

4. Resultados e discussões

4.1. Série I – Implementação do modelo

4.1.1. Simulações I.1.

A correcta reprodução da variação da temperatura numa albufeira depende de uma representação adequada das condições termodinâmicas, sendo a temperatura da água um parâmetro fundamental, pois condiciona todos os processos bioquímicos e a própria hidrodinâmica. A qualidade da água é influenciada directamente pelos fenómenos resultantes da estratificação induzida pela temperatura e, consequentemente, pela densidade. A maior fonte de calor para a albufeira é a radiação solar, sendo a maior parte desse calor absorvido directamente pela água.

Verificou-se que a evolução da temperatura simulada é fortemente condicionada pela evolução da temperatura do ar, ao existir uma correlação entre estas duas variáveis de 0,31 e 0,36, para os valores obtidos para as simulações, com 5 e 7 camadas, respectivamente.

O modelo permite um aumento da temperatura da água à superfície, mas a partir dos 20 m de profundidade a temperatura mantém as condições iniciais, pois não há aquecimento da água por processos termodinâmicos por penetração de radiação, nem existem mecanismos que possibilitem o seu arrefecimento. Estando apenas a considerar os processos termodinâmicos a temperatura da água apenas varia nas camadas mais superficiais (Figura 4.1 e Figura 4.2). Tanto para a morfologia com 7 como com 5 camadas verticais, as condições iniciais do modelo são caracterizadas por uma temperatura igual a 16,7 °C para todas as células e camadas.

A Figura 4.1 caracteriza as condições simuladas para os dias 1(a) e 31(b) de Julho para a divisão da profundidade em 5 camadas. A temperatura é de 16,7 °C em toda a albufeira no dia 1, para todas as camadas, e no dia 31 nas duas camadas mais profundas e à superfície a temperatura média é de 21,3 °C.

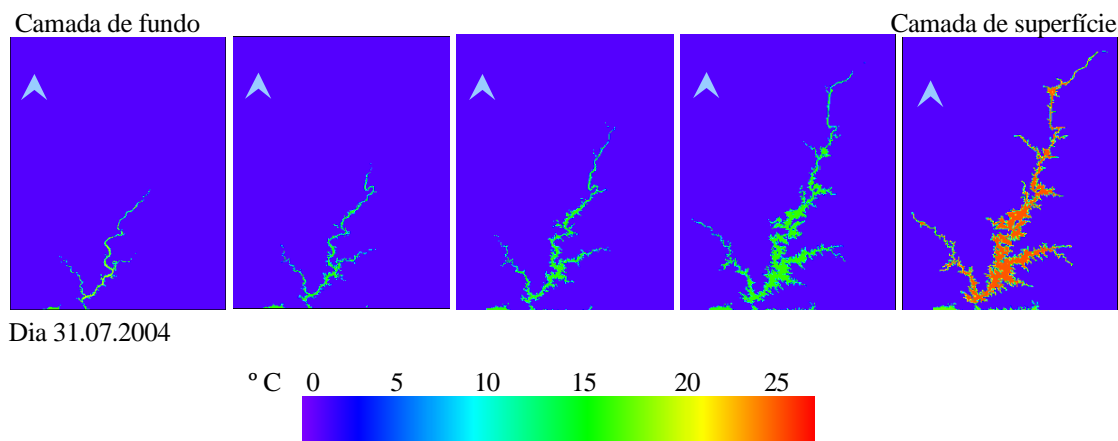


Figura 4.1 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada (°C).

Na Figura 4.2, em relação à camada localizada dos 10 aos 20 m, verificou-se que em todas as situações de morfologia adoptadas a temperatura ainda sofre a acção da radiação solar, mas em quantidades muito reduzidas. O valor médio da temperatura da água no final de simulação apenas acresce algumas décimas ao valor inicial de referência para todas as camadas (16,7 °C). Para as situações originadas nas simulações com 7 camadas, o valor médio da primeira camada é de 22,9 °C, da segunda camada, com profundidades compreendidas entre os 3,3(3) m e os 6,6(6) m, é de 18,7 °C e o da terceira camada é de 16,8 °C. A utilização de 7 camadas permite uma melhor representação do gradiente de temperatura com a profundidade, assim como da termoclina.

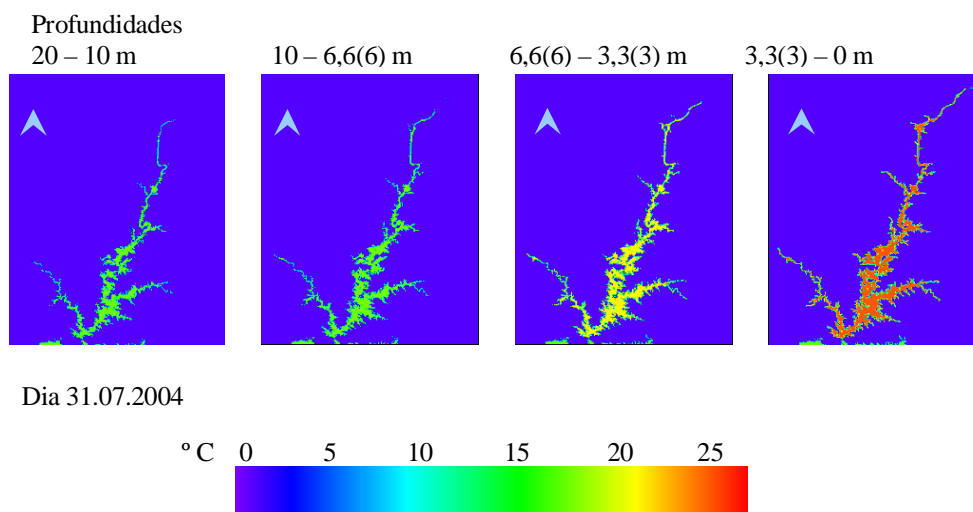


Figura 4.2 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada (°C) para as 4 camadas superficiais.

A Figura 4.3 apresenta os resultados simulados da temperatura da água à superfície para as células correspondentes às estações de Albufeira de Alqueva – Montante e Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3). Consta-se que os valores simulados são iguais para ambos os locais. O modelo, mesmo para a morfologia mais simplista, consegue seguir relativamente bem as grandes oscilações da temperatura na albufeira, durante o período simulado.

O aumento do número de camadas superiores permitiu uma aproximação mais rápida dos valores simulados aos observados. De acordo com a Figura 4.3, a simulações com 7 camadas também apresenta uma amplitude diária mais realista comparativamente aos valores registados na simulação com 5 camadas. Salienta-se a convergência entre os dados observados e os simulados.

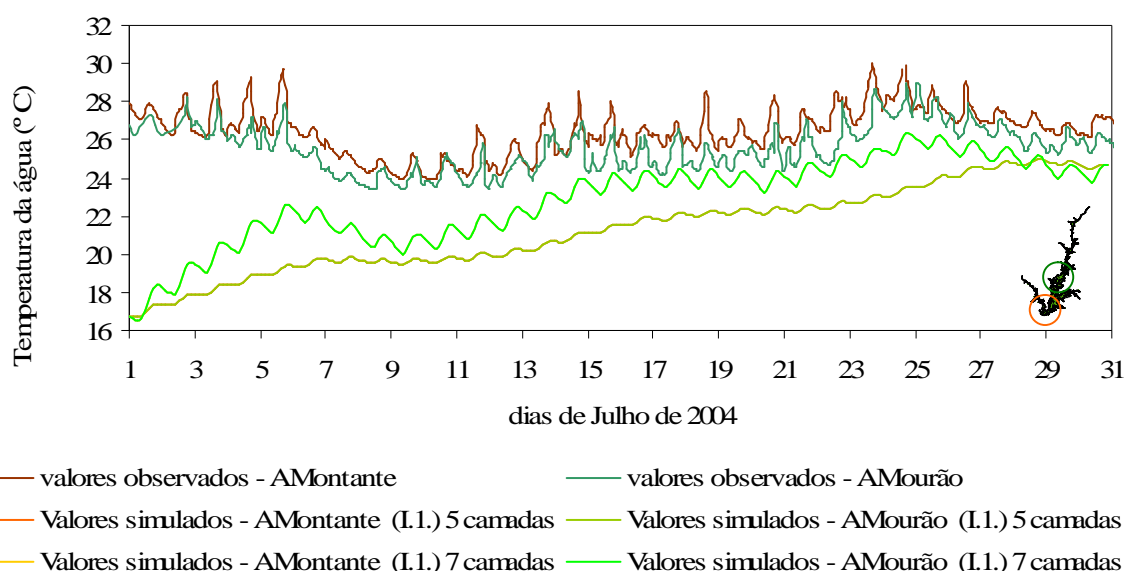


Figura 4.3 – Simulações I.1. (cf. – 3.4.1) com 5 e 7 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (AMontante) e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

As Figura 4.4 e Figura 4.5 mostram a variação da temperatura em função da profundidade em Albufeira de Alqueva – Montante e Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3), visto os valores simulados serem iguais para as duas estações de amostragem. Ainda que os perfis de temperatura apresentados não sejam realistas para as camadas com profundidades superiores a 10 m, existe uma estratificação térmica, típica de lagos em regiões temperadas. Na Figura 4.4 verifica-se a formação da termoclina localizada na primeira camada.

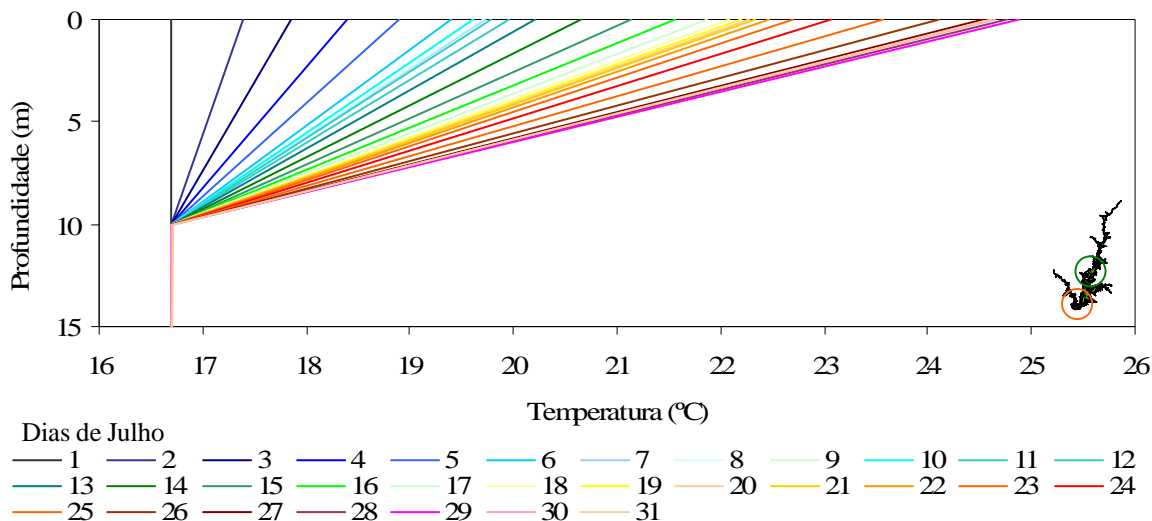


Figura 4.4 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água simulada (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).

Com o aumento da resolução vertical nos primeiros 10 m (Figura 4.5) há uma melhor caracterização das camadas em relação à temperatura. Ao longo do tempo de simulação observa-se uma maior diferença entre a camada superior menos densa (dos 0 aos 3,3(3) m), que circula e possui alguma turbulência (epilímnion) e uma segunda camada de rápido arrefecimento (dos 3,3(3) m aos 6,6(6) m) e a camada inferior, constituída por águas mais densas, mais frias e relativamente calmas (hipolímnion – para profundidades abaixo dos 6,6(6) m).

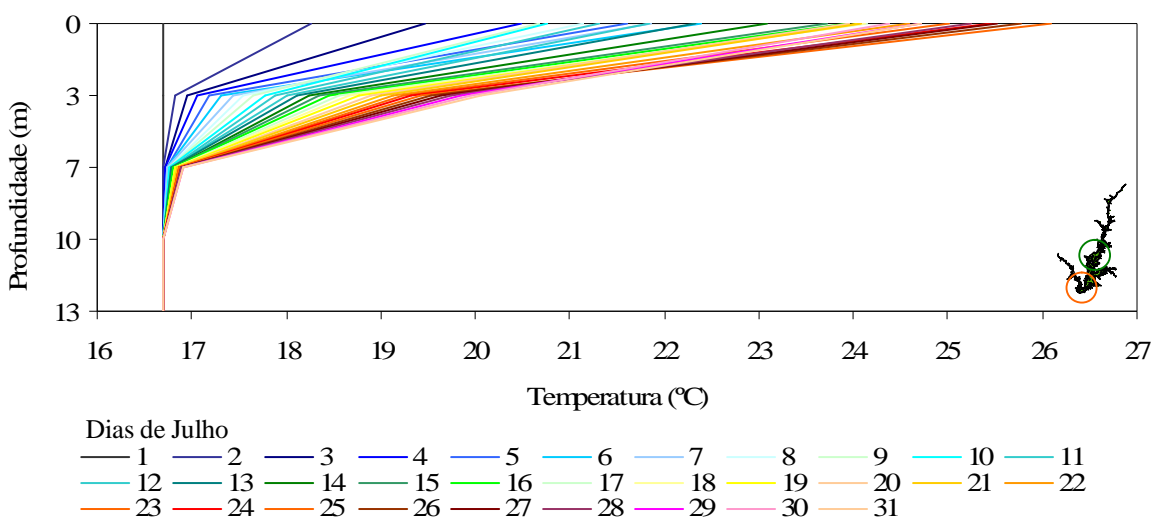


Figura 4.5 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água simulada (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).

De um modo geral, à superfície (Figura 4.5) há uma subida gradual da temperatura da água, todavia, em alguns dias observam-se pequenas flutuações (inferiores a 1 °C), mas que não se observam na camada seguinte. Nos dias 7, 9 e 11 de Julho a temperatura simulada à superfície é mais baixa que no dia 5, assim como é mais alta no dia 25 que no dia 31 de Julho, demonstrando congruência com a evolução temporal da temperatura da água observada (Figura 4.3).

O balanço energético da camada superficial, calculado pelo modelo, é apresentado na Figura 4.6. Apenas é indicado o balanço energético para a morfologia com 7 camadas, visto esta ser mais representativa das condições reais. As oscilações correspondem aos ciclos diários de aquecimento diurno e arrefecimento nocturno. Para os locais Albufeira de Alqueva – Montante e Albufeira de Alqueva-Mourão (cf. – 3.3), o valor médio para o período de simulação é de 45,5 W.m⁻² à superfície, 18,1 W.m⁻² para a segunda camada e 1,2 W.m⁻² para a terceira. Após os 10 m o valor do balanço energético decresce exponencialmente com a profundidade.

A contribuição dos diferentes componentes do balanço energético, por ordem decrescente de valores médios, é a seguinte: radiação infra-vermelha da água, radiação infra-vermelha atmosférica, radiação solar, perdas de calor latente, ganhos de calor sensível e a radiação sub-superficial, que corresponde aos valores -422,7 W.m⁻², 386 W.m⁻², 298,2 W.m⁻², -229,7 W.m⁻², 31,2 W.m⁻² e 19,4 W.m⁻² respectivamente.

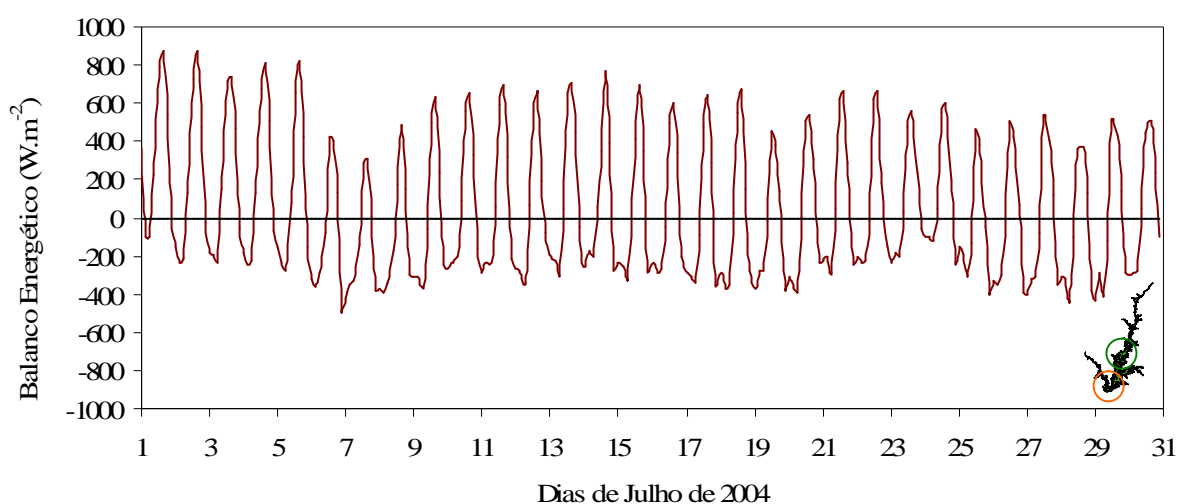


Figura 4.6 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Variação temporal do balanço energético à superfície (W.m⁻²) em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).

4.1.2. Simulação I.2.

A simulação I.2. foi realizada com os objectos termodinâmicos e hidrodinâmicos apenas para a morfologia com 5 camadas verticais. Nela foi considerada a actuação do vento, sem influência de descargas de caudais afluentes e efluentes, de modo a avaliar a influência dos processos hidrodinâmicos sobre a termodinâmica na albufeira de Alqueva.

A Figura 4.7 mostra a evolução espacial da temperatura. Da sua análise pode aferir-se que o hidrodinamismo provoca o aquecimento/arrefecimento diferenciado da massa de água. Embora na simulação I.1. se tenha verificado que na albufeira existiam áreas isoladas com temperaturas mais elevadas (na confluência da ribeira da Asseca e na entrada do rio Degebe na albufeira – cf. – 2.1.4), nesta simulação, observam-se variações graduais da temperatura. Pode observar-se que as zonas interiores da albufeira têm uma inércia térmica maior (devido ao maior volume) do que as áreas periféricas à albufeira. Regista-se um gradiente decrescente de temperatura de montante dos três troços principais (rio Guadiana, rio Degebe e rio Alcarrache) para o corpo da barragem.

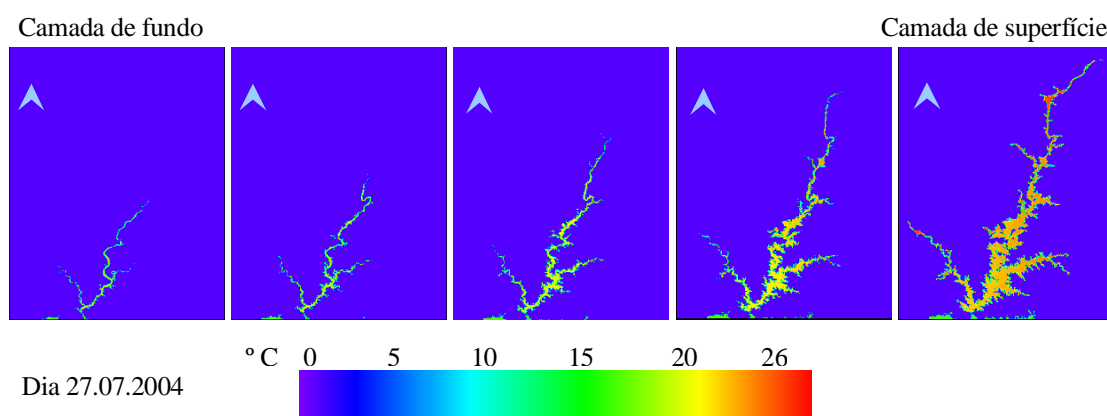


Figura 4.7 – Simulação I.2. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada (°C).

Na camada superficial observam-se áreas de temperatura mais elevada onde a profundidade é menor e onde a largura da albufeira aumenta. Estas condições estão associadas ao nivelamento da orografia verificado na confluência da ribeira da Asseca e onde desagua a linha de água denominada, no presente trabalho, de afluente do rio Degebe II (cf. – 2.1.4) (zonas a vermelho na Figura 4.7). Na Figura 4.7 pode ainda observar-se a existência de estratificação térmica. A segunda camada e

seguintes denotam a mesma heterogeneidade espacial, que a de superfície, mas numa gama de valores inferiores.

Na Figura 4.8 pode observar-se a variação da temperatura da água à superfície para ambas as simulações, com e sem hidrodinamismo, nas células a montante e a meio da albufeira (Albufeira de Alqueva – Montante e Albufeira de Alqueva – Mourão). De facto, a temperatura média global para a simulação I.2. é aproximadamente 1,6 °C inferior à registada para a simulação I.1. (19,7 °C e 21,3 °C respectivamente) para os resultados em Albufeira de Alqueva – Montante (cf. – 3.3). Contudo, nas temperaturas médias das restantes camadas dá-se o efeito contrário. A segunda camada na simulação I.2. é 2,2 °C mais elevada do que na simulação I.1, e a diferença nas restantes camadas é abaixo dos 1,9 °C. Para os valores registados em Albufeira de Alqueva – Mourão, verifica-se que à superfície os valores para a simulação I.2. apresentam uma variabilidade temporal menor que a simulação I.1. A análise dos dados revela que existe uma amplitude térmica máxima de 2,4 °C.

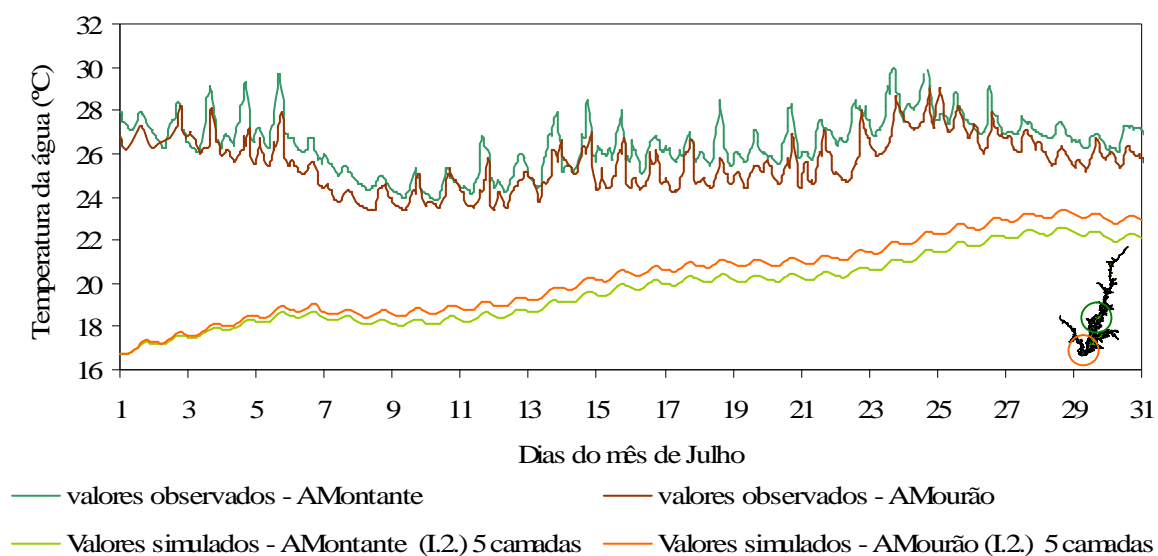


Figura 4.8 – Simulação I.2. (cf. – 3.4.1) com 5 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (AMontante) e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

A estratificação térmica resultante da simulação I.1. é atenuada pela mistura vertical da água simulada pelo objecto hidrodinâmico. A Figura 4.9 comprova essa mesma mistura por aquecimento das camadas mais profundas. A mesma demonstra ainda a diminuição das amplitudes térmicas

verificadas por perfil: na simulação I.2. a variação é de 1,5 °C, entre os 22,1 °C à superfície e os 20,6 °C registados em profundidade (dia 29 de Julho de 2004). Comparativamente na simulação I.1, para o mesmo dia, a variação é de 7,9 °C, entre os 16,7 °C no fundo e os 24,6 °C à superfície.

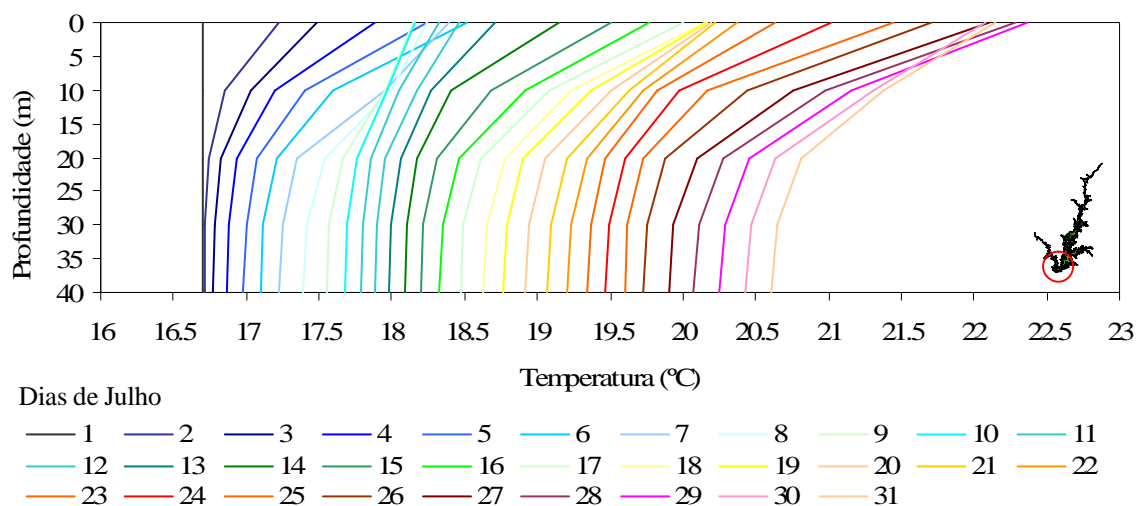


Figura 4.9 – Simulação I.2. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (cf. - 3.3).

O regime eólico apresenta uma importância primordial para a caracterização das condições de circulação da água. A acção do vento sobre a superfície da água é responsável pela criação de ondas superficiais e formação de correntes. As correntes apresentam significativos gradientes verticais. Os ventos mais frequentes são de NW. Os campos de velocidades residuais são elaborados através de um campo vectorial realizado com as duas componentes horizontais da velocidade: u e v . Na Figura 4.10 a direcção destes campos à superfície é coincidente com a direcção predominante do vento, demonstrando que os vectores dos campos de velocidades resultantes são, na sua maioria, devidos à acção do vento.

A análise da Figura 4.10, indicia a existência de uma corrente com sentido SE – NW, na segunda camada (10 m – 20 m), embora de menor intensidade, que compensa o gradiente de pressão barométrico originado pela corrente superficial. Por conseguinte, há tendência para “acumular” água ao longo da margem esquerda da albufeira. Nas três camadas mais profundas a circulação não obedece a qualquer padrão evidente, caracterizando-se por velocidades de magnitude muito baixas.

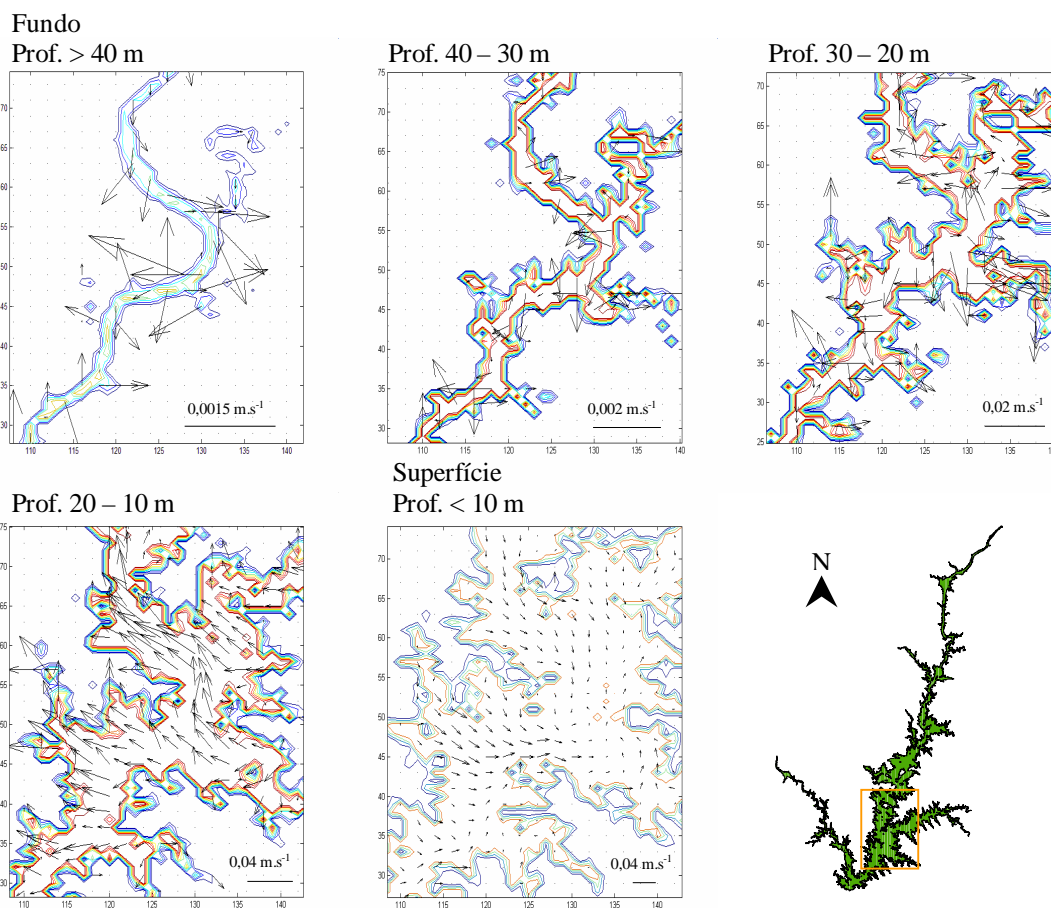


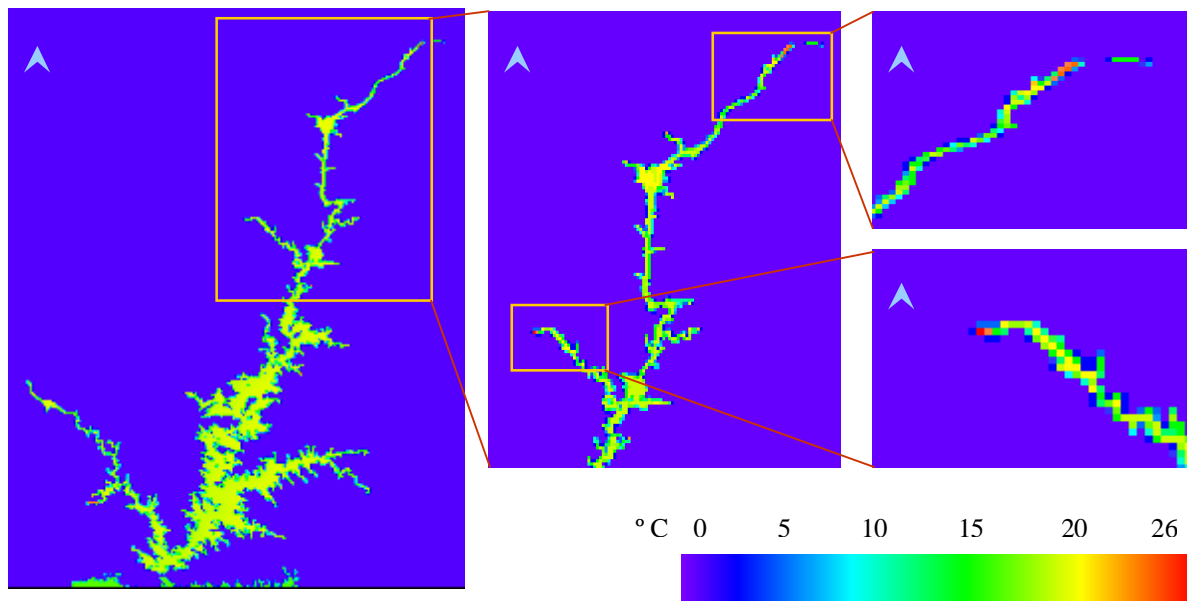
Figura 4.10 – Simulação I.2. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Campos de velocidades médias das correntes na confluência do rio Alcarrache. Os contornos da albufeira são delimitados pelas profundidades dentro das respectivas camadas.

As condições simuladas correspondem a uma circulação em duas camadas influenciada pelos ventos predominantes e pelos gradientes de densidade. De acordo com a Figura 4.10, existe ascensão de água a NW da albufeira e descida a SE. Estes episódios de *upwelling* poderão ser assim explicados pela acção do vento de NW.

4.1.3. Simulações I.3.

Para avaliar a influência dos processos hidrodinâmicos, de uma forma mais completa, sobre a termodinâmica, considerou-se a intervenção da descarga dos afluentes e dos efluentes. Os valores de caudais afluentes são distribuídos geograficamente pelos 38 pontos de entrada. O caudal efluente tem apenas um ponto de saída da albufeira (cf. – 3.2.1 e Figura 3.12).

Os valores mais elevados de temperatura registam-se nas confluências dos rios. Ao longo do tempo de simulação há um aumento da temperatura da água que apenas sobressai em fracções muito localizadas adjacentes às descargas dos afluentes (Figura 4.11 e Figura 4.12). Somente o caudal dos afluentes com maior expressão parece produzir algum efeito na temperatura da água da albufeira, embora bastante reduzido. Assim, na variação da temperatura, a importância das descargas é de pouca expressão.

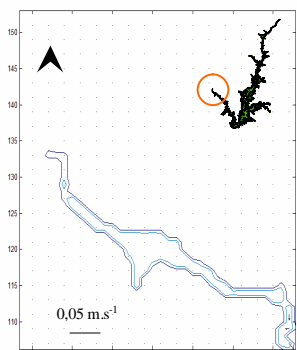


Dia 09.07.2004

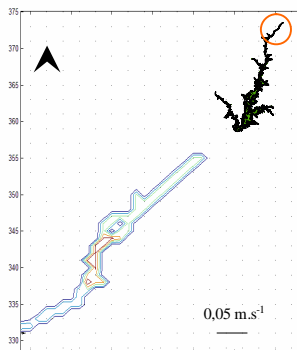
Figura 4.11 – Simulação I.3. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais à superfície. Distribuição espacial da temperatura (°C). Destaque para a camada de superfície na descarga de montante (início do regolfo da albufeira) e para a ribeira de Lucefecit.

Os resultados são muito semelhantes aos da simulação anterior. Tal como para a simulação I.2, a hidrodinâmica actua como atenuadora da temperatura superficial (Figura 4.13) e da estratificação térmica (Figura 4.14 e Figura 4.15). Dos perfis verticais é possível identificar a formação do epilímnion e do hipolímnion. Para a morfologia com melhor resolução vertical, o epilímnion desenvolve-se dos 0 aos 3,3(3) m, verifica-se a existência de uma termoclina entre os 3,3(3) e os 6,6(6) m e um hipolímnion nítido a partir dos 10 m.

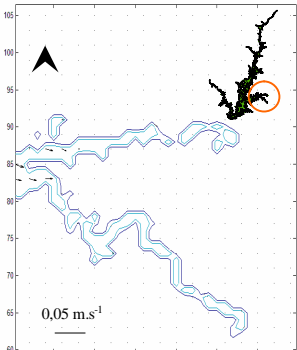
Simulação I.2.
rio Degebe



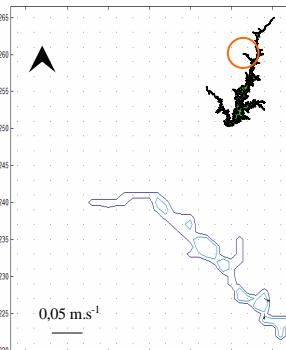
Montante



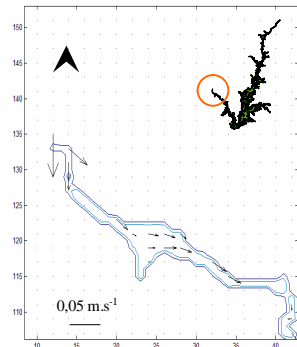
rib. Alcarrache e Guadelim



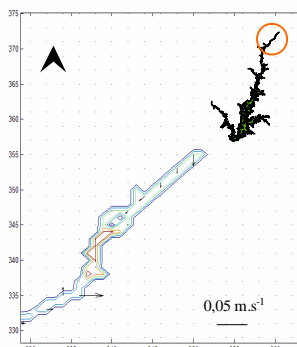
rib. Lucefecit



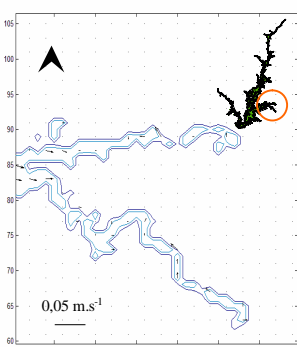
Simulação I.3.
rio Degebe



Montante



rib. Alcarrache e Guadelim



rib. Lucefecit

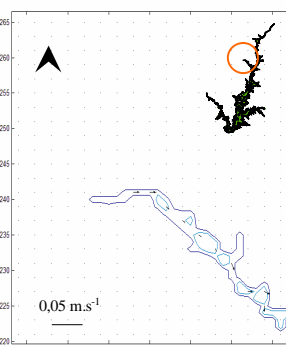
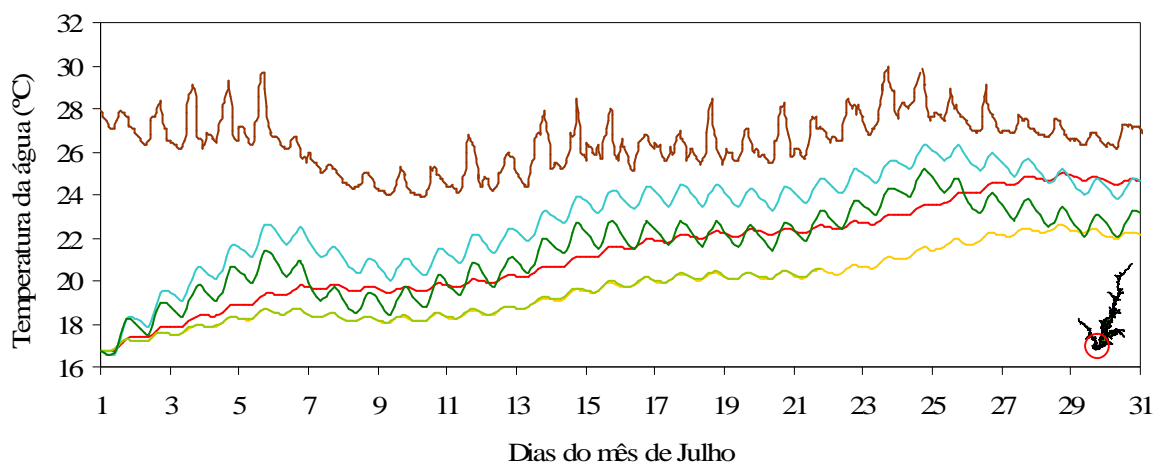


Figura 4.12 – Simulações I.2. e I.3. (cf. – 3.4.1) com 5 camadas verticais. Campos de velocidades médias das correntes à superfície. Representação de 4 pontos de descarga de afluentes colocados por ordem decrescente de caudal descarregado: Rio Degebe, Montante, Ribeira de Alcarrache e ribeira de Guadelim e ribeira de Lucefecit.

Os contornos da albufeira são delimitados pelas profundidades dentro das respectivas camadas.



- Valores simulados - AMontante (I.1) 5 camadas
- Valores simulados - AMontante (I.2) 5 camadas
- Valores simulados - AMontante (I.3) 5 camadas
- Valores observados
- Valores simulados - AMontante (I.1) 7 camadas
- Valores simulados - AMontante (I.3) 7 camadas

Figura 4.13 – Simulações I.1, I.2. e I.3. (cf. – 3.4.1) com 5 e 7 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (AMontante) (cf. – 3.3).

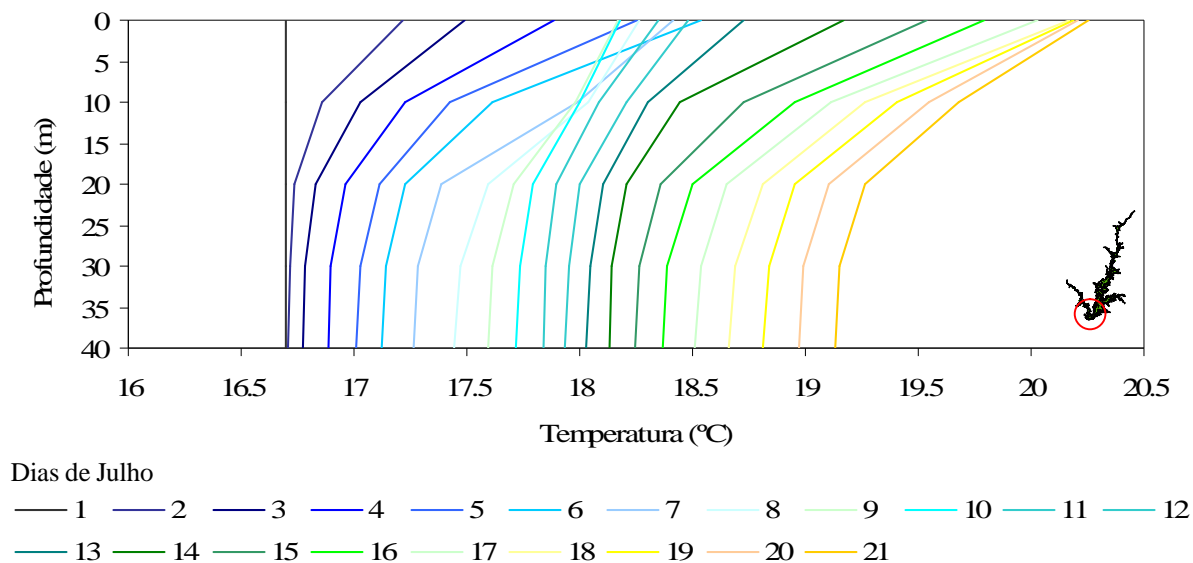


Figura 4.14 – Simulação I.3. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (cf. – 3.3).

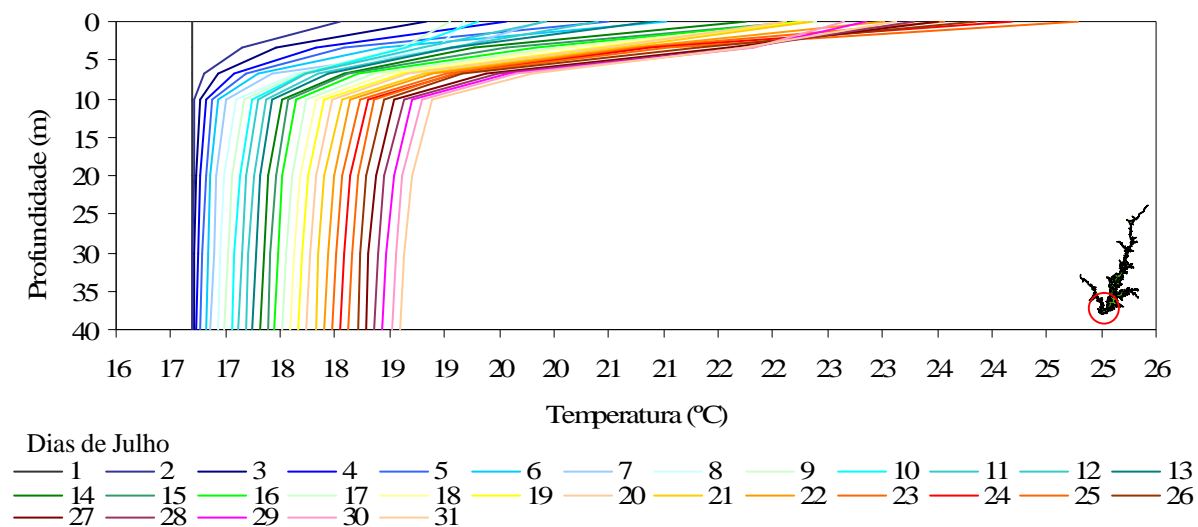


Figura 4.15 – Simulação I.3. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (cf. – 3.3).

A comparação entre a Figura 4.10 (simulação I.2, com 5 camadas verticais) e a Figura 4.17 (simulação I.3, com 7 camadas verticais), mostra que o aumento da resolução vertical refina os campos das velocidades das correntes. Nomeadamente, na terceira camada a circulação ainda tem alguma intensidade: ao longo do troço do rio Guadiana, onde a profundidade da albufeira é maior.

Também para esta morfologia, nas camadas mais profundas, a circulação não obedece a qualquer padrão claro de direcção e apresenta velocidades muito reduzidas. Com a aproximação do fundo, devido ao atrito, diminui a velocidade da corrente.

Os perfis de estratificação (Figura 4.14 e Figura 4.15) são consistentes com a localização das camadas com circulação. Para a morfologia com 5 camadas, não parece haver circulação abaixo dos 20 m. No entanto, para a morfologia com maior resolução vertical, a circulação dá-se nos 10 primeiros metros, com um gradiente térmico maior.

Tal como em I.2, verifica-se a existência de uma de circulação superficial para SE, onde se acumula a água quente (Figura 4.16). Posteriormente esta água desce e circula em sentido inverso na camada imediatamente abaixo (dos 0 aos 3,3(3) m), com ascensão de água mais fria na margem direita da albufeira (Figura 4.17). Deste modo, a hidrodinâmica regula a distribuição espacial da temperatura na albufeira.

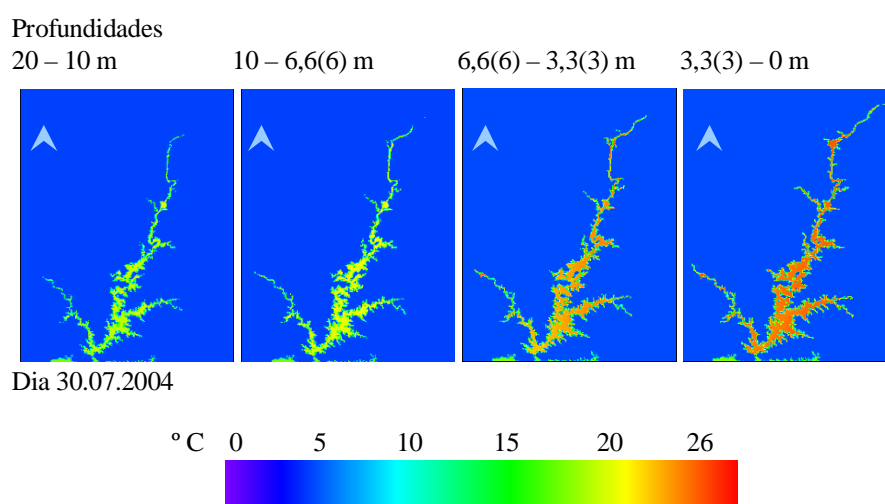


Figura 4.16 – Simulação I.3. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada (°C) das 4 camadas mais superficiais.

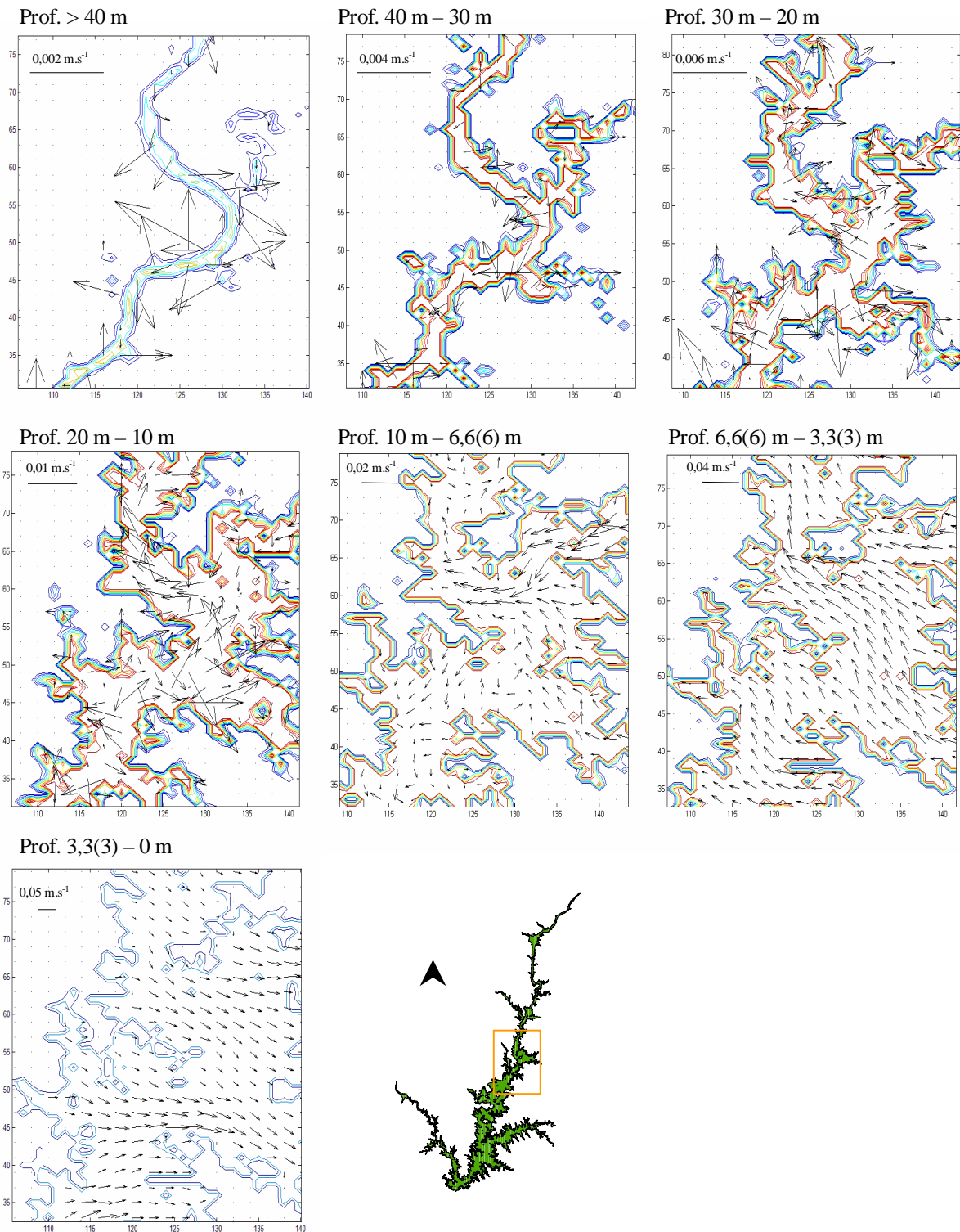


Figura 4.17 – Simulação I.3. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Campos de velocidades médias das correntes na confluência do rio Alcarrache. Os contornos da albufeira são delimitados pelas profundidades dentro das respectivas camadas.

4.1.4. Simulações I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV

Com as simulações I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV contabiliza-se a importância do coeficiente de pressão do vento, da difusividade horizontal e vertical. A observação comparativa foi apenas feita para a estação Albufeira de Alqueva-Montante (cf. – 3.3). A análise das Figura 4.18 e Figura 4.19 permite afirmar que a difusividade máxima vertical não apresenta uma influência determinante nos resultados relativos à temperatura da água, visto os valores resultantes da simulação I.3.DMV serem coincidentes com os valores derivados das simulações I.2. e I.3. (cf. – 4.1.1).

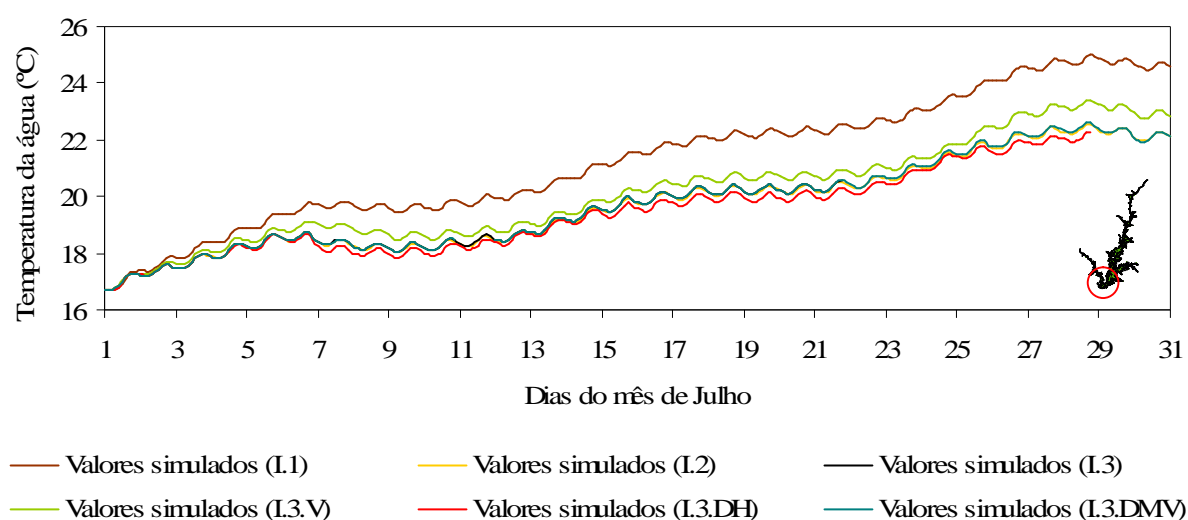


Figura 4.18 – Simulações I.1, I.2, I.3, I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV (cf. – 3.4.1) com 5 camadas verticais.

Comparação entre a variação temporal dos valores simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (AMontante) (cf. – 3.3).

Comparando as séries temporais observa-se ainda que os valores de temperatura da simulação I.3. são ligeiramente mais baixos que na simulação I.3.V e mais altos que na simulação I.3.DH, apesar de se manterem aproximadamente paralelas entre si. Quanto ao perfil relativo ao valor nulo da difusividade horizontal, parece haver uma boa aproximação dos valores abaixo dos 10 m, embora na camada superficial a temperatura é um pouco mais baixa do que o esperado. A importância relativa do coeficiente de pressão do vento na mistura da camada vertical é evidenciada na Figura 4.19. Removendo a acção do vento, a camada superficial aquece mais e mais rapidamente.

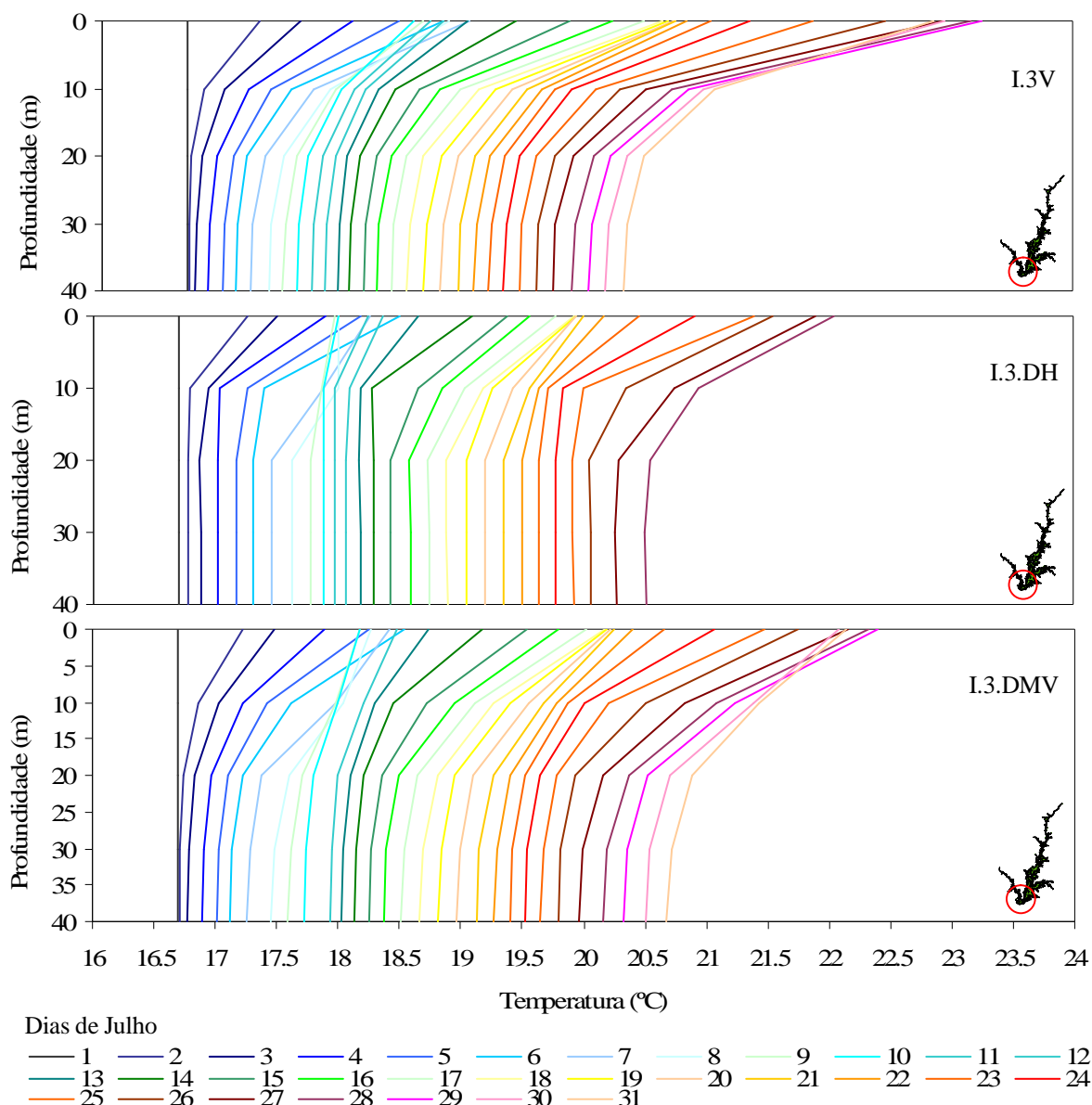


Figura 4.19 – Simulações I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV, (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (cf. – 3.3).

As diferenças entre os resultados das diferentes simulações, relativos à circulação residual (Figura 4.20) são coerentes com as diferenças relativas à temperatura. Para todas as simulações verifica-se que a circulação na segunda camada tem sentido oposto e menor intensidade que a camada superficial.

Na simulação I.3.V, onde não se faz sentir a pressão do vento, a circulação de maior intensidade na albufeira é feita no sentido oposto ao da simulação I.3. e à direcção predominante do vento. Isto é, verifica-se um fluxo de NE para SW, em vez de ser de NW para SE. Também as correntes na

simulação com a difusividade horizontal a zero apresentam diferenças relativamente à simulação I.3. Neste caso, a anulação da difusividade horizontal possibilita a existência de mais vórtices, dado haver menos dissipação da turbulência resultante dos gradientes de velocidade horizontais. Mais uma vez se verifica a pequena influência da difusividade máxima vertical, pois da comparação da Figura 4.17 com a Figura 4.20 (correspondente à simulação I.3.DMV) não sobressaem diferenças significativas.

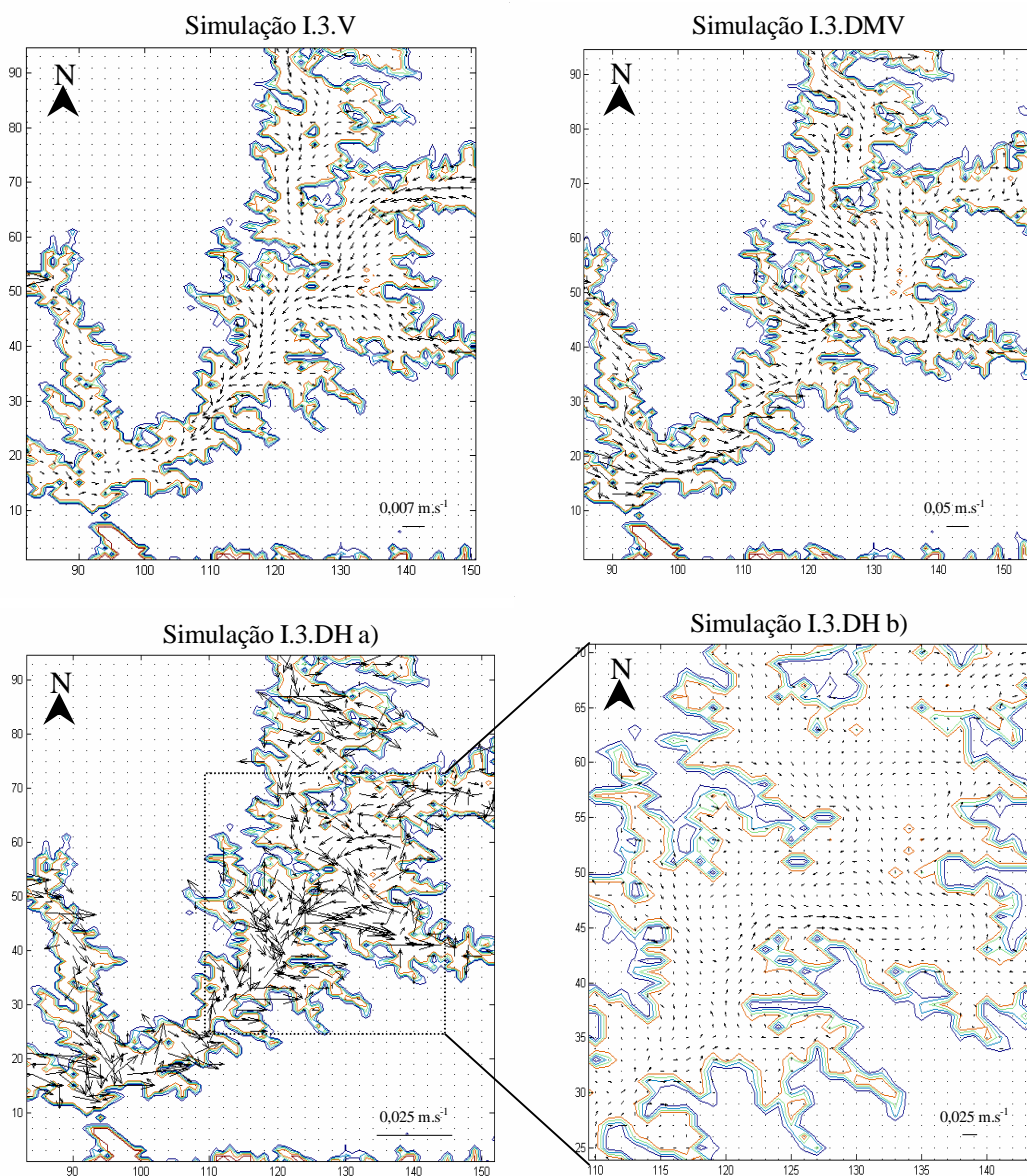


Figura 4.20 – Simulações I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Campos de velocidades médias das correntes, na confluência do rio Alcarrache. A imagem b) corresponde a um excerto da imagem a). A imagem b) tem o dobro da resolução. Os contornos da albufeira são delimitados pelas profundidades dentro das respectivas camadas.

Considerando que nas simulações com o objecto hidrodinâmico, o gradiente vertical de temperatura resultante foi inferior ao real (média para a albufeira $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ equivalente a uma diferença média de $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre a superfície e o fundo), a mistura vertical parece estar sobre estimada. A referida mistura é função da velocidade do vento à superfície e da turbulência vertical. A acção da primeira depende do coeficiente de tensão de corte do vento (coeficiente de pressão do vento) que pode variar entre 0,0005 e 0,0025 (cf. – 3.1). A turbulência vertical depende da respectiva difusividade majorada por um valor empírico. Em função ao exposto, optou-se por reduzir o coeficiente de tensão de corte do vento de 0,001 (cf. – 3.4.1) para 0,0005, a difusividade horizontal foi reduzida a metade (de 20 para 10) e a difusividade vertical máxima de $0,005\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ para $0,001\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

4.2. Série II – Processos físicos, químicos e biológicos

4.2.1. Simulação II.1.

Com esta simulação reforçou-se os padrões dos resultados para a morfologia com 7 camadas, ao serem repetidas as condições da simulação I.1. Com efeito, os resultados são muito semelhantes. Estando apenas a considerar os processos termodinâmicos, existe um aumento da temperatura da água à superfície. Porém, abaixo dos 20 m de profundidade mantém-se a temperatura inicial de $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 4.21).

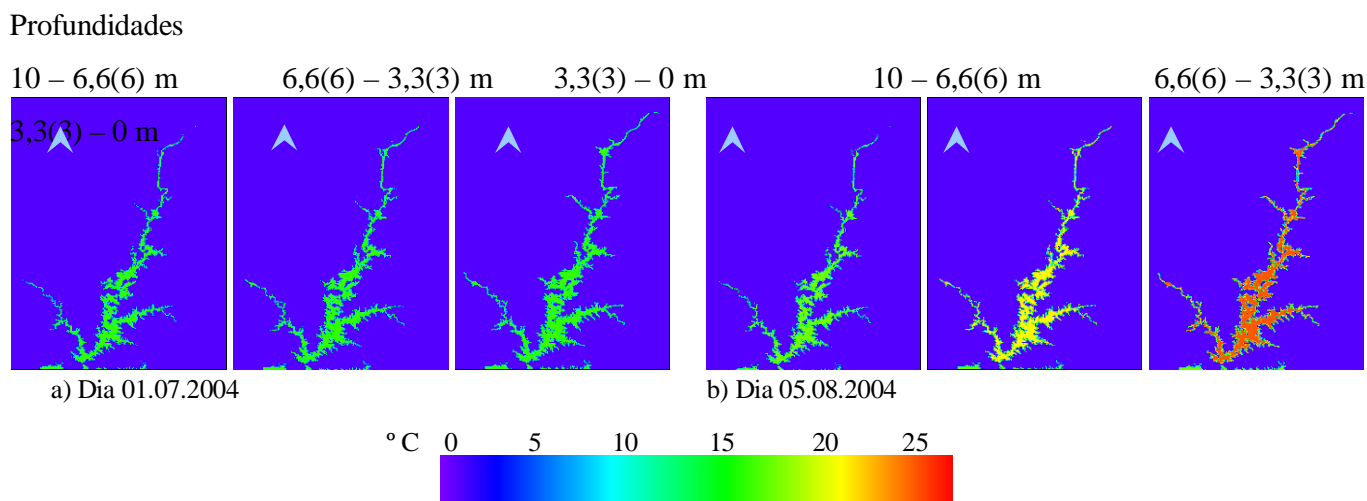


Figura 4.21 – Simulação II.1. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) simulada para as 3 camadas superficiais.

Os resultados simulados para a temperatura da água à superfície para as células correspondentes às estações de Albufeira de Alqueva – Montante e Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3), apresentados na Figura 4.22, demonstram que o modelo consegue reproduzir, com uma boa aproximação, as oscilações da temperatura na albufeira, tanto ao longo do período diurno como mensal. A convergência entre os dados observados e os simulados é mais notória do que para a simulação I.1. com 7 camadas verticais em Albufeira de Alqueva – Montante (cf. – 3.3).

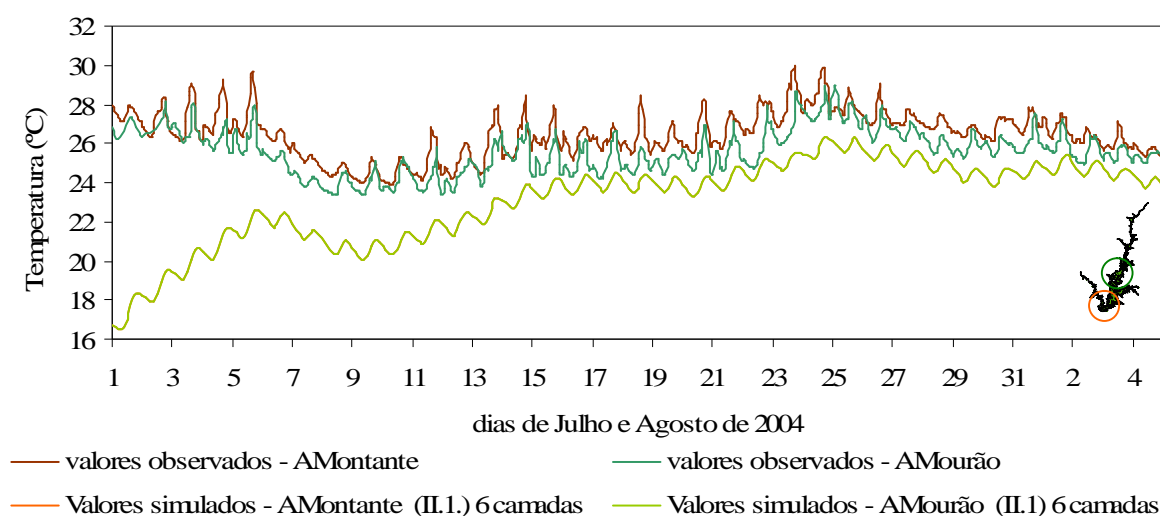


Figura 4.22 – Simulação II.1. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva – Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Verifica-se na Figura 4.23, tal como na simulação I.1, uma estratificação térmica típica de lagos em regiões temperadas. Mesmo quando os perfis de temperatura apresentados não são realistas para as camadas abaixo dos 10 m de profundidade. É possível identificar a formação de uma termoclina entre os 3,3(3) e os 6,6(6) m. Com o aumento do tempo de simulação verifica-se que a temperatura da segunda camada aumenta. Ao ser menor o gradiente térmico até aos 10 m de profundidade, os valores simulados aproximam-se mais dos valores reais.

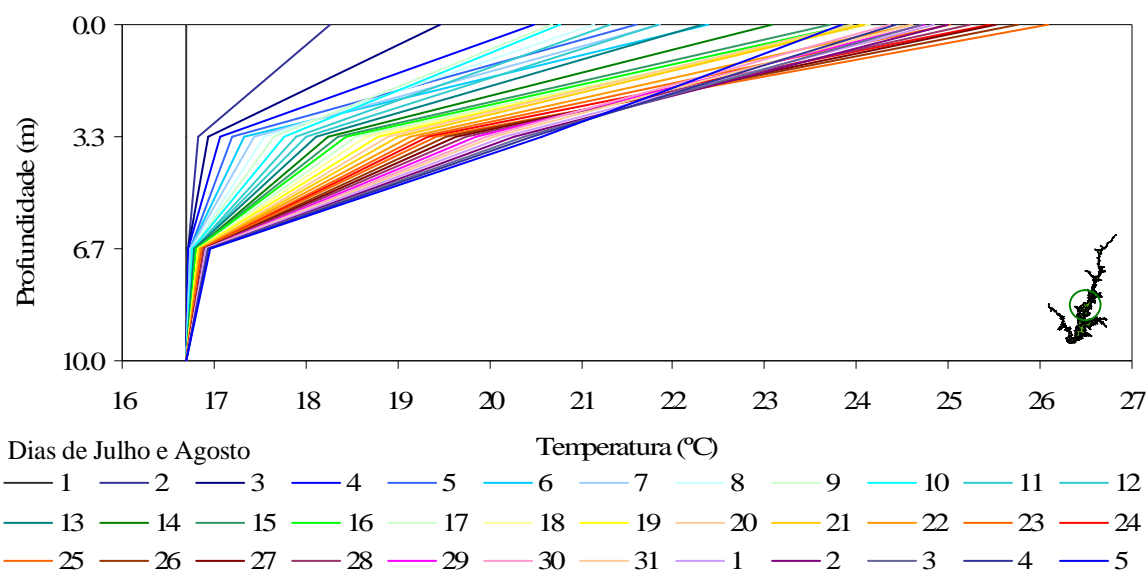


Figura 4.23 – Simulação II.1. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (cf. – 3.3).

4.2.2. Simulação II.2.

Nesta simulação foram utilizados os objectos da termodinâmica, da hidrodinâmica e da biogeoquímica (cf. – 3.1). Porém os parâmetros do objecto das substâncias dissolvidas contêm os coeficientes de conversão a zero, isto é as reacções químicas (nitrificação e desnitrificação), não são efectuadas. Sendo as variáveis conservativas, estas são alteradas unicamente por processos físicos.

Na simulação II.2. são reforçados os padrões dos resultados obtidos para as condições hidrodinâmicas das simulações I.3, em que, em termos gerais, os resultados são idênticos. A temperatura da água é mais elevada em baixios, linhas de cabeceiras e numa faixa ao longo da margem esquerda da albufeira (Figura 4.24). O aquecimento longitudinal e transversal diferenciado está associado à “acumulação” de água quente na margem esquerda e a ascensão de água mais fria ao longo da margem direita por acção da hidrodinâmica da albufeira (Figura 4.25). Nas camadas até os 10 m de profundidade o fluxo apresenta-se com alguma expressão. Nas camadas inferiores não existe um padrão de correntes. No entanto, quando se atingem profundidades coincidentes com o antigo leito do Guadiana parece haver um pequeno fluxo no sentido de jusante.

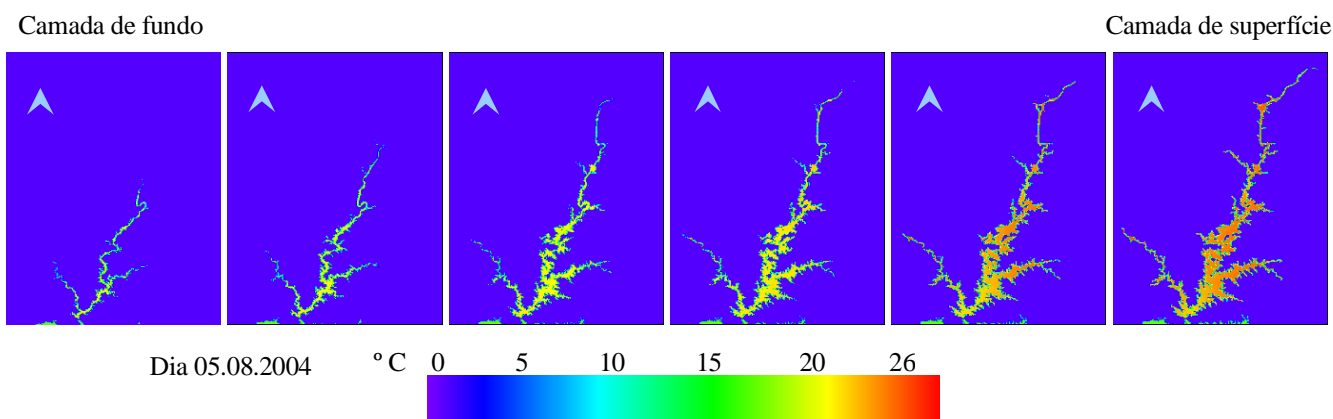


Figura 4.24 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais, para o dia 5 de Agosto de 2008. Distribuição espacial da temperatura da água simulada (°C).

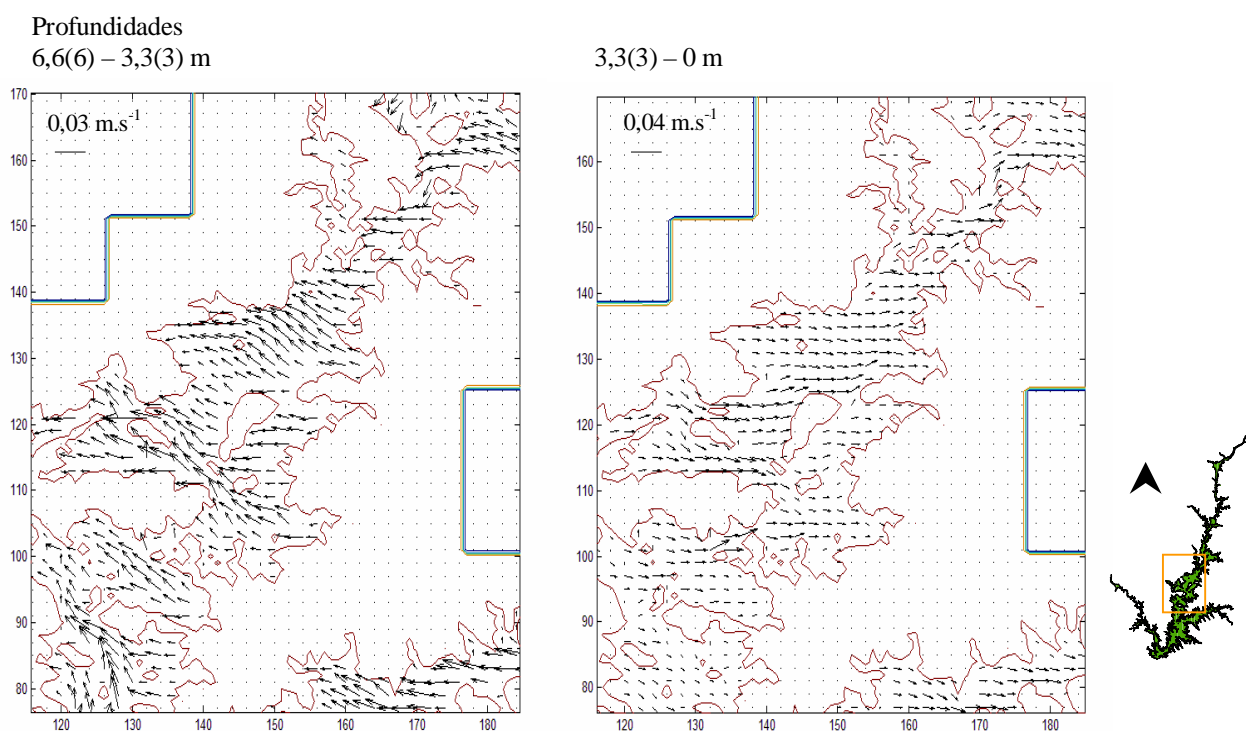


Figura 4.25 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Campos de velocidades médias das correntes das 2 primeiras camadas, na confluência das ribeiras do Álamo e da Pêga (cf. – Figura 2.4). Os contornos da albufeira são delimitados pelas profundidades à superfície.

A Figura 4.26 apresenta os resultados simulados da temperatura da água à superfície para a célula correspondente à estação de Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3). A estratificação térmica e, consequentemente, a temperatura à superfície são reduzidas pela mistura vertical da água em

resultado do hidrodinâmismo simulado. A comparação das Figura 4.23 e Figura 4.27 comprova essa mesma mistura por aquecimento das camadas mais profundas.

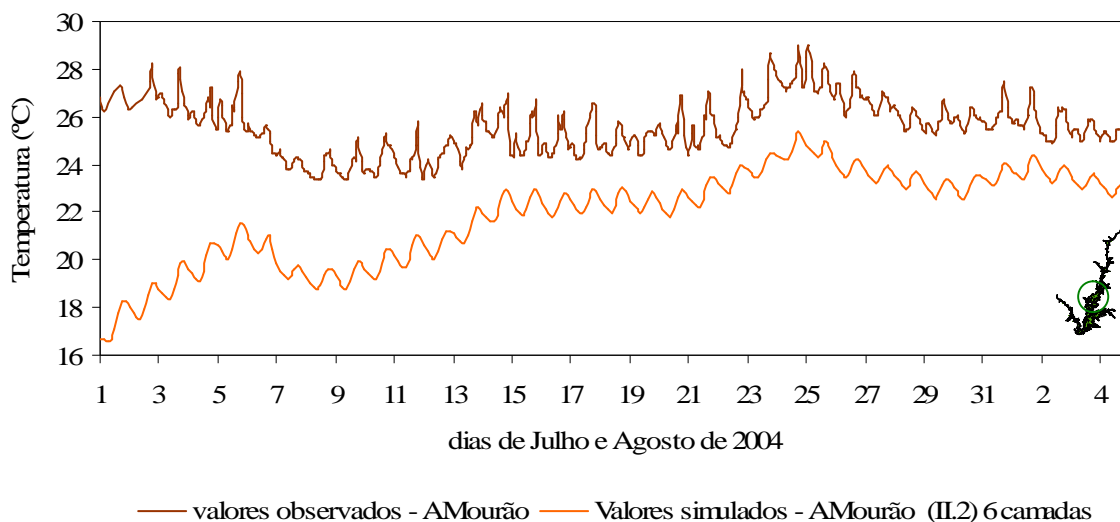


Figura 4.26 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para a temperatura da água (°C) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Observando a Figura 4.27, verifica-se um gradiente vertical da temperatura simulada com definição da termoclina entre os 3,3(3) e os 6,6(6) m de profundidade. Abaixo dos 6,6(6) m o decréscimo nos valores da temperatura da água mantém-se praticamente constante (com uma diferença de apenas 2,4 °C), parecendo indicar da existência de alguma mistura da água abaixo da termoclina.

É possível ainda verificar que, apesar do modelo conseguir reproduzir uma estratificação térmica de Verão, típica de lagos em regiões temperadas, o ajuste entre os valores simulados e os observados não é completo. A maior divergência ocorre na temperatura da camada de fundo, pois nas camadas de fundo, o modelo é limitado pela inicialização com uma temperatura mais alta (16,7 °C) do que os valores reais registados no fundo (cerca de 13 °C). Segundo os dados observados a termoclina surge muito bem definida aos 8 m (Figura 4.27). Os valores de temperatura à superfície são menores que os observados e em profundidade são muito maiores, o que indica que a mistura vertical parece estar sobre estimada. As diferenças entre os perfis do dia 14 de Julho são maiores pois os resultados reportam à fase de aproximação às condições da simulação.

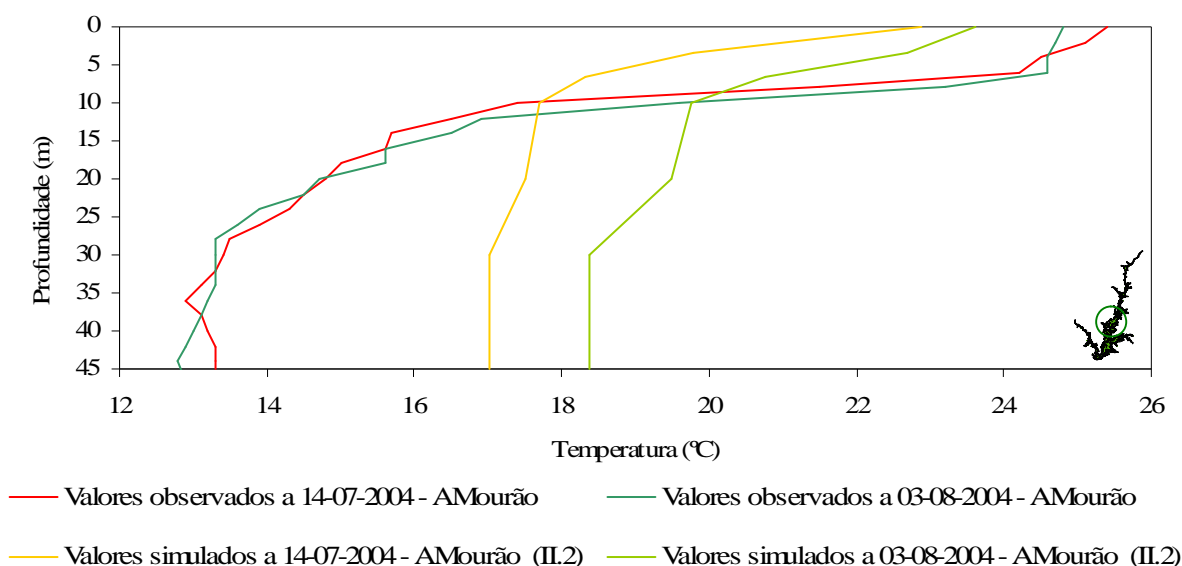


Figura 4.27 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de temperatura da água (°C) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Repare-se que entre os 28 e os 36 m de profundidade se observa uma inflexão na tendência decrescente da temperatura. Esta inflexão é, sem dúvida, devida à existência da corrente que se faz sentir ao longo do antigo leito do rio Guadiana.

O padrão da variação da concentração de oxigénio dissolvido relaciona-se inversamente com as variações da temperatura da água, apontando a diminuição da solubilidade do gás com o aumento da temperatura da água no Verão. Nos dados observados na Figura 4.28, na estação de Albufeira de Alqueva Mourão (cf. – 3.3), as oscilações diárias devem-se à combinação das reacções de fotossíntese e respiração. As amplitudes diárias num meio muito produtivo como a albufeira de Alqueva são elevadas. Os mínimos são registados de madrugada e os máximos a meio da tarde. Um outro consumo de oxigénio na coluna de água está associado à nitrificação.

Face à condição de conservação das reacções químicas e sem interferência do fitoplâncton, a série temporal dos dados simulados tende para os valores observados, sem que porém sejam esperadas e identificadas as variações diárias.

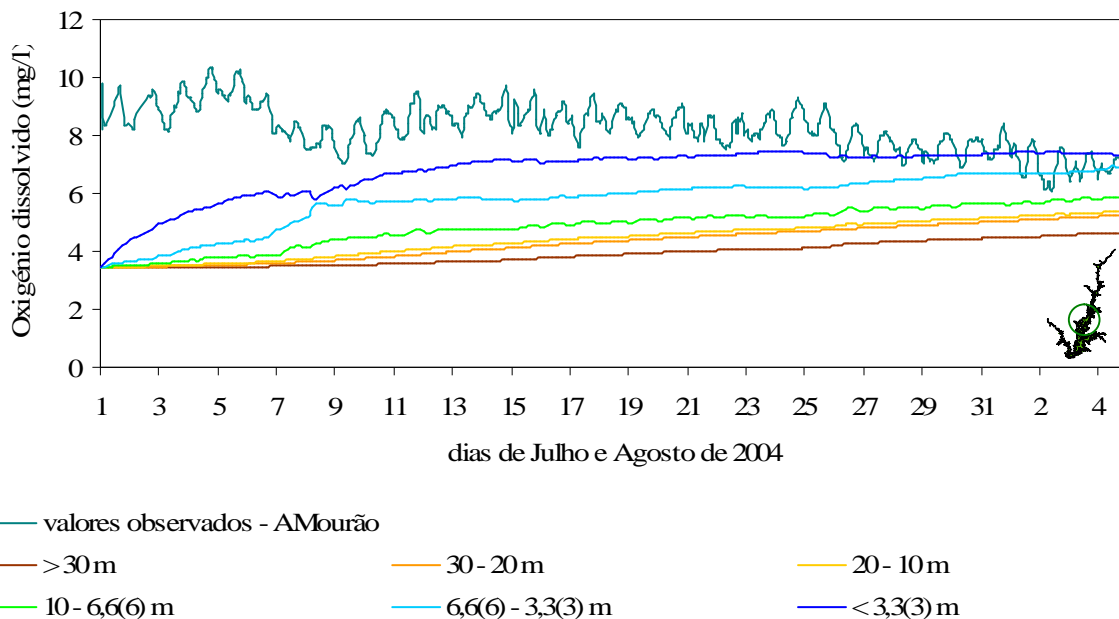


Figura 4.28 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para o oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

O gradiente vertical observado do oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água é mais pronunciado que o perfil para a temperatura da água (Figura 4.29). A termoclina surge muito bem definida aos 8 m, o que corrobora com o perfil de temperatura já referido.

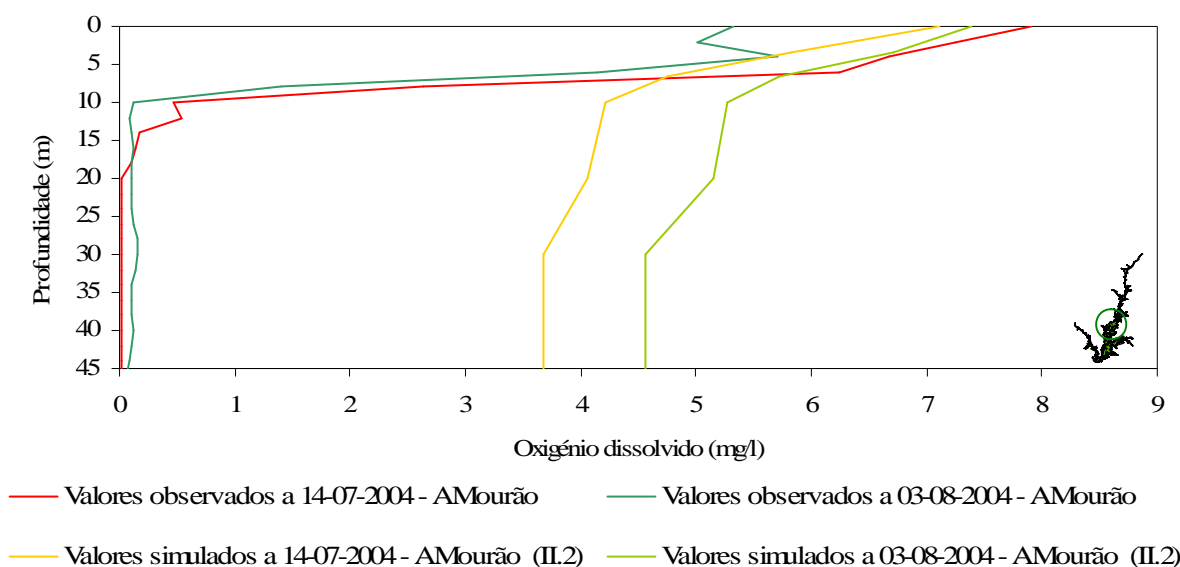


Figura 4.29 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Também os valores de oxigénio dissolvido confirmam a existência de alguma mistura da água abaixo da termoclina. A variação de densidade da água imposta pela diferença de temperatura entre o epilímnion e o hipolímnion, impede a mistura da água bem como a difusão de oxigénio entre a superfície e o fundo.

Os valores observados de azoto amoniacal (Figura 4.30) surgem com elevados teores principalmente nas situações de fundo em Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3). A carência de oxigénio em profundidade promove a redução dos compostos químicos, encontrando-se o azoto preferencialmente sob a forma amoniacal reduzida. Nas situações de superfície os valores são baixos e inferiores aos limites de detecção (L.D.).

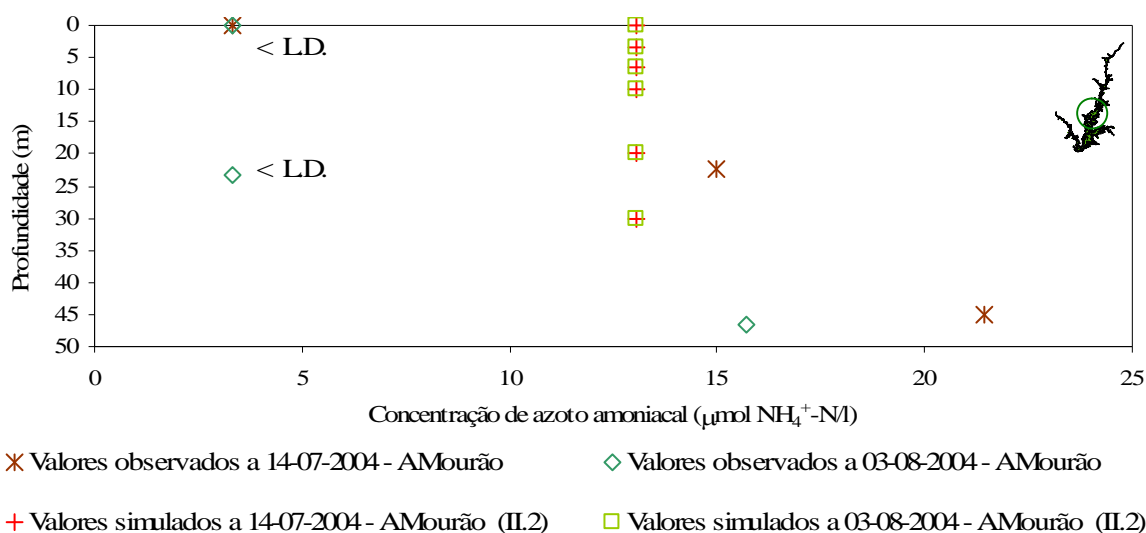


Figura 4.30 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal ($\mu\text{mol NH}_4^+ - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Na albufeira de Alqueva grande parte do azoto total encontra-se sob a forma de nitratos, já que os nitritos e o azoto amoniacal assumem pouca expressividade. Na superfície, em contacto com águas mais oxigenadas, a concentração de nitratos observados tende a diminuir (Figura 4.31).

Os nitritos constituem uma forma intermédia pouco estável entre nitratos (forma oxidada) e azoto amoniacal (forma reduzida), razão pela qual surgem em concentrações muito reduzidas nos ecossistemas. Os valores de nitritos observados encontram-se dentro da gama inferior ao limite de quantificação (L.Q.). O valor pouco sensível do L.Q. apenas permite analisar os resultados de modo

comparativo a esse valor ($2,156 \mu\text{mol NO}_2^- - \text{N.l}^{-1}$). Os valores simulados apresentam somente uma pequena diferença para o valor do L.Q. de cerca de $9,1 \times 10^{-5} \mu\text{mol NO}_2^- - \text{N.l}^{-1}$ (Figura 4.32).

A variação da concentração dos fosfatos observados apresenta um gradiente crescente com a profundidade (Figura 4.33). Em Albufeira de Alqueva – Mourão (cf. – 3.3) apresentam-se concentrações muito baixas à superfície e inferiores ao L.D..

No entanto, como esperado, para os nutrientes em estudo para ambos os dias (14-07-2004 e 03-08-2004), os perfis verticais simulados apresentam valores constantes e muito idênticos aos valores iniciais aplicados ao modelo. As alterações nos nutrientes apenas por processos físicos são muito pequenas. O nitrato é aquele que apresenta maior amplitude de valores, registando a maior diferença à superfície com um valor aproximado de $0,02 \mu\text{mol NO}_3^- - \text{N.l}^{-1}$ (Figura 4.31).

Dentro do período da simulação, a entrada e saída de nutrientes, não altera a concentração destes. A importância relativa dos afluentes não é significativa para influenciar a qualidade da água.

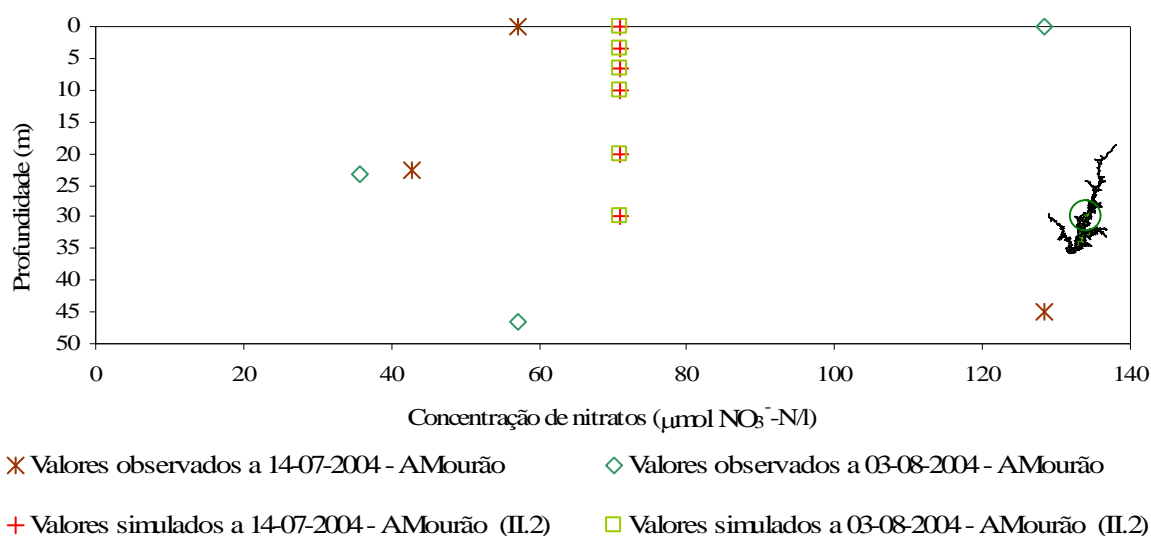


Figura 4.31 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^- - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

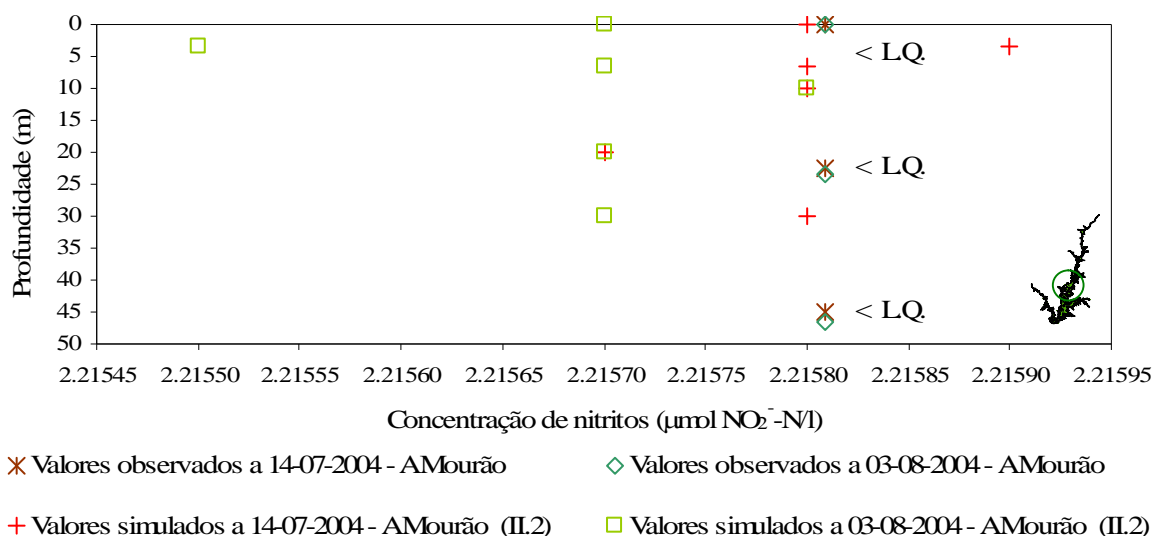


Figura 4.32 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2^- - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

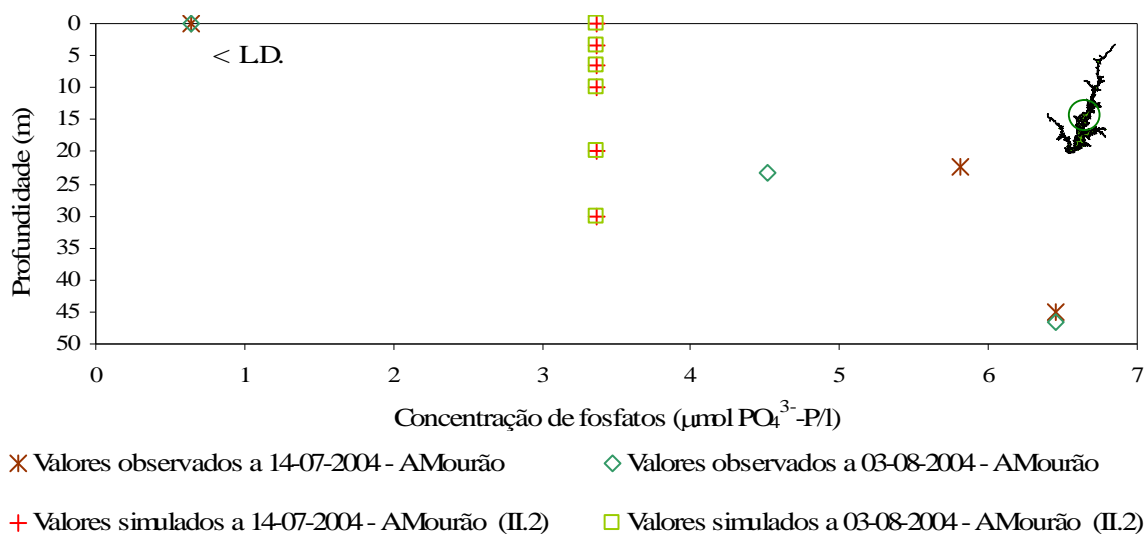


Figura 4.33 – Simulação II.2. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de fosfatos ($\mu\text{mol PO}_4^{3-} - \text{P.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

4.2.3. Simulação II.3.

Na simulação II.3. foram usados os mesmos objectos e funções forçadoras que em II.2, excepto que os nutrientes são sujeitos aos seus próprios ciclos biogeoquímicos. A oxigenação da água é influenciada pela hidrodinâmica, mas a variação dos teores de oxigénio dissolvido observada na

Figura 4.34, indica que as reacções químicas (nitrificação e desnitrificação) condicionam fortemente este parâmetro. Comparando a simulação II.2. e a simulação II.3. a diferença entre os valores observados e simulados é muito maior para esta segunda simulação, o que demonstra que o modelo sub-estima os valores de oxigénio dissolvido. Esta sub-estimação prende-se com a ausência de fitoplâncton. Os valores de oxigénio dissolvido diminuem de modo significativo a partir dos 10 m (profundidade aproximada da termoclina), devido à ausência de trocas difusivas com a atmosfera.

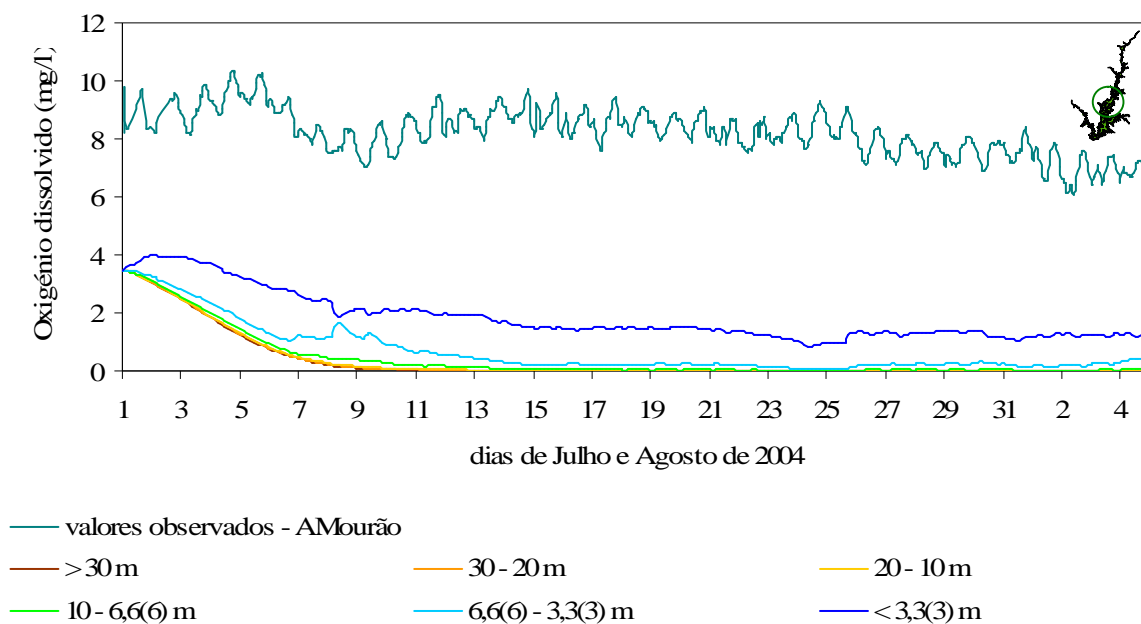


Figura 4.34 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para o oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Os perfis verticais de oxigénio dissolvido previstos pelo modelo ao longo do tempo, mostram a formação de uma oxiclina que se aproxima dos dados reais excepto à superfície. (Figura 4.35). A contribuição relativa dos afluentes é mais visível a nível local, no que respeita ao oxigénio dissolvido, do que na Simulação II.2. (Figura 4.36). Este fenómeno apenas é visível devido às menores concentrações de oxigénio previstas na presente simulação, como resultado da nitrificação.

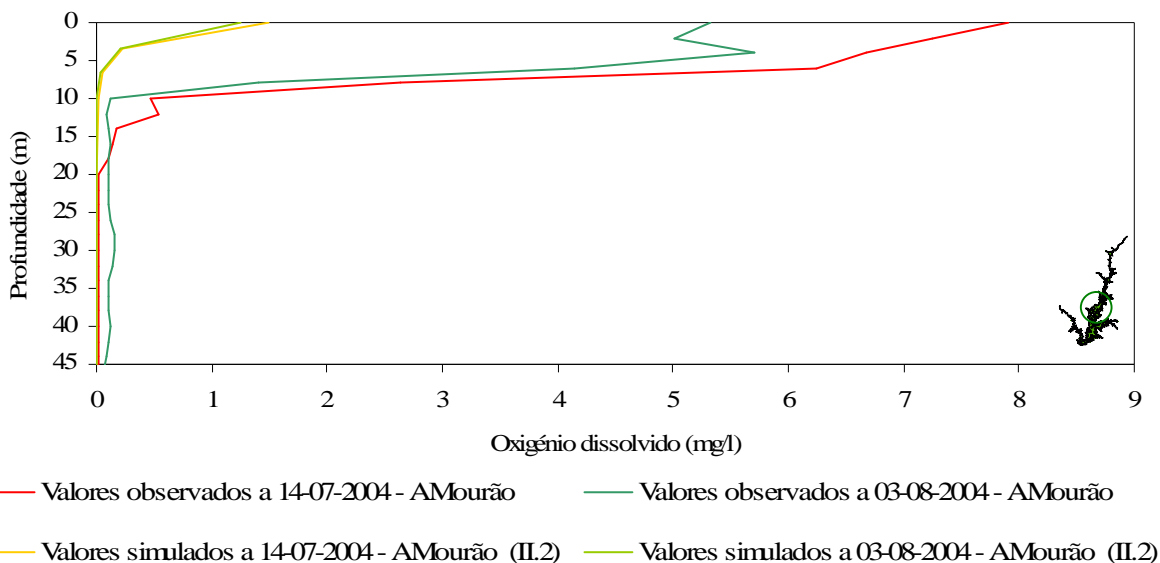
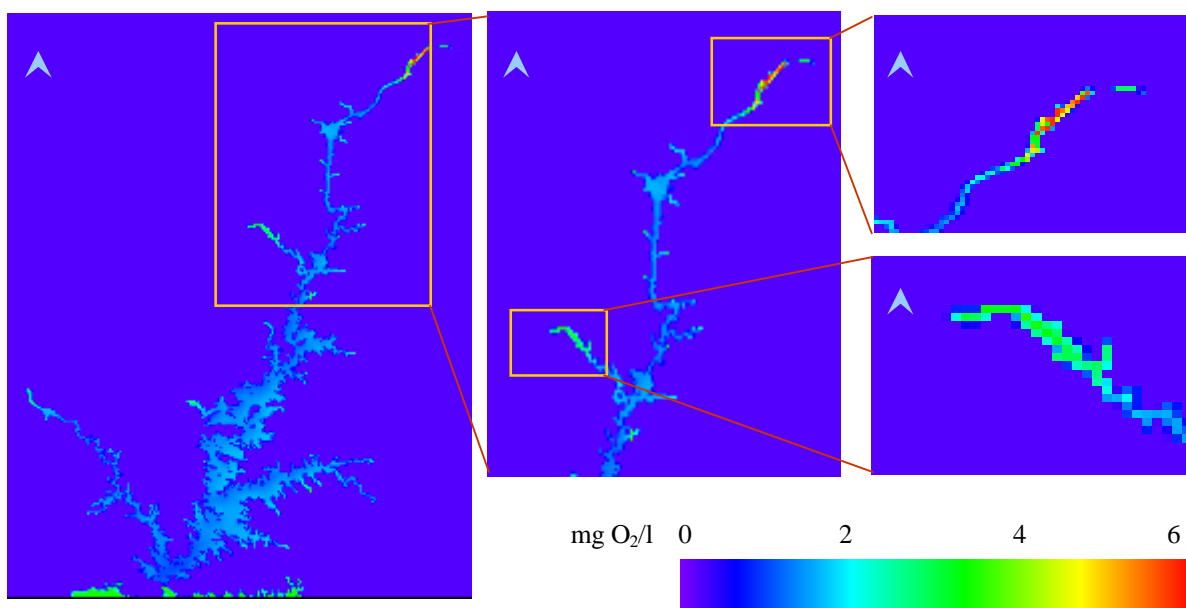


Figura 4.35 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2\text{l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).



Dia 05.08.2004

Figura 4.36 – Simulação II.3. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais à superfície. Distribuição espacial da concentração de oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2\text{l}^{-1}$). Destaque para a camada de superfície na descarga de montante (início do regolfo da albufeira) e para a ribeira de Lucefecit.

O azoto amoniacal simulado (Figura 4.37) surge com elevados teores principalmente abaixo dos 20 m, pois a carência de oxigénio em profundidade promove a desnitrificação. Junto à superfície

apresenta valores mais baixos, pois os níveis mais elevados de oxigénio dissolvido promovem a nitrificação. Os valores observados são muito inferiores aos simulados, com maior incidência à superfície, pois estando o oxigénio dissolvido sub-estimado, também a concentração de azoto amoniacal apresenta valores simulados superiores aos observados.

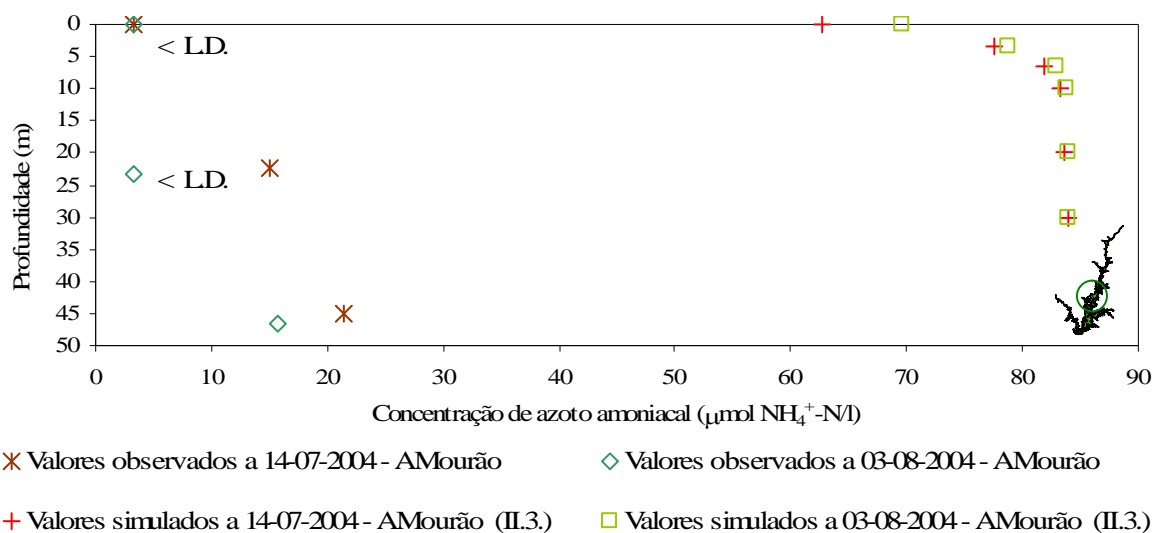
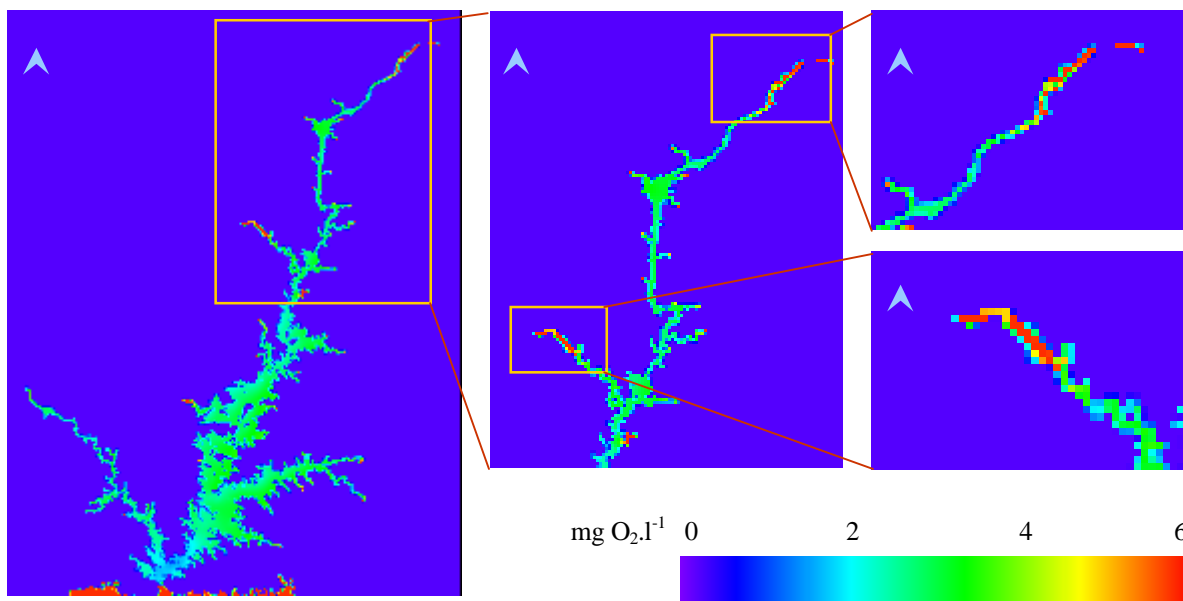


Figura 4.37 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal ($\mu\text{mol NH}_4^+ - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

A variabilidade horizontal e vertical da concentração de nitrato está associada aos teores de oxigénio dissolvido e de azoto amoniacal. À semelhança do que se passa com a distribuição espacial de oxigénio dissolvido, verifica-se que há introdução de nitratos (Figura 4.38) pela bacia de drenagem. Também neste caso, o seu carácter é local e sem que a quantidade descarregada tenha uma influência significativa na concentração de nitratos na albufeira.

O gradiente vertical dos nitratos simulados é inversamente proporcional à variação vertical do azoto amoniacal (Figura 4.39). A concentração de nitratos decresce com a profundidade devido à baixa concentração de oxigénio dissolvido e conseqüente conversão de nitratos em azoto amoniacal (a partir dos 10 m de profundidade) pela desnitrificação. À superfície, como existe mais oxigenação, os valores de nitrato são mais elevados, devido à nitrificação. Os valores de nitrato observados são muito superiores aos valores simulados, devido à ausência do consumo pelo fitoplâncton.



Dia 05.08.2004

Figura 4.38 – Simulação II.3. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais à superfície. Distribuição espacial da concentração de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^- - \text{N.l}^{-1}$). Destaque para a camada de superfície na descarga de montante (início do regolfo da albufeira) e para a ribeira de Lucefecit.

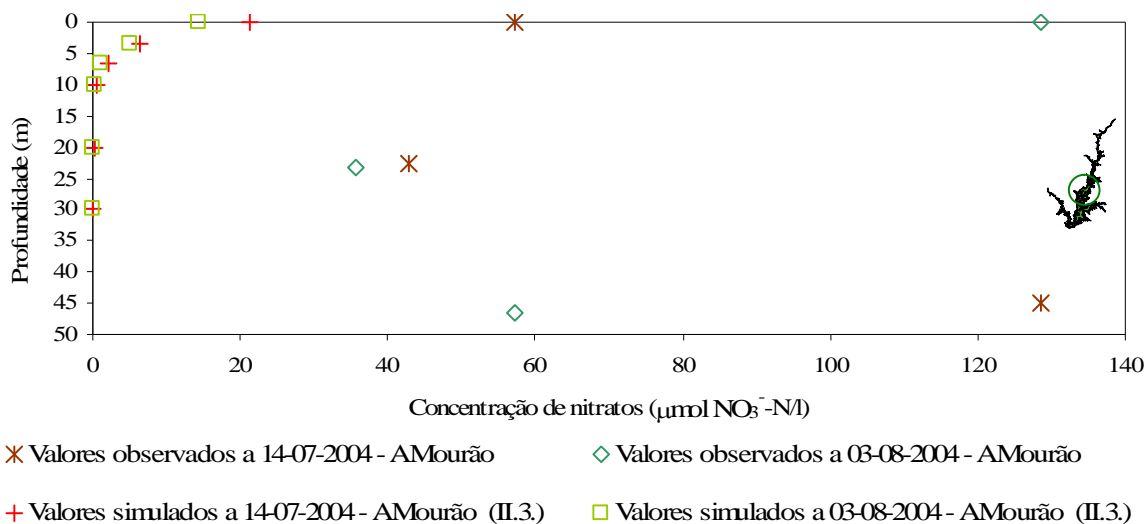


Figura 4.39 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitratos ($\mu\text{mol NO}_3^- - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

A gama de variação da concentração de nitritos simulados é muito pequena (Figura 4.40). Dentro das restrições dos limites de quantificação já referidas, os valores simulados encontram-se abaixo do L.Q. para os nitritos, apresentando uma boa aproximação entre os valores observados e previstos. A

excepção verifica-se para a profundidade entre os 3,3(3) e os 6,6(6) m com um desvio de 0,0001 $\mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{N.l}^{-1}$, sem qualquer expressividade.

A concentração de fosfatos continua a ser tratada como conservativa na presente simulação, dado não terem sido incluídos os processos de adsorção/desorção pelos sedimentos, nem a mineralização da matéria orgânica em suspensão. O ajuste dos valores simulados aos valores reais depende também do consumo fitoplanctónico, não incluído nesta simulação. Os teores de fósforo observados à superfície apresentam concentrações muito baixas, o que não implica reduzida importância, mas sim a indicação do elevado consumo de fósforo pelos produtores primários. As bactérias também são fortes competidores por este nutriente, bem como as plantas aquáticas e vários microrganismos. Os padrões de variação com concentrações mais elevadas nas situações de meio e fundo na albufeira apontam para uma acumulação deste nutriente em profundidade.

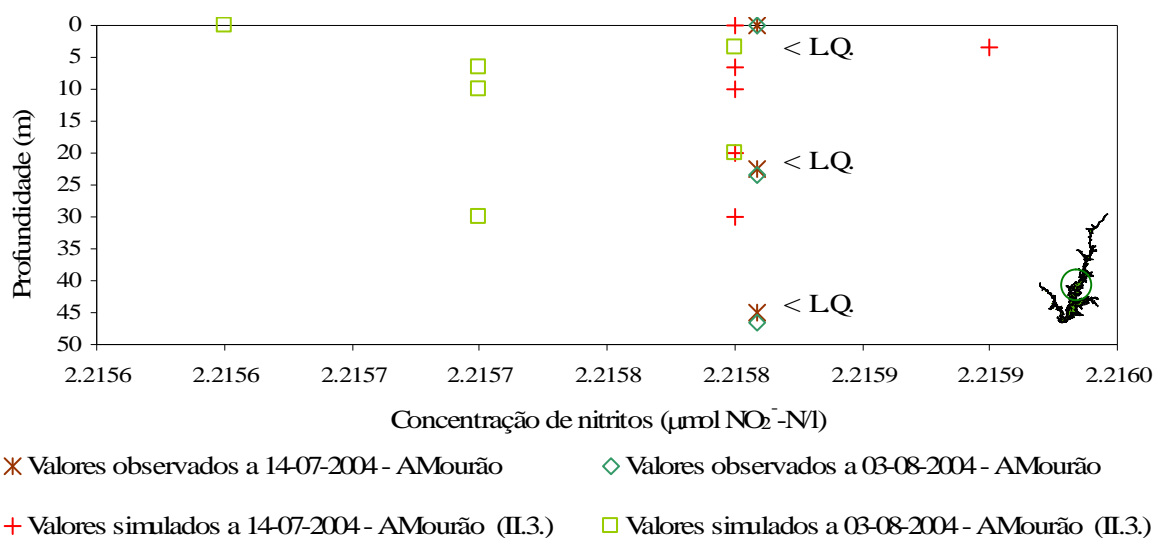
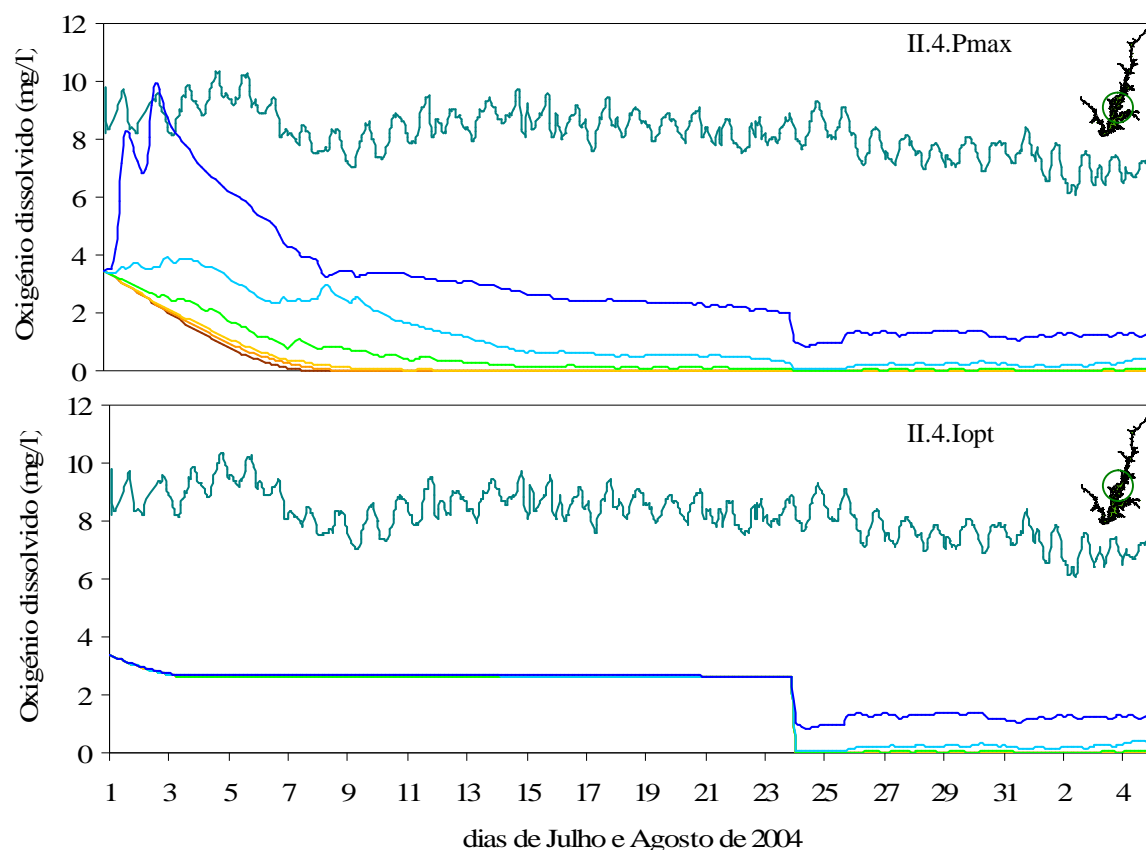


Figura 4.40 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitritos ($\mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Os teores de oxigénio dissolvido e as concentrações dos nutrientes são fortemente condicionados pelo fitoplâncton. As concentrações de oxigénio dissolvido não chegam para compensar a nitrificação que ocorre na albufeira.

Ao alterar a taxa máxima de produção de $0,05 \text{ h}^{-1}$ para $0,1 \text{ h}^{-1}$ (Figura 4.43), obteve-se a melhor aproximação das três simulações, chegando-se a atingir valores observados à superfície muito próximos dos esperados. No entanto, pouco depois, a concentração de oxigénio dissolvido decresceu abruptamente. Este facto explica-se pela diminuição da concentração de fitoplâncton ao longo do tempo, prevista pelo modelo e resultante do mesmo não estar ainda devidamente calibrado.



— valores observados - AMourão
 — >30 m — 30- 20 m — 20- 10 m
 — 10- 6,6(6) m — 6,6(6) - 3,3(3) m — <3,3(3) m

Figura 4.43 – Simulações II.4.Pmax e II.4.Iopt (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação entre a variação temporal dos valores observados e simulados pelo modelo para o oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2\text{.l}^{-1}$) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Continuam a verificar-se os padrões relativos à nitrificação superficial e desnitrificação de fundo. Podemos observar valores muito baixos de amónia à superfície, uma vez que é no fundo que as condições redutoras potenciam esta forma de azoto. O perfil de concentração de azoto amoniacal baixou, relativamente a II.3, mas são o suficiente para atingir os valores observados (Figura 4.44).

Tal como na simulação II.3, também agora se pode afirmar que a concentração de azoto amoniacal depende das concentrações correctas de oxigénio dissolvido e fitoplâncton. Não se verificam alterações apreciáveis nas concentrações de nitratos quando se comparam os resultados com os das simulações II.3 e II.4.

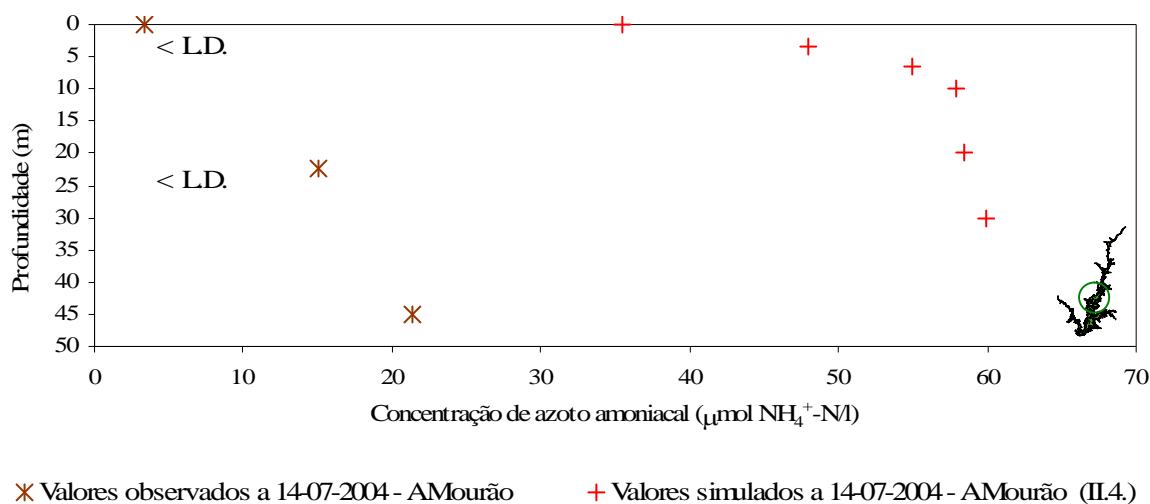


Figura 4.44 – Simulação II.4. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal ($\mu\text{mol NH}_4^+ - \text{N.l}^{-1}$) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3).

Os valores de nitritos permanecem abaixo do limite de quantificação. Como este aparenta não ser adequado à ordem de grandeza expectável para este nutriente, não é possível calibrar o valor da concentração de nitritos à superfície.

Os fosfatos apresentam um comportamento igual para toda a coluna de água, agindo como se estivessem em situação conservativa. Os valores obtidos nestas simulações são mais baixos do que os valores obtidos para a simulação II.3, devido ao consumo pelo fitoplâncton.

Do mesmo modo os teores de oxigénio dissolvido e as concentrações dos nutrientes são fundamentalmente condicionados pelos processos associados ao fitoplâncton, o que indica que a dinâmica decorre essencialmente dos processos internos.

4.3. Comparação dos principais resultados dos trabalhos de modelação na albufeira de Alqueva

Os trabalhos de modelação realizados até ao presente sobre a albufeira de Alqueva foram implementados no modelo CE-QUAL-W2 (cf. - 2.4.1). Este modelo bidimensional resolvido na vertical permite representar longitudinalmente e na vertical os processos hidrodinâmicos e biogeoquímicos, desprezando uma das dimensões horizontais.

Analisando os trabalhos de modelação efectuados na albufeira de Alqueva sobressaem quatro pontos fundamentais: (i) em todos foi implementado e calibrado o modelo; (ii) a albufeira foi classificada como um sistema eutrófico; (iii) a correcta calibração do oxigénio dissolvido depende dos ciclos biogeoquímicos e do fitoplâncton; e (iv) não existem dados para a correcta ponderação dos caudais afluentes (Diogo et al., 2003; Trindade et al., 2004).

Em Diogo et al. (2003) foi simulada a qualidade da água tendo sido incluídos apenas as variáveis temperatura e oxigénio dissolvido. Os resultados do modelo apresentaram diferenças importantes face aos valores observados, sobretudo junto ao fundo da albufeira. Diogo et al. (2003) aponta como justificação para estas diferenças, a não inclusão de outros parâmetros da qualidade da água, como por exemplo os parâmetros relativos aos ciclos do fósforo e do azoto, o fitoplâncton e a carência bioquímica em oxigénio.

Trindade et al. (2004) apresenta um trabalho mais complexo, resultando da continuação do trabalho desenvolvido no âmbito da elaboração do Plano de Ordenamento das Albufeiras de Alqueva e Pedrógão (POA-AP). Nele foram simulados a temperatura, o oxigénio dissolvido, a matéria orgânica, os nutrientes azotados (azoto amoniacal, nitratos e nitritos) e os fosfatos, assim como a biomassa algal.

Os resultados obtidos classificam a albufeira como monomíctica quente, com base na periodicidade anual da mistura vertical. Os teores de oxigénio dissolvido, de matéria orgânica e de nutrientes são fortemente condicionados pelo desenvolvimento da biomassa. Os processos de eutrofização devem-se essencialmente à dinâmica interna, sendo as descargas pontuais de efluentes domésticos de reduzido impacte. Houve dificuldade na calibração do modelo relativamente à concentração de

nitritos e fosfatos devido aos valores elevados dos limites de detecção dos métodos utilizados na sua determinação. Para que a reprodução dos dados simulados apresentasse uma aproximação maior, verificou-se a necessidade de quantificar os caudais laterais afluentes com maior precisão.

O trabalho de modelação descrito em Diogo et al. (2005), já reproduz bastante bem a hidrodinâmica e os processos que controlam a qualidade da água na albufeira. Apesar dos esforços de quantificar a influência das diferentes fontes poluidoras existentes na bacia da albufeira de Alqueva em território português e espanhol, a estimativa generalista de cargas efectuada demonstrou estar algo distante da realidade. Não obstante, os resultados apontam para uma maior carga gerada em Espanha. De acordo com o mesmo autor, mesmo que fossem removidas todas as cargas nacionais, a melhoria não era suficiente para atingir os objectivos de qualidade pretendidos, para os diferentes usos a que se destina a água desta albufeira.
