

## Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Âmbito e objectivo	3
1.3. Organização do texto	4
<b>2. Estado da arte .....</b>	<b>5</b>
2.1. Área de estudo	5
2.1.1. Bacia hidrográfica do rio Guadiana.....	5
2.1.2. O empreendimento de Alqueva .....	6
2.1.3. Barragem de Alqueva .....	7
2.1.4. Hidrografia.....	9
2.1.5. Climatologia.....	11
2.1.6. Fisiografia .....	15
2.1.7. Solos e ocupação do solo .....	17
2.1.8. Fontes de poluição.....	18
2.1.9. Conservação da Natureza .....	19
2.2. Qualidade da água	20
2.2.1. Principais impactes resultantes da criação de uma albufeira .....	20
2.2.2. Análise preliminar da qualidade da água.....	22
2.2.3. Qualidade da água antes e depois da albufeira de Alqueva .....	23
2.3. Avaliação do estado trófico	25
2.3.1. Classificação do estado trófico .....	25
2.3.2. Albufeiras do Alentejo .....	26
2.3.3. Albufeira de Alqueva.....	28
2.4. Modelação da qualidade da água da albufeira de Alqueva	28
2.4.1. Resumo histórico.....	29

---

<b>3. Metodologia .....</b>	<b>32</b>
3.1. Modelo da albufeira de Alqueva .....	32
3.2. Dados forçadores .....	40
3.2.1. Origem dos dados .....	41
3.2.2. Dados meteorológicos.....	44
3.2.3. Dados de qualidade da água .....	49
3.3. Dados para comparação entre valores observados e valores do modelo .....	53
3.4. Organização e metodologia das simulações .....	54
3.4.1. Organização das simulações.....	54
3.4.2. Determinação do passo de cálculo .....	58
3.5. Análise do desempenho e verificação do modelo .....	59
<b>4. Resultados e discussões .....</b>	<b>60</b>
4.1. Série I – Implementação do modelo .....	60
4.1.1. Simulações I.1. ....	60
4.1.2. Simulação I.2. ....	65
4.1.3. Simulações I.3. ....	68
4.1.4. Simulações I.3.V, I.3.DH e I.3.DMV .....	74
4.2. Série II – Processos físicos, químicos e biológicos .....	77
4.2.1. Simulação II.1. ....	77
4.2.2. Simulação II.2. ....	79
4.2.3. Simulação II.3. ....	86
4.2.4. Simulações II.4., II.4.Pmax e II.4.Iopt.....	92
4.3. Comparação dos principais resultados dos trabalhos de modelação na albufeira de Alqueva .....	95
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>97</b>
<b>6. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>100</b>

---

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Bacias hidrográficas Luso-Espanholas (adaptado de MAA (2006)) e bacia hidrográfica portuguesa do Guadiana.....	5
Figura 2.2 – Bacia hidrográfica portuguesa da albufeira de Alqueva.....	8
Figura 2.3 – Rede Hidrográfica da albufeira de Alqueva, com identificação dos três braços principais. ....	9
Figura 2.4 – Sub-bacias hidrográficas da albufeira de Alqueva. ....	11
Figura 2.5 – Distribuição espacial da temperatura do ar média anual (°C), precipitação anual total (mm) e escoamento médio anual (mm) na bacia hidrográfica da albufeira de Alqueva - da esquerda para a direita (adaptada de IA (2003)).....	13
Figura 2.6 – Distribuição espacial da insolação média anual (horas), humidade relativa do ar (%) às 9 T.M.G (média anual) e evapotranspiração real média anual (mm) na bacia hidrográfica da albufeira de Alqueva - da esquerda para a direita (adaptado de IA (2003)).....	15
Figura 2.7– Histograma representativo da curva hipsométrica de classes de altitude, da área interior ao NPA da albufeira de Alqueva (adaptado de INAG (2000a)). ....	16
Figura 2.8 – Variação mensal da concentração de fósforo total em $\text{mg.l}^{-1}$ de P, na albufeira de Alqueva, em três níveis de profundidade e ordenados de montante para jusante (adaptado de Gonçalves (2005)). ....	23
Figura 2.9 – Variação mensal da concentração de Clorofila <i>a</i> em $\mu\text{g.l}^{-1}$ , na zona eutrófica, na albufeira de Alqueva, ordenados de montante para jusante (adaptado de Gonçalves (2005)).	28
Figura 3.1 – Visualização do interface principal do modelo sobreposta com a janela de selecção de variáveis. ....	32
Figura 3.2 – Identificação do domínio e sub-domínio. ....	39
Figura 3.3 – Localização das estações meteorológicas automáticas SNIRH seleccionadas e dos locais de amostragem da EDIA.....	43

Figura 3.4 – Dados de batimetria para uma resolução de 200 m por 200 m. Profundidades com valor positivo e altitudes com valor negativo relativo ao NPA, cota 152 m. ....	44
Figura 3.5 – Valores horários da temperatura do ar para o ano de 2004 (°C).....	45
Figura 3.6 - Valores horários de humidade relativa do ar para o ano de 2004 (%).....	45
Figura 3.7 - Valores horários da velocidade do vento para o ano de 2004 (m.s <sup>-1</sup> ).....	46
Figura 3.8 - Valores horários da direcção do vento para o ano de 2004 (rad).....	46
Figura 3.9 – Valores horários da radiação solar para o ano de 2004 (W.h.m <sup>-2</sup> ).....	47
Figura 3.10 - Valores médios diários de caudal afluente para parte do ano de 2006 (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ).....	48
Figura 3.11 - Valores médios diários de caudal efluente para parte do ano de 2006 (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ).....	48
Figura 3.12 – Localização dos pontos de descarga do efluente e dos afluentes no modelo da albufeira de Alqueva.....	49
Figura 3.13 – Valores de temperatura da água observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (°C). ....	50
Figura 3.14 – Valores de oxigénio dissolvido observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (mg.l <sup>-1</sup> ). ....	50
Figura 3.15 – Valores de nitratos observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (µg.l <sup>-1</sup> ).....	51
Figura 3.16 – Valores de nitritos observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (µg.l <sup>-1</sup> ).....	51
Figura 3.17 – Valores de azoto amoniacal observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (µg.l <sup>-1</sup> ). ....	51
Figura 3.18 – Valores dos fosfatos observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 (µg.l <sup>-1</sup> ).....	52

Figura 3.19 – Valores de sólidos suspensos totais observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 ( $\text{mg.l}^{-1}$ ).....	52
Figura 3.20 – Valores de clorofila <i>a</i> observados nos 3 locais de amostragem (cf. – Figura 3.3) ao longo do ano de 2004 ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ).....	52
Figura 3.21 – Localização das estações meteorológicas automáticas SNIRH seleccionadas e dos locais de amostragem da EDIA.....	54
Figura 4.1 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada ( $^{\circ}\text{C}$ ). ....	61
Figura 4.2 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada ( $^{\circ}\text{C}$ ) para as 4 camadas superficiais. ....	61
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 ( $^{\circ}\text{C}$ ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” (AMontante) e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). ....	62
Figura 4.4 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água simulada ( $^{\circ}\text{C}$ ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).....	63
Figura 4.5 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Perfis verticais de temperatura da água simulada ( $^{\circ}\text{C}$ ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).....	63
Figura 4.6 – Simulação I.1. (cf. - 3.4.1) com 7 camadas verticais. Variação temporal do balanço energético à superfície ( $\text{W.m}^{-2}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Montante” e “Albufeira de Alqueva – Mourão” (cf. – 3.3).....	64
Figura 4.7 – Simulação I.2. (cf. - 3.4.1) com 5 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água simulada ( $^{\circ}\text{C}$ ). ....	65

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). .....	66
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). .....	67
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. ....	68
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. ....	69
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. ....	70
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). .....	70
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). .....	71
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). .....	71
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. ....	72

- 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. .... 73
- 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). .... 74
- 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). .... 75
- 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. .... 76
- Figura 4.21 – Simulação II.1. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Distribuição espacial da temperatura da água (°C) simulada para as 3 camadas superficiais. .... 77
- 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). .... 78
- 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). .... 79
- 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). .... 80
- 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. .... 80

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). .....	81
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).....	82
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 (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	83
Figura 4.29 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de oxigénio dissolvido (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	83
Figura 4.30 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal (μmol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N.l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	84
Figura 4.31 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitratos (μmol NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N.l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	85
Figura 4.32 – Simulação II.2. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitritos (μmol NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N.l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). ..	86
Figura 4.33 – Simulação II.2. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de fosfatos (μmol PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P.l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). ..	86
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 (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	87
Figura 4.35 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de oxigénio dissolvido (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .....	88

---

- Figura 4.36 – Simulação II.3. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais à superfície. Distribuição espacial da concentração de oxigénio dissolvido ( $\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ). Destaque para a camada de superfície na descarga de montante (início do regolfo da albufeira) e para a ribeira de Lucefecit. .... 88
- Figura 4.37 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal ( $\mu\text{mol NH}_4^+ - \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .... 89
- Figura 4.38 – Simulação II.3. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais à superfície. Distribuição espacial da concentração de nitratos ( $\mu\text{mol NO}_3^- - \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Destaque para a camada de superfície na descarga de montante (início do regolfo da albufeira) e para a ribeira de Lucefecit. .... 90
- Figura 4.39 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitratos ( $\mu\text{mol NO}_3^- - \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). 90
- Figura 4.40 – Simulação II.3. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de nitritos ( $\mu\text{mol NO}_2^- - \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). . 91
- Figura 4.41 – Simulação II.3. (cf. - 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de fosfatos ( $\mu\text{mol PO}_4^{3-} - \text{P}\cdot\text{l}^{-1}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). 92
- Figura 4.42 – Simulação II.4. (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). .... 92
- 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 ( $\text{mg O}_2\cdot\text{l}^{-1}$ ) à superfície em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .... 93
- Figura 4.44 – Simulação II.4. (cf. – 3.4.1) com 6 camadas verticais. Comparação dos perfis verticais de azoto amoniacal ( $\mu\text{mol NH}_4^+ - \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ ) em “Albufeira de Alqueva-Mourão” (AMourão) (cf. – 3.3). .... 94

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Principais rios drenantes da bacia hidrográfica da albufeira de Alqueva e respectivas áreas de escoamento. ....	10
Tabela 2.2 – Distribuição da carga poluente afluente à albufeira de Pedrógão, área e escoamento anual correspondente (retirado de EDIA, (2003a)). ....	19
Tabela 2.3 – Critério de avaliação do estado para lagoas e albufeiras ( <i>in</i> INAG, (2004b)).....	26
Tabela 2.4 – Classificação do estado trófico de 21 albufeiras do Alentejo nos anos hidrológicos 2000/2001 a 2004/2005. ....	27
Tabela 3.1 – Objectos do EcoDynamo e principais variáveis associadas (adaptado de Pereira e Duarte (2005)). ....	37
Tabela 3.2 – Principais características das estações meteorológicas e hidrométricas seleccionadas e número de dados para cada um dos parâmetros utilizados. As estações seleccionadas são do tipo automática com transmissão de dados por telemetria.....	42
Tabela 3.3 – Principais características das estações de qualidade seleccionadas e número de dados para cada um dos parâmetros utilizados. As estações seleccionadas são do tipo automática com transmissão de dados por telemetria.....	53

---