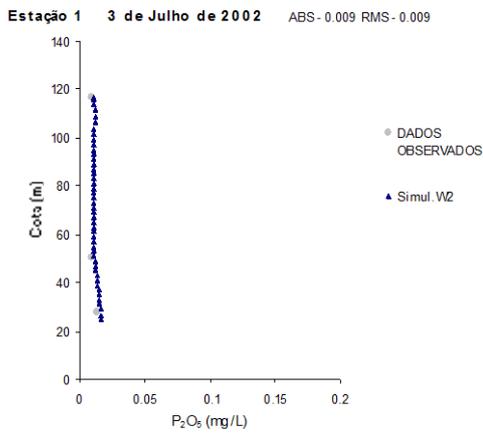


Figura 131. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 03/07/2002

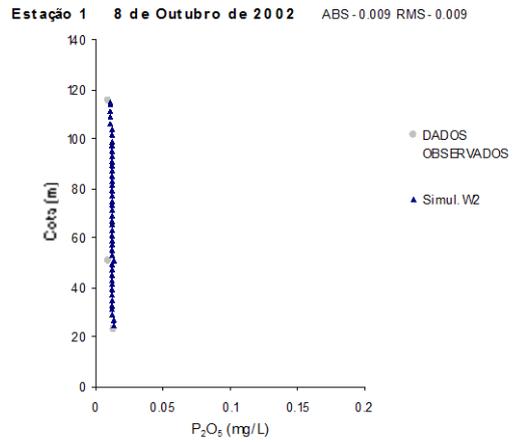


Figura 132. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 08/10/2002

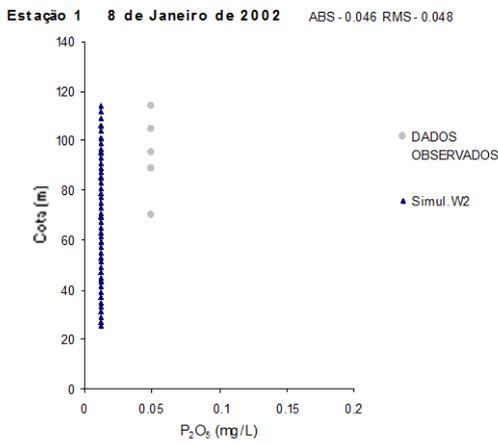


Figura 133. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 08/01/2002

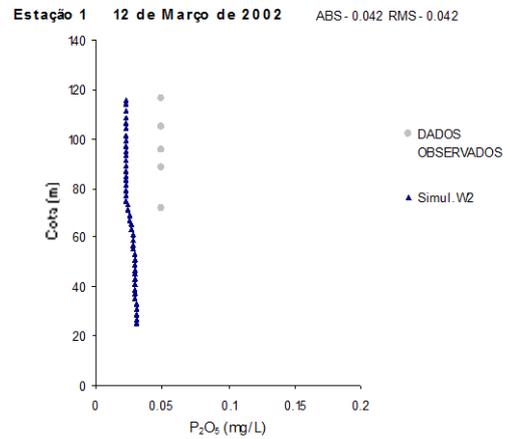


Figura 134. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 12/03/2002

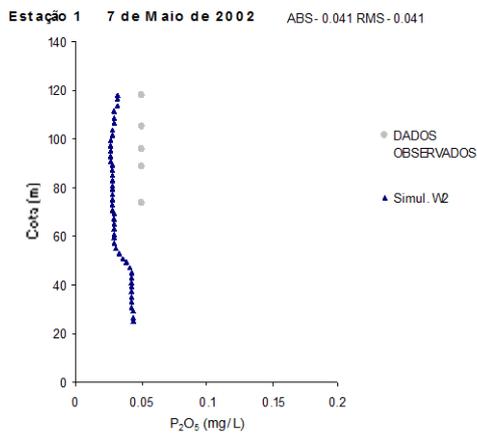


Figura 135. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 07/05/2002

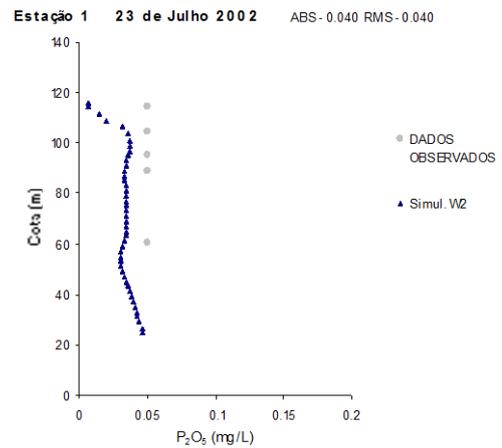


Figura 136. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 23/07/2002

Estação 1 10 de Outubro de 2002 ABS-0.039 RMS-0.039

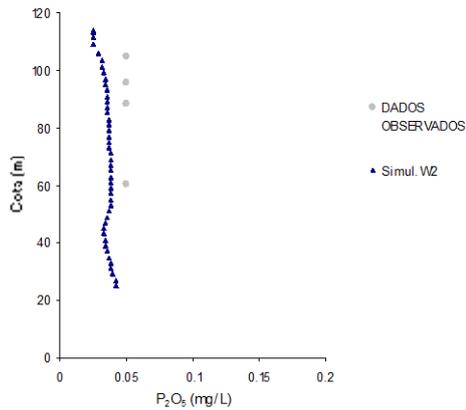


Figura 137. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 10/10/2002

Estação 1 4 de Novembro de 2002 ABS-0.037 RMS-0.037

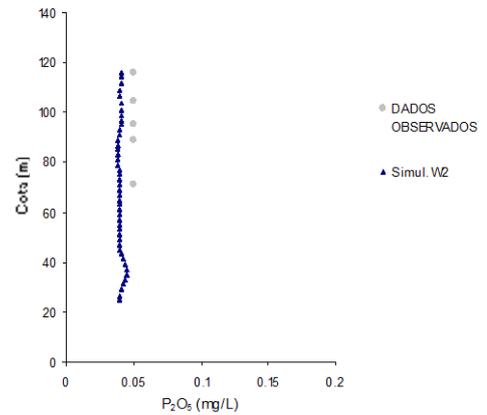


Figura 138. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS-0.008 RMS-0.010

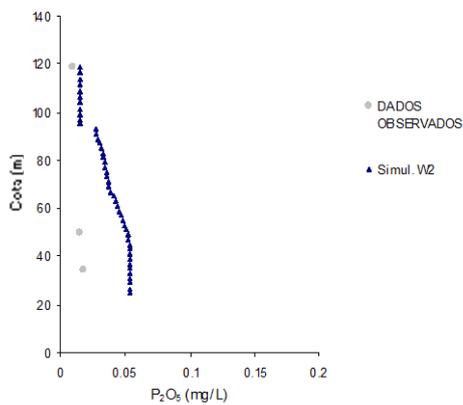


Figura 139. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS-0.013 RMS-0.013

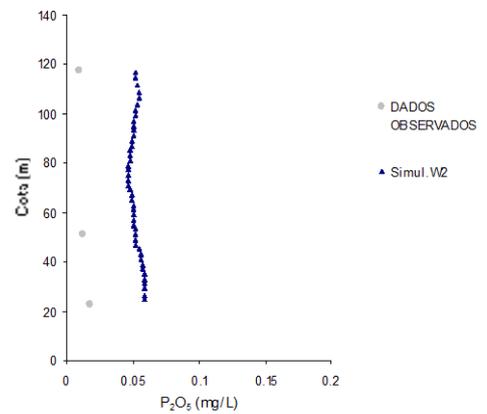


Figura 140. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 07/04/2003

Estação 1 22 de Julho de 2003 ABS-0.016 RMS-0.017

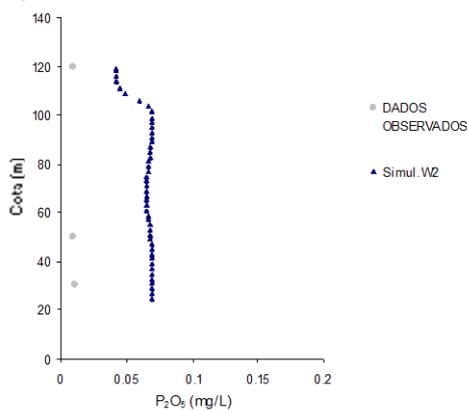


Figura 141. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 22/07/2003

Estação 1 6 de Outubro de 2003 ABS-0.018 RMS-0.018

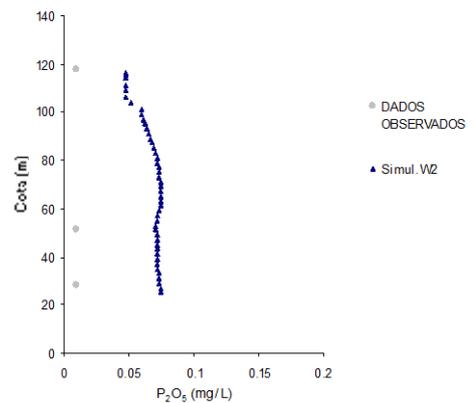


Figura 142. Perfil de  $P_2O_5$   
EDP 06/10/2003

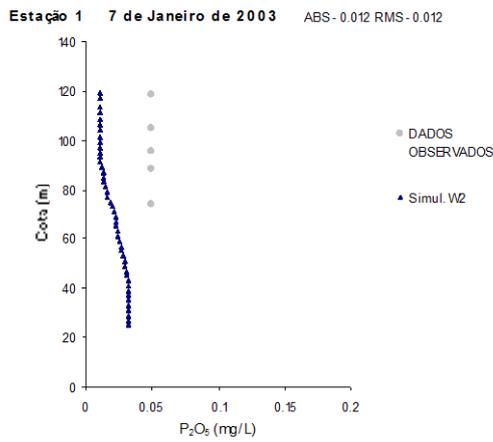


Figura 143. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 07/01/2003

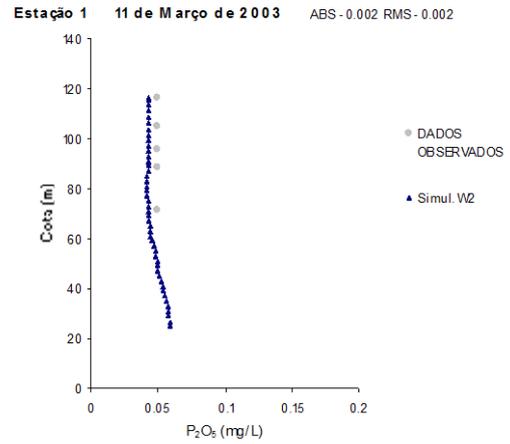


Figura 144. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 11/03/2003

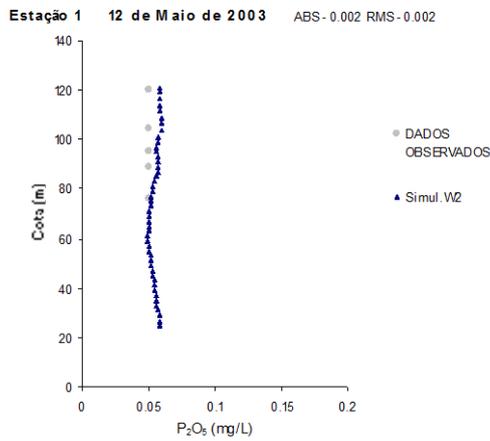


Figura 145. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 12/05/2003

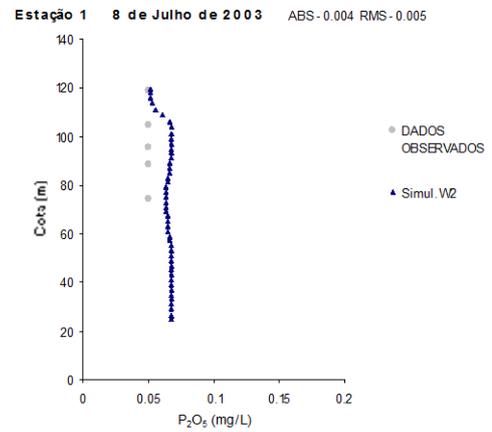


Figura 146. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 08/07/2003

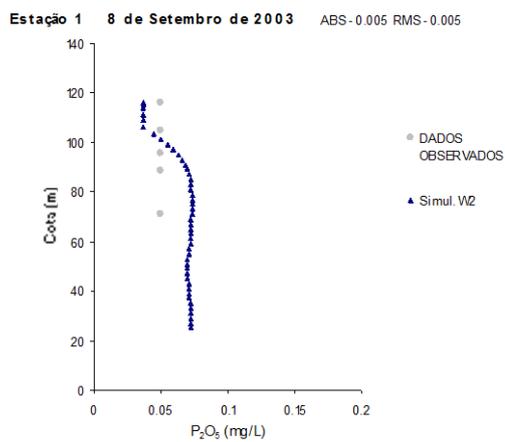


Figura 147. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 08/09/2003

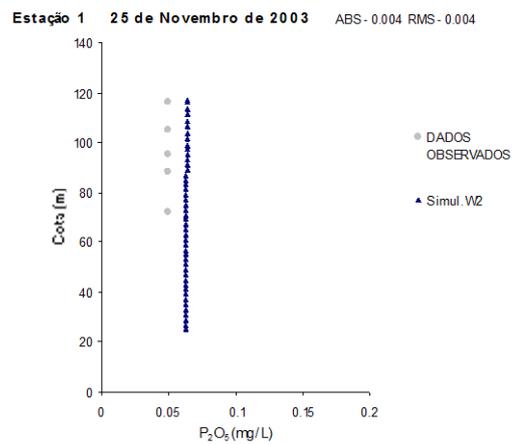


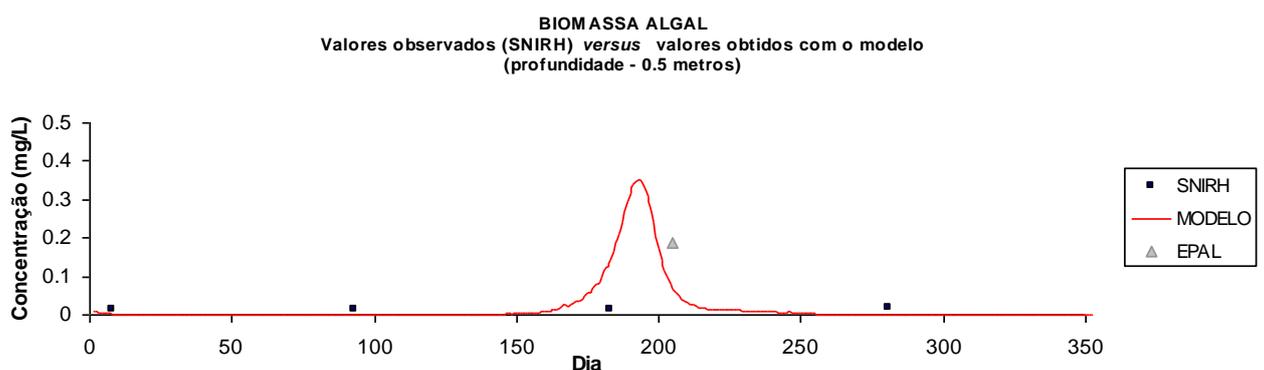
Figura 148. Perfil de  $P_2O_5$   
EPAL 25/11/2003

## 7.8 - Biomassa algal

Pela análise das Figuras 149 a 170, verifica-se que os valores de concentração de biomassa algal obtidos pelo modelo representam correctamente a variação sazonal deste constituinte, o que contribui, também, para considerar globalmente correcta a calibração dos nutrientes e dos restantes compartimentos que influenciam directamente ou indirectamente os valores de biomassa algal.

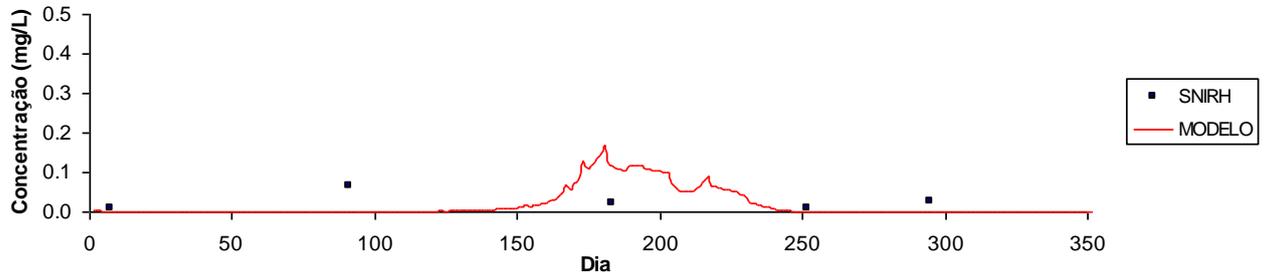
Nas Figuras 149 e 150, pode-se observar a comparação entre as medições disponibilizadas pelo SNIRH, obtidas à superfície junto à barragem de Castelo de Bode a 0,5 metros de profundidade, e os valores simulados pelo modelo ao longo dos anos de 2002 e de 2003. O modelo foi calibrado para representar adequadamente o desenvolvimento de biomassa algal, que normalmente ocorre nos meses tipicamente mais quentes, tendência que pode ser observada, também, na Figura 158. De forma a facilitar a análise descrita anteriormente, incluiu-se na Figura 149 o valor de biomassa algal obtido pela EPAL junto à superfície, em 23/07/2002.

No global, a análise das Figuras 149 a 170, nas quais se estabelece a comparação entre os resultados do modelo e os valores de amostragem no que se refere à biomassa algal, permite concluir que o ajustamento relativamente a este parâmetro é aceitável. Verifica-se que os valores obtidos em ambos os conjuntos de resultados são geralmente baixos, quer em termos de evolução anual, quer ao longo da coluna de água, à excepção do observado ao nível dos resultados do modelo no que se refere aos meses mais quentes do ano. Com efeito, é nesse período que se verifica algum afastamento entre os dois conjuntos de valores. Esta situação poderá ser explicada pelo facto da descritação temporal dos dados monitorizados ser reduzida e não ter permitido captar os picos de concentração de biomassa algal característicos deste tipo de situação no período mais quente do ano, cenário que o modelo, contudo, foi capaz de reproduzir.

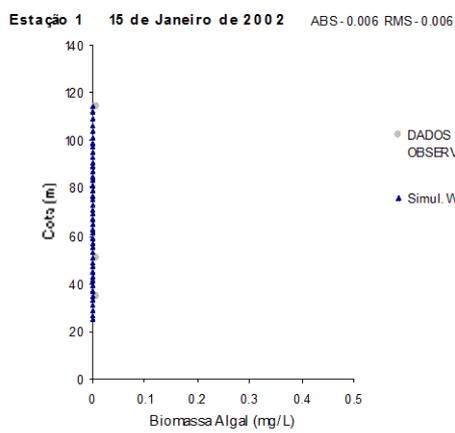


**Figura 149.** Série temporal dos valores de Biomassa Algal obtidos para o ano de 2002.

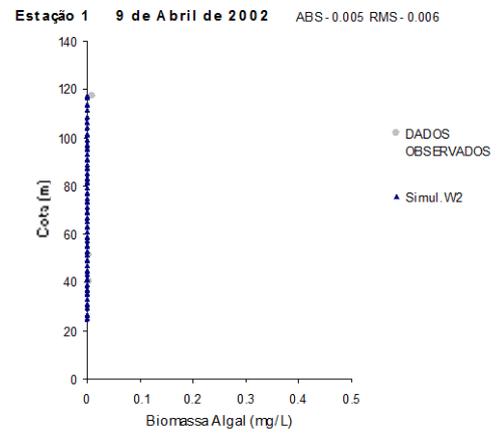
**BIOMASSA ALGAL**  
 Valores observados (SNIRH) versus valores obtidos com o modelo  
 (profundidade - 0.5 metros)



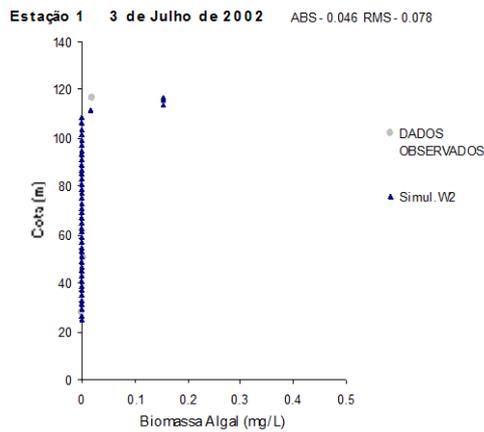
**Figura 150.** Série temporal dos valores de Biomassa algal obtidos para o ano de 2003.



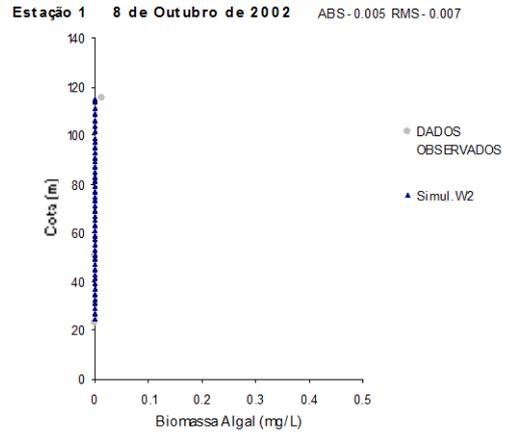
**Figura 151.** Perfil de Bio.Algal  
 EDP 15/01/2002



**Figura 152.** Perfil de Bio.Algal  
 EDP 09/04/2002



**Figura 153.** Perfil de Bio.Algal  
 EDP 03/07/2002



**Figura 154.** Perfil de Bio.Algal  
 EDP 08/10/2002

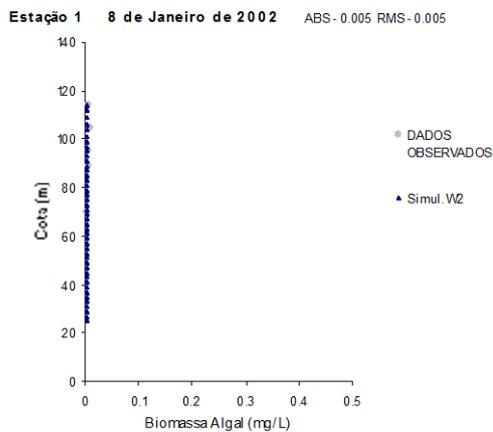


Figura 155. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 08/01/2002

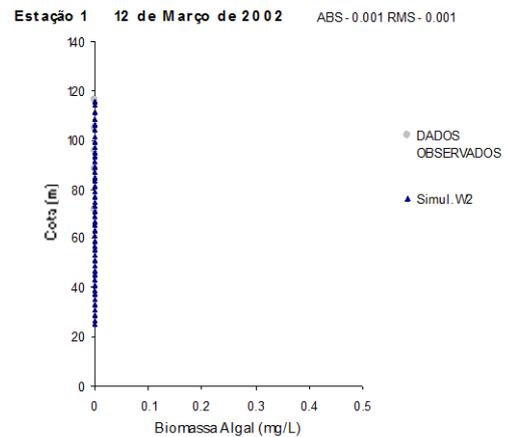


Figura 156. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 12/03/2002

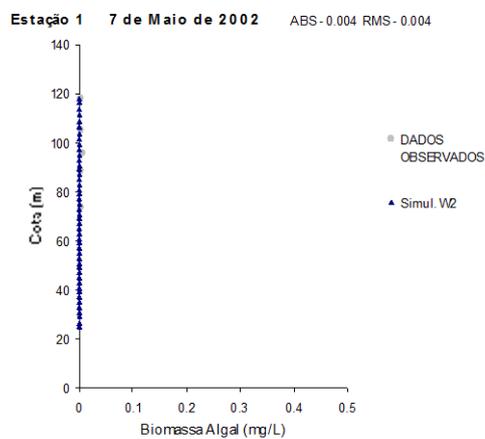


Figura 157. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 07/05/2002

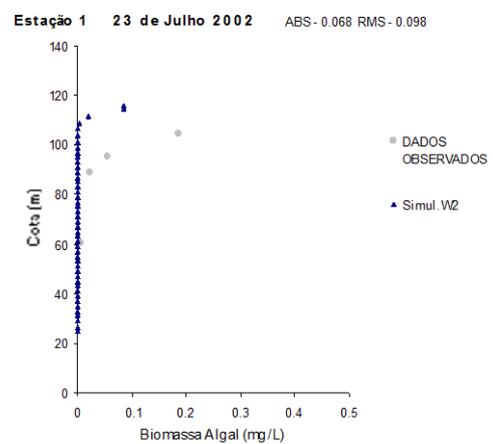


Figura 158. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 23/07/2002

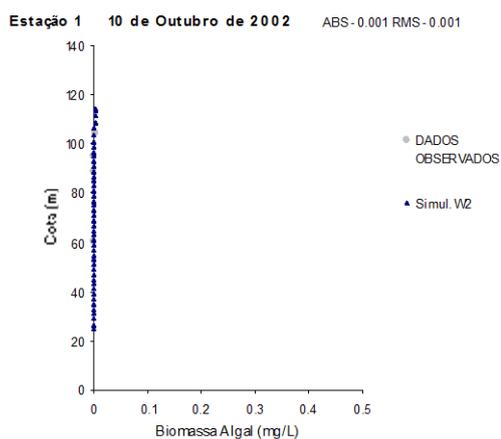


Figura 159. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 10/10/2002

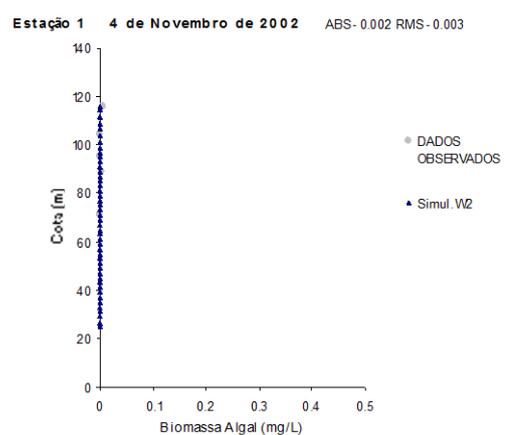


Figura 160. Perfil de Bio.Algal  
EPAL 04/11/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS-0.008 RMS-0.008

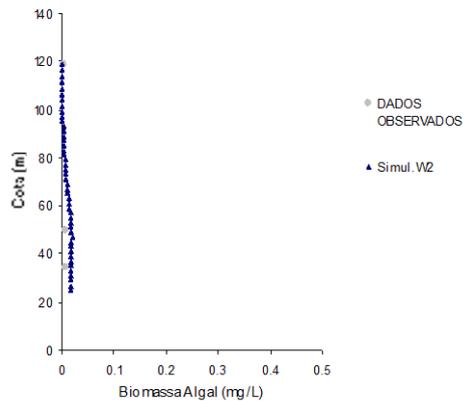


Figura 161. Perfil de Bio.Algal EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS-0.012 RMS-0.014

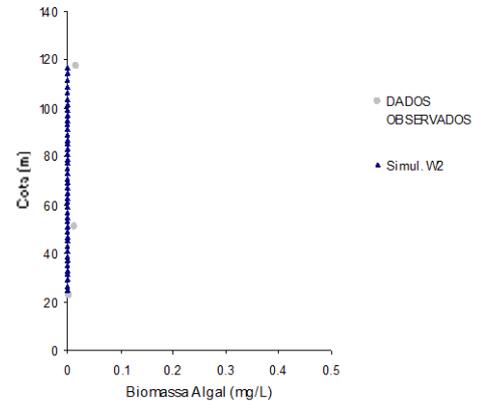


Figura 162. Perfil de Bio.Algal EDP 07/04/2003

Estação 1 22 de Julho de 2003 ABS-0.033 RMS-0.051

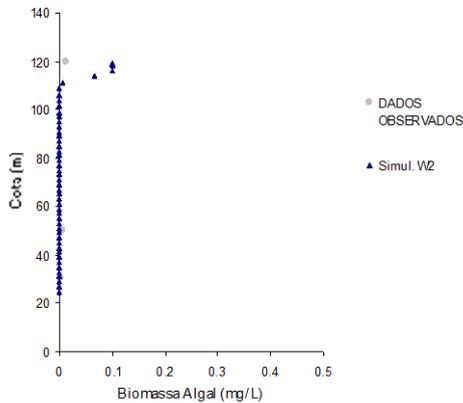


Figura 163. Perfil de Bio.Algal EDP 22/07/2003

Estação 1 6 de Outubro de 2003 ABS-0.006 RMS-0.008

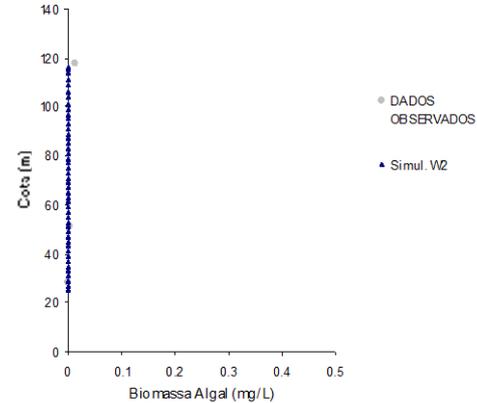


Figura 164. Perfil de Bio.Algal EDP 06/10/2003

Estação 1 7 de Janeiro de 2003 ABS-0.002 RMS-0.003

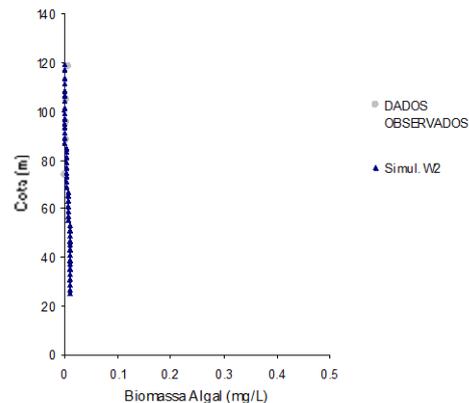


Figura 165. Perfil de Bio.Algal EPAL 07/01/2003

Estação 1 11 de Março de 2003 ABS-0.006 RMS-0.008

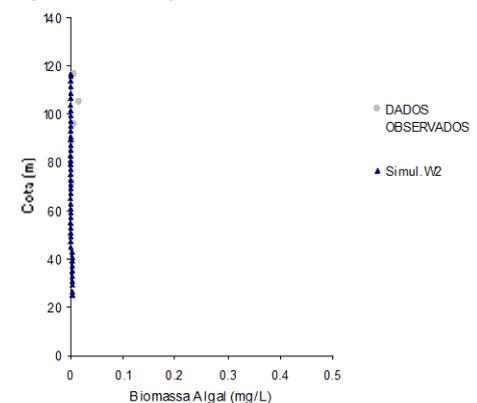
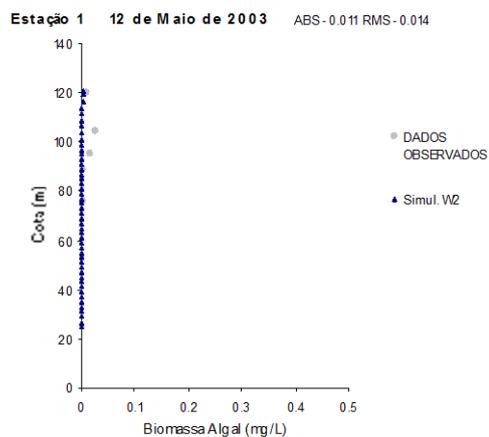
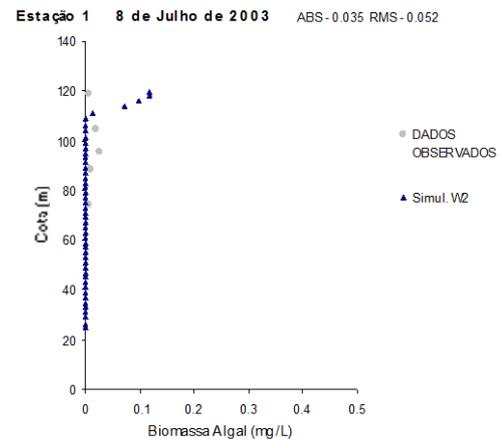


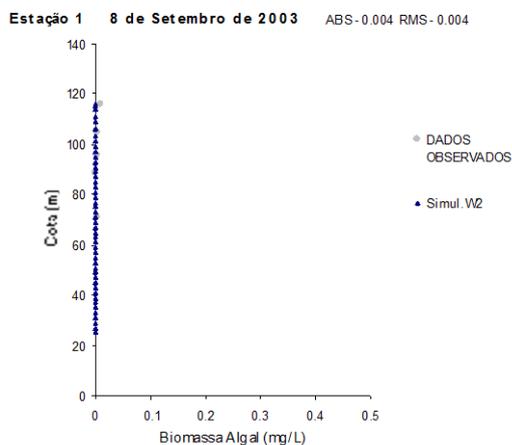
Figura 166. Perfil de Bio.Algal EPAL 11/03/2003



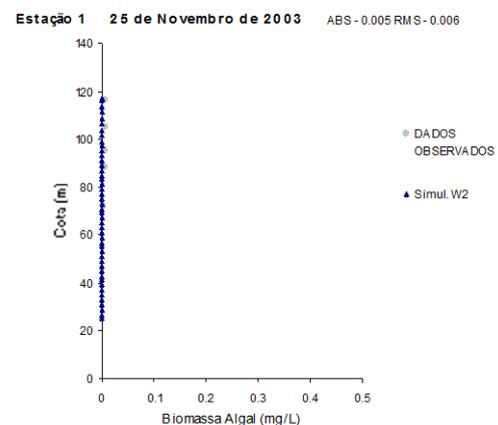
**Figura 167.** Perfil de Bio.Algal  
EPAL 12/05/2003



**Figura 168.** Perfil de Bio.Algal  
EPAL 08/07/2003



**Figura 169.** Perfil de Bio.Algal  
EPAL 08/09/2003

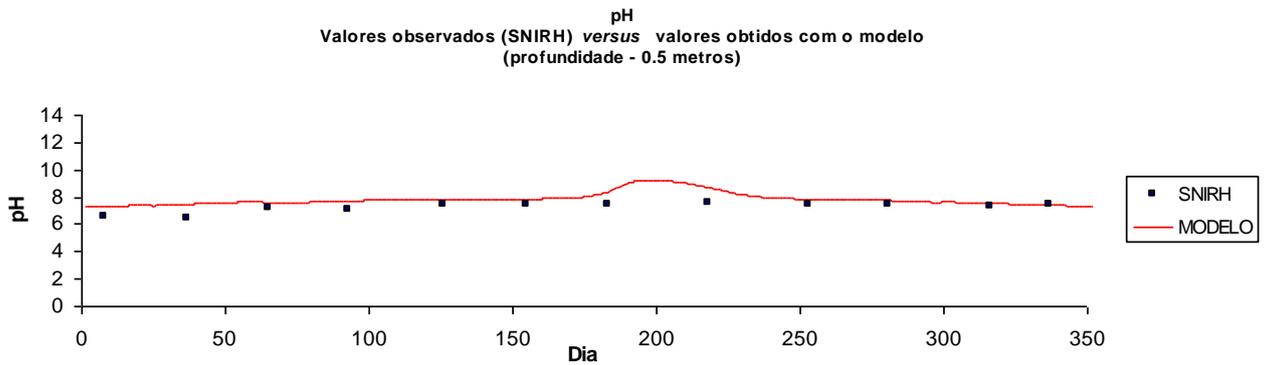


**Figura 170.** Perfil de Bio.Algal  
EPAL 25/11/2003

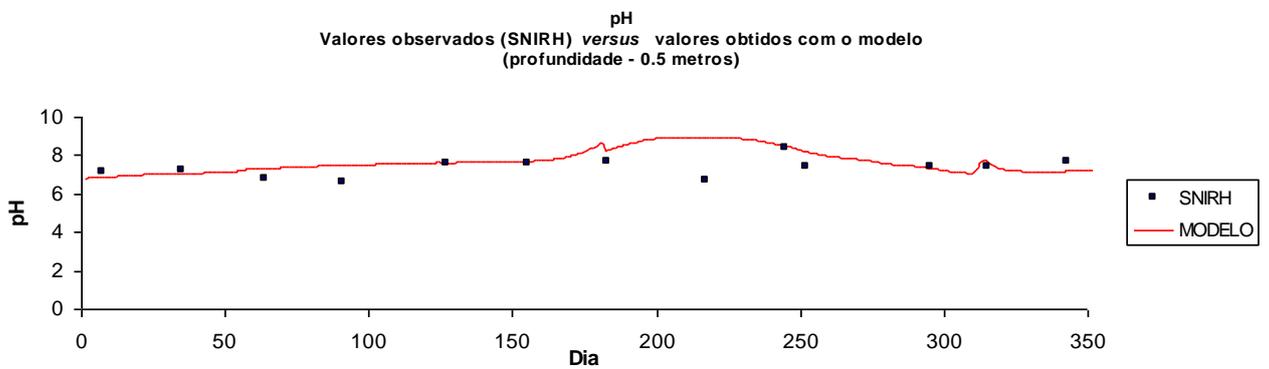
## 7.9 - pH

Relativamente ao pH, verifica-se que o modelo descreve correctamente a evolução deste parâmetro durante o período de tempo simulado, como se pode observar através da análise das Figuras 171 e 172, que estabelece a comparação entre os resultados do modelo à superfície ao longo do ano e os dados disponibilizados pelo SNIRH, bem como pela análise das Figuras 173 a 192, nas quais é efectuada a comparação entre os perfis, registados ao longo da coluna de água, entre os valores obtidos pelo modelo e os valores das amostragens da EDP e da EPAL.

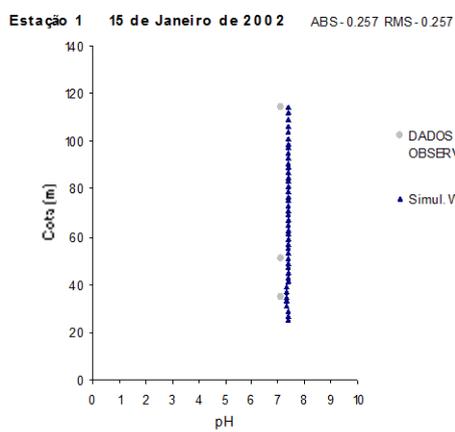
Nas Figuras 171 e 172 é possível observar que os valores obtidos pelo modelo nos meses de Julho e Agosto são mais elevados que os obtidos para o resto do período simulado, o que poderá estar relacionado com a tendência de crescimento de biomassa algal observada neste período e analisada na secção anterior.



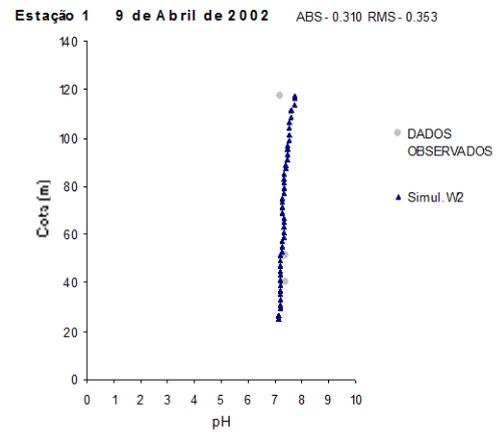
**Figura 171.** Série temporal dos valores de pH obtidos para o ano de 2002.



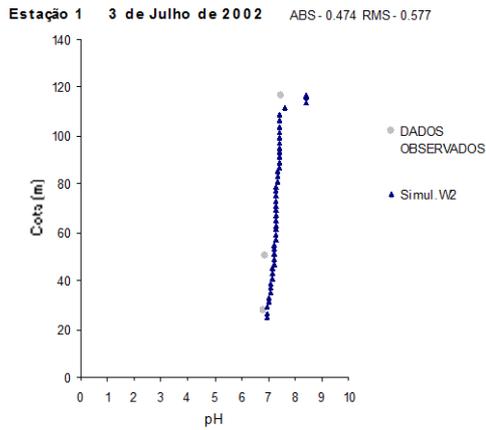
**Figura 172.** Série temporal dos valores de pH obtidos para o ano de 2003



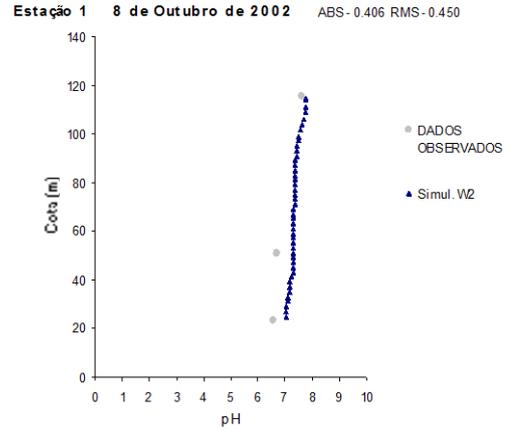
**Figura 173.** Perfil de pH  
EDP 15/01/2002



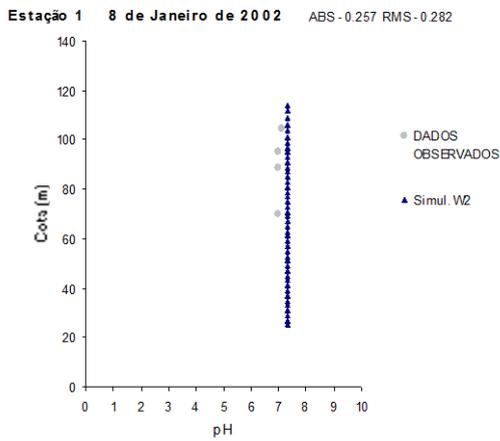
**Figura 174.** Perfil de pH  
EDP 09/04/2002



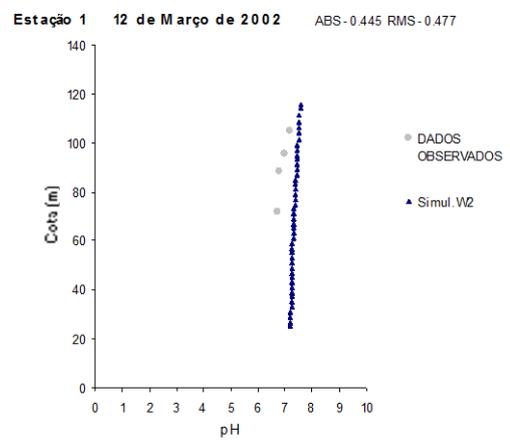
**Figura 175.** Perfil de pH  
EDP 03/07/2002



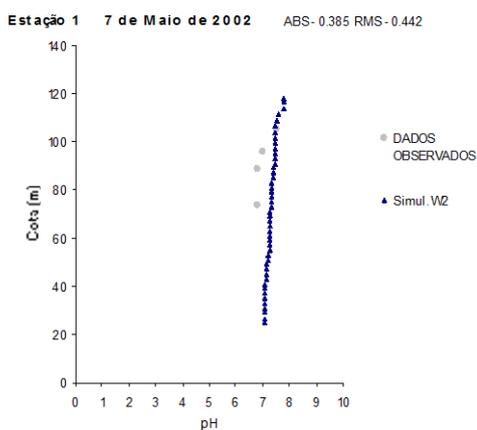
**Figura 176.** Perfil de pH  
EDP 08/10/2002



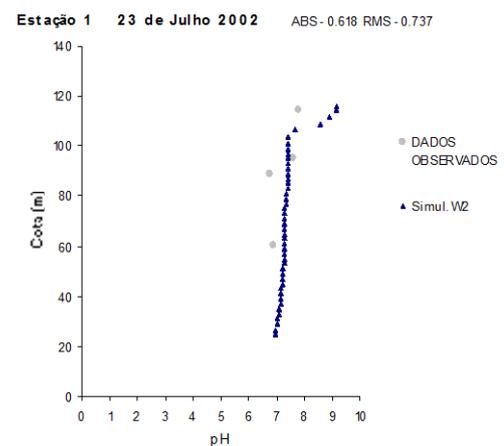
**Figura 177.** Perfil de pH  
EPAL 08/01/2002



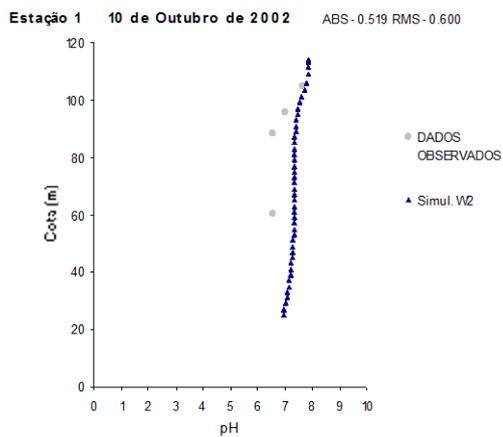
**Figura 178.** Perfil de pH  
EPAL 12/03/2002



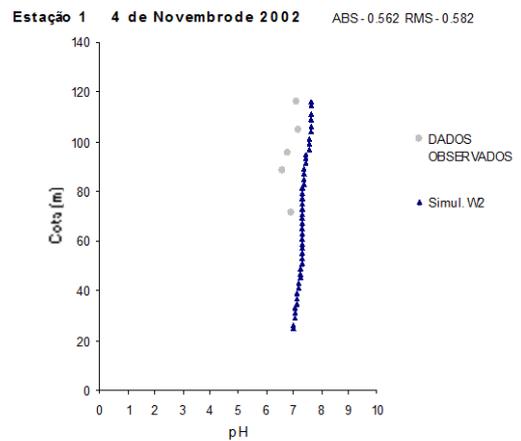
**Figura 179.** Perfil de pH  
EPAL 07/05/2002



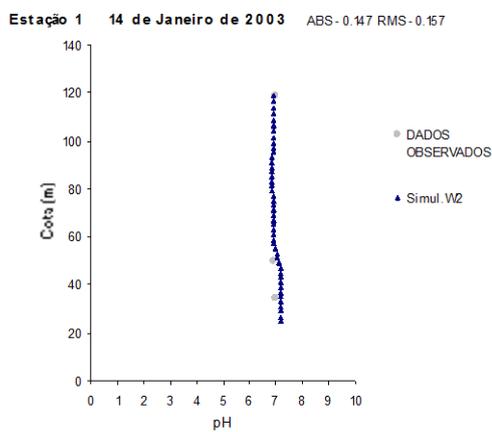
**Figura 180.** Perfil de pH  
EPAL 23/07/2002



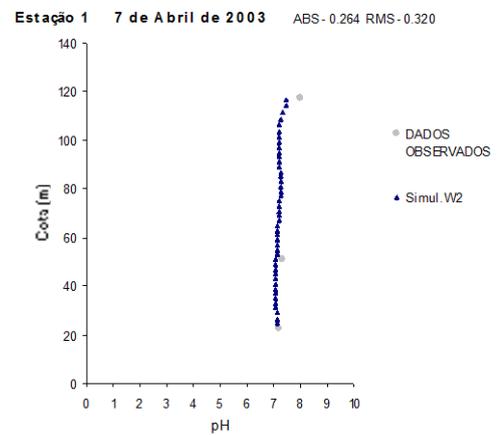
**Figura 181. Perfil de pH EPAL 10/10/2002**



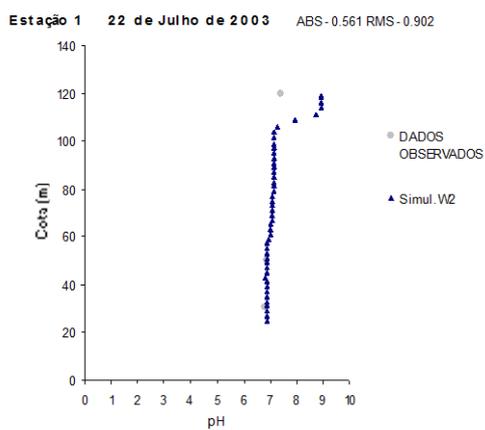
**Figura 182. Perfil de pH EPAL 04/11/2002**



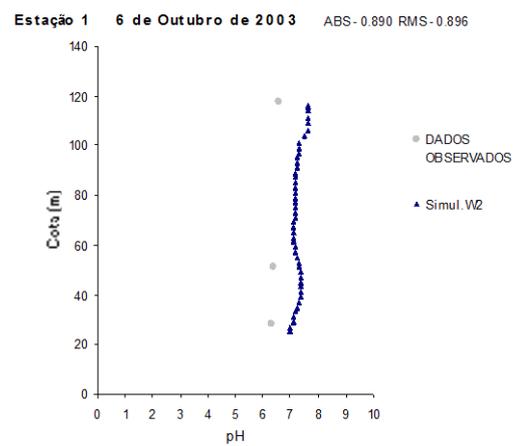
**Figura 183. Perfil de pH EDP 14/01/2003**



**Figura 184. Perfil de pH EDP 07/04/2003**



**Figura 185. Perfil de pH EDP 22/07/2003**



**Figura 186. Perfil de pH EDP 06/10/2003**

Estação 1 7 de Janeiro de 2003 ABS-0.263 RMS-0.277

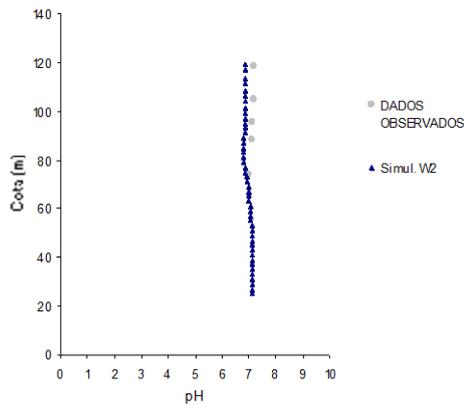


Figura 187. Perfil de pH  
EPAL 07/01/2003

Estação 1 11 de Março de 2003 ABS-0.161 RMS-0.222

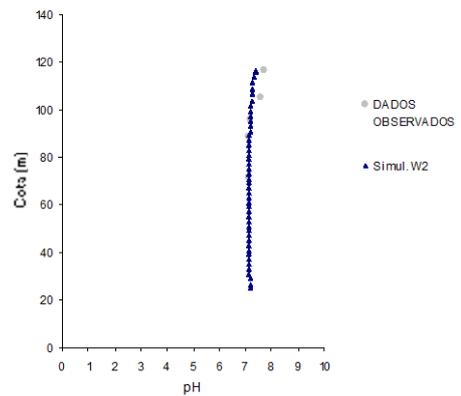


Figura 188. Perfil de pH  
EPAL 11/03/2003

Estação 1 12 de Maio de 2003 ABS-0.212 RMS-0.239

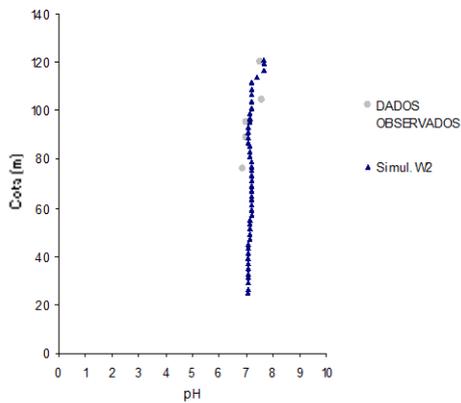


Figura 189. Perfil de pH  
EPAL 12/05/2003

Estação 1 8 de Julho de 2003 ABS-0.467 RMS-0.515

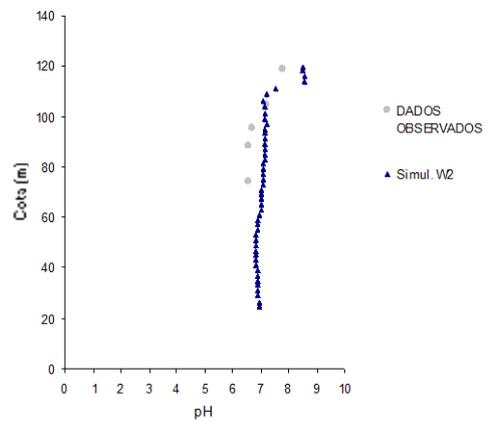


Figura 190. Perfil de pH  
EPAL 08/07/2003

Estação 1 8 de Setembro de 2003 ABS-0.539 RMS-0.554

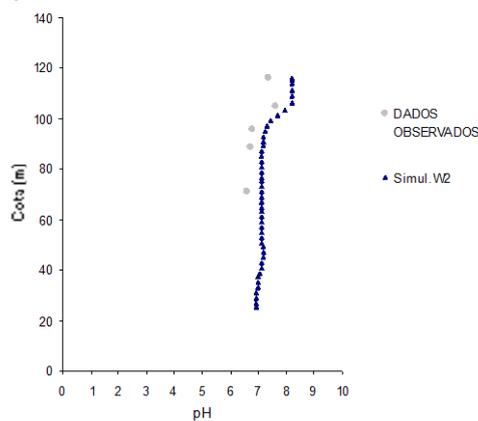


Figura 191. Perfil de pH  
EPAL 08/09/2003

Estação 1 25 de Novembro de 2003 ABS-0.447 RMS-0.525

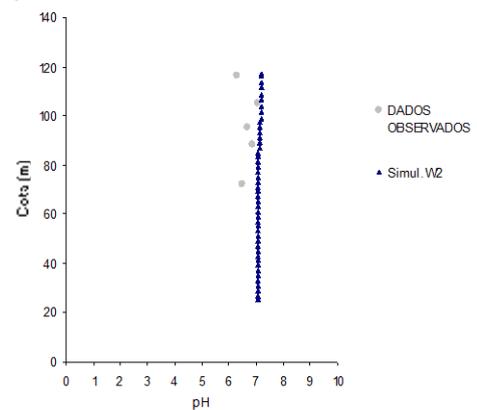
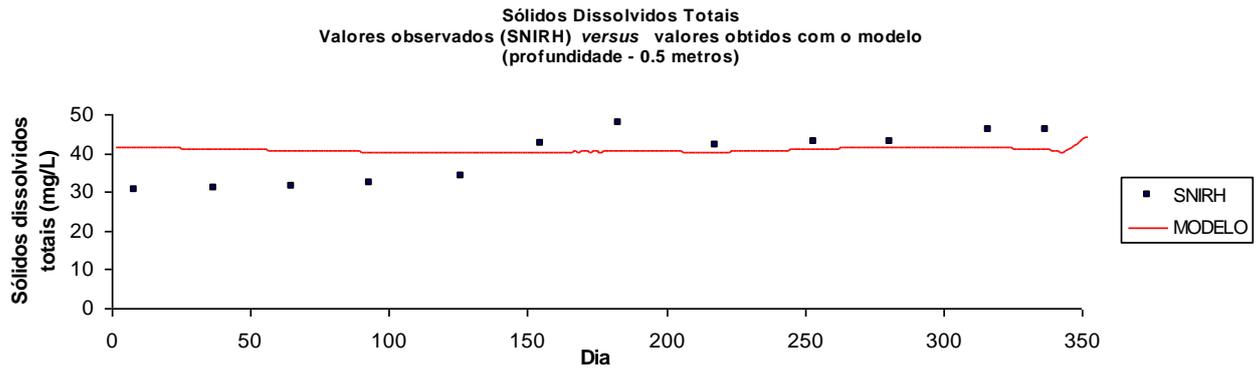


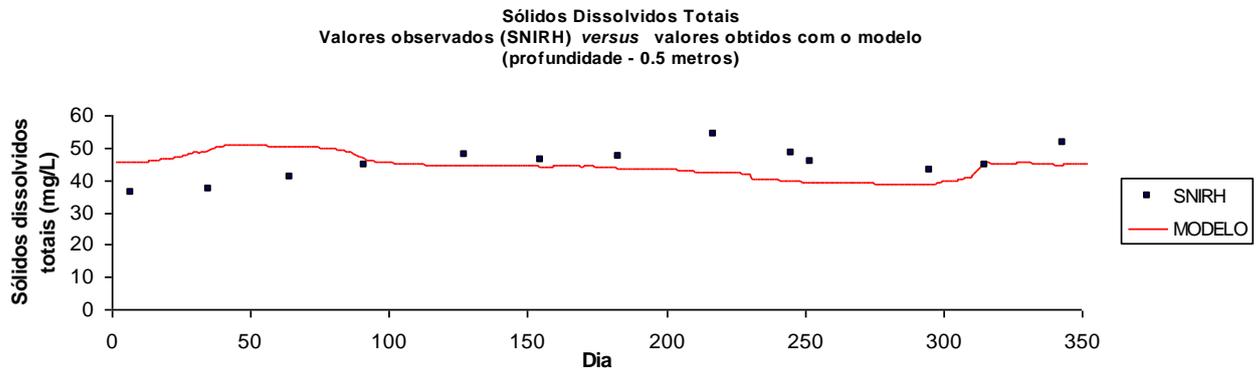
Figura 192. Perfil de pH  
EPAL 25/11/2003

## 7.10 - Sólidos dissolvidos totais (SDT)

A calibração dos sólidos dissolvidos totais foi facilitada pelo facto do modelo considerar que existe uma reduzida interacção entre este constituinte e os restantes parâmetros simulados, o que aliás corresponde à realidade. Como se pode observar nas Figuras 193 a 202, obteve-se uma boa aferição deste parâmetro, para o período em análise, apesar dos dados de amostragem disponíveis serem relativamente escassos.



**Figura 193.** Série temporal dos valores de sólidos dissolvidos totais obtidos para o ano de 2002.



**Figura 194.** Série temporal dos valores de sólidos dissolvidos totais obtidos para o ano de 2003.

Estação 1 15 de Janeiro de 2002 ABS - 1.503 RMS - 1.829

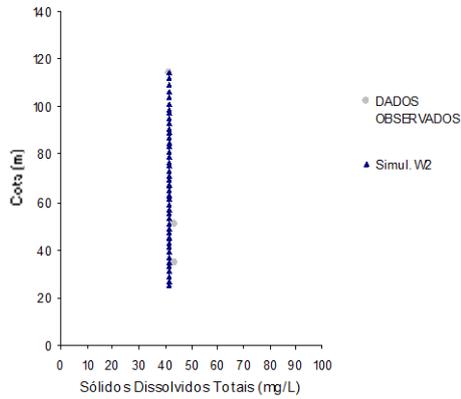


Figura 195. Perfil de SDT EDP 15/01/2002

Estação 1 9 de Abril de 2002 ABS - 2.962 RMS - 4.062

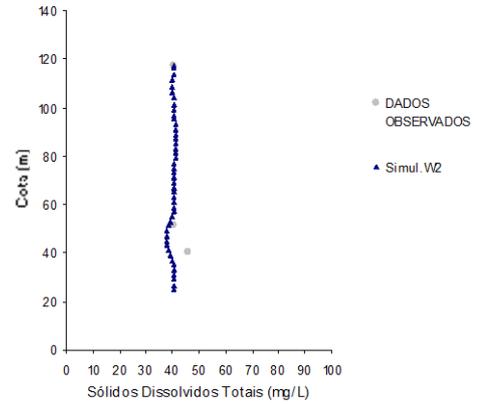


Figura 196. Perfil de SDT EDP 09/04/2002

Estação 1 3 de Julho de 2002 ABS - 10.439 RMS - 12.498

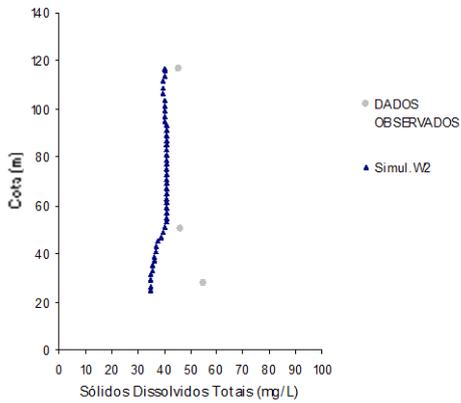


Figura 197. Perfil de SDT EDP 03/07/2002

Estação 1 8 de Outubro de 2002 ABS - 6.662 RMS - 6.872

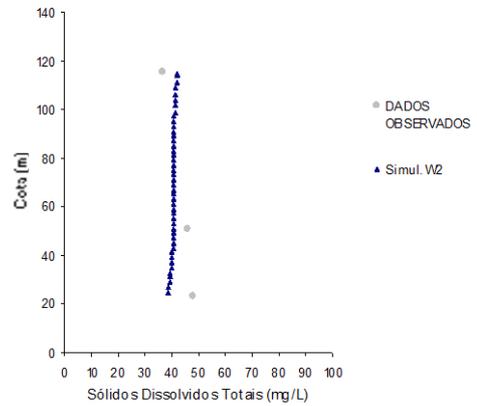


Figura 198. Perfil de SDT EDP 08/10/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS - 0363 RMS - 0.444

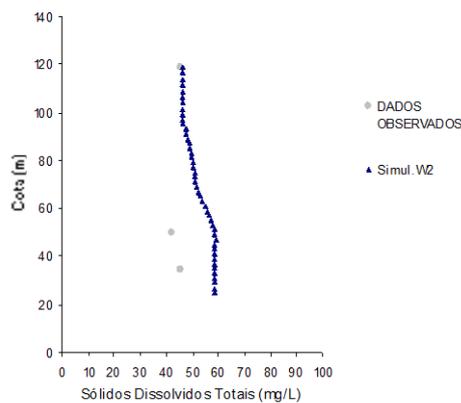


Figura 199. Perfil de SDT EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS - 0363 RMS - 0.444

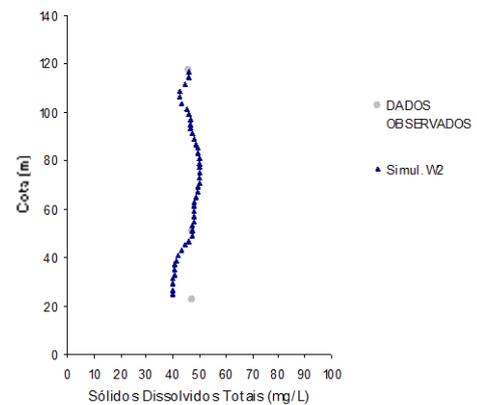
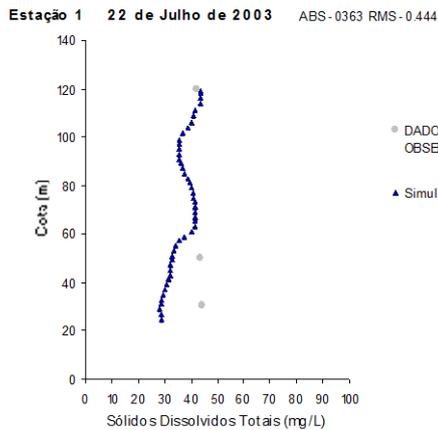
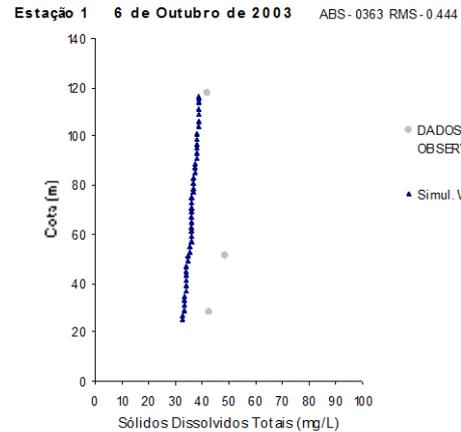


Figura 200. Perfil de SDT EDP 07/04/2003



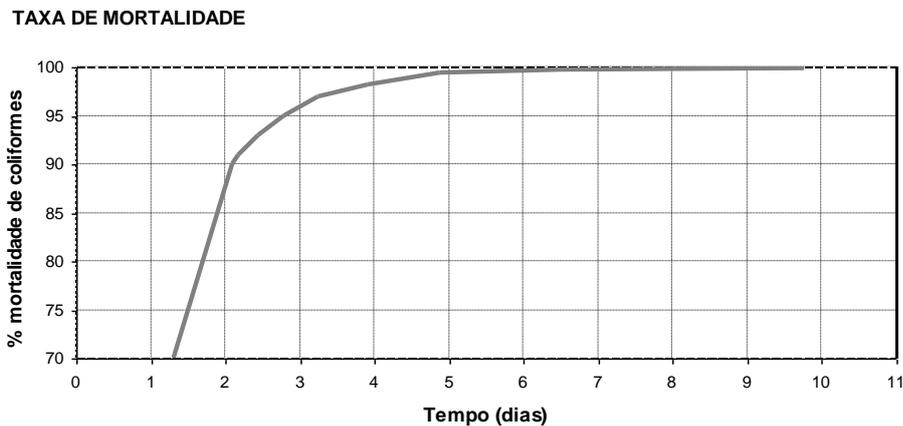
**Figura 201.** Perfil de SDT  
EDP 22/07/2003



**Figura 202.** Perfil de SDT  
EDP 06/10/2003

### 7.11 - Coliformes totais

O modelo considera que a concentração de coliformes totais depende das correspondentes taxas de decaimento e de deposição, bem como da temperatura da massa de água. As dificuldades encontradas na simulação dos coliformes totais, resultam do facto de este constituinte estar associado a cargas pontuais e do seu reduzido tempo de vida (Figura 203), bem como da falta de dados de campo, tornando assim mais difícil prever a evolução da sua concentração na massa de água.



Fonte: EPA - Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition) Junho, 1985

**Figura 203.** Taxa de mortalidade de coliformes em função do tempo.

Pela análise das Figuras 204 e 205, verifica-se que o modelo não reproduz satisfatoriamente a evolução dos valores observados à superfície ao longo dos anos de 2002 e de 2003, verificando-se que em ambos os anos os elevados valores que se observam na época balnear não são descritos pelo modelo. No entanto, considerando a totalidade da coluna de água, foi possível obter uma melhor aproximação entre os dois conjuntos de valores (Figuras 206 a 213). Em função da dificuldade

referida no parágrafo anterior, não foi possível melhorar o ajustamento entre os dois conjuntos de resultados, nomeadamente ao nível da evolução ao longo do ano, apesar do trabalho desenvolvido nesse sentido.

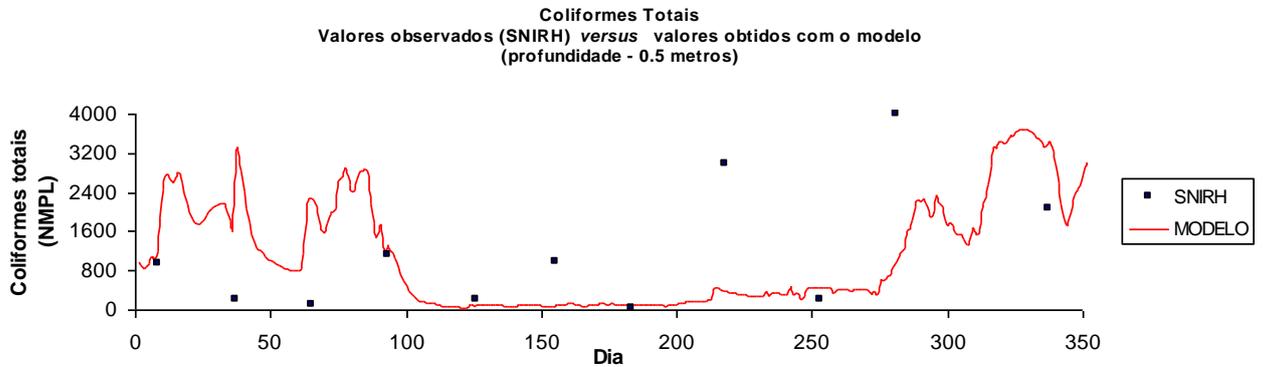


Figura 204. Série temporal dos valores de coliformes totais obtidos para o ano de 2002.

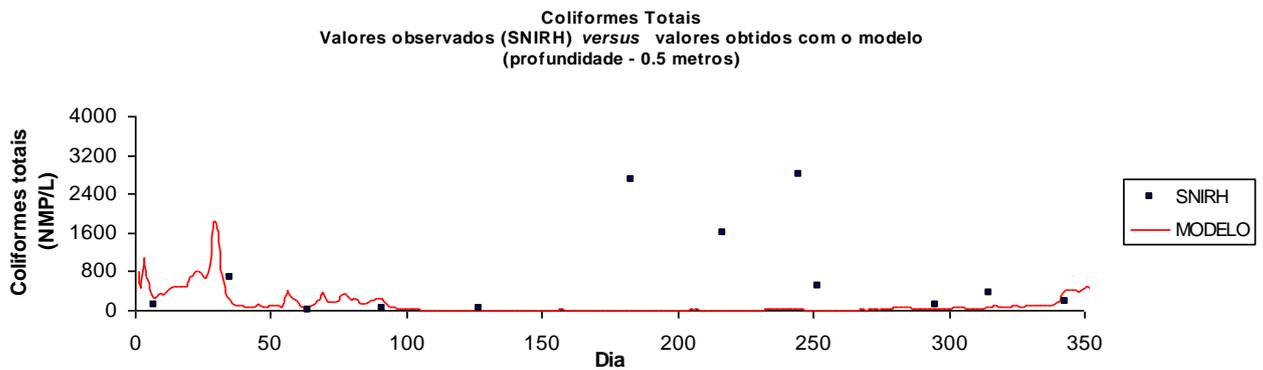


Figura 205. Série temporal dos valores de coliformes totais obtidos para o ano de 2003.

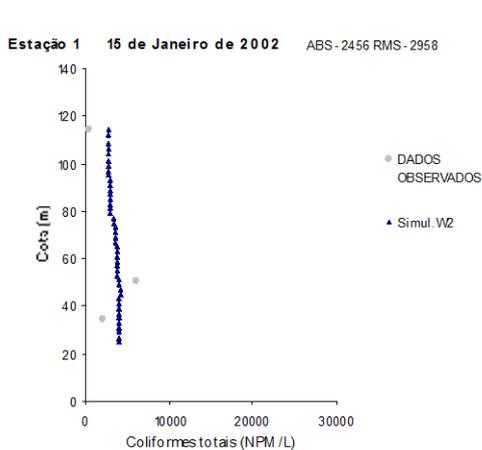


Figura 206. Perfil de C.T.  
EDP 15/01/2002

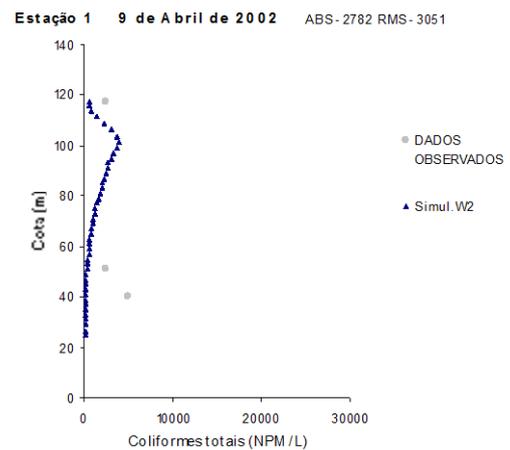
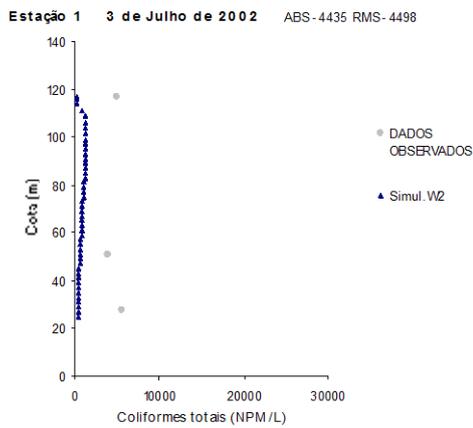
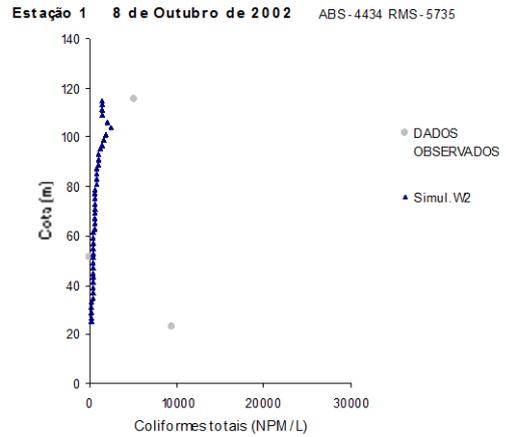


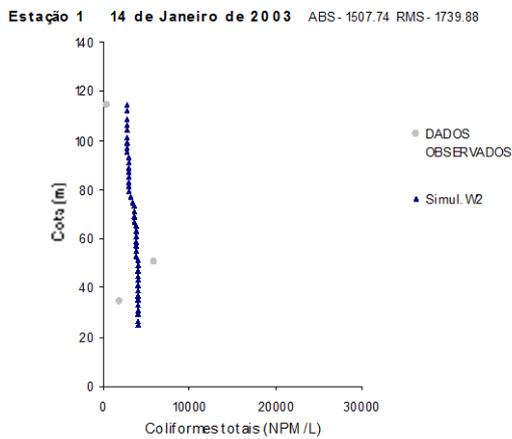
Figura 207. Perfil de C.T.  
EDP 09/04/2002



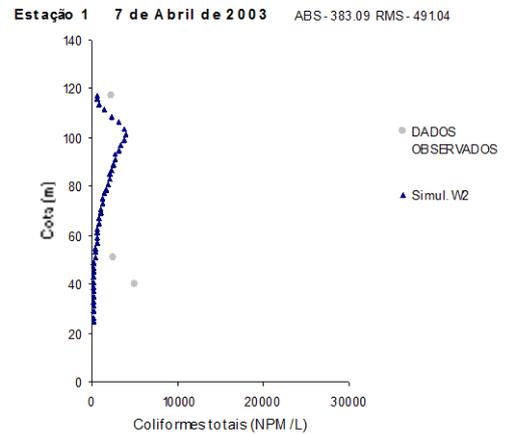
**Figura 208.** Perfil de C.T.  
EDP 03/07/2002



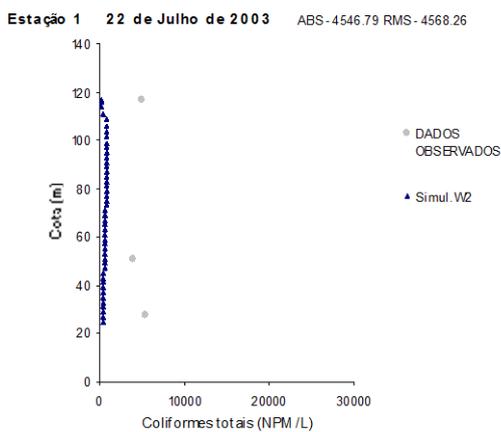
**Figura 209.** Perfil de C.T.  
EDP 08/10/2002



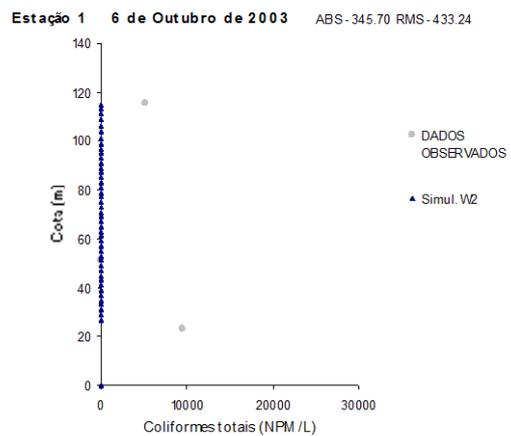
**Figura 210.** Perfil de C.T.  
EDP 14/01/2003



**Figura 211.** Perfil de C.T.  
EDP 07/04/2003



**Figura 212.** Perfil de C.T.  
EDP 22/07/2003

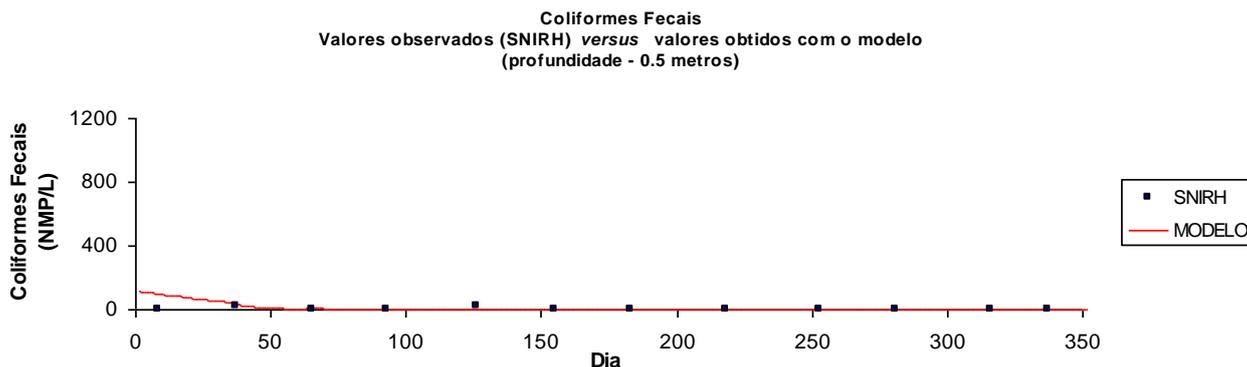


**Figura 213.** Perfil de C.T.  
EDP 06/10/2003

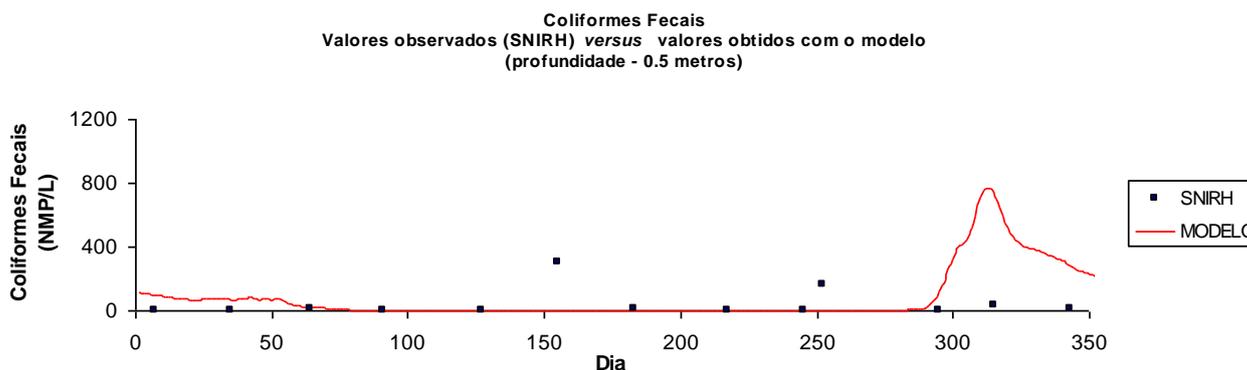
## 7.12 - Coliformes fecais

No que se refere aos coliformes fecais, a análise das Figuras 214 a 223 permite verificar que o ajustamento conseguido é, globalmente, mais satisfatório do que o obtido relativamente aos coliformes totais, apesar das dificuldades de calibração serem, à partida, idênticas em ambos os casos. Deste modo, considerou-se que a melhoria conseguida no ajustamento deverá justificar-se em função do menor valor absoluto da concentração de coliformes fecais comparativamente aos coliformes totais, e da sua menor variabilidade.

A comparação dos valores observados da evolução anual da concentração de coliformes totais, com a evolução anual da concentração de coliformes fecais para o mesmo período de tempo, permite observar que os dois conjuntos de valores apresentam tendências distintas. De facto verifica-se que os valores de concentração de coliformes totais nos meses de Verão são sempre mais elevados do que no resto do período de amostragem, o mesmo não se verificando para os valores de concentração de coliformes fecais. Esta discrepância reforça o carácter pontual das descargas associadas a este parâmetro, o seu reduzido tempo de vida e a dificuldade em prever a sua evolução na massa de água.



**Figura 214.** Série temporal dos valores de coliformes fecais obtidos para o ano de 2002.



**Figura 215.** Série temporal dos valores de coliformes fecais obtidos para o ano de 2003.

Estação 1 15 de Janeiro de 2002 ABS- 358 RMS- 437

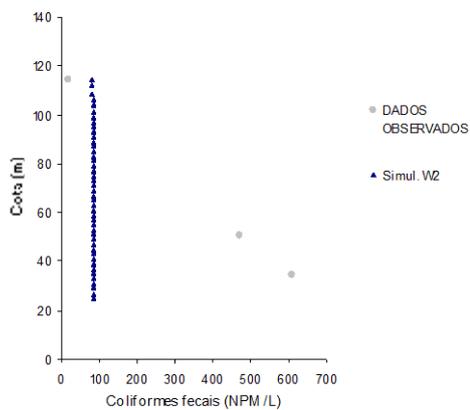


Figura 216. Perfil de C.F.  
EDP 15/01/2002

Estação 1 9 de Abril de 2002 ABS- 22 RMS- 27

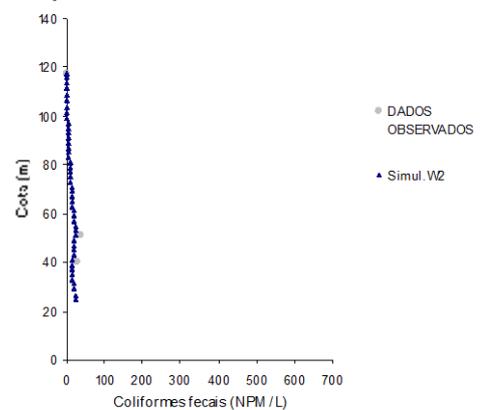


Figura 217. Perfil de C.F.  
EDP 09/04/2002

Estação 1 3 de Julho de 2002 ABS- 0.008 RMS- 0.013

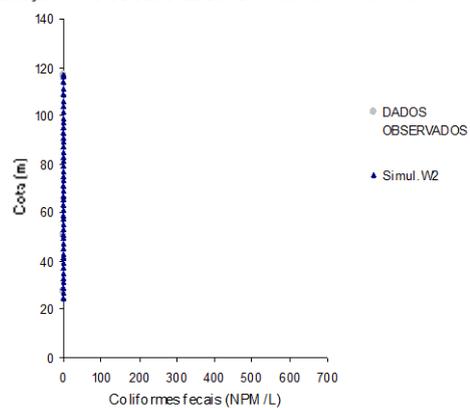


Figura 218. Perfil de C.F.  
EDP 03/07/2002

Estação 1 8 de Outubro de 2002 ABS- 0.003 RMS- 0.003

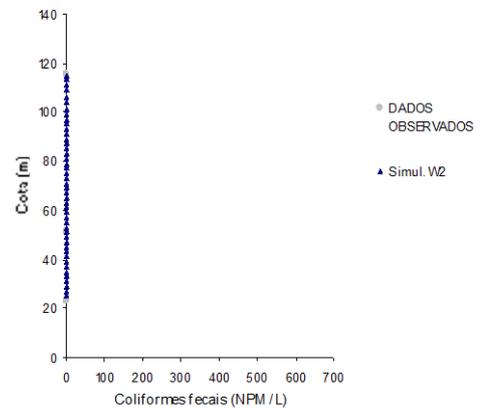


Figura 219. Perfil de C.F.  
EDP 08/10/2002

Estação 1 14 de Janeiro de 2003 ABS- 188.720 RMS- 217.038

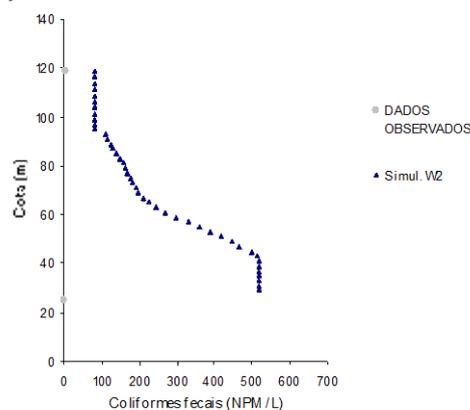


Figura 220. Perfil de C.F.  
EDP 14/01/2003

Estação 1 7 de Abril de 2003 ABS- 20.814 RMS- 32.880

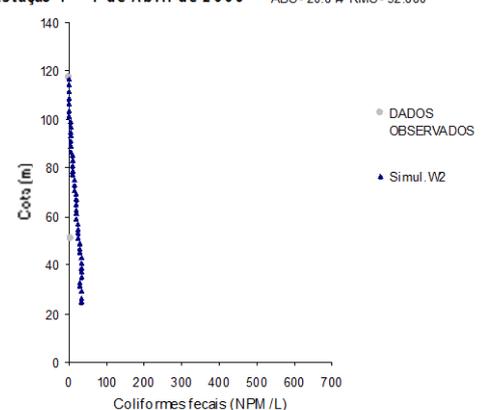
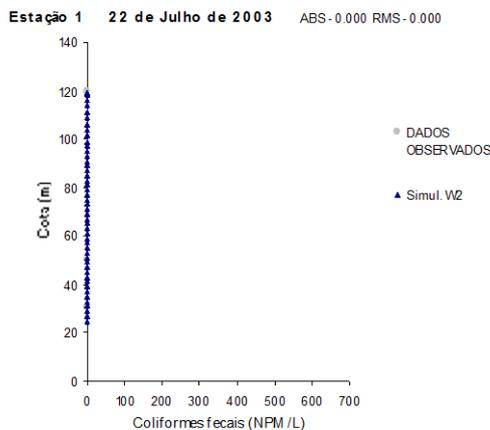
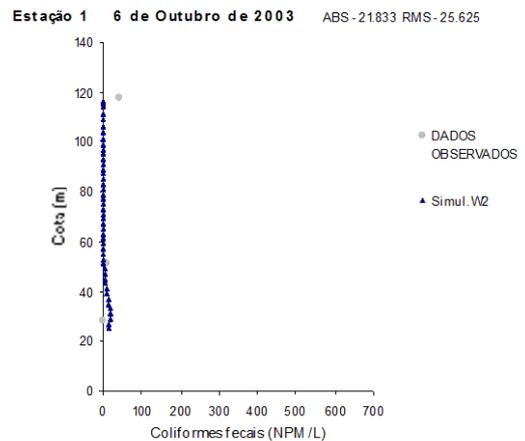


Figura 221. Perfil de C.F.  
EDP 07/04/2003



**Figura 222.** Perfil de C.F.  
EDP 22/07/2003



**Figura 223.** Perfil de C.F.  
EDP 06/10/2003

### 7.13 - Análise global dos resultados obtidos

Numa análise global, pode-se considerar que os resultados obtidos são francamente satisfatórios, sobretudo tendo em conta as dificuldades encontradas ao nível da recolha de dados relativos aos períodos de tempo submetidos a simulação. A análise individual dos resultados obtidos pelo modelo, para o ano de 2002 e para o ano 2003, permite concluir que o mesmo simula bastante bem o sistema constituído pela albufeira de Castelo de Bode.

Com efeito, os resultados das simulações efectuadas permitem concluir que a calibração do modelo foi bem sucedida, encontrando-se este apto a simular a evolução da qualidade da massa de água e a sua capacidade de resposta face a diferentes tipos de situações e estímulos, funcionando como uma ferramenta que poderá contribuir de forma efectiva para uma correcta gestão, quer dos recursos hídricos, quer dos factores susceptíveis de condicionar a sua qualidade.

As principais dificuldades de calibração encontradas relacionam-se com os parâmetros associados aos ciclos do azoto e do fósforo, bem como com os descritores microbiológicos. Relativamente aos dois primeiros, apesar da aferição obtida para 2002 ser bastante razoável, os resultados do modelo para o ano de 2003 não são tão satisfatórios. A dificuldade em reproduzir resultados mais aproximados aos valores observados, pode estar, por um lado, associada a falhas na obtenção de dados de entrada consistentes e, por outro, ser função da própria complexidade dos ciclos do azoto e do fósforo, o que torna a simulação matemática destes parâmetros particularmente difícil. De facto, os resultados obtidos para o ano de 2003 relativamente ao  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_4$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , revelaram-se cruciais no processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2, na medida em que evidenciaram a importância dos dados de campo e da sua discretização, temporal e espacial, na correcta simulação matemática da qualidade da água do sistema em estudo.

Os descritores microbiológicos simulados - coliformes totais e fecais - são habitualmente utilizados como indicadores de contaminação de origem fecal. A previsão da evolução da concentração destes parâmetros é importante devido ao impacte que estes têm na qualidade da água e nas suas

valências, quer esta se destine a fins recreativos (banear), quer se destine a consumo humano. No caso dos coliformes totais e fecais, verifica-se que a evolução da sua concentração na massa de água é fortemente condicionada por cargas pontuais e pelo reduzido tempo de vida característico destes microorganismos, factores que poderão determinar as dificuldades encontradas ao nível das correspondentes calibrações.

Finalmente, deve referir-se também que o limite de detecção dos métodos utilizados na determinação da concentração da  $CBO_5$  e do  $P_2O_5$ , nomeadamente ao nível dos dados fornecidos pela EPAL e dos disponibilizados pelo SNIRH, determinam que as análises que entram em linha de conta com esses dados sejam desenvolvidas com particular atenção, na medida em que o limite de detecção pode camuflar a variabilidade dos verdadeiros valores da concentração desses parâmetros, quando esta é inferior ao referido limite.

## **8. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO**

### **8.1 - Introdução**

O POACB define estratégias associadas aos diferentes usos e actividades da albufeira de Castelo de Bode e da correspondente zona envolvente, nomeadamente as relativas ao uso urbano, turístico, agrícola e florestal, tendo em consideração a situação de referência da área de intervenção e as perspectivas da sua evolução. Neste contexto, o POACB regulamenta a rejeição de efluentes urbanos e industriais, e define regras para a utilização da albufeira e da zona envolvente.

Considerando as regras definidas pelo POACB, definiram-se cenários de simulação da qualidade da água, que permitiram avaliar a evolução dessa qualidade face aos valores paramétricos obrigatórios, aplicáveis às águas destinadas ao consumo humano e ao recreio balnear, que constam no Decreto-Lei nº243/2001 de 5 de Setembro e no Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 de Agosto, respectivamente.

A análise realizada permitiu avaliar as alterações da qualidade da água face às reduções de carga poluente afluente, previstas pelo PBH do rio Tejo, para toda a área drenante à albufeira de Castelo de Bode. Assim, foi possível determinar a influência relativa das medidas preconizadas no POACB e no PBH do rio Tejo.

A implementação de cenários de simulação e a inexistência de monitorização de descargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB, implicaram a estimativa de caudais e de concentrações associadas às mesmas, por forma a permitir a sua gestão, independente da globalidade das afluências poluentes à massa de água.

Nas secções seguintes, serão descritas as metodologias utilizadas na estimativa de caudais e de concentrações de cargas poluentes afluentes à albufeira de Castelo de Bode, com origem na área de intervenção do POACB. Descreve-se também, a dispersão espacial dessas mesmas cargas pela albufeira e as alterações que foi necessário introduzir no balanço de volumes, por forma a permitir a simulação dos cenários definidos.

### **8.2 - Estimativa de caudais e cargas poluentes afluentes à albufeira de Castelo de Bode**

As fontes poluidoras afluentes à massa de água foram divididas em duas categorias. A primeira incluiu a carga poluente gerada na área de intervenção do POACB, e a segunda a carga gerada na restante área drenante à secção definida pela albufeira de Castelo de Bode (Figura 224).



Figura 224. Representação esquemática das diferentes categorias de fontes poluidoras.

### 8.2.1 - Cargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB

Nesta secção, serão descritas as metodologias e as fontes de informação, utilizadas na avaliação dos valores de concentração das cargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB.

Para essa avaliação, foram utilizados os elementos apresentados no inventário das fontes poluidoras, incluídos no relatório síntese do POACB, em que é caracterizada a área de intervenção do plano relativamente à poluição industrial, doméstica e difusa. Foi também necessário recorrer a um inventário disponibilizado pelo INAG, no qual são identificadas as habitações localizadas fora de zonas definidas como áreas urbanas e áreas turísticas, a uma distância até 150 metros do plano de água ao NPA da albufeira de Castelo de Bode.

#### 8.2.1.1 -Carga poluente de origem agrícola e florestal

A especificidade morfológica dos diferentes tipos de solo, a variabilidade associada ao uso do solo e à quantidade e tipo de fertilizantes utilizados para o aumento de produtividade agrícola e, fundamentalmente, a inexistência de dados de amostragem, introduzem sempre um certo grau de incerteza no cálculo de cargas poluentes de origem difusa.

De acordo com Sutherland e Novotny (NOVOTNY, 1994) os modelos de poluição difusa podem ser divididos em cinco níveis: I) procedimentos estatísticos simples e cargas unitárias sem interacção com processos físicos e químicos; II) procedimentos simplificados com alguma interacção com processos físico-químicos; III) modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos; IV) modelos sofisticados de eventos e VI) modelos contínuos sofisticados.

De acordo ainda com NOVOTNY (1994) os modelos referentes à primeira categoria surgiram com base em resultados estatísticos de programas de monitorização. Designados por HAITH (1981) como modelos de planeamento ou “funções de carga”, este tipo de modelos são de utilização muito simples, em comparação com os das restantes categorias, mais exigentes em termos de dados de qualidade, quer da massa de água receptora quer do próprio escoamento superficial. Embora a informação obtida por estes métodos seja inferior em detalhe à produzida com os modelos de simulação de nível mais elevado, requerem substancialmente menos dados, de acordo com CASTRO, 1986.

Ainda segundo HAITH (1981), as funções de carga são geralmente baseadas na Equação Universal de Perda de Solo ou no cálculo do escoamento superficial, sendo os fluxos de massa a partir da área de drenagem calculados através da multiplicação da perda de solo ou do escoamento pela concentração de poluente no solo ou na água.

$$CT_i = E_{sup} \cdot CP_i \quad (2)$$

$$CT_i = E_r \cdot TP_i \quad (3)$$

em que:

$CT_i$  - carga total do poluente  $i$ , afluente à secção de referência

$E_{sup}$  - escoamento superficial

$CP_i$  - concentração do poluente  $i$

$E_r$  - perda de solo

$TP_i$  - teor do poluente  $i$ .

NOVOTNY (1994) acrescenta ainda a possibilidade de utilização de cargas por unidade de área e tempo para cada categoria de solo. A carga poluente é obtida pela multiplicação das cargas unitárias pelas áreas parciais de cada categoria de solo.

$$CT_i = \sum (C_{ij} \cdot A_j) \quad (4)$$

em que :

$CT_i$  - carga total do poluente  $i$ , afluente à secção de referência por unidade de tempo

$C_{ij}$  - carga do poluente  $i$ , por unidade de área e de tempo na categoria de solo  $j$  (taxa de exportação)

$A_j$  - área de solo da categoria  $j$ .

Este tipo de abordagem pode ser considerada válida já que os resultados obtidos por HAITH (1981) indicam que as funções de cargas são um método razoável para estimar cargas difusas agrícolas, particularmente quando não se dispõe de dados de qualidade que permitam a utilização de modelos mais sofisticados.

O Grupo de Disciplinas de Hidráulica do DCEA/FCT/UNL, tem utilizado esta metodologia com resultados positivos, em vários estudos realizados, dos quais se destaca: a modelação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ave, que implicou a avaliação das cargas poluentes de origem difusa (RODRIGUES et al, 2002); um estudo piloto realizado para a bacia hidrográfica do rio Vouga, no âmbito da Convenção OSPAR (RODRIGUES et al, 2002), que tinha, entre outros, o objectivo de harmonizar o cálculo dos valores de poluição difusa; o estudo realizado no âmbito da identificação de zonas vulneráveis em Portugal continental (RODRIGUES et al, 2003), baseado genericamente, na quantificação de cargas afluentes, urbanas, industriais e difusas de origem agrícola e florestal e na análise do efeito dessas cargas nas albufeiras de Portugal Continental, classificadas como eutróficas.

Considerando os objectivos propostos, adoptou-se a abordagem baseada na aplicação de taxas de exportação (carga por unidade de área e tempo), em função do tipo de ocupação do solo. Após consulta bibliográfica, adoptaram-se as taxas de exportação definidas em Dal e Kurtar (*in* Tanik, 1999) e Waller e Hart (*in* Castro, 1986), de acordo com o apresentado no Quadro 7.

**Quadro 7.** Taxas de exportação de poluição difusa.

Classes de Uso do solo	P total (kg/ha/ano)	N total (kg/ha/ano)	CBO <sub>5</sub> (kg/ha/ano)
Agricultura	0,30	10,00	4,00
Águas interiores	0,00	0,00	0,00
Florestas	0,05	2,00	0,00
Improdutivos	0,00	0,00	0,00
Incultos	0,30	10,00	0,00
Social	0,20	0,70	0,00

As áreas de cada classe de uso do solo, existentes em cada uma das secções de referência consideradas, foram obtidas sobrepondo a carta digital de uso do solo da Direcção Geral das Florestas (DGF), obtida no Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), em <http://snig.igeo.pt.>, e a área drenante para cada uma das referidas secções. Para tal utilizou-se o sistema de informação geográfica ArcView 3.2™. A carga total gerada por cada classe de uso de solo, corresponde ao produto entre a área da classe de uso de solo considerada e o correspondente valor de carga de taxa de exportação por unidade de área (equação 4), permitindo obter os valores apresentados no Quadro 8. A análise dos resultados obtidos deve ser realizada com alguma precaução, uma vez que os valores de carga difusa apresentados correspondem apenas à área drenante a cada uma das secções de referência, incluída na área de intervenção do POACB.

Verifica-se, pela análise do Quadro 8, que as maiores cargas poluentes de origem agrícola e florestal, se encontram localizadas na área afluente ao rio Zêzere e nas áreas drenantes das ribeiras da Brunheta e do Souto, nomeadamente ao nível do N total.

Como o modelo CE-QUAL-W2 considera que as aflúncias das cargas poluentes são expressas em valores de concentração, foi necessário estimar a concentração das cargas difusas de N inorgânico, P inorgânico e CBO<sub>5</sub>. Os valores de concentração de P total e de N total foram convertidos na sua componente inorgânica, assumindo que esta corresponde a 80% do valor de concentração total, para qualquer dos dois nutrientes.

O caudal afluente a cada secção de referência foi estimado através do cálculo do escoamento médio anual, calculado com base na carta de escoamento do Atlas do Ambiente, disponível em <http://www.iambiente.pt/atlas/> (Quadro 9). Após a determinação dos valores de caudal, estimaram-se os valores das cargas de origem difusa e dos correspondentes valores de concentração, que posteriormente foram incluídos no modelo (Quadro 10).

**Quadro 8.** Cargas de origem difusa, com origem na área de intervenção do POACB.

Área drenante	Carga gerada (kg/ano)				
	N TOTAL		P TOTAL		CBO <sub>5</sub>
	Florestal	Agrícola	Florestal	Agrícola	Agrícola
Ramo 1 - rio Zêzere	20 044,0	9 226,0	606,0	277,0	3 691,0
Ramo 2 - rib <sup>a</sup> Sertã	3 777,0	143,0	110,0	4,0	57,0
Ramo 3 - rib <sup>a</sup> Isna	3 162,0	543,0	92,0	16,0	217,0
Ramo 4 - rib <sup>a</sup> Cains	744,0	450,0	19,0	13,0	180,0
Ramo 5 - rib <sup>a</sup> Codes	3 789,0	816,0	102,0	24,0	326,0
Ramo 6 - rib <sup>a</sup> Lombo	1 748,0	841,0	49,0	25,0	336,0
Ramo 7 - rib <sup>a</sup> Souto	265,0	1 756,0	7,0	53,0	703,0
Ramo 8 - rib <sup>a</sup> Brunheta	2 650,0	3 964,0	71,0	119,0	1 586,0
Ramo 9 - rib <sup>a</sup> Pessegueiro	1 185,0	115,0	33,0	3,0	46,0
Ramo 10 - rib <sup>a</sup> Aldeia do Mato	1 087,0	597,0	30,0	18,0	239,0
Trib. 1 - rib <sup>a</sup> Alge	234,0	1,0	11,0	0,0	0,0
Trib. 2 - rib <sup>a</sup> Vale Mosqueiro	1 164,0	0,0	41,0	0,0	0,0
Trib. 3 - rib <sup>a</sup> Trutas	238,0	0,0	42,0	0,0	0,0

**Quadro 9.** Caudal afluyente à albufeira, com origem na área de intervenção do POACB.

Área drenante	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Ramo 1 - rio Zêzere	0,48
Ramo 2 - rib <sup>a</sup> Sertã	0,10
Ramo 3 - rib <sup>a</sup> Isna	0,02
Ramo 4 - rib <sup>a</sup> Cains	0,03
Ramo 5 - rib <sup>a</sup> Codes	0,02
Ramo 6 - rib <sup>a</sup> Lombo	0,03
Ramo 7 - rib <sup>a</sup> Souto	0,07
Ramo 8 - rib <sup>a</sup> Brunheta	0,03
Ramo 9 - rib <sup>a</sup> Pessegueiro	0,11
Ramo 10 - rib <sup>a</sup> Aldeia do Mato	0,09
Trib. 1 - rib <sup>a</sup> Alge	0,06
Trib. 2 - rib <sup>a</sup> Vale Mosqueiro	0,03
Trib. 3 - rib <sup>a</sup> Trutas	0,02

**Quadro 10.** Concentração de cargas difusas, com origem na área de intervenção do POACB.

Área drenante	Concentração (mg/L)				
	N inorgânico		P inorgânico		CBO <sub>5</sub>
	Florestal	Agrícola	Florestal	Agrícola	Agrícola
<b>Ramo 1 - rio Zêzere</b>	3,688	1,698	0,032	0,015	0,244
<b>Ramo 2 - rib<sup>a</sup> Sertã</b>	3,499	0,132	0,029	0,001	0,019
<b>Ramo 3 - rib<sup>a</sup> Isna</b>	3,085	0,530	0,026	0,005	0,076
<b>Ramo 4 - rib<sup>a</sup> Cains</b>	2,395	1,449	0,017	0,012	0,208
<b>Ramo 5 - rib<sup>a</sup> Codes</b>	2,987	0,643	0,023	0,006	0,092
<b>Ramo 6 - rib<sup>a</sup> Lombo</b>	2,800	1,347	0,022	0,012	0,194
<b>Ramo 7 - rib<sup>a</sup> Souto</b>	0,768	5,081	0,006	0,044	0,730
<b>Ramo 8 - rib<sup>a</sup> Brunheta</b>	3,165	4,735	0,024	0,041	0,681
<b>Ramo 9 - rib<sup>a</sup> Pessegueiro</b>	4,268	0,413	0,034	0,004	0,059
<b>Ramo 10 - rib<sup>a</sup> Aldeia do Mato</b>	4,016	2,204	0,032	0,019	0,317
<b>Trib. 1 - rib<sup>a</sup> Alge</b>	1,050	0,005	0,014	0,000	0,001
<b>Trib. 2 - rib<sup>a</sup> Vale Mosqueiro</b>	3,193	0,000	0,033	0,000	0,000
<b>Trib. 3 - rib<sup>a</sup> Trutas</b>	0,751	0,000	0,038	0,000	0,000

#### 8.2.1.2 - Carga poluente de origem urbana

A área de intervenção do POACB caracteriza-se por uma ocupação populacional dispersa, constituída por 60 núcleos populacionais, identificados no POACB, e por 462 habitações isoladas, localizadas fora de zonas definidas como áreas urbanas.

Segundo o POACB, o único sistema de tratamento de efluentes domésticos, localizado na área de intervenção do plano, é uma fossa séptica colectiva, situada no concelho de Abrantes. A sua eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais foi obtida no PBH do rio Tejo, e posteriormente considerada quando se integraram os valores de concentração destes poluentes, no modelo.

O POACB considera ainda que o facto de não existir uma obrigatoriedade na limpeza das fossas sépticas, colectivas e individuais, tem como consequência a descarga dos seus efluentes no solo, nas linhas de água mais próximas ou mesmo na albufeira de Castelo de Bode.

Nas secções seguintes, descrevem-se as metodologias utilizadas na estimativa das concentrações poluentes de origem doméstica.

#### Núcleos populacionais localizados na área de intervenção do POACB

Considerando os valores de população residente e flutuante, a correspondente carga poluente em termos de azoto total, fósforo total e CBO<sub>5</sub>, disponíveis no POACB (Quadro 11), e admitindo um valor de capitação, relativa ao consumo de água, de 90 L/habitante.dia, estimaram-se os valores de concentração e de caudal, correspondentes ao período de Inverno e de Verão, com origem nos núcleos populacionais, que posteriormente foram incluídos no sistema modelado. Os resultados obtidos, são apresentados nos Quadros 12 e 13.

**Quadro 11.** Estimativa da carga poluente por núcleo populacional, incluído no POACB.

Concelho	Núcleo Populacional	População Actual		Carga poluente (kg/dia) Meses de Verão				Carga poluente (kg/dia) Meses de Inverno			
		Residente	Flutuante	CBO <sub>5</sub>	Ntotal	Ptotal	SST	CBO <sub>5</sub>	Ntotal	Ptotal	SST
Abrantes	Martinchel	296	202	29,88	4,98	1,00	44,82	17,76	2,96	0,59	26,64
	Aldeia do Mato	171	90	15,66	2,61	0,52	23,49	10,26	1,71	0,34	15,39
	Bairros	71	57	7,68	1,28	0,26	11,52	4,26	0,71	0,14	6,39
	Cabeça Gorda	68	71	8,34	1,39	0,28	12,51	4,08	0,68	0,14	6,12
	Carreira do Mato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Carregal	19	15	2,04	0,34	0,07	3,06	1,14	0,19	0,04	1,71
	Maxieira	36	29	3,90	0,65	0,13	5,85	2,16	0,36	0,07	3,24
	Bioucas	100	94	11,64	1,94	0,39	17,46	6,00	1,00	0,20	9,00
	Atalaia	208	107	18,90	3,15	0,63	28,35	12,48	2,08	0,42	18,72
	Sentieiras	80	45	7,50	1,25	0,25	11,25	4,80	0,80	0,16	7,20
	Cabeça Ruiva	31	25	3,36	0,56	0,11	5,04	1,86	0,31	0,06	2,79
	Carrapatoso	64	24	5,28	0,88	0,18	7,92	3,84	0,64	0,13	5,76
	Maxial	109	99	12,48	2,08	0,42	18,72	6,54	1,09	0,22	9,81
	Maxial do Além	37	23	3,60	0,60	0,12	5,4	2,22	0,37	0,07	3,33
	Vale de Açor	47	37	5,04	0,84	0,17	7,56	2,82	0,47	0,09	4,23
	Água das Casas	87	64	9,06	1,51	0,30	13,59	5,22	0,87	0,17	7,83
	Matagosinha + Matagosa	15 + 23	20 + 50	6,48	1,08	0,22	9,72	2,28	0,38	0,08	3,42
	<b>Sub-Total</b>	<b>1462</b>	<b>1052</b>	<b>150,84</b>	<b>25,14</b>	<b>5,03</b>	<b>226,26</b>	<b>87,72</b>	<b>14,62</b>	<b>2,92</b>	<b>131,58</b>
Tomar	Castelo do Bode	251	119	22,20	3,70	0,74	33,3	15,06	2,51	0,50	22,59
	Alvrangel/Casalinho	170	147	19,02	3,17	0,63	28,53	10,2	1,70	0,34	15,3
	Levegada	33	26	3,54	0,59	0,12	5,31	1,98	0,33	0,07	2,97
	Outeiro do Forno	38	36	4,44	0,74	0,15	6,66	2,28	0,38	0,08	3,42
	Vale do Vime	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vila Nova	94	-	5,64	0,94	0,19	8,46	5,64	0,94	0,19	8,46
	Espinheiro	27	32	3,54	0,59	0,12	5,31	1,62	0,27	0,05	2,43
	Barreiras	128	142	16,20	2,70	0,54	24,3	7,68	1,28	0,26	11,52
	Montes	175	172	20,82	3,47	0,69	31,23	10,5	1,75	0,35	15,75
	<b>Sub-Total</b>	<b>916</b>	<b>674</b>	<b>95,40</b>	<b>15,90</b>	<b>3,18</b>	<b>143,1</b>	<b>54,96</b>	<b>9,16</b>	<b>1,83</b>	<b>82,44</b>
Ferreira do Zêzere	Bairrada / Bairradinha	211	163	22,44	3,74	0,75	33,66	12,66	2,11	0,42	18,99
	Cardal	40	40	4,80	0,80	0,16	7,20	2,40	0,40	0,08	3,60
	Castanheira	2	29	1,86	0,31	0,06	2,79	0,12	0,02	0,00	0,18
	Maxial	3	24	1,62	0,27	0,05	2,43	0,18	0,03	0,01	0,27
	Pombeira	61	80	8,46	1,41	0,28	12,69	3,66	0,61	0,12	5,49
	Casal da Pombeira	0	35	2,10	0,35	0,07	3,15	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rio Fundeiro	2	15	1,02	0,17	0,03	1,53	0,12	0,02	0,00	0,18
	Barrada	27	34	3,66	0,61	0,12	5,49	1,62	0,27	0,05	2,43
	Rio Cimeiro	17	44	3,66	0,61	0,12	5,49	1,02	0,17	0,03	1,53
	Vale Serrão	22	46	4,08	0,68	0,14	6,12	1,32	0,22	0,04	1,98
	Casal Ascenso										
	Antunes	12	18	1,80	0,30	0,06	2,70	0,72	0,12	0,02	1,08
	Dornes	55	70	7,50	1,25	0,25	11,25	3,30	0,55	0,11	4,95
	Horta da Coelha	9	9	1,08	0,18	0,04	1,62	0,54	0,09	0,02	0,81
	<b>Sub-Total</b>	<b>461</b>	<b>607</b>	<b>64,08</b>	<b>10,68</b>	<b>2,14</b>	<b>96,12</b>	<b>27,66</b>	<b>4,61</b>	<b>0,92</b>	<b>41,49</b>
Figueiró dos Vinhos	Casalinho de Santana	26	17	2,58	0,43	0,09	3,87	1,56	0,26	0,05	2,34
	Valbom	6	7	0,78	0,13	0,03	1,17	0,36	0,06	0,01	0,54
	Foz do Alge	69	26	5,70	0,95	0,19	8,55	4,14	0,69	0,14	6,21
<b>Sub-Total</b>	<b>101</b>	<b>50</b>	<b>9,06</b>	<b>1,51</b>	<b>0,30</b>	<b>13,59</b>	<b>6,06</b>	<b>1,01</b>	<b>0,20</b>	<b>9,09</b>	
Vila de Rei	Cabecinha	24	35	3,54	0,59	0,12	5,31	1,44	0,24	0,05	2,16
	Macieira	23	21	2,64	0,44	0,09	3,96	1,38	0,23	0,05	2,07
	Aveleira	38	37	4,50	0,75	0,15	6,75	2,28	0,38	0,08	3,42
	Carregueira	0	5	0,30	0,05	0,01	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00

Concelho	Núcleo Populacional	População Actual		Carga poluente (kg/dia) Meses de Verão				Carga poluente (kg/dia) Meses de Inverno			
		Residente	Flutuante	CBO <sub>5</sub>	Ntotal	Ptotal	SST	CBO <sub>5</sub>	Ntotal	Ptotal	SST
	Arrancoeira	0	10	0,60	0,10	0,02	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
	Malhada	21	37	3,48	0,58	0,12	5,22	1,26	0,21	0,04	1,89
	Zaboeira	9	33	2,52	0,42	0,08	3,78	0,54	0,09	0,02	0,81
	Alcamim	14	21	2,10	0,35	0,07	3,15	0,84	0,14	0,03	1,26
	Nova Isna	0	3	0,18	0,03	0,01	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fernandaires	5	21	1,56	0,26	0,05	2,34	0,3	0,05	0,01	0,45
	<b>Sub-Total</b>	<b>134</b>	<b>223</b>	<b>21,42</b>	<b>3,57</b>	<b>0,71</b>	<b>32,13</b>	<b>8,04</b>	<b>1,34</b>	<b>0,27</b>	<b>12,06</b>
	Sertã	Trísio	28	45	4,38	0,73	0,15	6,57	1,68	0,28	0,06
Moinhos da Ribeira		11	14	1,50	0,25	0,05	2,25	0,66	0,11	0,02	0,99
Foz da Sertã		6	10	0,96	0,16	0,03	1,44	0,36	0,06	0,01	0,54
Canical		18	11	1,74	0,29	0,06	2,61	1,08	0,18	0,04	1,62
Rosadouro		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Várzea de Pedro											
Mouro		70	27	5,82	0,97	0,19	8,73	4,20	0,70	0,14	6,30
Sambado		183	58	14,46	2,41	0,48	21,69	10,98	1,83	0,37	16,47
Almegue		35	15	3,00	0,50	0,10	4,50	2,10	0,35	0,07	3,15
<b>Sub-Total</b>		<b>351</b>	<b>180</b>	<b>31,86</b>	<b>5,31</b>	<b>1,06</b>	<b>47,79</b>	<b>21,06</b>	<b>3,51</b>	<b>0,70</b>	<b>31,59</b>

A referida capitação relativa ao consumo de água, foi obtida considerando a média dos valores de capitação útil, que constam do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo (PBH do rio Tejo), relativamente aos concelhos de Ferreira do Zêzere, Abrantes, Sardoal, Figueiró dos Vinhos e Sertã.

Como no relatório síntese do POACB não são apresentados dados relativos às cargas de coliformes totais, foi necessário proceder a uma estimativa desse valor. Assim, admitindo uma capitação de  $1,8 \times 10^9$  unidades de coliformes totais por habitante/dia, (de acordo com o referido no Plano Nacional da Água (MAOT/INAG, 2001)), e considerando os valores de população residente e flutuante, estimou-se a carga de coliformes totais. Considerando uma capitação de 90 L/habitante.dia, estimou-se o valor de concentração de coliformes totais gerado pelos núcleos populacionais da área de intervenção do POACB, que constam dos Quadros 12 e 13.

A análise do Quadro 11, permite concluir que os concelhos de Abrantes, Tomar e Ferreira do Zêzere, são os que possuem maior número de habitantes residentes na área de intervenção do POACB e, conseqüentemente, são os concelhos que geram os maiores valores de carga poluente.

Verifica-se também que o acréscimo de população que ocorre nos meses de Verão poderá ter como consequência um aumento da concentração dos diversos poluentes na massa de água, uma vez que nesse período os caudais afluentes à albufeira são em geral inferiores aos valores de caudal observados ao longo do resto do ano.

Nos Quadros 12 e 13, podem-se observar os valores de concentração das carga poluentes, com origem nos núcleos urbanos, incluídos na simulação efectuada com o modelo CE-QUAL-W2.

**Quadro 12.** Concentração e caudal estimado para as descargas com origem nos núcleos urbanos, nos meses de Inverno, na área de intervenção do POACB.

Concelho	Núcleo Populacional	Meses de Inverno					
		CAUDAL A (m <sup>3</sup> /s)	CBO <sub>5</sub> (mg/L)	N inorg. (mg/L)	P inorg. (mg/L)	SST (mg/L)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/L)
Abrantes	Martinchel	0,000308	667	111	22	1 000	20 000 000
	Aldeia do Mato	0,000178	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bairros	0,000074	667	111	22	1 000	20 000 000
	Cabeça Gorda	0,000071	667	111	23	1 000	20 000 000
	Carreira do Mato	-	-	-	-	-	-
	Carregal	0,000020	667	111	23	1 000	20 000 000
	Maxieira	0,000038	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bioucas	0,000104	667	111	22	1 000	20 000 000
	Atalaia	0,000217	667	111	22	1 000	20 000 000
	Sentieiras	0,000083	667	111	22	1 000	20 000 000
	Cabeça Ruiva	0,000032	667	111	22	1 000	20 000 000
	Carrapatoso	0,000067	667	111	23	1 000	20 000 000
	Maxial	0,000114	667	111	22	1 000	20 000 000
	Maxial do Além	0,000039	667	111	21	1 000	20 000 000
	Vale de Açor	0,000049	667	111	21	1 000	20 000 000
Tomar	Água das Casas	0,000091	667	111	22	1 000	20 000 000
	Matagosinha	0,000040	667	111	23	1 000	20 000 000
	Castelo do Bode	0,000261	667	111	22	1 000	20 000 000
	Alvrang	0,000177	667	111	22	1 000	20 000 000
	Levegada	0,000034	667	111	24	1 000	20 000 000
	Outeiro do Forno	0,000040	667	111	23	1 000	20 000 000
	Vale do Vime	-	-	-	-	-	-
	Vila Nova	0,000098	667	111	22	1 000	20 000 000
Ferreira do Zêzere	Espinheiro	0,000028	667	111	21	1 000	20 000 000
	Barreiras	0,000133	667	111	23	1 000	20 000 000
	Montes	0,000182	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bairrada	0,000220	667	111	22	1 000	20 000 000
	Cardal	0,000042	667	111	22	1 000	20 000 000
	Castanheira	0,000002	667	111	0	1 000	20 000 000
	Maxial	0,000003	667	111	37	1 000	20 000 000
	Pombeira	0,000064	667	111	22	1 000	20 000 000
	Casal da Pombeira	0,000000	-	-	-	-	-
	Rio Fundeiro	0,000002	667	111	0	1 000	20 000 000
	Barrada	0,000028	667	111	21	1 000	20 000 000
	Rio Cimeiro	0,000018	667	111	20	1 000	20 000 000
Figueiró dos Vinhos	Vale Serrão	0,000023	667	111	20	1 000	20 000 000
	Casal Ascenso						
	Antunes	0,000013	667	111	19	1 000	20 000 000
	Dornes	0,000057	667	111	22	1 000	20 000 000
	Horta da Coelha	0,000009	667	111	25	1 000	20 000 000
	Casalinho de Sant.	0,000027	667	111	21	1 000	20 000 000
	Valbom	0,000006	667	111	19	1 000	20 000 000
Vila de Rei	Foz do Alge	0,000072	667	111	23	1 000	20 000 000
	Cabecinha	0,000025	667	111	23	1 000	20 000 000
	Macieira	0,000024	667	111	24	1 000	20 000 000
	Aveleira	0,000040	667	111	23	1 000	20 000 000
	Carregueira	0,000000	-	-	-	-	-
	Arrancoeira	0,000000	-	-	-	-	-
	Malhada	0,000022	667	111	21	1 000	20 000 000
	Zaboeira	0,000009	667	111	25	1 000	20 000 000
	Alcamim	0,000015	667	111	24	1 000	20 000 000
Vila de Rei	Nova Isna	0,000000	-	-	-	-	-
	Fernandaires	0,000005	667	111	22	1 000	20 000 000

Concelho	Núcleo Populacional	Meses de Inverno					COLIFORMES TOTAIS (NMP/L)
		CAUDAL A (m <sup>3</sup> /s)	CBO <sub>5</sub> (mg/L)	N inorg. (mg/L)	P inorg. (mg/L)	SST (mg/L)	
Sertã	Trísio	0,000029	667	111	24	1 000	20 000 000
	Moinhos da Ribeira	0,000011	667	111	20	1 000	20 000 000
	Foz da Sertã	0,000006	667	111	19	1 000	20 000 000
	Cançal	0,000019	667	111	25	1 000	20 000 000
	Rosadouro	-	-	-	-	-	-
	Várzea de Pedro	0,000073	667	111	22	1 000	20 000 000
	Sambado	0,000191	667	111	22	1 000	20 000 000
Almeigue	0,000036	667	111	22	1 000	20 000 000	

**Quadro 13.** Concentração e caudal estimado para as descargas com origem nos núcleos urbanos, nos meses de Verão, na área de intervenção do POACB.

Concelho	Núcleo Populacional	Meses de Verão					COLIFORMES TOTAIS (NMP/L)
		CAUDAL B (m <sup>3</sup> /s)	CBO <sub>5</sub> (mg/L)	N inorg. (mg/L)	P inorg. (mg/L)	SST (mg/L)	
Abrantes	Martinchel	0,000519	667	111	22	1 000	20 000 000
	Aldeia do Mato	0,000272	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bairros	0,000133	667	111	23	1 000	20 000 000
	Cabeça Gorda	0,000145	667	111	22	1 000	20 000 000
	Carreira do Mato	-	-	-	-	-	-
	Carregal	0,000035	667	111	23	1 000	20 000 000
	Maxieira	0,000068	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bioucas	0,000202	667	111	22	1 000	20 000 000
	Atalaia	0,000328	667	111	22	1 000	20 000 000
	Sentieiras	0,000130	667	111	22	1 000	20 000 000
	Cabeça Ruiva	0,000058	667	111	22	1 000	20 000 000
	Carrapatoso	0,000092	667	111	23	1 000	20 000 000
	Maxial	0,000217	667	111	22	1 000	20 000 000
	Maxial do Além	0,000063	667	111	22	1 000	20 000 000
	Vale de Açor	0,000088	667	111	22	1 000	20 000 000
Água das Casas	0,000157	667	111	22	1 000	20 000 000	
Matagosinha	0,000113	667	111	23	1 000	20 000 000	
Tomar	Castelo do Bode	0,000385	667	111	22	1 000	20 000 000
	Alvrang	0,000330	667	111	22	1 000	20 000 000
	Levegada	0,000061	667	111	23	1 000	20 000 000
	Outeiro do Forno	0,000077	667	111	23	1 000	20 000 000
	Vale do Vime	-	-	-	-	-	-
	Vila Nova	0,000098	667	111	22	1 000	20 000 000
	Espinheiro	0,000061	667	111	23	1 000	20 000 000
Ferreira do Zêzere	Barreiras	0,000281	667	111	22	1 000	20 000 000
	Montes	0,000361	667	111	22	1 000	20 000 000
	Bairrada	0,000390	667	111	22	1 000	20 000 000
	Cardal	0,000083	667	111	22	1 000	20 000 000
	Castanheira	0,000032	667	111	22	1 000	20 000 000
	Maxial	0,000028	667	111	21	1 000	20 000 000
	Pombeira	0,000147	667	111	22	1 000	20 000 000
	Casal da Pombeira	0,000036	667	111	22	1 000	20 000 000
	Rio Fundeiro	0,000018	667	111	20	1 000	20 000 000
	Barrada	0,000064	667	111	22	1 000	20 000 000
	Rio Cimeiro	0,000064	667	111	22	1 000	20 000 000
	Vale Serrão	0,000071	667	111	23	1 000	20 000 000
	Casal Ascenso						
Antunes	0,000031	667	111	22	1 000	20 000 000	
Dornes	0,000130	667	111	22	1 000	20 000 000	
Horta da Coelha	0,000019	667	111	25	1 000	20 000 000	

Concelho	Núcleo Populacional	Meses de Verão					COLIFORMES TOTAIS (NMP/L)
		CAUDAL B (m <sup>3</sup> /s)	CBO <sub>5</sub> (mg/L)	N inorg. (mg/L)	P inorg. (mg/L)	SST (mg/L)	
Figueiró dos Vinhos	Casalinho de Sant.	0,000045	667	111	23	1 000	20 000 000
	Valbom	0,000014	667	111	26	1 000	20 000 000
	Foz do Alge	0,000099	667	111	22	1 000	20 000 000
Vila de Rei	Cabecinha	0,000061	667	111	23	1 000	20 000 000
	Macieira	0,000046	667	111	23	1 000	20 000 000
	Aveleira	0,000078	667	111	22	1 000	20 000 000
	Carregueira	0,000005	667	111	22	1 000	20 000 000
	Arrancoeira	0,000010	667	111	22	1 000	20 000 000
	Malhada	0,000060	667	111	23	1 000	20 000 000
	Zaboeira	0,000044	667	111	21	1 000	20 000 000
	Alcamim	0,000036	667	111	22	1 000	20 000 000
	Nova Isna	0,000003	667	111	37	1 000	20 000 000
	Fernandaires	0,000027	667	111	21	1 000	20 000 000
Sertã	Trísio	0,000076	667	111	23	1 000	20 000 000
	Moinhos da Ribeira	0,000026	667	111	22	1 000	20 000 000
	Foz da Sertã	0,000017	667	111	21	1 000	20 000 000
	Caniçal	0,000030	667	111	23	1 000	20 000 000
	Rosadouro	-	-	-	-	-	-
	Várzea de Pedro	0,000101	667	111	22	1 000	20 000 000
	Sambado	0,000251	667	111	22	1 000	20 000 000
Almegue	0,000052	667	111	22	1 000	20 000 000	

### Habitações isoladas

Foram também consideradas as habitações localizadas fora de zonas definidas no POACB como áreas urbanas e áreas turísticas, a uma distância de até 150 metros ao plano de água da albufeira ao NPA. O POACB identifica 462 habitações nas condições referidas anteriormente. Utilizando as capitações que constam do Quadro 14, e admitindo que cada habitação tem três residentes, calcularam-se as cargas de sólidos suspensos totais, CBO<sub>5</sub>, fósforo total, azoto total e coliformes totais geradas por essas habitações (Quadro 15).

**Quadro 14.** Capitações utilizadas na estimativa de cargas poluentes com origem em habitações isoladas.

Capitação	Fonte:	
	PBH do rio Tejo	PNA
CBO <sub>5</sub> (gr/hab/dia)	60	60
N total (gr/hab/dia)	10	10
P total (gr/hab/dia)	3	3
Água consumida L/(hab/dia)	90	-
Coliformes totais (unidades/habitante/dia)	-	1,8X10 <sup>9</sup>

**Quadro 15.** Cargas e caudal poluente com origem em 462 habitações isoladas.

Carga (kg/ano)				Carga (NMP/ano)	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)
N TOTAL	P TOTAL	CBO <sub>5</sub>	SST	COLIFORMES TOTAIS	
5 081	1 524	30 485	45 727	9,11 x10 <sup>14</sup>	124,7

Considerando o valor de caudal gerado pelas 462 habitações, determinaram-se os valores de concentração das cargas poluentes, que são apresentados no Quadro 16.

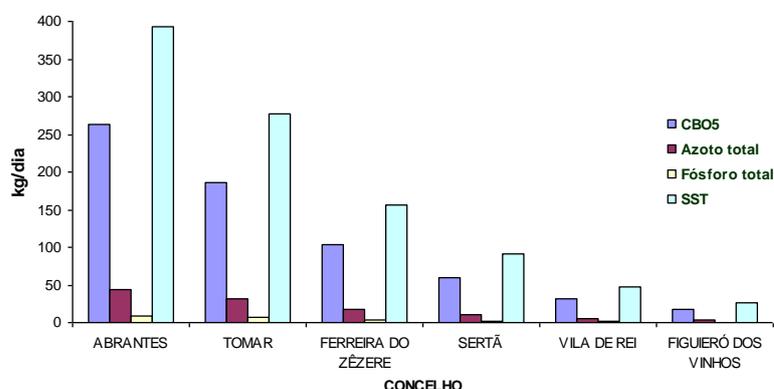
**Quadro 16.** Concentrações e caudal poluente com origem em 462 habitações isoladas.

Concentração (mg/L)				Concentração (NMP/L)	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)
N TOTAL	P TOTAL	CBO <sub>5</sub>	SST	COLIFORMES TOTAIS	
111	33	667	1 000	2 000 0000	124,7

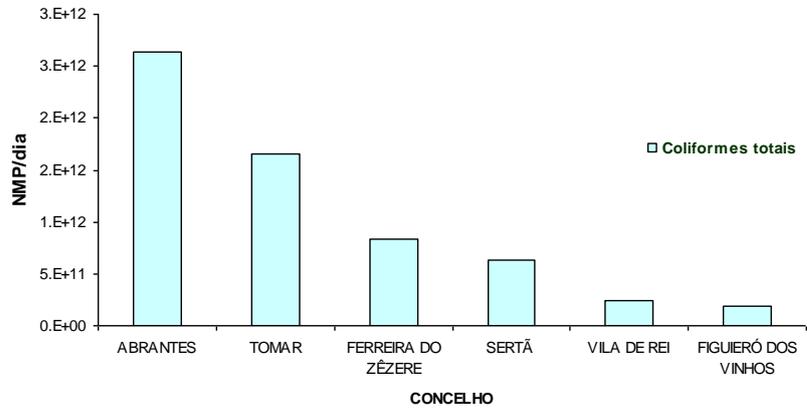
O relatório síntese do POACB, refere que as moradias incluídas na área de intervenção possuem fossas sépticas individuais, de características desconhecidas e cuja limpeza é facultativa, promovendo assim a descarga dos efluentes no solo, em linhas de água e na própria albufeira. Assim, e na impossibilidade de estimar os tempos de retenção das fossa sépticas, admitiu-se, conservativamente, que toda a carga urbana gerada nas habitações isoladas existentes na área de intervenção aflui à albufeira.

Tendo como base a estimativa de cargas realizada, foi possível obter a contribuição total e individualizada de cada um dos sete concelhos que possuem território na área de intervenção do POACB, relativamente às cargas de origem urbana de CBO<sub>5</sub>, N total, P total, SST e coliformes totais.

Através da análise dos gráficos de barras apresentados nas Figuras 225 e 226, é possível verificar que os concelhos de Abrantes, Tomar e Ferreira do Zêzere são, relativamente às cargas de origem urbana, os potencialmente mais poluentes.

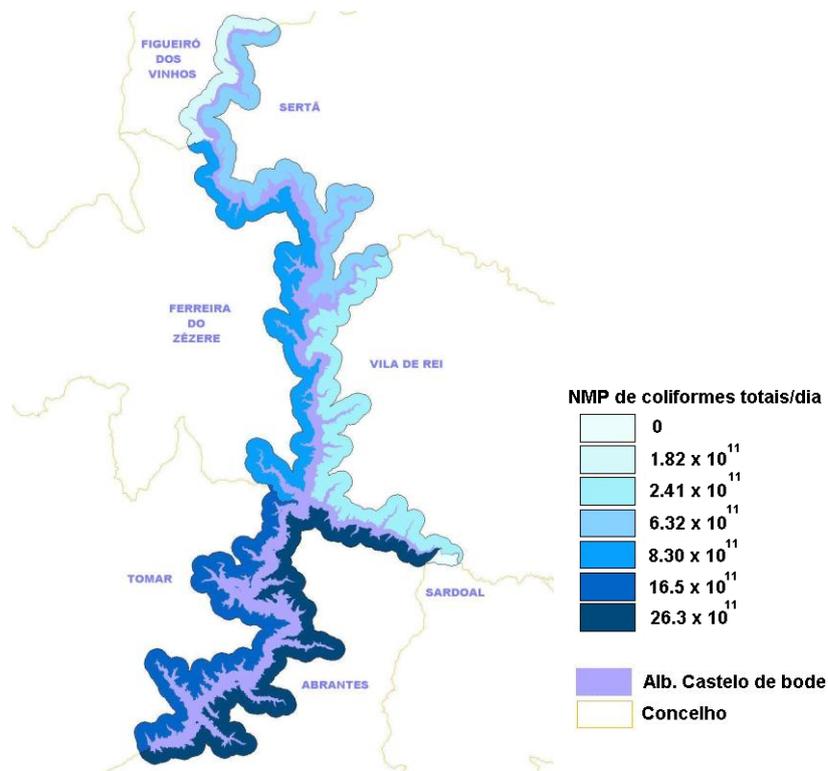


**Figura 225.** Carga poluente total de origem urbana de CBO<sub>5</sub>, N total, P total e SST, gerada na área de intervenção do POACB por concelho.

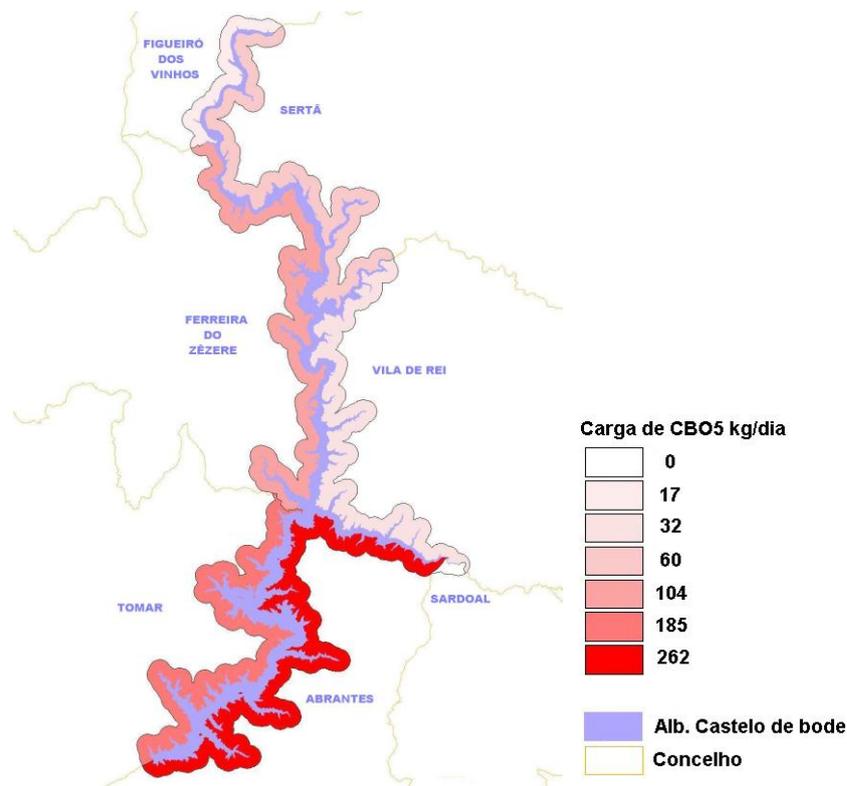


**Figura 226.** Carga poluente total de origem urbana de coliformes totais, gerada na área de intervenção do POACB por concelho.

Através da análise das Figuras 227 e 228 é possível observar a distribuição espacial das cargas de origem urbana, geradas por concelho, na área de intervenção do POACB.



**Figura 227.** Distribuição espacial da carga de coliformes totais de origem urbana gerada na área de intervenção de POACB por concelho.



**Figura 228.** Distribuição espacial da carga de CBO<sub>5</sub>, de origem urbana gerada na área de intervenção de POACB por concelho.

### 8.2.1.3 -Carga poluente de origem industrial

O POACB identifica 482 unidades industriais potencialmente poluentes existente na totalidade da área dos sete concelhos que parcialmente se integram na área de intervenção do plano, sendo o sector do azeite o mais representativo, com 352 unidades identificadas. No entanto, como não existe um cadastro de fontes poluidoras, não estão disponíveis valores de concentração e de caudal, que caracterizem a qualidade das descargas industriais. Assim, o POACB considera que o reduzido número de industrias que existem na sua área de intervenção directa, nas quais se incluem lagares e unidades agro-pecuárias não licenciadas, estão agregadas às diferentes freguesias.

Após a análise dos dados incluídos no PBH do rio Tejo, que incluem a localização das unidades industriais existentes na bacia hidrográfica, constatou-se que na área de intervenção directa do POACB, existe um lagar e uma carpintaria. No entanto, é possível que existam várias unidades agro-pecuárias, não licenciadas.

Assim, face à inexistência de dados monitorizados, e considerando a sazonalidade associada à industria produtora de azeite e a reduzida presença do sector industrial na área de intervenção, não foi incluída na massa de água simulada qualquer descarga de origem industrial, gerada na área de jurisdição do POACB.

### **8.2.2 - Carga poluente gerada na área drenante não incluída na área de intervenção do POACB**

Na ausência de informação que permitisse outra abordagem, a carga gerada na área drenante não incluída na área de intervenção do POACB, foi caracterizada pelos valores de concentração observados nas estações de qualidade da água do SNIRH, que refletem a carga total afluyente indiferenciada, das diferentes fontes poluidoras que drenam para as correspondentes secções. A redução de carga afluyente gerada nesta área drenante, com o objectivo de implementar um cenário de simulação, será posteriormente efectuada através da diminuição percentual dos valores de concentração total afluyente à albufeira, de acordo com o descrito na secção 8.5 do presente documento.

### **8.3 - Distribuição espacial das descargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB**

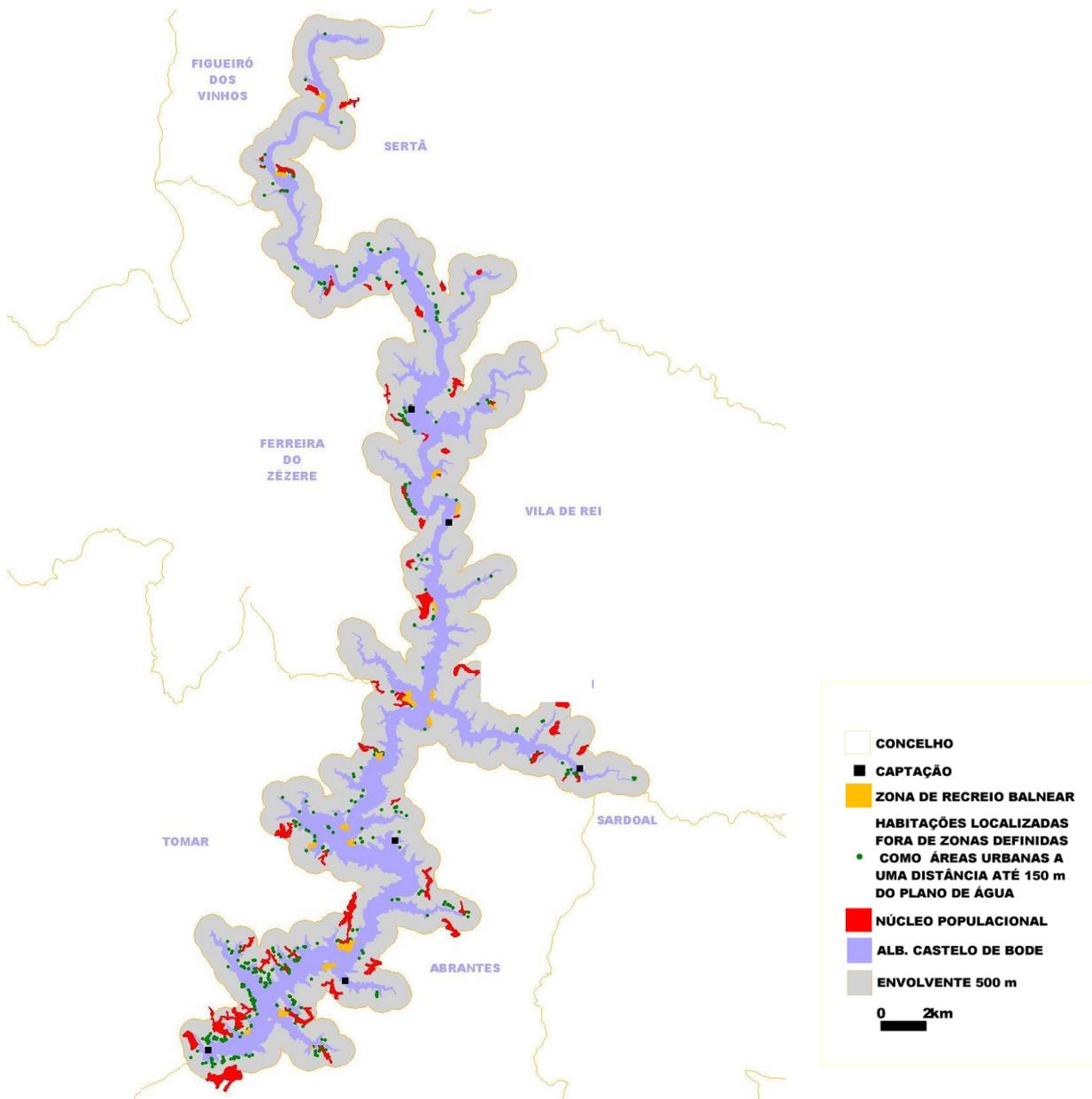
Com o objectivo de avaliar o efeito da carga urbana, agrícola e florestal, proveniente da área de intervenção do POACB, nomeadamente a carga com origem nos núcleos urbanos (Quadro 11), e nas habitações localizadas fora de zonas definidas como áreas urbanas e áreas turísticas a uma distância até 150 metros do plano de água da albufeira ao NPA (Quadro 15) procedeu-se à distribuição espacial das descargas, de acordo com o apresentado nas Figuras 230, 231 e 232. Nestas figuras é possível diferenciar se uma determinada carga é incluída como uma descarga pontual (tributário pontual), ou se, por outro lado, a sua dispersão espacial conduziu à sua inclusão de forma difusa (tributário distribuído).

A elevada dispersão espacial de alguns núcleos populacionais e, fundamentalmente, de algumas moradias isoladas (Figura 229), conduziu à inclusão das suas descargas de forma difusa, através de tributários distribuídos. Adicionalmente a opção referida evitou considerar um número excessivo de tributários, que poderiam aumentar significativamente o tempo de simulação e dificultar a gestão dos ficheiros de entrada de dados no modelo.

A cada um dos 10 ramos afluentes, foi associado um tributário distribuído, que inclui a carga difusa com origem na agricultura e nas florestas, estimada para a área drenante relativa a cada um deles. (Figura 230)

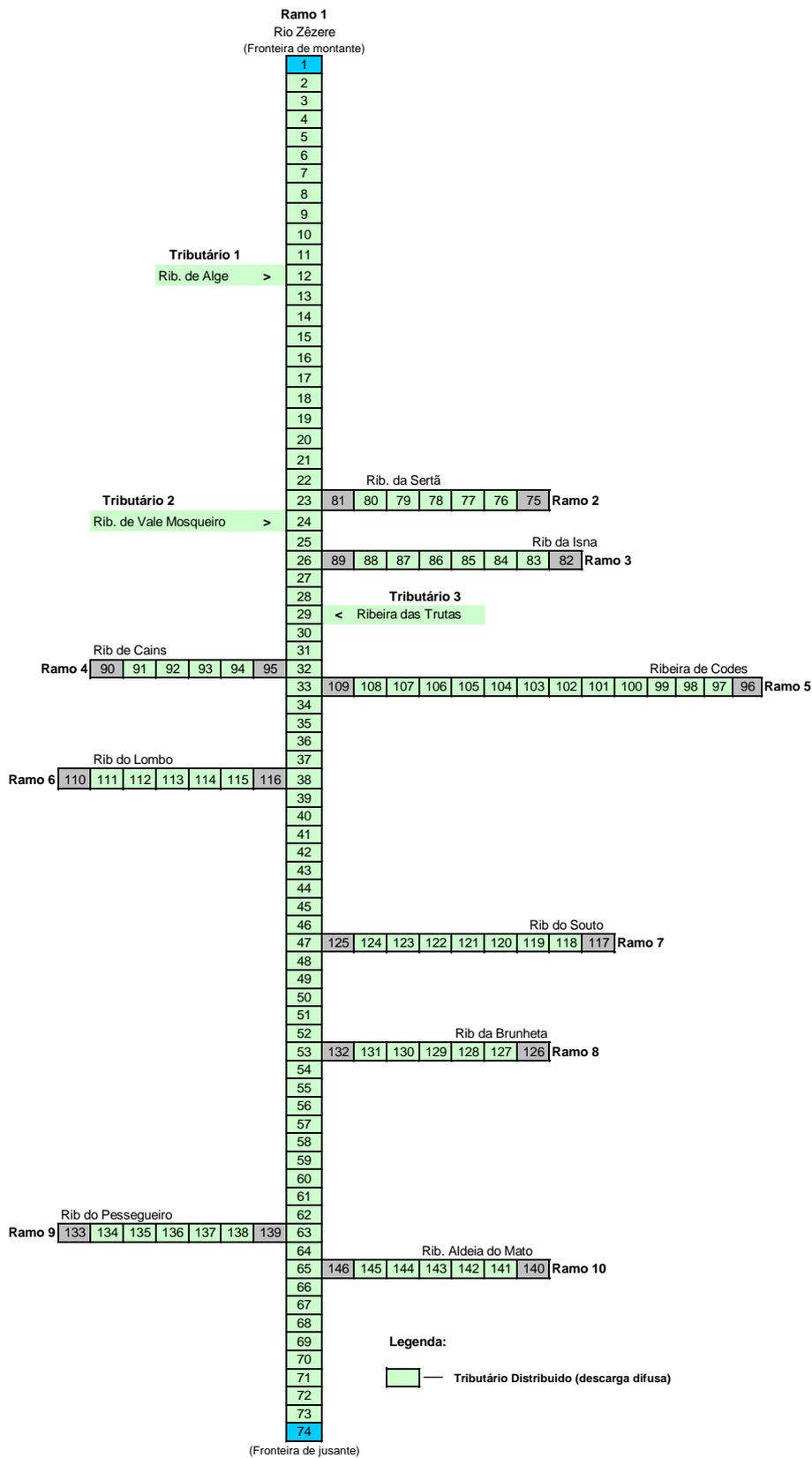
A carga afluyente gerada pelas moradias isoladas foi distribuída por oito tributários pontuais e por cinco tributários distribuídos como se pode observar na Figura 231. A distribuição das cargas poluentes com origem nos núcleos populacionais, foi realizada considerando 18 tributários pontuais e 1 tributário distribuído (Figura 232).

A totalidade da carga afluyente foi dividida por 26 tributários (descarga pontual) e 10 tributários distribuídos (descarga difusa).

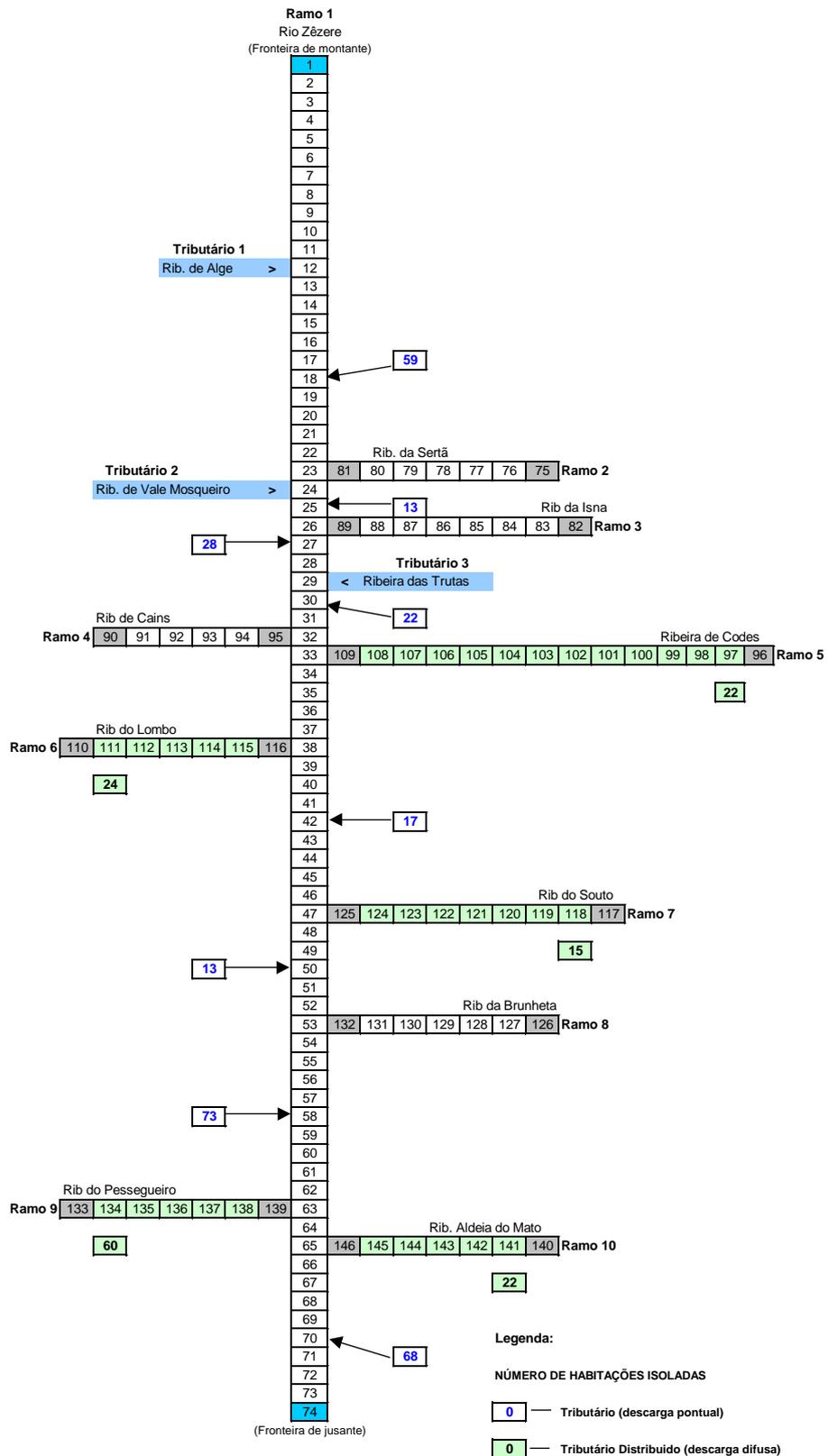


**Figura 229.** Localização dos núcleos populacionais e das habitações isoladas na área de intervenção do POACB.

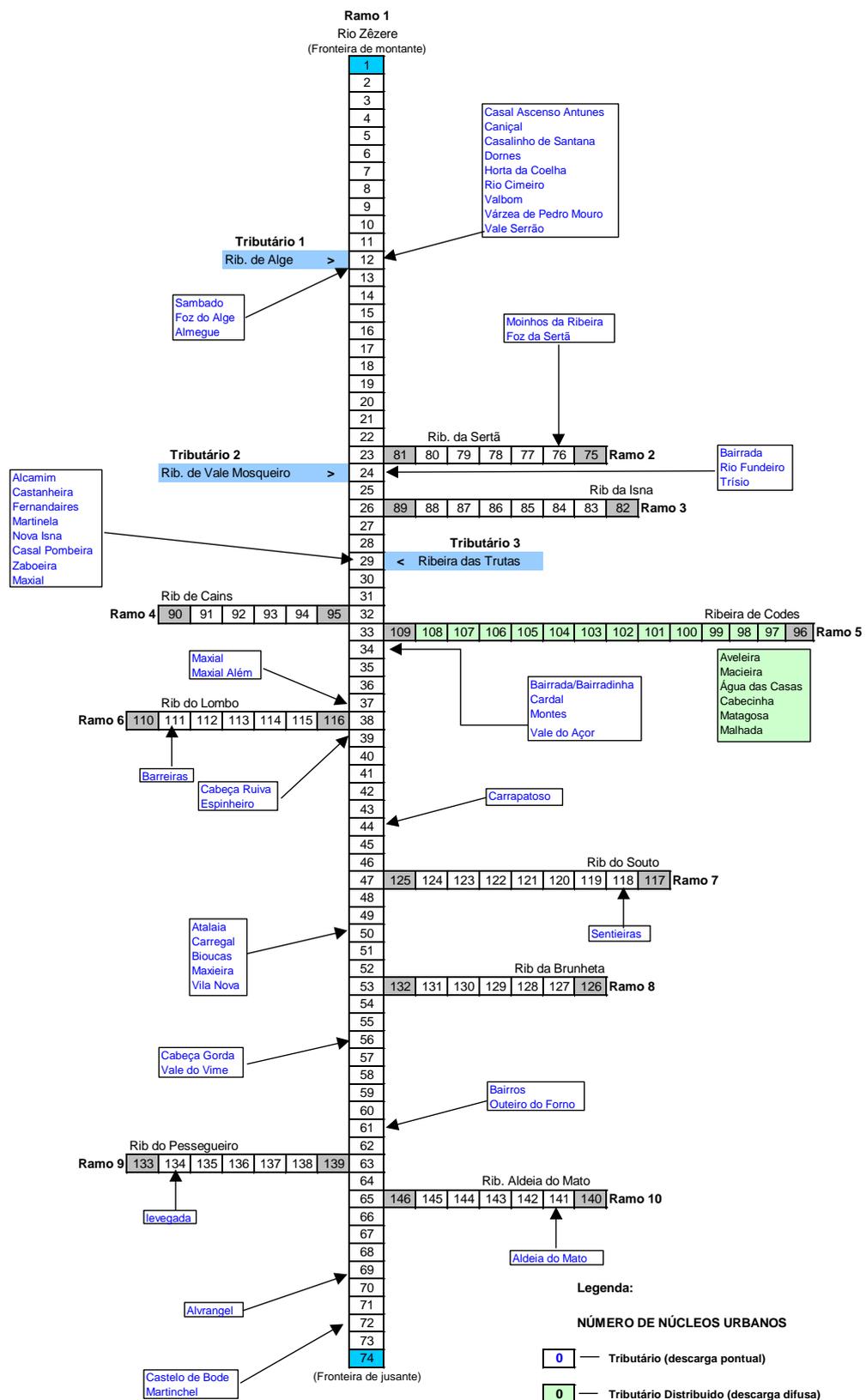
Observando a Figura 229, verifica-se que o número de núcleos populacionais e de moradias isoladas, aumenta significativamente, com a proximidade à barragem de Castelo de Bode.



**Figura 230.** Distribuição espacial das descargas difusas, com origem na área agrícola e florestal, localizada a uma distância até 500 metros do plano de água ao NPA.



**Figura 231.** Distribuição espacial do número de habitações localizadas fora de zonas definidas como áreas urbanas a uma distância até 150 metros do plano de água ao NPA.



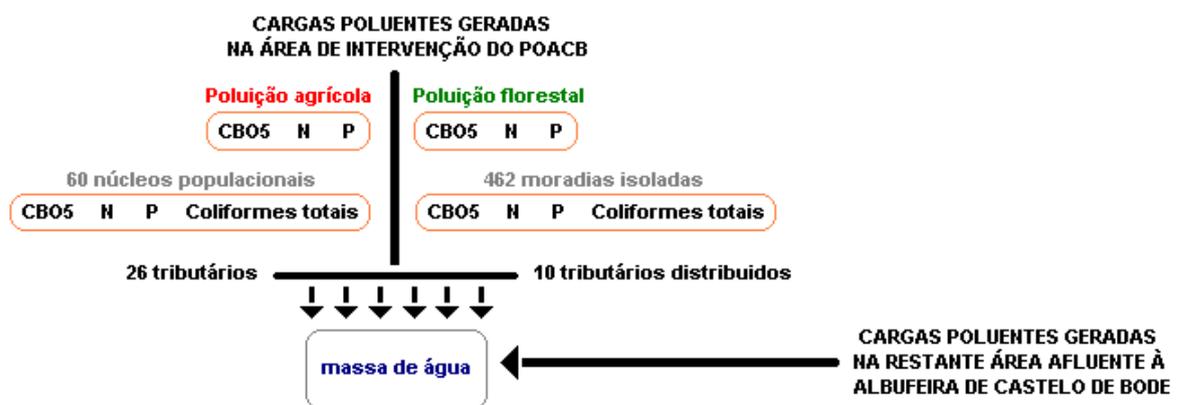
**Figura 232.** Distribuição espacial das descargas com origem nos núcleos urbanos localizados a uma distância até 500 metros do plano de água ao NPA.

## 8.4 - Alterações introduzidas no modelo CE-QUAL-W2 face à nova distribuição de cargas afluentes

A integração dos caudais poluentes gerados na área de intervenção do POACB introduziu alterações significativas no balanço de volumes da albufeira de Castelo de Bode.

Cada um dos 26 tributários (descarga pontual) e dos 10 tributários distribuídos (descarga difusa), são representados pelo correspondente caudal e pela respectiva concentração de carga poluente. No caso dos tributários pontuais, o caudal aflui ao sistema no segmento onde se pretende que ocorra a descarga. Os tributários distribuídos são incluídos como uma descarga difusa, distribuída uniformemente pelo ramo considerado. Assim, para que modelo simule correctamente os níveis de água observados ao longo do período de simulação, foi necessário calcular os valores de caudal introduzidos pelas descargas poluentes e retirá-lo do caudal afluente ao ramo onde ocorre a descarga.

Na Figura 233 pode-se observar a discretização de cargas afluentes, geradas na área de intervenção do POACB, que constituem as aflúências à massa de água simulada pelo modelo CE-QUAL-W2.



**Figura 233.** Representação esquemática da integração de cargas afluentes no modelo CE-QUAL-W2

Como a carga gerada em cada núcleo populacional ou moradia é incluída individualmente no sistema, verifica-se que é possível avaliar o efeito na massa de água de um núcleo populacional, ou de uma moradia isolada. O mesmo se aplica às cargas de origem agrícola e florestal. De facto, é possível avaliar o efeito da carga difusa na massa de água em cada um dos ramos onde se incluiu um tributário distribuído.

## 8.5 - Simulação matemática de diferentes cenários

### 8.5.1 - Introdução

Assegurar a qualidade da água para os diferentes usos constitui um objectivo incontornável para as sociedades actuais, face à sua importância para a saúde pública e para a preservação dos ecossistemas naturais. Assim, e face aos diplomas normativos que têm como objectivo promover a

utilização sustentável da água, surge a necessidade de avaliar o efeito das medidas preconizadas nesses mesmos diplomas.

A implementação do modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Castelo de Bode permite analisar as alterações na qualidade da água, resultantes das reduções previstas de carga afluente, de acordo com as medidas preconizadas no POACB e no PBH do rio Tejo.

### 8.5.2 - Definição de cenários de simulação

A definição dos cenários de simulação, tem como objectivo quantificar as reduções de carga afluente ( $\text{CBO}_5$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e coliformes totais), necessárias para atingir os objectivos do POACB e do PBH do rio Tejo.

Neste contexto verifica-se que o regulamento do POACB interdita a rejeição de efluentes urbanos e industriais sem tratamento adequado e define, entre outras, as seguintes regras para a utilização da albufeira e da zona envolvente:

- o tratamento e descarga de efluentes deverá atender à sensibilidade do meio receptor e aos usos da água, exigindo-se, por norma, tratamento terciário;
- os empreendimentos turísticos deverão considerar sistemas de tratamento terciário ou superior;
- interdita a instalação de explorações pecuárias intensivas na área de protecção, bem como o estabelecimento de indústrias que produzam ou usem produtos químicos tóxicos ou com levados teores de fósforo ou de azoto.

A inexistência de dados de monitorização relativos aos efluentes gerados pelos empreendimentos turísticos e pelas unidades industriais, que se localizam na área de intervenção do POACB, limitou a análise realizada ao tratamento das descargas de origem urbana.

O PBH do rio Tejo tem como objectivo implementar medidas de gestão da qualidade da água, que visam cumprir normas definidas pelos diplomas legais aplicáveis à bacia hidrográfica do rio Tejo, incluindo o caso específico da bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode. Assim, tornou-se necessário cumprir o disposto pelo Decreto-Lei nº 152/97, aplicável à bacia hidrográfica em estudo, e que determina que até ao final do ano de 2000 todos os aglomerados urbanos com mais de 15 000 habitantes equivalentes devem dispor de sistemas de drenagem e tratamento, regra geral secundário, sendo que para sistemas de menor dimensão (2 000-15 000 hab equiv.) a data limite é 2005.

Com o objectivo de cumprir as regras e normas referidas, definiram-se os seguintes cenários de simulação:

**CENÁRIO 0** – Este cenário representa a situação de referência da massa de água, correspondente ao ano de 2002. A opção por este ano prende-se com o facto de o esforço de calibração ter sido realizado para este período de tempo específico, tendo-se verificado que a qualidade do ajustamento entre os valores observados e os resultados do modelo é superior aos resultados obtidos para o ano de 2003. No entanto, deve-se referir que para o ano de 2003 também se

implementaram os cenários de simulação referidos nesta secção, tendo-se obtido resultados análogos aos conseguidos para o ano de 2002.

**CENÁRIO 1** – Com a implementação deste cenário, pretende-se avaliar a influência das regras definidas no POACB. Assim, proceder-se-á à remoção de 90% das cargas de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais, de origem urbana, afluentes à albufeira de Castelo de Bode, com origem na área de intervenção do POACB. Desta forma será simulado o tratamento secundário de todos os efluentes urbanos gerados na área de intervenção.

**CENÁRIO 2** – Este cenário representa a implementação dos objectivos contemplados no PBH do rio Tejo, que visam cumprir o disposto no Decreto-Lei nº 152/97, relativo à implementação de sistemas de drenagem e de tratamento de águas residuais.

A área considerada para a aplicação das normas referidas corresponde à área drenante para a albufeira de Castelo de Bode, não incluindo a área de intervenção do POACB.

A remoção de carga foi realizada, considerando que as águas residuais com origem nos aglomerados populacionais, são recolhidas por redes de drenagem e sujeitas a tratamento secundário. Assim, foi necessário considerar os níveis de atendimento por redes de drenagem e as eficiências de tratamento por concelho, na área em estudo.

Com a análise realizada, concluiu-se que para atingir os objectivos propostos, teria que se remover 51% do valor total de concentração da CBO<sub>5</sub> e 90 % da concentração de coliformes totais afluente à albufeira de Castelo de Bode, através do seu ramo principal, o rio Zêzere. Na secção 8.5.3 descreve-se, com mais rigor, a metodologia adoptada para a implementação deste cenário de simulação.

**CENÁRIO 3** – Com o objectivo de avaliar em conjunto as medidas estabelecidas pelo POACB e pelo PBH do rio Tejo, implementou-se um cenário de simulação, que conjuga o Cenário 1 e o Cenário 2.

**CENÁRIO 4** – Com a criação deste cenário, pretende-se avaliar o efeito na massa de água do potencial tratamento terciário de todas as descargas de água residuais urbanas, geradas na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode. Assim, pretende-se avaliar o efeito da remoção de 90% da carga de CBO<sub>5</sub>, NO<sub>x</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, afluente à albufeira de Castelo de Bode.

### 8.5.3 - Integração de cenários de simulação no modelo CE-QUAL-W2

Nesta secção descreve-se o processo de integração dos cenários de simulação definidos, no modelo CE-QUAL-W2.

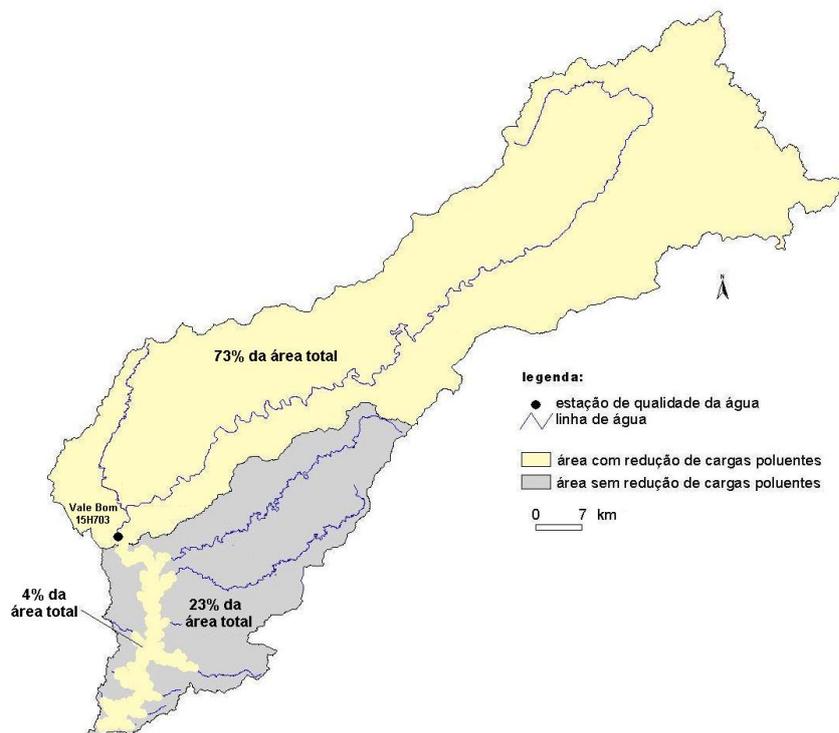
O **Cenário 0** caracteriza a situação de referência (ano de 2002). Assim, não foi necessário introduzir qualquer alteração no modelo.

A implementação do **Cenário 1** representa o efeito da remoção de 90% da carga afluente de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais, com origem em 60 núcleos urbanos e 462 habitações isoladas, localizados na área de intervenção do POACB.

Como todas as aflúncias ao modelo com origem na área de intervenção estão discretizadas por fonte de poluição, e distribuídas por 26 tributários pontuais e 10 tributários distribuídos, reduziram-se individualmente, e numa percentagem de 90%, todas as aflúncias de carga urbana de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais.

O **Cenário 2** tem como objectivo avaliar as alterações na qualidade da água resultantes da aplicação das normas incluídas no Decreto-Lei nº 152/97, relativas à implementação de sistemas de drenagem e de tratamento secundário de águas residuais em todos os aglomerados urbanos, com mais de 2 000 habitantes equivalentes, na área drenante à albufeira de Castelo de Bode, não incluídas na área de intervenção do POACB. Na análise realizada admitiu-se que todos os aglomerados da área drenante, possuem mais de 2 000 habitantes equivalentes, pois não existem dados relativos a núcleos urbanos com um número de habitantes equivalentes inferior ao referido.

A carga poluente gerada em 73% da área total referida é caracterizada pelos valores de concentração observados na estação de qualidade da água de Vale Bom (15H/03), localizada no rio Zêzere. Considerou-se que os valores de concentração observados na estação de qualidade referida caracterizam a totalidade da área drenante em estudo, uma vez que dos restantes 27% dessa área, 4% corresponde à área de intervenção do POACB e relativamente ao remanescente 23% não existe informação que suportar a análise desenvolvida, que deste modo resulta conservativa (Figura 234).



**Figura 234.** Áreas drenantes consideradas na definição de cenários de simulação.

A metodologia definida para a implementação deste cenário baseia-se na determinação de uma percentagem de remoção da concentração total de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais, afluente à massa de água, que considere os níveis de atendimento por redes de drenagem e as eficiências de tratamento, por concelho.

Como a carga de CBO<sub>5</sub> e de coliformes totais gerada na área drenante é caracterizada por um valor de concentração afluyente mensal, que inclui todas as fontes de poluição tóxicas e difusas, foi necessário estimar qual a percentagem de concentração de origem urbana, na concentração total afluyente à massa de água.

O PBH do rio Tejo inclui dados relativos à carga de CBO<sub>5</sub> de origem urbana e industrial, produzida nos diversos concelhos da bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode (Quadro 17). Admitindo que as descargas de CBO<sub>5</sub> de origem agrícola e florestal são bastante reduzidas, quando comparadas com as descargas urbanas e industriais, procedeu-se à estimativa, por concelho, da percentagem de carga urbana existente na carga total. Posteriormente, determinou-se a média dos valores obtidos por concelho, tendo-se concluído que 75% da carga de CBO<sub>5</sub> afluyente à albufeira de Castelo de Bode é de origem urbana.

**Quadro 17.** Carga urbana e industrial gerada nos concelhos incluídos na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode.

Concelho	Carga Urbana CBO <sub>5</sub> ton/ano	Carga Industrial CBO <sub>5</sub> ton/ano
Ansião	98,0	6,0
Belmonte	123,0	0,0
Castanheira de Pera	1212,0	887,0
Covilhã	922,0	1320,0
Ferreira do Zêzere	243,0	55,0
Figueiró dos vinhos	47,0	24,0
Fundão	1038,0	107,0
Góis	0,0	0,0
Guarda	46,0	44,0
Mação	240,0	173,0
Manteigas	50,0	26,0
Oleiros	27,0	2,0
Pedrógão Grande	21,0	28,0
Penamacor	182,0	8,0
Sabugal	41,0	-
Sertã	66,0	43,0
Vila de Rei	16,0	25,0
<b>Total</b>	<b>4372,0</b>	<b>2748,0</b>

Desta forma, foi possível determinar qual o valor de concentração de CBO<sub>5</sub> que aflui mensalmente à massa de água, e que corresponde, efectivamente, a poluição urbana. Para se obter a percentagem de remoção final, foi necessário aplicar a cada um dos valores de concentração de CBO<sub>5</sub> afluyente à massa de água o índice de atendimento por redes de drenagem em cada um dos concelhos (Quadro 18), e a eficiência global de remoção de CBO<sub>5</sub> por concelho, valores incluídos no PBH do rio Tejo (Quadro 19).

A análise referida, foi realizada dividindo os valores de concentração de  $CBO_5$  de origem urbana pelos concelhos considerados, em função da percentagem de carga urbana gerada em cada um deles (Quadro 17).

Uma vez que o objectivo global implicava recolher todos os efluentes urbanos, e obter uma percentagem de remoção de 90% de  $CBO_5$  em toda a área considerada, avaliou-se qual a percentagem necessária de atendimento por rede de drenagem e qual a eficiência de tratamento por concelho.

Concluiu-se que para atingir os objectivos propostos, teria que se remover 51% do valor total de concentração da  $CBO_5$  afluyente à albufeira de Castelo de Bode, através do seu ramo principal, o rio Zêzere.

Como não se dispunha de dados relativos à eficiência de remoção de coliformes totais por concelho, e como a percentagem de remoção associada ao tratamento secundário de uma água residual é de aproximadamente 90%, admitiu-se esta percentagem de remoção nas afluições mensais deste constituinte à albufeira de Castelo de Bode.

**Quadro 18.** Índice de atendimento por redes de drenagem da população residente nos concelhos incluídos na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode.

Concelho	População residente	Índice de atendimento da população		
		Com tratamento	Com rede de drenagem	Sem rede de drenagem
Ansião	11813	13,0	21,1	78,9
Belmonte	7479	16,9	66,2	33,8
Castanheira de Pêra	3822	53,2	53,2	46,8
Covilhã	50545	50,7	86,5	13,5
Ferreira do Zêzere	8902	6,8	6,8	93,2
Figueiró dos vinhos	7426	22,0	22,0	78,0
Fundão	30448	6,7	72,8	27,2
Góis	5057	75,2	75,2	24,8
Guarda	5888	92,2	92,2	7,8
Mação	8729	55,0	55,0	45,0
Manteigas	3996	93,0	93,0	7,0
Oleiros	6251	28,1	39,0	61,0
Pedrogão Grande	3953	37,0	37,0	63,0
Penamacor	6999	94,7	94,7	5,3
Sabugal	20022	28,9	30,6	69,4
Sertã	16258	19,1	19,1	80,9
Vila de Rei	3116	18,1	28,0	72,0

**Quadro 19.** Eficiência global de remoção de CBO<sub>5</sub>, N total e P total, por concelho.

Concelho	EFICIÊNCIA GLOBAL POR CONCELHO (%)		
	CBO <sub>5</sub>	N total	P total
Ansião	39,0	33,0	59,0
Belmonte	3,0	0,0	0,0
Castanheira de Pêra	82,0	21,0	14,0
Covilhã	28,0	4,0	4,0
Ferreira do Zêzere	84,0	33,0	32,0
Figueiró dos Vinhos	30,0	8,0	15,0
Fundao	6,0	2,0	2,0
Góis	97,0	39,0	36,0
Guarda	30,0	0,0	0,0
Mação	29,0	7,0	9,0
Manteigas	30,0	0,0	0,0
Oleiros	10,0	0,0	0,0
Pedrógão Grande	58,0	0,0	62,0
Penamacor	30,0	0,0	0,0
Sabugal	30,0	0,0	0,0
Sertã	36,0	5,0	6,0
Vila de Rei	43,0	11,0	7,0

O **Cenário 3**, foi implementado, através da conjugação do **Cenário 1** e do **Cenário 2**.

A implementação do **Cenário 4**, implicou igualmente a conjugação dos **Cenários 1 e 2**, de forma a remover as afluências de CBO<sub>5</sub> com origem na área de intervenção do POACB e na restante área drenante. Adicionalmente, foi também necessário remover as cargas de NO<sub>x</sub> e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, geradas nas referidas áreas.

A remoção de carga de NO<sub>x</sub> e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, gerados na área de intervenção do POACB, foi realizada reduzindo individualmente todas as afluências de carga de uma percentagem de 90%.

Para a remoção de carga ao nível da bacia hidrográfica, utilizou-se uma metodologia semelhante à abordagem delineada para a remoção de carga de CBO<sub>5</sub>, referida na implementação do **Cenário 2**. Foi necessário reduzir os valores de concentração total afluente, observados na estação de qualidade da água de Vale Bom (15H/03), da percentagem de carga de NO<sub>x</sub> e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, correspondente às descargas urbanas.

No relatório de progresso de Junho de 2004, relativo à aplicação do modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Castelo de Bode, incluiu-se uma estimativa de cargas de origem urbana, industrial, agrícola e florestal, afluentes a algumas secções de referência incluídas na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode, das quais se destaca a estação de qualidade de Vale Bom (15H/03), localizada no rio Zêzere.

Com base nos dados apresentados no referido relatório, foi possível concluir que a percentagem de azoto e fósforo total com origem urbana, na carga total afluente à estação de Vale Bom é de 70% e de 20%, respectivamente.

Desta forma, foi possível estimar os valores de concentração de  $\text{NO}_x$  e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de origem urbana, que posteriormente foram reduzidos de 90% do seu valor, para assim se efectivar a redução de carga pretendia.

## 8.6 - Análise de resultados

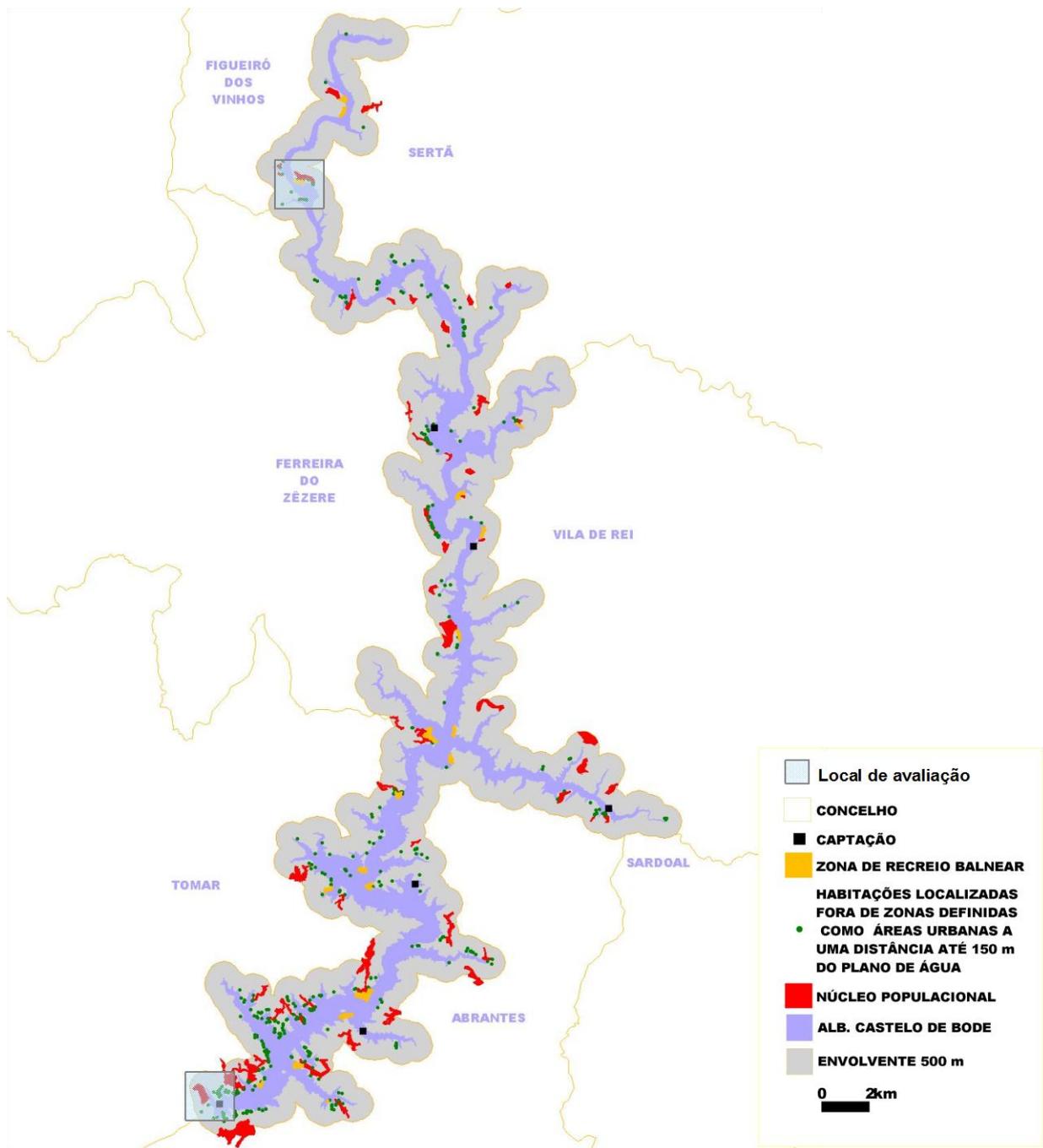
A análise dos resultados obtidos com a implementação dos cenários de simulação definida, foi realizada avaliando a evolução da qualidade da água face aos valores paramétricos obrigatórios, aplicáveis às águas destinadas ao consumo humano e ao recreio balnear, que constam no Decreto-Lei nº243/2001 de 5 de Setembro e no Decreto-Lei nº 236/1998, de 1 de Agosto, respectivamente, bem como tendo em consideração a classificação do estado trófico de uma massa de água de acordo com os critérios em vigor em Portugal (INAG).

Desta forma, e na sequência da avaliação realizada, pretende-se avaliar qual a influência das cargas de  $\text{CBO}_5$  e de coliformes totais, geradas na área de intervenção do POACB, e na restante área drenante afluente à massa de água.

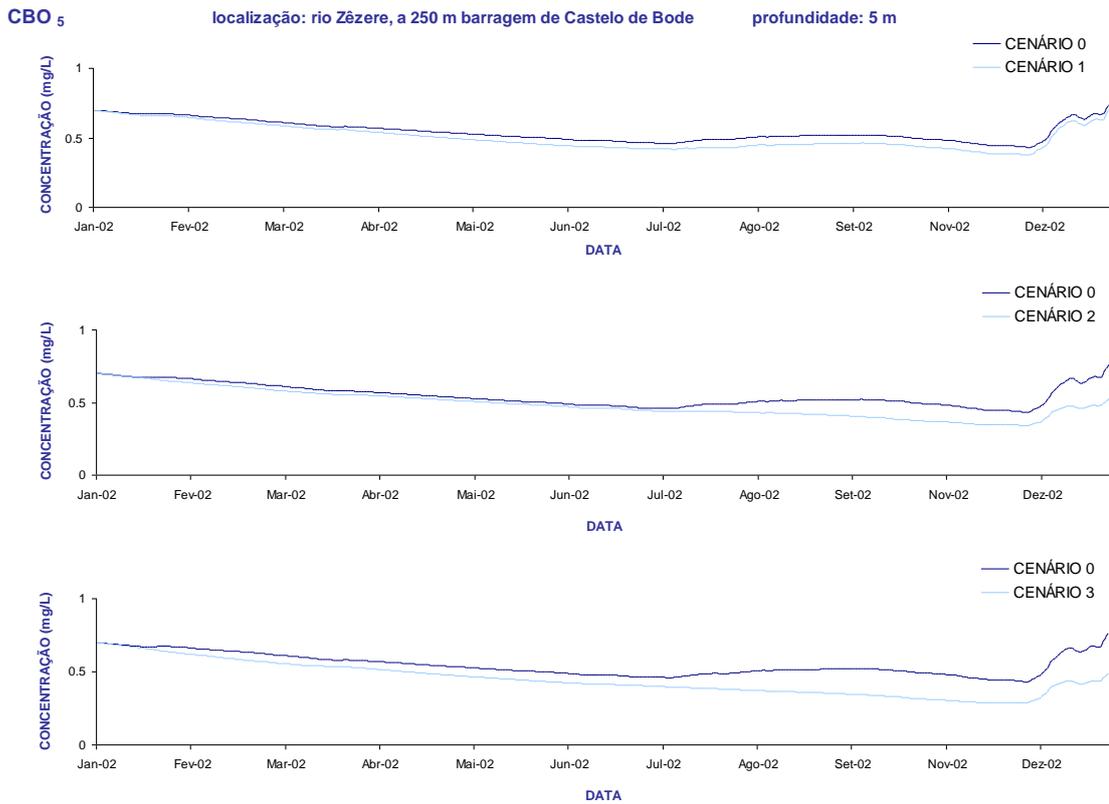
Relativamente à concentração de  $\text{CBO}_5$ , verifica-se que os valores obtidos com o modelo, a 250 metros da barragem de Castelo de Bode, nas proximidades da captação da EPAL (Figura 235), indicam que este parâmetro se encontra dentro dos limites estabelecidos pela legislação aplicável, às águas destinadas ao consumo humano (Figura 236).

Analisando a Figura 236, verifica-se que a remoção da  $\text{CBO}_5$  ao nível da bacia hidrográfica (**Cenário 2**) implica uma melhoria da qualidade da água superior à que se verificaria aplicando o mesmo grau de tratamento às águas residuais urbanas geradas na área de intervenção do POACB (**Cenário 1**), como seria de esperar, face à diferença dos valores de carga afluente.

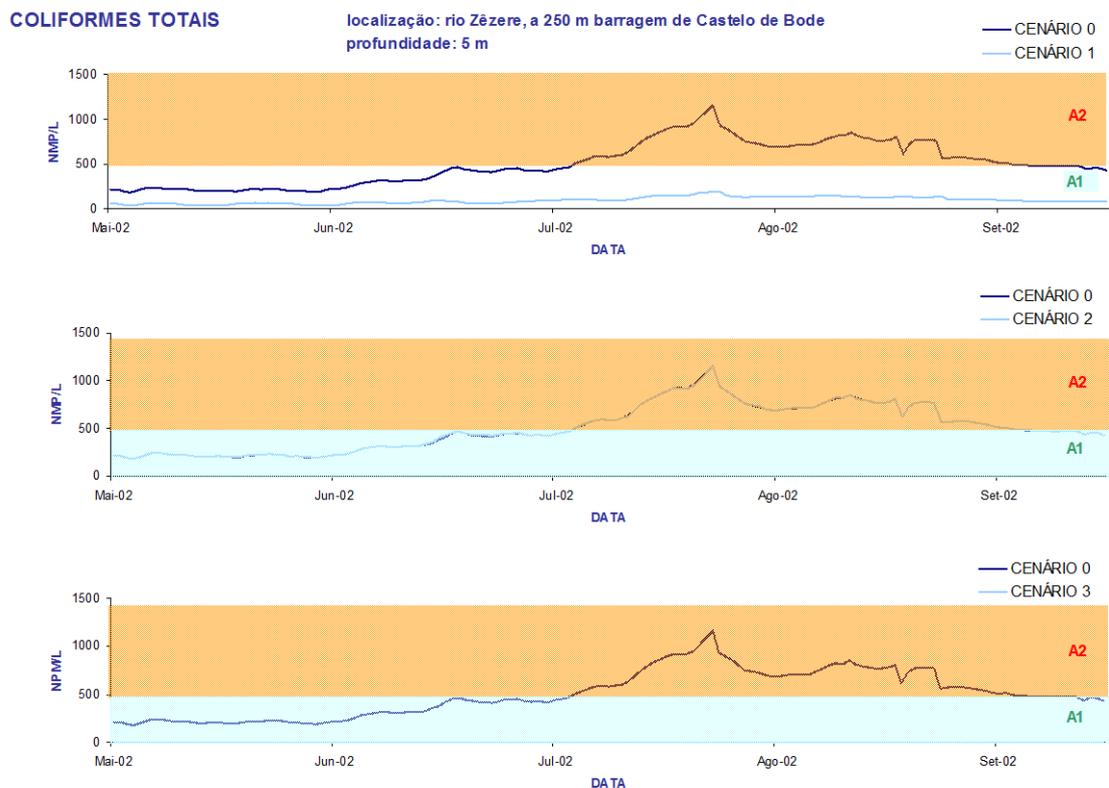
A avaliação das alterações na qualidade da água, relativamente à concentração de coliformes totais foi igualmente realizada a 250 metros da barragem de Castelo de Bode, nas proximidades da captação da EPAL, a 5 metros de profundidade, tendo-se comparado a evolução da concentração deste parâmetro na massa de água face aos limites legais, aplicáveis às águas destinada ao consumo humano (Figura 237).



**Figura 235.** Localização na massa de água, dos locais avaliados face à implementação de cenários de simulação.



**Figura 236.** Série anual de valores de CBO<sub>5</sub> obtidos com os diferentes cenários considerados.



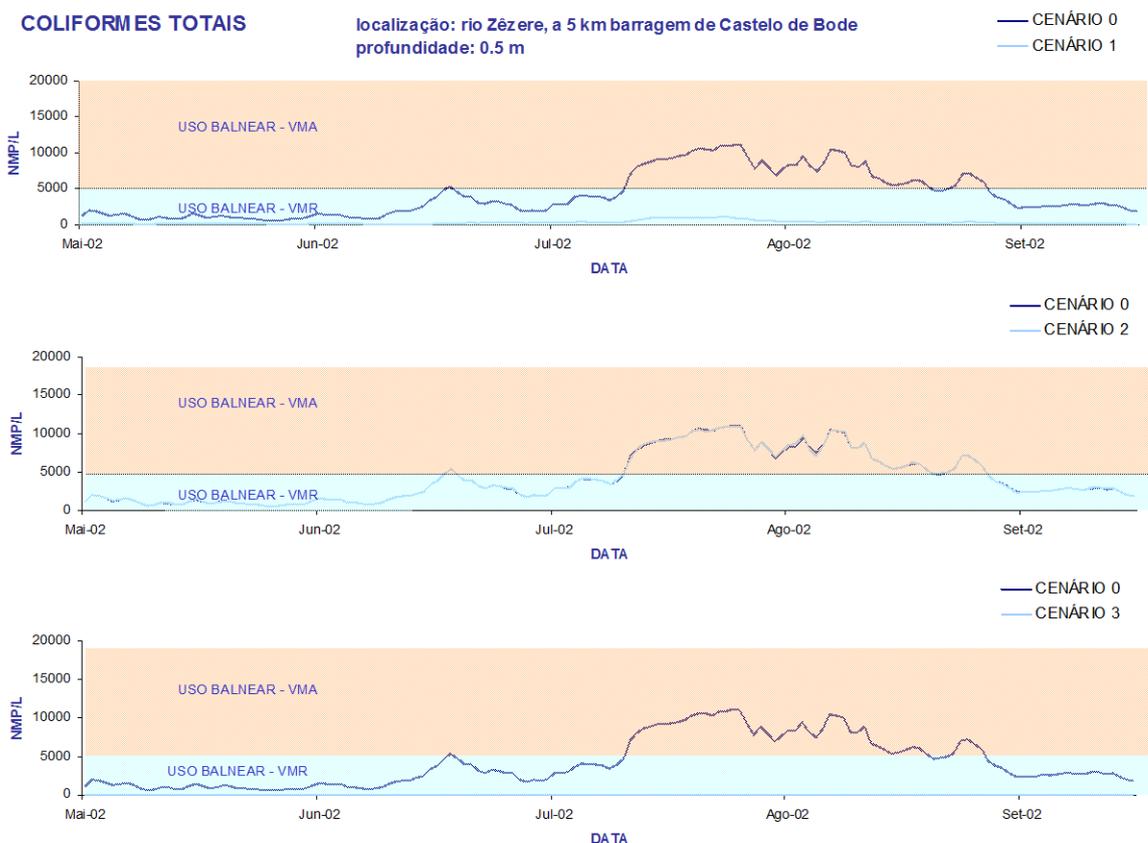
**Figura 237.** Série anual de valores de Coliformes totais obtidos com os diferentes cenários de simulação considerando o uso de água para consumo humano.

A análise da Figura 237, permite verificar que o **Cenário 1** implica uma melhoria substancial da qualidade da água. Verifica-se que os valores obtidos com o modelo indicam que, com a redução das descargas de coliformes totais com origem na área de intervenção do POACB, os valores de concentração deste parâmetro, passam a estar incluídos na classe A1, relativamente aos limites legais estabelecidos para a água destinada ao consumo humano.

Relativamente ao recreio balnear, avaliou-se a evolução da qualidade da água a 0,5 metros de profundidade, nas proximidades de uma zona balnear localizada 45 km a montante da barragem de Castelo de Bode e denominada Várzea de Pedro Mouro (Figura 235).

Estabelecendo a comparação dos resultados obtidos com o modelo e os intervalos legais de classificação da água para o recreio balnear (Figura 238), verifica-se que tal como para o uso humano existe uma melhoria significativa da qualidade da água, relativamente à concentração de coliformes totais. De facto, no que se refere aos valores de concentração de coliformes totais, a classificação da água destinada ao uso balnear mantém-se dentro dos limites do VMR, considerando a implementação dos **Cenários 1 e 3**.

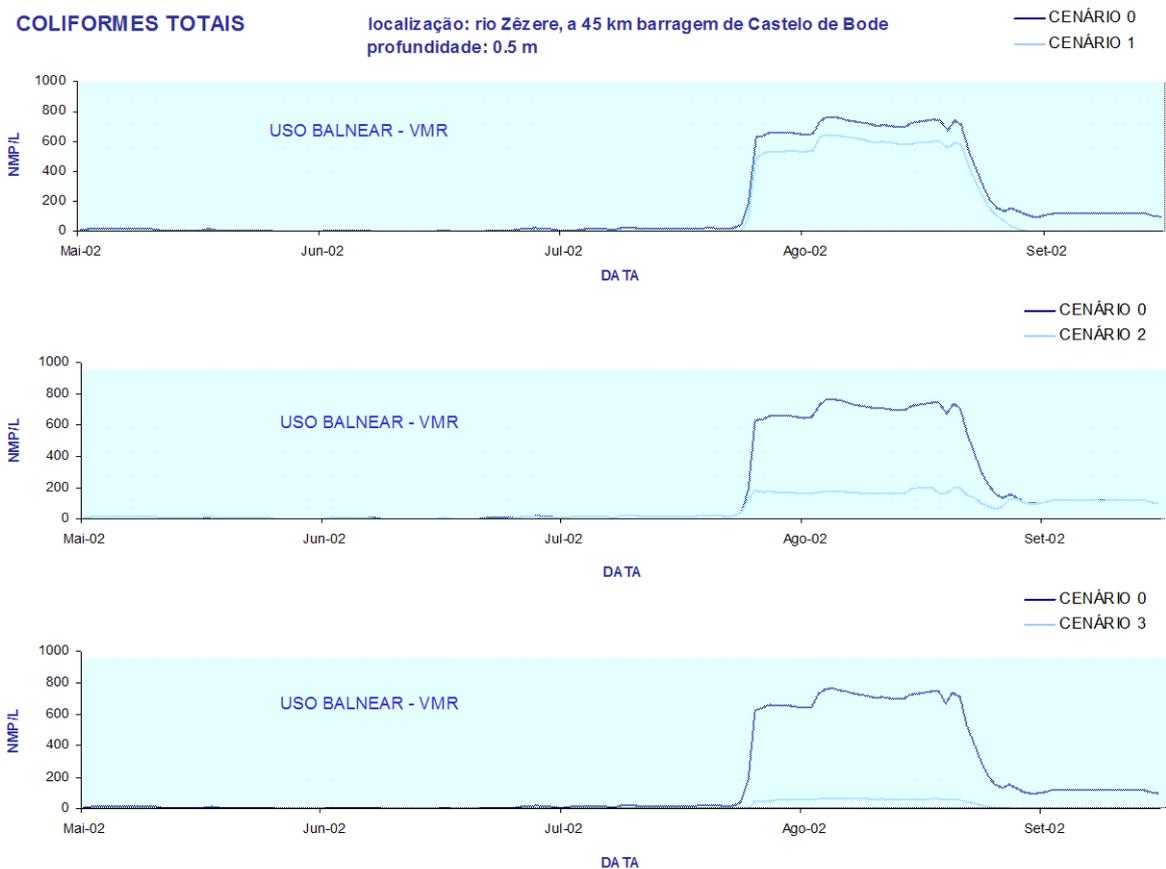
A análise do **Cenário 2** demonstra que a influência das cargas de coliformes geradas na bacia drenante, é reduzida, quando comparada com a evolução da qualidade da água, após a diminuição das cargas geradas na área de intervenção do POACB (**Cenário1**), que se pode observar na Figura 238.



**Figura 238.** Série anual de valores de Coliformes totais obtidos com os diferentes cenários de simulação, considerando o uso de água para recreio balnear.

Relativamente à análise realizada 45 km a montante da barragem de Castelo de Bode, verifica-se que o **Cenário 1** não representa uma redução significativa dos valores de concentração de coliformes totais (Figura 239), o que se deve ao facto de, nesta zona da albufeira de Castelo de Bode, o número de núcleos urbanos localizados na área da envolvente dos 500 metros ser ainda bastante reduzido (Figura 235).

Assim, verifica-se que neste local de avaliação a redução ao nível da bacia drenante (**Cenário 2**) tem mais influência na qualidade da água, do que a redução das cargas geradas na área de intervenção do POACB.



**Figura 239.** Série anual de valores de Coliformes totais obtidos com os diferentes cenários de simulação considerando o uso de água para recreio balnear.

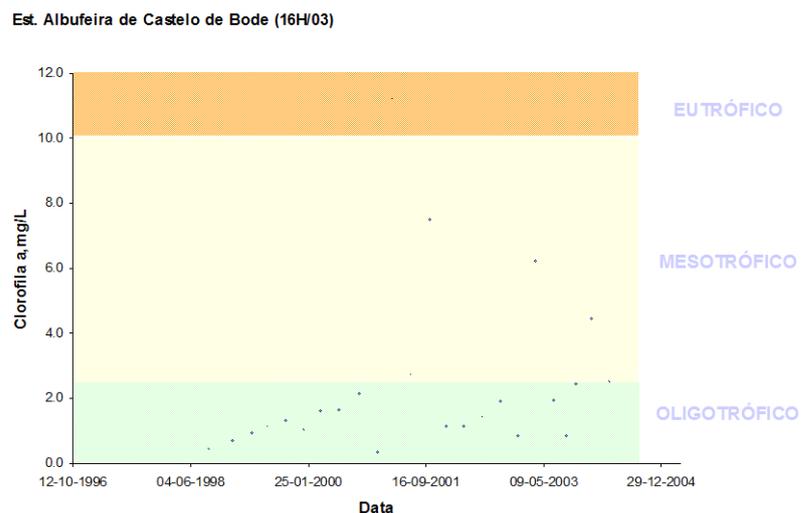
A simulação da concentração de coliformes totais permitiu concluir que as descargas deste parâmetro, com origem na área de intervenção do POACB, influenciam significativamente os valores de concentração observados na albufeira de Castelo de Bode, chegando mesmo a demonstrar-se que a sua remoção implica uma melhoria, relativamente a este parâmetro, na classificação legal da massa de água para o uso balnear e para o uso associado ao consumo humano.

Em relação à  $CBO_5$ , verifica-se que a intervenção apenas ao nível da área incluída no POACB não é suficiente para se obter uma melhoria significativa da qualidade da massa de água, sendo por isso essencial intervir em toda a bacia drenante da albufeira de Castelo de Bode.

As reduções de carga afluente à massa de água definidas com a implementação do **Cenário 4** não são uma consequência directa da aplicação das regras e normas definidas pelo PBH do rio Tejo. De facto a remoção das cargas de N e de P do origem urbana é exigida legalmente a áreas drenantes a massas de água designadas como sensíveis em Portugal Continental, o que não acontece com a albufeira de Castelo de Bode.

Neste contexto, importa referir que seria difícil implementar sistemas de tratamento de águas residuais que permitissem atingir as reduções de cargas definidas no **Cenário 4**. No entanto, a implementação deste cenário revela-se importante para compreender a dinâmica e o efeito das afluições de cargas poluentes ao sistema modelado, uma vez que permite avaliar a influência no estado trófico da massa de água de todas as carga urbanas de N e P, geradas na bacia hidrográfica da albufeira de Castelo de Bode.

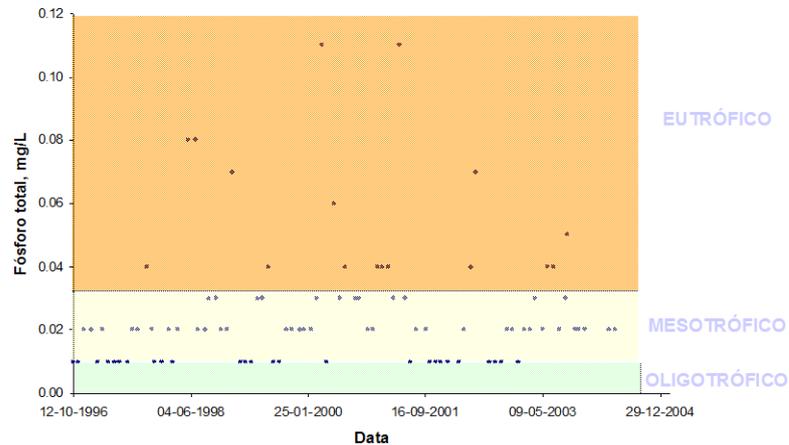
Os valores de concentração de biomassa algal obtidos com o modelo são relativamente baixos ao longo de todo o ano (**Cenário 0**), situação que também se pode verificar pela análise dos dados observados na estação de qualidade da albufeira de Castelo de Bode (16H/03)(Figura 240). No entanto, e como já havia sido referido anteriormente, há evidências da existência de valores de concentração elevados (Figura 158) ocorridos durante o semestre seco.



**Figura 240.** Dados observados de clorofila-*a*, face aos limites de classificação do estado trófico.

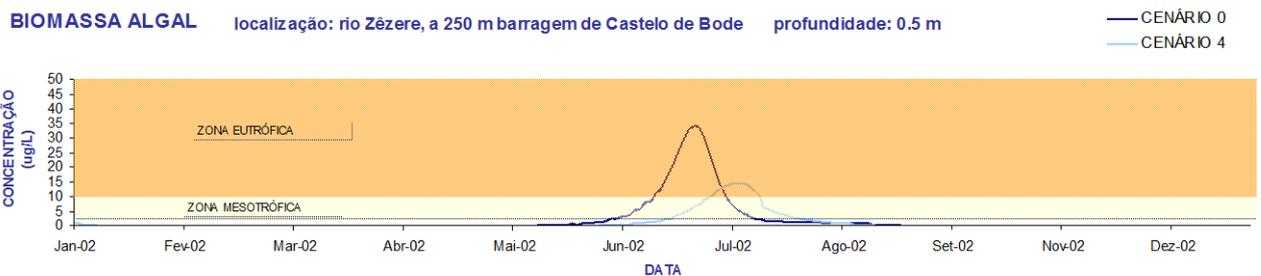
Os valores de concentração de fosfatos obtidos com o modelo e os valores de fósforo total observados na albufeira (Figura 241), indicam uma tendência para o aumento dos valores de concentração deste parâmetro, tendo-se verificado a existência de alguns valores incluídos no intervalo definido de teores em fósforo correspondentes a massas de água eutróficas.

Est. Albufeira de Castelo de Bode (16H/03)

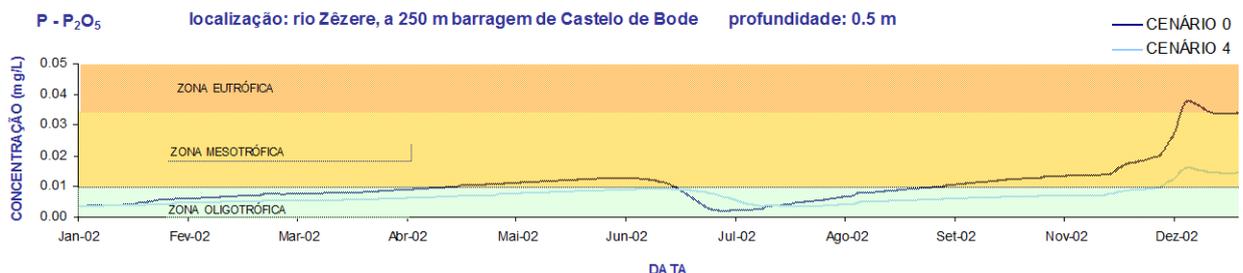


**Figura 241.** Dados observados de fósforo total face aos limites de classificação do estado trófico.

Pela análise das Figuras 242 e 243, verifica-se que a redução de cargas de origem urbana definida pelo **Cenário 4**, implicou uma diminuição dos valores de biomassa algal e de fosfatos na massa de água, potenciando assim uma melhoria da sua qualidade. Deve-se referir, ainda, que os valores de concentração de fosfatos obtidos com o modelo, para o **Cenário 4**, caracterizam a contribuição de origem industrial, agrícola e florestal, no que se refere a este parâmetro, para o estado trófico da albufeira de Castelo de Bode.



**Figura 242.** Série anual de valores de biomassa algal, considerando a remoção de  $CBO_5$ ,  $NO_x$  e  $P_2O_5$  com origem em águas residuais urbanas.



**Figura 243.** Série anual de valores de fosfatos, considerando a remoção de  $CBO_5$ ,  $NO_x$  e  $P_2O_5$  com origem em águas residuais urbanas.

### 8.7 - Análise da influência na qualidade da água do tratamento terciário das cargas poluentes geradas na área de intervenção do POACB.

Esta secção tem como objectivo avaliar a influência da carga gerada na área de intervenção do POACB na qualidade da água, em toda a extensão da albufeira de Castelo de Bode, após a implementação do tratamento terciário, exigido pelo regulamento do POACB. Assim procedeu-se à remoção de 90% da carga de  $\text{CBO}_5$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{NO}_x$  e de coliformes totais, com origem na referida área.

A análise das Figuras 244 a 249, obtidas para diferentes períodos do ano, deverá ser realizada com algum cuidado, uma vez que não refletem a concentração de um determinado parâmetro na massa de água. Os valores de concentração que se observam resultam da diferença entre duas simulações, o **Cenário 0** e o **Cenário 1**. Desta forma, compara-se a base da análise realizada (a situação de referência do ano de 2002), com a simulação em que se procedeu à remoção de 90% das cargas com origem na área de intervenção do POACB.

Esta opção de visualização dos resultados obtidos é disponibilizada pela interface do modelo CE-QUAL-W2, e permite detectar pequenas diferenças de concentração existentes entre dois exercícios de simulação distintos para qualquer parâmetro. Quando se verifica que o sinal associado à concentração observada na figura é negativo, então o **Cenário 0** (situação de referência do ano de 2002) tem uma concentração inferior ao **Cenário 1**. Se, por outro lado, o sinal associado à concentração observada na figura é positivo, então o **Cenário 0** (situação de referência do ano de 2002) tem um valor de concentração superior ao **Cenário 1**.

Relativamente ao OD (Figura 244), verifica-se que no início de Julho o **Cenário 1** determina um aumento da concentração deste constituinte. Esta tendência manter-se-á ao longo do resto do ano de simulação. Uma análise mais rigorosa permite concluir que, à superfície, os níveis de OD diminuíram ligeiramente, o que se deve ao facto de a concentração de biomassa algal também ter diminuído com a redução de nutrientes disponíveis. Deve-se referir que o aumento verificado no teor em OD, apesar de diminuto, uma vez que não ultrapassa os 0,2 mg/L, evidencia uma melhoria efectiva da qualidade da água da albufeira de Castelo de Bode, face à potencial implementação do **Cenário 1**.

No mês de Julho é evidente a diminuição dos valores de biomassa algal com a implementação do **Cenário 1** (Figura 245), o que se reflete nos valores mais reduzidos da concentração de OD observados à superfície, no mesmo período de tempo e face ao mesmo cenário, indicativos de uma menor actividade fotossintética.

No restante período de simulação, não se encontram diferenças significativas. De facto, como já referido anteriormente, e com excepção dos meses mais quentes, os valores de concentração de biomassa algal observados na massa de água indicam que estes são relativamente baixos, ao longo do restante período de simulação.

A diminuição dos valores da concentração de biomassa algal atinge um valor máximo de 0,06 mg/L, o que representa uma redução significativa, quando comparada com os limites estabelecidos para uma massa de água mesotrófica, que tem como limite inferior 0,03 mg/L e como limite superior 0,1 mg/L

(conversão dos valores limite de classificação do estado trófico, expressos em termo de clorofila-a, 2,5 e 10  $\mu\text{g/L}$ , admitindo que a clorofila-a representa 9,7% da biomassa algal).

CONCENTRAÇÃO DE OXIGÉNIO DISSOLVIDO

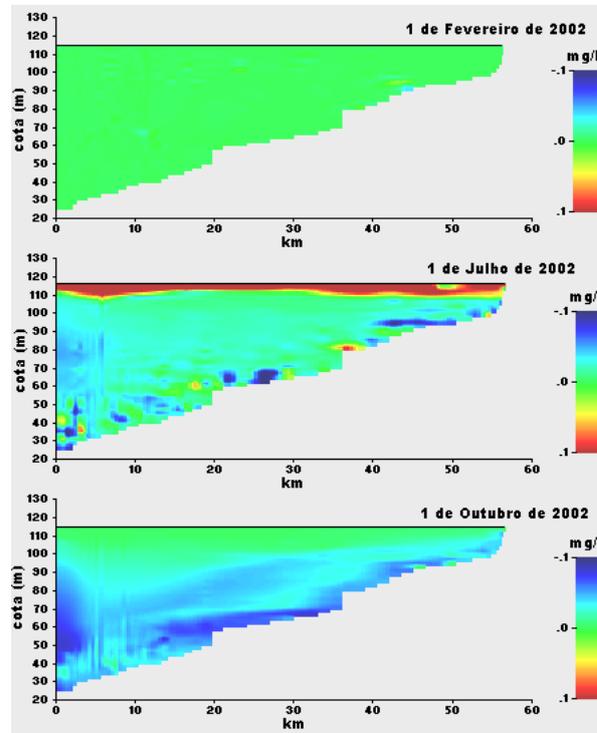


Figura 244. (Cenário 0 – Cenário 1) OD

CONCENTRAÇÃO DE BIOMASSA ALGAL

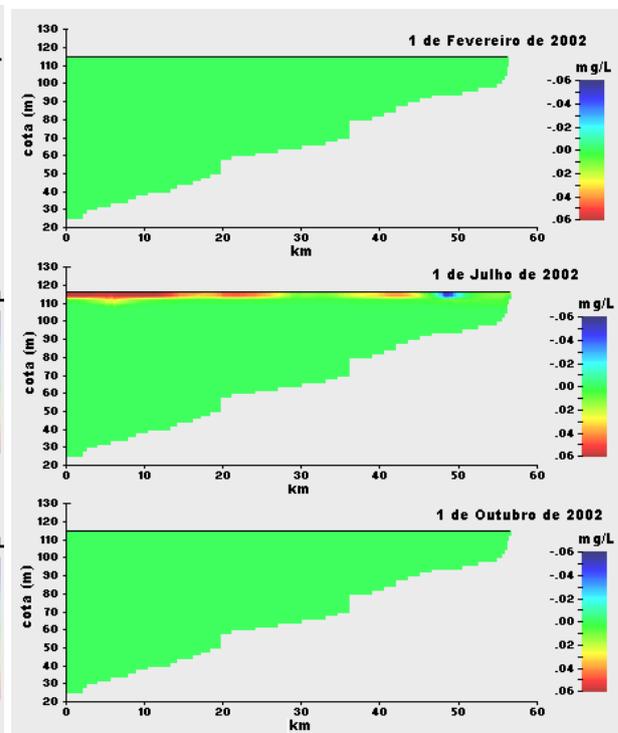


Figura 245. (Cenário 0 – Cenário 1) BIO.  
ALGAL

A limitação do crescimento da biomassa algal está associada à diminuição dos valores de concentração de fosfatos e de nitratos e nitritos presentes na massa de água (Figuras 246 e 247), devido à remoção de 90% da sua concentração, imposta pelo **Cenário 1**. Deve-se referir que o **Cenário 1** não contempla a remoção de nutrientes, com origem na agricultura e nas florestas, gerados na área de intervenção, uma vez que este cenário apenas pretende reflectir as medidas preconizadas no POACB. Assim a redução dos valores de concentração evidenciados pelas Figuras 246 e 247 é determinada apenas pela remoção de carga gerada na área de intervenção do POACB ao nível das fontes urbanas. Nas referidas figuras, pode-se observar que junto à superfície a maior concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e de  $\text{NO}_x$ , associada ao **Cenário 1**, reflecte a diminuição do consumo deste nutrientes por parte da biomassa algal.

CONCENTRAÇÃO DE FOSFATOS

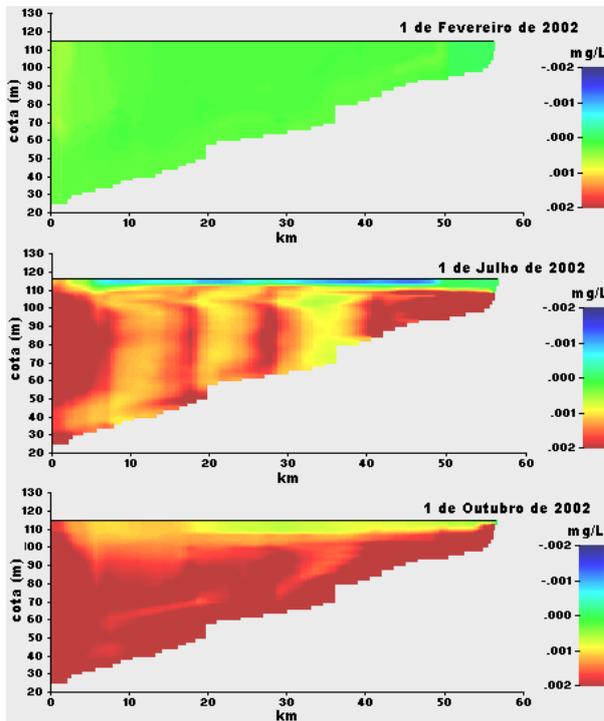


Figura 246. (Cenário 0 – Cenário 1)  $P_2O_5$

CONCENTRAÇÃO DE NITRATOS+NITRITOS ( $NO_x$ )

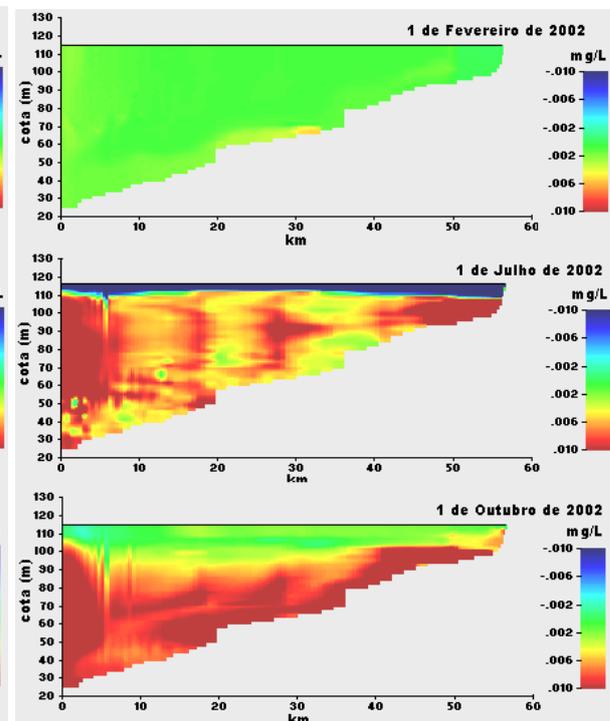


Figura 247. (Cenário 0 – Cenário 1)  $NO_x$

Relativamente aos valores obtidos para a concentração de  $CBO_5$  (Figura 248), verifica-se que a implementação do **Cenário 1**, permitiu reduzir a concentração deste parâmetro.

O máximo valor de redução da concentração de  $CBO_5$ , que se obteve com a implementação deste cenário, corresponde a 0,1 mg/L, sendo que em média se reduziu a  $CBO_5$  de um valor de 0,06 mg/L. Neste contexto, e considerando (com excepção de algumas situações pontuais) que os valores observados de concentração deste parâmetro são inferiores a 2 mg/L, conclui-se que o tratamento das descargas de efluentes urbanos, com origem na área de intervenção do POACB, determina uma melhoria efectiva da qualidade da água da Albufeira de Castelo de Bode.

A análise da Figura 249, relativa à concentração de coliformes totais, evidencia a já esperada redução de concentração deste constituinte, fundamentalmente na zona da massa de água mais próxima da albufeira de Castelo de Bode, onde se localiza o maior número de descargas de núcleos urbanos e de moradias isoladas.

De facto, e apesar da redução de concentração de  $CBO_5$ ,  $P_2O_5$ , e  $NO_x$  ter determinado melhorias significativas na qualidade da água, reduzindo a tendência de evolução do processo de eutrofização, é ao nível da redução dos valores de concentração de coliformes totais, na área de intervenção do POACB, que se verifica uma diminuição mais significativa da pressão sob o sistema aquático, o que se revela importante, uma vez que a contaminação microbológica é o principal problema associado ao cumprimento dos valores paramétricos obrigatórios, aplicáveis às águas destinadas ao consumo humano e ao recreio balnear, dois dos usos da albufeira de Castelo de Bode.

CONCENTRAÇÃO DE CBO<sub>5</sub>

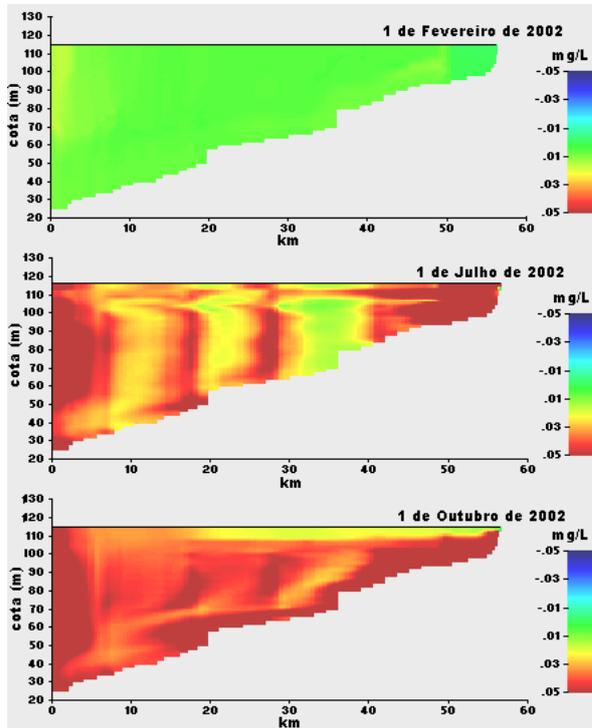


Figura 248. (Cenário 0 – Cenário 1) CBO<sub>5</sub>

CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS

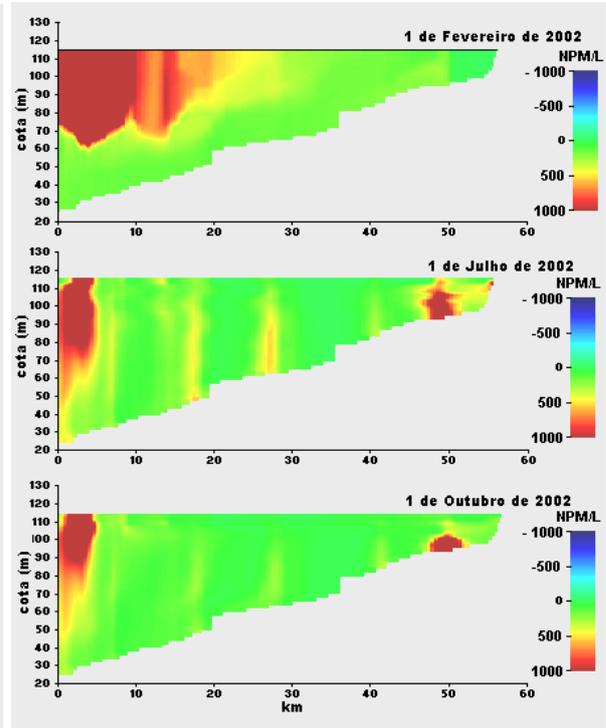


Figura 249. (Cenário 0 – Cenário 1) COLIFORMES TOTAIS

## 9. CONCLUSÕES

Um dos objectivos que se pretendia atingir com a aplicação do modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Castelo de Bode, correspondia à criação de um sistema de modelação que permitisse a simulação de diferentes cenários, que possibilitassem a avaliação dos objectivos definidos no Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode.

O ano de 2002 foi escolhido para a calibração do modelo devido à existência de um maior número de dados de campo relativos a esse ano. A simulação do ano de 2003 surgiu posteriormente ao início do processo de calibração, e teve como objectivo verificar a resposta do modelo à alteração dos dados de entrada, avaliar a calibração efectuada para o ano de 2002 e, simultaneamente, simular o ano de implementação do POACB.

Em qualquer exercício de simulação, e o caso específico da qualidade da água não constitui excepção, é comum a situação de carência de dados. Contudo, a fiabilidade das conclusões a extrair e a capacidade de apoiar as decisões relativamente a intervenções futuras, poderão ser significativamente melhoradas se algumas dessas carências em termos dos dados necessários para desenvolver o processo de simulação vierem a ser colmatadas.

Analisando os resultados obtidos para os exercícios de simulação referentes aos anos de 2002 e de 2003, concluí-se que, no geral, a resposta do modelo CE-QUAL-W2 foi bastante satisfatória. Apesar de algumas situações pontuais, em que se verificou um certo afastamento entre os resultados do modelo e os dados observados, o modelo simulou adequadamente as tendências evolutivas dos constituintes ao longo da coluna de água e ao longo dos períodos analisados.

A simulação dos cenários desenvolvidos, com o objectivo de avaliar os efeitos na qualidade da água da albufeira das medidas preconizadas no Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode e no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo, permitiu concluir que a redução de carga poluente, resultante da intervenção na área de influência do POACB, é determinante na melhoria da qualidade da água da albufeira, relativamente à contaminação microbológica, permitindo melhorar significativamente a situação face ao imposto pelos limites legais associados à classificação de zonas de recreio balnear e às zonas de captação de água para consumo humano.

Relativamente ao processo de eutrofização da massa de água, concluiu-se que, apesar da redução de carga de nutrientes com origem na área de intervenção do POACB ter determinado melhorias significativas, apenas a intervenção em toda a bacia drenante permitirá inverter a tendência evolutiva do estado oligotrófico para o estado mesotrófico.

Verifica-se, também, que a albufeira de Castelo de Bode possui uma boa capacidade de depuração de cargas poluentes, devido à dimensão da massa de água e ao reduzido tempo de retenção da mesma, o que reduz a pressão induzida pelas cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica desta albufeira.

O desenvolvimento de cenários de simulação com o modelo CE-QUAL-W2, permitiu evidenciar o importante contributo da utilização de modelos de simulação para o estudo das relações entre as pressões de fontes poluentes existentes numa bacia hidrográfica e o estado de qualidade das

correspondentes massas de água. De facto, apesar de teoricamente os resultados obtidos com a diminuição da afluência de cargas poluentes serem conhecidos, ou no limite expectáveis, e apontarem para uma melhoria da qualidade da água, facto que é verificável com um simples balanço de massas, apenas com a simulação matemática da qualidade da água é possível avaliar o poder de depuração de uma massa de água da dimensão da Albufeira de Castelo de Bode, permitindo definir a sua capacidade de carga e analisar a potencial resposta do sistema face a diferentes cenários.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Castro, P. (1986) *Estudo Ambiental do Estuário do Tejo - Estimação e Controlo da Poluição Difusa no Estuário do Tejo*, Relatório Projecto Tejo nº 12, Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Tejo. Lisboa.

Cole T. M. (2002) “*CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1*”, *User Manual - Draft version*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., August.

Cole T. M. and Buchak E. M. (1995). *CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 2.0. User manual*. Instruction Report EL-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cole, T. M. and Wells, S. A. (2002). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1. User manual*. Instruction Report EL-02-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cole, T. M. and Wells, S. A. (2004). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2. User manual*. Instruction Report E-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Rodrigues, A.C. (2003) – “*Simulação da Qualidade da Água Durante o Enchimento da Albufeira de Alqueva*”, 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cabo Verde, Novembro de 2003.

Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Rodrigues, A.C. (2004) – “*Influência do Fósforo de Origem Agrícola na Classificação do Estado Trófico das Principais Albufeiras de Portugal Continental*”, 7º Congresso da Água, Lisboa, Portugal, Março de 2004.

Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; Rodrigues, A.C. (2004) – “*Simulação da Qualidade da Água nas Albufeiras do Rio Douro com um Modelo de Albufeiras em Série*”, 7º Congresso da Água, Lisboa, Portugal, Março de 2004.

Edinger, J.E., and Buchak, E.M. (1978). *Reservoir Longitudinal and Vertical Implicit Hydrodynamics*, Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works, Proceedings of an International Symposium, Knoxville, TN.

EPA (1985)- *Rates, Constants, and Kinetics Formulations is Surface Water Quality Modeling* (Second Editon) Junho, 1985.

Haith, D. A., Lawrence, J. T. (1981) *Watershed Loading Functions For Nonpoint Sources*. in Journal of Environmental Engineering Division, February, ASCE. pp 121 – 137.

MAOT/INAG (2001). *Plano Nacional da Água*, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa.

MAOT / INAG (2000) *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo*, Instituto da Água, Lisboa.

- Martin, J.L. (1987). *Application of a Two Dimensional Model of Hydrodynamics and Water Quality CE-QUAL-W2 to DeGray Lake, Arkansas*, Technical Rpt. E-87-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Martin, J. L. (1988). *Application of Two Dimensional Water Quality Model*. J. Envir. Engr, 114(2), 317-336.
- Michaud, J.P. 1991. *A citizen's guide to understanding and monitoring lakes and stream* Publ. 94-149. Washington State Dept. of Ecology, Publications Office, Olympia, WA, USA (360) 407-7472. Moore, M.L. 1989.
- NALMS, *Management guide for lakes and reservoirs*. North American Lake Management Society, P.O. Box 5443, Madison, WI, 53705-5443, USA .
- Nicholls, K. & P. J. Dillon, (1978). *An evaluation of phosphorus-chlorophyll-phytoplankton relationships for lakes*. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 63: 141-154.
- Novotny, V., Olem, H. (1994) - *Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. New York (EUA), Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-00559.
- Orlob, G.T. (1983). *Mathematical modeling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs*. Wiley – Interscience Publication, International Series on Applied Systems Analysis, Jonh Wiley & Sons.
- Rodrigues, A.C., Coelho, P.S., Silva, S.P., Fonseca, M. R., Diogo, P.A. – *Modelação da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ave – Avaliação das Cargas Poluentes de Origem Difusa*. 6º Congresso da Água, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Porto, Portugal, Março 2002.
- Rodrigues, A.C., Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; (2002). *Relatório final Convenção OSPAR (Oslo-Paris), projecto de “aplicação das HARP - Guidelines a uma bacia piloto”, no caso português, à bacia hidrográfica do rio Vouga;*
- Rodrigues, A.C., Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; (2003). *Relatório final Identificação de Zonas Sensíveis em Portugal continental, água doces superficiais*, Fevereiro de 2003.
- Rodrigues, A.C., Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; (2003). *Relatório final Identificação de Zonas Sensíveis em Portugal continental, água doces superficiais com áreas drenantes em Espanha*, Março de 2003
- Rodrigues, A.C., Diogo, P.A.; Coelho, P.S.; Almeida, M.T.; Mateus, N.S.; (2003). *Relatório final Identificação de Zonas Vulneráveis em Portugal continental*, Abril de 2003
- Thomann, R.V.; Muller, J.A. (1987) *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*; Harper & Row: New York.
- Tanik, A., Baykal, B.B., Gonenc, I.E. *The Impacts of Agricultural Pollutants in Six Drinking Water Reservoirs*. *in* Water Science and Tech., 40, 2, Elsevier 1999, pp. 11-17.
- Odum, Eugene P. (2001). *Fundamentos de Ecologia*, 6ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

### Outras fontes de informação

Instituto do Ambiente - Atlas do Ambiente <http://www.iambiente.pt/atlas/>).

Rede hidrográfica digital - fornecida pelo Instituto da Água.

Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), <http://snig.igeo.pt>.

Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), <http://www.inag.pt>.



**INSTITUTO  
DA ÁGUA. I.P.**

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**