

**Simulação da hidrodinâmica e da qualidade da água nas  
albufeiras de Álamos, Loureiro, Alvito, Monte Novo,  
Odivelas, Barras, Vale do Gaio, Pisão, Alfundão, Roxo e  
Estuário do Sado: Estado de referência e cenários  
futuros**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Representação da área superficial da albufeira de Álamos no modelo CE-QUAL-W2.....  | 13 |
| Figura 2– Perfil longitudinal da albufeira de Álamos.....  | 13 |
| Figura 3- Representação da área superficial da albufeira de Loureiro no modelo CE-QUAL-W2.....   | 14 |
| Figura 4– Perfil longitudinal da albufeira de Loureiro .....   | 14 |
| Figura 5- Representação da área superficial da albufeira de Alvito no modelo CE-QUAL-W2.....   | 14 |
| Figura 6 – Perfil longitudinal da albufeira de Alvito .....  | 15 |
| Figura 7 - Representação da área superficial da albufeira de Odivelas no modelo CE-QUAL-W2.....  | 15 |
| Figura 8 - Perfil longitudinal da albufeira de Odivelas.....   | 16 |
| Figura 9 - Representação da área superficial da albufeira de Vale do Gaio no modelo CE-QUAL-W2.....  | 16 |
| Figura 10– Perfil longitudinal da albufeira de Vale do Gaio.....   | 17 |
| Figura 11- Representação da área superficial da albufeira de Barras no modelo CE-QUAL-W2.....  | 17 |
| Figura 12– Perfil longitudinal da albufeira de Barras.....   | 18 |
| Figura 13- Representação da área superficial da albufeira de Alfundão no modelo CE-QUAL-W2.....  | 18 |
| Figura 14– Perfil longitudinal da albufeira de Alfundão .....  | 18 |
| Figura 15- Representação da área superficial da albufeira de Pisão no modelo CE-QUAL-W2.....   | 19 |
| Figura 16– Perfil longitudinal da albufeira de Pisão.....  | 19 |
| Figura 17- Representação da área superficial da albufeira de Roxo no modelo CE-QUAL-W2 (À esquerda apresenta-se uma representação diferente para permitir uma melhor compreensão da discretização do domínio). .....                               | 20 |
| Figura 18– Perfil longitudinal dos dois braços da albufeira do Roxo.....   | 20 |
| Figura 19– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira do Alvito.....   | 21 |
| Figura 20– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira de Odivelas.....   | 22 |
| Figura 21– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira de Vale do Gaio.....   | 22 |
| Figura 22– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira do Roxo.....   | 23 |
| Figura 23 – Curva de volume acumulado para a albufeira de Monte Novo.....  | 23 |
| Figura 24- Volume de afluições mensais à albufeira do Alvito em ano seco típico.....   | 27 |
| Figura 25– Volume acumulado, afluições e consumo mensais na albufeira do Alvito. Valores utilizados no modelo durante os 10 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1999.. | 27 |
| Figura 26– Precipitação anual observada nas estações de Grândola e Viana do Alentejo. (Dados retirados de <a href="http://www.inag.pt/snrh">www.inag.pt/snrh</a> ) .....   | 28 |
| Figura 27– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999.....   | 29 |
| Figura 28– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d) de 1996.....  | 31 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29– Volume acumulado, afluências e consumos mensais na albufeira de Odivelas. Valores utilizados no modelo durante os 10 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998.....                    | 32 |
| Figura 30– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999. ....  | 33 |
| Figura 31– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Agosto (c) e Outubro (d) de 1996.....   | 34 |
| Figura 32– Volume acumulado, afluências e consumos mensais na albufeira de Vale do Gaio. Valores utilizados no modelo durante os 8 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998. ....                | 35 |
| Figura 33– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999. ....  | 36 |
| Figura 34– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Agosto (c) e Outubro (d) de 1996.....   | 38 |
| Figura 35- Volume acumulado, afluências, decargas e consumos mensais na albufeira do Roxo. Valores utilizados no modelo durante os 9 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998.....               | 39 |
| Figura 36– Comparação entre os níveis obtidos no modelo e os dados do INAG.....  | 40 |
| Figura 37– Séries temporais de temperatura medidas em 3 níveis na albufeira do Roxo.   | 40 |
| Figura 38– Séries temporais de temperatura obtidas com o modelo, junto ao paredão. A vermelho estão os valores mais à superfície e a verde os do fundo. ....   | 41 |
| Figura 39 – Séries temporais de biomassa algal, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990. ....   | 42 |
| Figura 40 – Concentrações de fitoplâncton nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores obtidos com o modelo junto aos paredões á superfície. ....  | 42 |
| Figura 41 – Limitação por nutrientes nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores calculados a partir das concentrações de nitrato, azoto amoniacal e fosfato, obtidas com o modelo junto aos paredões á superfície.....                         | 43 |
| Figura 42 – Coeficientes de extinção da luz nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores calculados a partir das concentrações de fitoplâncton, matéria orgânica e sólidos suspensos, obtidas com o modelo junto aos paredões á superfície. .... | 43 |
| Figura 43 - Séries temporais de nitratos, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990.....  | 45 |
| Figura 44 - Séries temporais de fosfatos, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990.....  | 45 |
| Figura 45 - Séries temporais de azoto amoniacal, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990.....   | 46 |
| Figura 46 - Séries temporais de oxigénio dissolvido, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990.....   | 46 |
| Figura 47 – Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fitoplâncton junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.....  | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 48 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de nitrato junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999. As manchas brancas próximos do fundo representam concentrações nulas relacionadas com a desnitrificação..... | 48 |
| Figura 49 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fosfato junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.....  | 48 |
| Figura 50 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de azoto amoniacal junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999. ....   | 49 |
| Figura 51 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de oxigénio dissolvido junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999. As manchas brancas próximos do fundo representam concentrações inferiores a 1mg/l.....           | 49 |
| Figura 52 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de matéria orgânica particulada junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.....   | 50 |
| Figura 53 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fitoplâncton junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. ....   | 50 |
| Figura 54 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de nitrato junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. As manchas brancas próximo do fundo indicam concentrações aproximadamente nulas.....                  | 51 |
| Figura 55 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fosfato junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. ....  | 51 |
| Figura 56 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de azoto amoniacal junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. ....  | 52 |
| Figura 57 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de oxigénio dissolvido junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. As manchas brancas próximo do fundo representam concentrações inferiores a 1 mg/l.....    | 52 |
| Figura 58 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de matéria orgânica particulada junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997.....  | 53 |
| Figura 59 – Volume acumulado, consumos e afluências entre 1 de Janeiro de 1994 e 31 de Dezembro de 1998 na albufeira de Monte Novo.....   | 55 |
| Figura 60 – Comparação dos níveis observados e simulados na albufeira de Monte Novo nos anos de 1994 e 1995. ....   | 55 |
| Figura 61 – Comparação das temperaturas observadas e simuladas com o modelo na albufeira de Monte Novo, junto à captação nos anos de 94 e 95. ....  | 57 |
| Figura 62 - Limitação à produção primária pelo pelo azoto. Os cálculos foram feitos de acordo com a formulação usada pelo modelo CE-QUAL-W2. Na legenda as  |    |

|   |    |
|---|----|
| referências a incrementos ou decréscimos de 50% são relativos às constantes de<br>meia saturação. ....  | 58 |
| Figura 63 – Limitação à produção primária pelo pelo fósforo. Os cálculos foram feitos de<br>acordo com a formulação usada pelo modelo CE-QUAL-W2. Na legenda as<br>referências a incrementos ou decréscimos de 50% são relativos às constantes de<br>meia saturação. .... | 59 |
| Figura 64 – Concentrações de oxigénio dissolvido entre 1988 e 1995 na albufeira de<br>Monte Novo e nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos<br>Cerieiros. ....  | 59 |
| Figura 65 - Concentrações de amónia entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e<br>nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.....   | 59 |
| Figura 66 - Concentrações de fosfato entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e<br>nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.....  | 60 |
| Figura 67 - Concentrações de nitrato entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e nas<br>estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros. ....   | 60 |
| Figura 68 – Concentrações de clorofila-a observadas na albufeira de Monte Novo á<br>superfície junto à captação. ....   | 62 |
| Figura 69 - Concentrações de oxigénio dissolvido e nitrato observadas na albufeira de<br>Monte Novo á superfície e no fundo junto à captação.....   | 63 |
| Figura 70 - Concentrações de fosfato observadas na albufeira de Monte Novo á superfície<br>e no fundo junto à captação.....   | 63 |
| Figura 71 - Concentrações de azoto amoniacal observadas na albufeira de Monte Novo á<br>superfície e no fundo junto à captação. ....  | 64 |
| Figura 72 – Séries temporais de clorofila-a à superfície junto à captação na albufeira de<br>Monte Novo.....  | 64 |
| Figura 73 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação na albufeira de<br>Monte Novo.....  | 65 |
| Figura 74 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação na albufeira de<br>Monte Novo.....  | 66 |
| Figura 75 - Séries temporais de oxigénio dissolvido à superfície junto à captação na<br>albufeira de Monte Novo.....  | 66 |
| Figura 76 - Séries temporais de azoto amoniacal à superfície junto à captação na albufeira<br>de Monte Novo.....  | 67 |
| Figura 77– Evolução da temperatura junto à captação da Amieira ( adaptado de FBO,<br>2000).....   | 69 |
| Figura 78– Evolução da biomassa algal (rosa) e do nitrato (azul) junto à captação da<br>Amieira ( adaptado de FBO, 2000) .....  | 69 |
| Figura 79– Evolução da amónia (azul) e fosfato (rosa) junto à captação da Amieira (<br>adaptado de FBO, 2000).....  | 70 |
| Figura 80– Evolução do CBO junto à captação da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)...  | 70 |
| Figura 81– Evolução do oxigénio dissolvido junto à captação da Amieira ( adaptado de<br>FBO, 2000).....   | 71 |
| Figura 82– Afluências à albufeira de Álamos em ano seco. ....   | 71 |
| Figura 83– Afluências à albufeira de Loureiro em ano seco.....  | 72 |
| Figura 84– Afluências à albufeira de Alvito em ano seco. ....   | 72 |
| Figura 85– Afluências à albufeira de Odivelas em ano seco. ....   | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 86– Afluências à albufeira de Barras em ano seco. ....  | 73 |
| Figura 87– Afluências à albufeira de Vale do Gaio em ano seco. ....  | 73 |
| Figura 88– Afluências à albufeira de Pisão em ano seco. ....   | 73 |
| Figura 89– Afluências à albufeira de Alfundão em ano seco. ....  | 74 |
| Figura 90– Afluências à albufeira de Roxo em ano seco. ....  | 74 |
| Figura 91– Tempos de residência estimados para cada uma das 10 albufeiras que serão envolvidas no processo de transferência de água em ano seco. A amarelo está representado o tempo de residência estimado usando o quociente entre o volume transferido por ano e a capacidade da albufeira. A vermelho a estimativa é feita usando o valor máximo mensal de volume transferido (projectado num intervalo de tempo de 1 ano). A azul encontra-se a estimativa feita com o modelo (os detalhes estão explicados no texto). .... | 75 |
| Figura 92– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Álamos, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 77 |
| Figura 93– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Loureiro, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 78 |
| Figura 94– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Alvito, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 79 |
| Figura 95– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Odivelas, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 80 |
| Figura 96– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Barras, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 81 |
| Figura 97– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Vale do Gaio, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 82 |
| Figura 98– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Pisão, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....   | 83 |
| Figura 99– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Alfundão, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....  | 84 |
| Figura 100– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Roxo, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.....   | 85 |
| Figura 101– Perfis de velocidade horizontal na albufeira do Loureiro. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro a meio da albufeira. Em cima à direita perfil no final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Setembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem.....  | 88 |
| Figura 102– Perfis de velocidade horizontal na albufeira do Alvito. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro na cabeceira da albufeira. Em cima à direita perfil no   |    |

|  |     |
|--|-----|
| final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Setembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem. ....  | 89  |
| Figura 103– Perfis de velocidade horizontal na albufeira de Barras. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro a meio da albufeira. Em cima à direita perfil no final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Novembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem ..... | 90  |
| Figura 104 – Séries temporais de biomassa algal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras. ....  | 92  |
| Figura 105 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 93  |
| Figura 106 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 94  |
| Figura 107 - Séries temporais de azoto amoniacal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 95  |
| Figura 108 – Comparação da biomassa algal simulada para o ano de 1990 num cenário futuro de ano seco. ....   | 95  |
| Figura 109 - Comparação da biomassa algal simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco. ....   | 96  |
| Figura 110 - Comparação da concentração de nitrato simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.....   | 96  |
| Figura 111 - Comparação da concentração de fosfato simulada para o ano de 1990 num cenário futuro de ano seco.....   | 97  |
| Figura 112 - Comparação da concentração de fosfato simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.....   | 97  |
| Figura 113 - Comparação da concentração de azoto amoniacal simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.....   | 98  |
| Figura 114 – Séries temporais de concentrações de sódio. ....  | 98  |
| Figura 115 – Séries temporais da concentração do ião sódio à superfície na albufeira de Monte Novo junto ao paredão. A azul são representados os resultados do modelo e a laranja os dados referentes a 1989.....  | 99  |
| Figura 116 – Séries temporais de biomassa algal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras. ....  | 100 |
| Figura 117 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 101 |
| Figura 118 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 101 |
| Figura 119 - Séries temporais de azoto amoniacal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras .....   | 102 |
| Figura 120 – Batimetria do estuário do Sado.....   | 103 |
| Figura 121 - Campo de velocidades à superfície 1 hora depois da preia-mar.....   | 104 |
| Figura 122 - Campo de elevações 1 hora depois da preia-mar.....  | 105 |
| Figura 123 - Campo de velocidades à superfície 5 horas depois da preia-mar.....  | 105 |
| Figura 124 - Campo de elevações 5 horas depois da preia-mar.....   | 105 |
| Figura 125 - Campo de velocidades residuais à superfície .....   | 107 |
| Figura 126 - Comparação da evolução temporal de fitoplâncton na caixa 6 com as medidas.....  | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 127 - Concentração média anual de fitoplâncton para as condições de referência.<br>.....  | 111 |
| Figura 128 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a situação de referência   | 112 |
| Figura 129 - Concentração média anual de fitoplâncton para a simulação 2x.....   | 112 |
| Figura 130 - Concentração média anual de fitoplâncton para a simulação 3,5x.....   | 113 |
| Figura 131 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a simulação 2x.....  | 114 |
| Figura 132 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a simulação 3,5x.....  | 114 |
| Figura 133: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1991.....   | 130 |
| Figura 134: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1993.....   | 131 |
| Figura 135: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1998.....   | 132 |
| Figura 136: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em<br>suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.....                       | 133 |
| Figura 137: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em<br>suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.....                       | 134 |
| Figura 138: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em<br>suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.....                       | 135 |
| Figura 139: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1991..... | 136 |
| Figura 140: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1993..... | 137 |
| Figura 141: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1998..... | 138 |
| Figura 142: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos<br>em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.....                     | 139 |
| Figura 143: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos<br>em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.....                     | 140 |
| Figura 144: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos<br>em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.....                     | 141 |
| Figura 145: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1991.....     | 142 |
| Figura 146: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1993.....     | 143 |
| Figura 147: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica<br>particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.<br>Ano 1998.....     | 144 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 148: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.....                          | 145 |
| Figura 149: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.....                          | 146 |
| Figura 150: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.....                          | 147 |
| Figura 151: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991..... | 148 |
| Figura 152: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1994..... | 149 |
| Figura 153: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1997..... | 150 |
| Figura 154: Albufeira do Vale do Gaio - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.....                  | 151 |
| Figura 155: Albufeira do Vale do Gaio - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1994.....                  | 152 |
| Figura 156: Albufeira do Vale do Gaio - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1997.....                  | 153 |
| Figura 157 - Esquema do modelo ecológico.....  | 157 |

# 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo pretende quantificar o impacto ambiental das transferências de água a efectuar entre a Bacia do Guadiana e a Bacia do Sado.

Atendendo à sua localização geográfica, as albufeiras em estudo (Alvito, Roxo, Odivelas, Monte Novo, Vale do Gaio, Álamos, Loureiro, Barras, Alfundão e Pisão) são locais onde a possível ocorrência de gradientes verticais de temperatura produz uma estratificação acentuada durante o período de Primavera/Verão. Este facto funciona como factor inibidor da mistura vertical impedindo a homogeneização da coluna de água. Assim torna-se necessário que o modelo a utilizar neste estudo seja capaz de reproduzir a referida estrutura vertical.

Por outro lado o modelo a utilizar deve permitir simular gradientes longitudinais de forma a descrever os processos de diluição que ocorrem numa albufeira. Tendo em conta estas necessidades optou-se por recorrer a um modelo bidimensional que permite estudar variações verticais e longitudinais; o CE-QUAL-W2 desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers. Os detalhes das interrelações entre os diversos constituintes simulados pelo modelo podem ser encontrados no manual (Cole e Buchak, 1995). A visualização dos resultados foi realizada recorrendo ao software W2-Post desenvolvido pela P-Squared Technologies, Inc.

Finalmente estudou-se a possível influência dos transvases no Estuário do Sado. Como adiante se verá e ao contrário das albufeiras em questão, no estuário são importantes os gradientes transversais, longitudinais e eventualmente os verticais. Neste caso recomenda-se a utilização de um modelo tridimensional. Assim sendo utilizou-se o modelo MOHID2000 desenvolvido no Instituto Superior Técnico cuja aplicação ao estuário do Sado remonta já a 1985 (Neves, 1985) quando o modelo era ainda bidimensional. Desde então o estuário tem servido de “laboratório de teste” a novas versões do modelo. A mais recente aplicação ao estuário do Sado foi apresentada por Martins et al. (2001).

A estratégia das simulações consiste em estabelecer o estado de referência – estado actual – e posteriormente introduzir as transferências tentando descrever que modificações ocorrem no sistema e se possível fornecer pistas acerca de como minimizar estes efeitos. Assim sendo o trabalho pode dividir-se em três fases distintas:

- Fase 1 – Simulação do estado de referência
- Fase 2 – Simulação de transferências em situações próximas das reais.
- Fase 3 – Identificação de possíveis impactes negativos

## **2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO CE-QUAL-W2**

O modelo CE-QUAL-W2 é um modelo integrado lateralmente onde as propriedades calculadas só variam longitudinalmente (segundo o eixo central do domínio) e com a profundidade.

O modelo pode ser aplicado a estuários, rios, albufeiras, ou porções de uma qualquer massa de água, desde que especificadas as condições fronteira a montante e jusante. As condições de fronteira podem ser variáveis no tempo.

O referido modelo utiliza um algoritmo de "ramos" que permite a descrição de geometrias complexas. Admite malhas de espaçamento variável, permitindo assim uma maior definição em certas zonas. Utiliza ainda um algoritmo de "Autostepping" em que o passo temporal é calculado em cada iteração de modo a garantir os requisitos de estabilidade numérica.

O modelo admite caudais de entrada provenientes de fontes pontuais e não pontuais, assim como de cada um dos "ramos" e ainda a precipitação. Os caudais de saída podem ser especificados como descargas no último segmento de um ramo ou por descargas laterais.

Em termos hidrodinâmicos, o modelo calcula a elevação da superfície livre, velocidades e temperaturas. A influência da temperatura é considerada no calculo hidrodinâmico. A elevação da superfície livre é calculada implicitamente o que elimina algumas restrições ao passo temporal.

Na qualidade da água são calculadas 21 propriedades incluindo as interações nutrientes/fitoplâncton/oxigénio dissolvido em condições de anóxia. Os cálculos da qualidade da água podem ser menos frequentes que os hidrodinâmicos, reduzindo assim algum esforço computacional.

O modelo permite ao utilizador a definição do tipo e frequência de output (écran, impressora, continuação de calculo, ficheiro para pós-processamento).

As equações fundamentais utilizadas pelo modelo são descritas em detalhe no Anexo 1.

### **2.1. LIMITAÇÕES DO MODELO**

#### **2.1.1. Hidrodinâmica e Transporte**

A integração lateral das equações baseia-se na assunção que as variações laterais das velocidades, temperaturas e propriedades são desprezáveis. Isto pode-se revelar inadequado para grandes massas de água, que podem por vezes apresentar importantes variações laterais na qualidade da água.

A turbulência é modelada através de coeficientes turbulentos. Utilizam-se as aproximações de Boussinesq e hidrostática. Dado que o modelo não inclui a quantidade de movimento vertical, podem existir erros onde as acelerações verticais sejam importantes.

### **2.1.2 Qualidade da água.**

São de assinalar as seguintes limitações em relação à qualidade da água :

- um único compartimento algal  $\Rightarrow$  a sucessão algal não é modelada;
- zooplankton não é calculado  $\Rightarrow$  não se inclui o seu efeito sobre as algas e na reciclagem de nutrientes;
- exclusão de macrófitas;
- aproximação simplista ao cálculo do "Sediment Oxygen Demand" (consumo de oxigénio pelos sedimentos). O modelo não calcula dinamicamente as reacções nos sedimentos e fluxos na interface água/sedimentos. Isto influencia a capacidade de previsão a longo prazo.

### **2.1.3 Limitações numéricas**

O modelo utiliza dois métodos numéricos diferentes para o cálculo da temperatura e outras propriedades: diferenças finitas UpWind e Quickest. O esquema Upwind pode introduzir difusão numérica importante. O esquema Quickest tem menor difusão numérica mas em áreas de grandes gradientes podem ser produzidas pequenas concentrações negativas.

### 3 - CONDIÇÕES GERAIS DAS SIMULAÇÕES

As principais características das malhas computacionais usadas encontram-se descritas no Quadro 1. Todas as albufeiras com exceção do Roxo são representadas por um ramo. A albufeira do Roxo é representada por dois ramos. As malhas computacionais utilizadas para cada albufeira são apresentadas nas figuras seguintes (Figura 1 a Figura 18). Para cada albufeira é representada a área superficial e um perfil longitudinal.

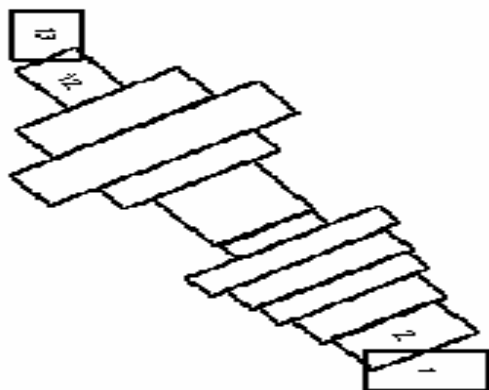


Figura 1 - Representação da área superficial da albufeira de Álamos no modelo CE-QUAL-W2.

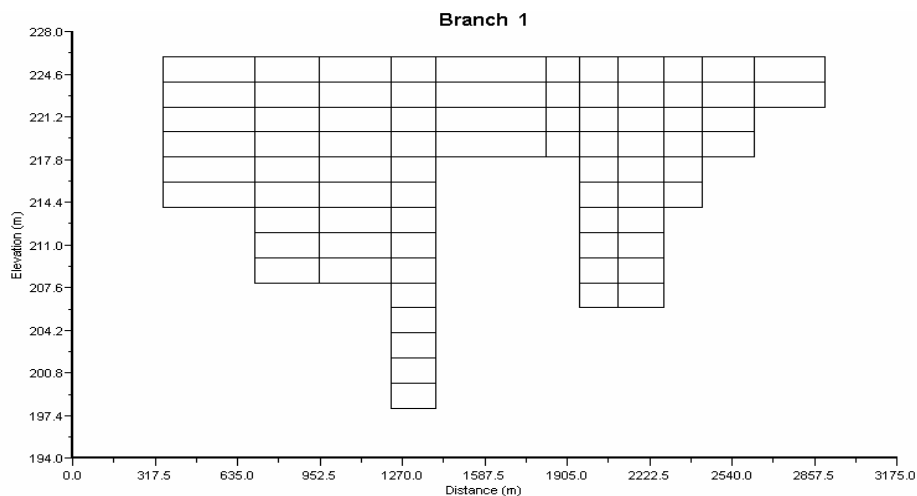


Figura 2- Perfil longitudinal da albufeira de Álamos.

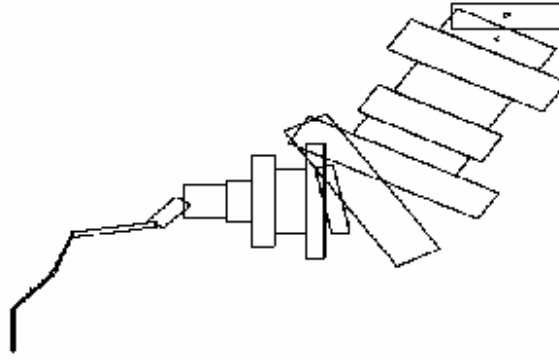


Figura 3- Representação da área superficial da albufeira de Loureiro no modelo CE-QUAL-W2.

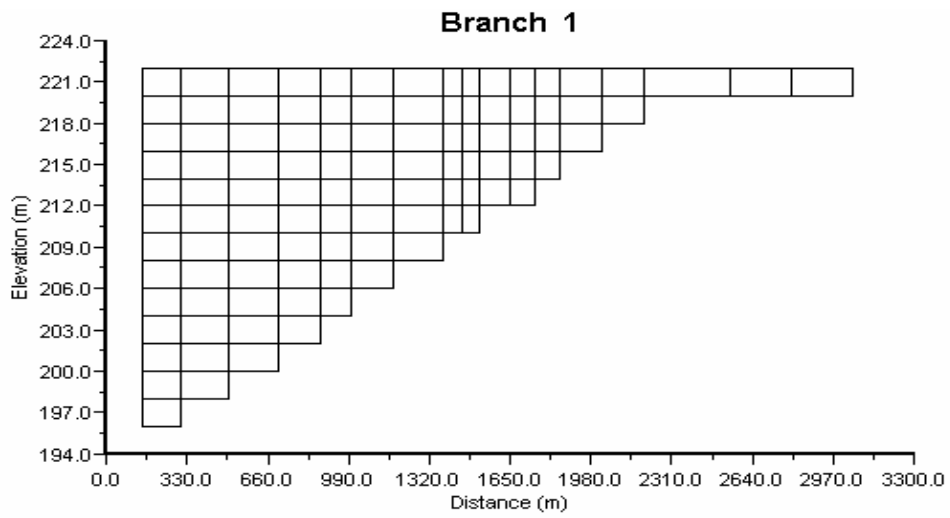


Figura 4- Perfil longitudinal da albufeira de Loureiro

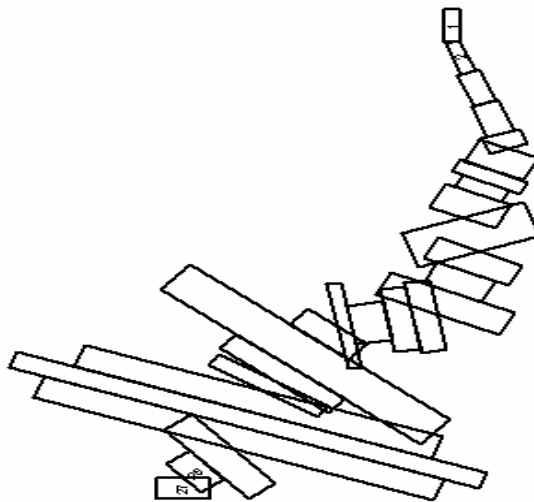


Figura 5- Representação da área superficial da albufeira de Alvito no modelo CE-QUAL-W2.

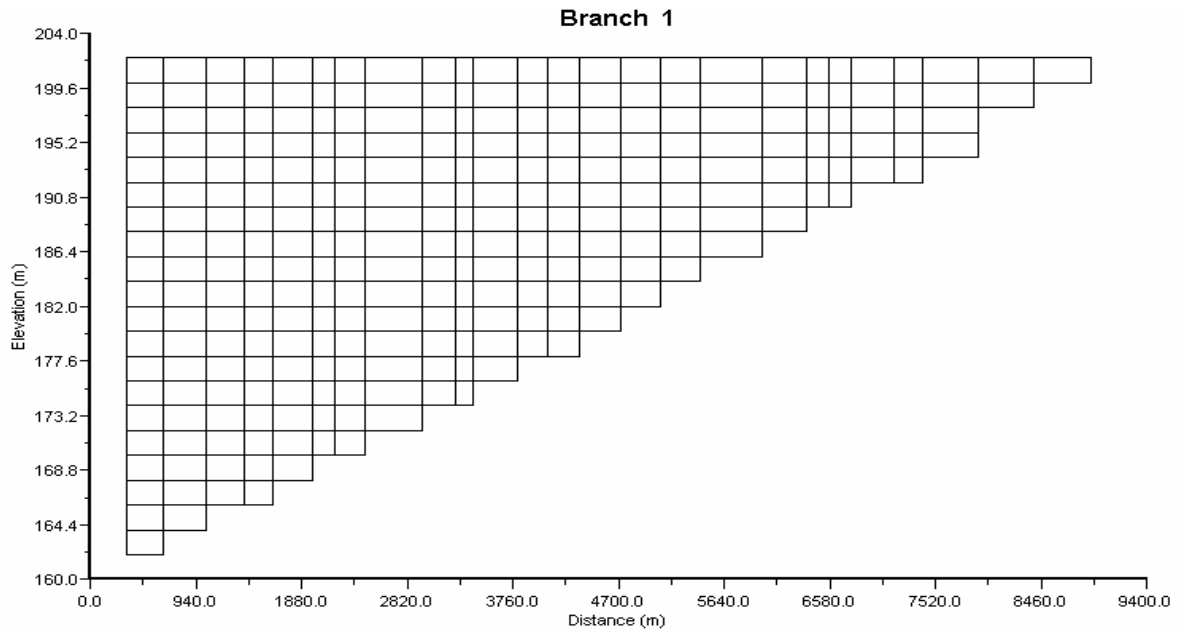


Figura 6 – Perfil longitudinal da albufeira de Alvito

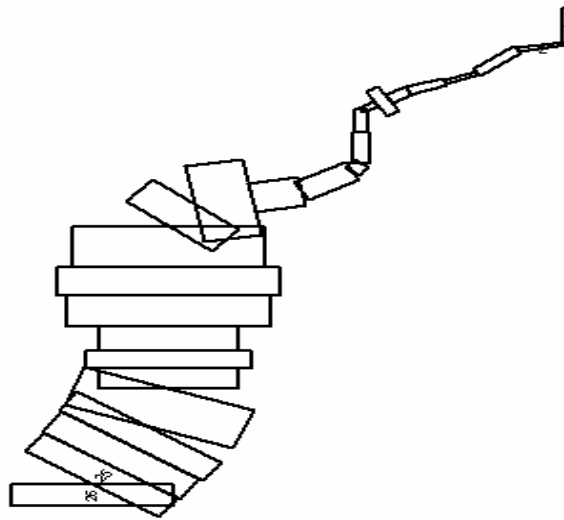


Figura 7 - Representação da área superficial da albufeira de Odivelas no modelo CE-QUAL-W2.

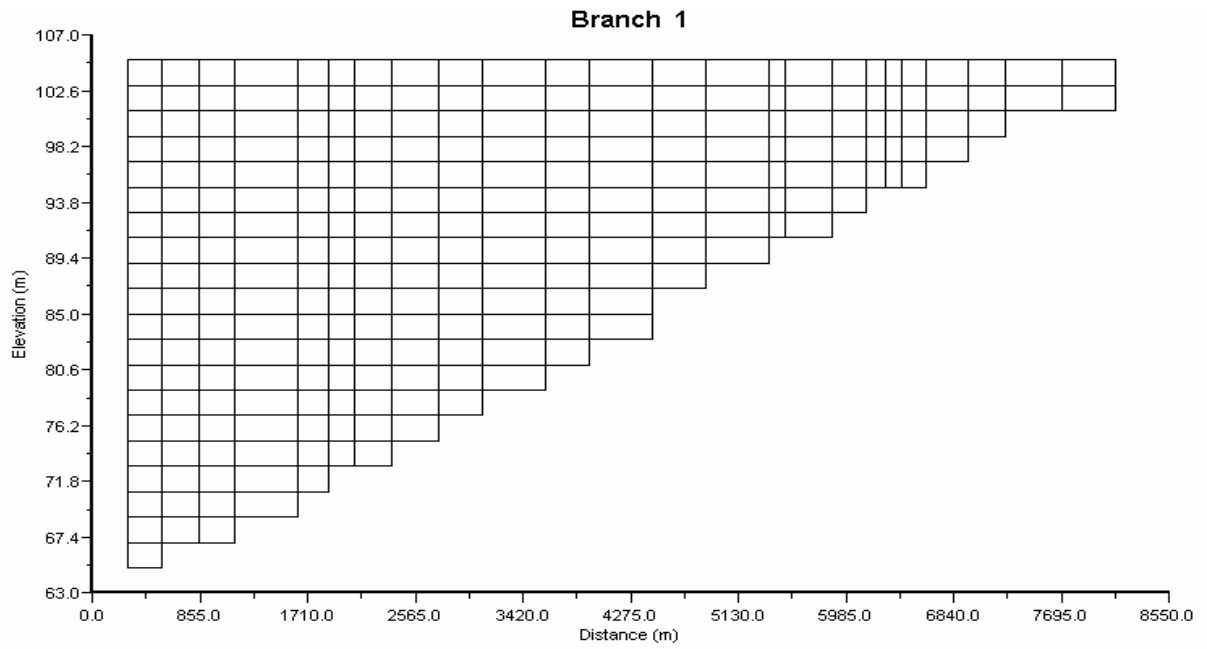


Figura 8 - Perfil longitudinal da albufeira de Odivelas

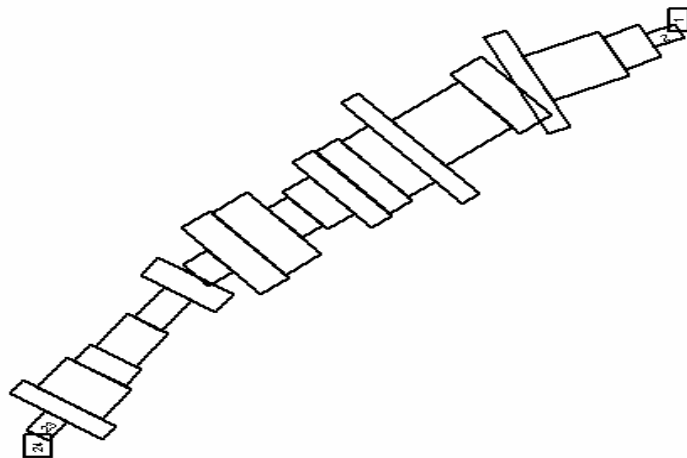


Figura 9 - Representação da área superficial da albufeira de Vale do Gaio no modelo CE-QUAL-W2.



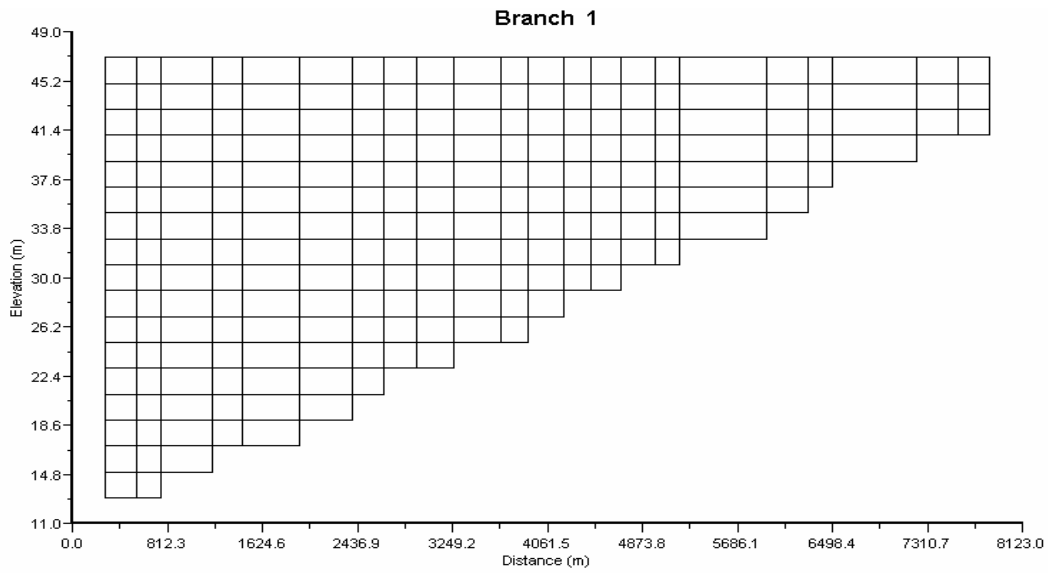


Figura 10– Perfil longitudinal da albufeira de Vale do Gaio.

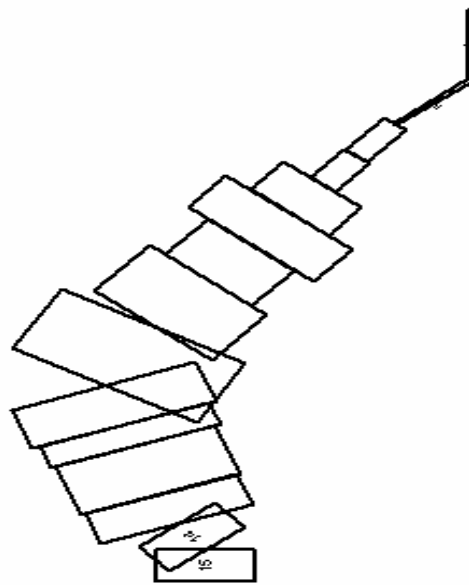


Figura 11- Representação da área superficial da albufeira de Barras no modelo CE-QUAL-W2.

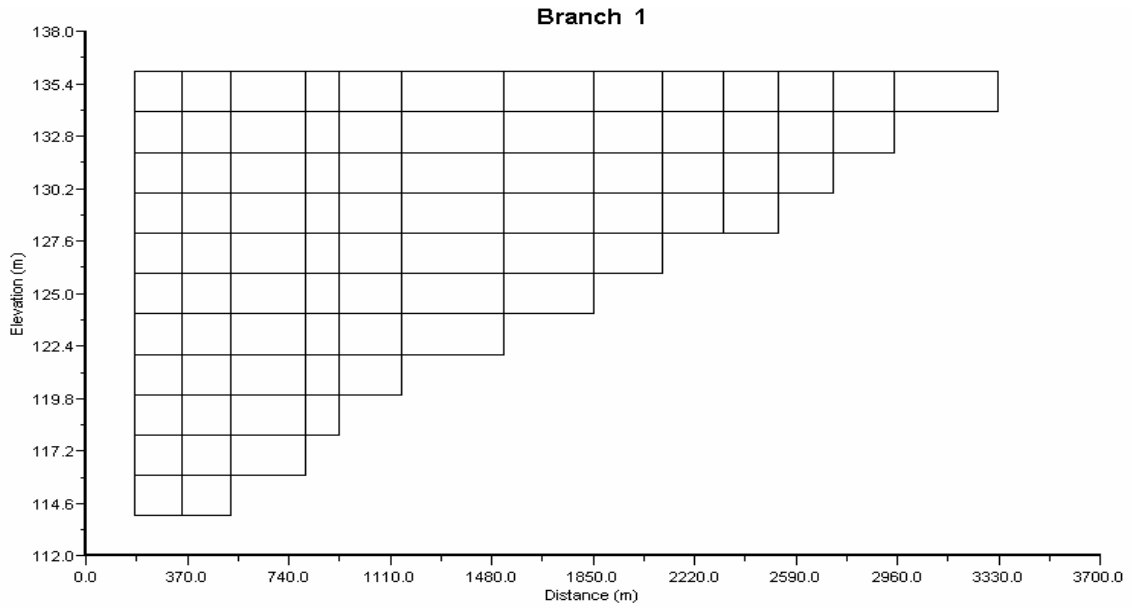


Figura 12- Perfil longitudinal da albufeira de Barras.

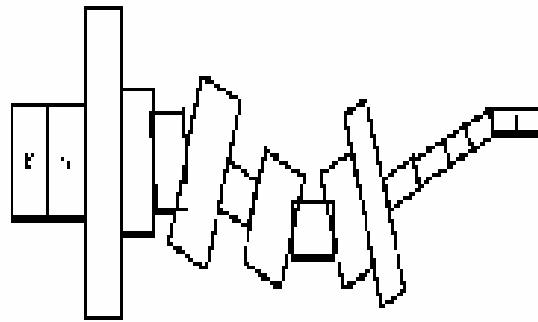


Figura 13- Representação da área superficial da albufeira de Alfundão no modelo CE-QUAL-W2.

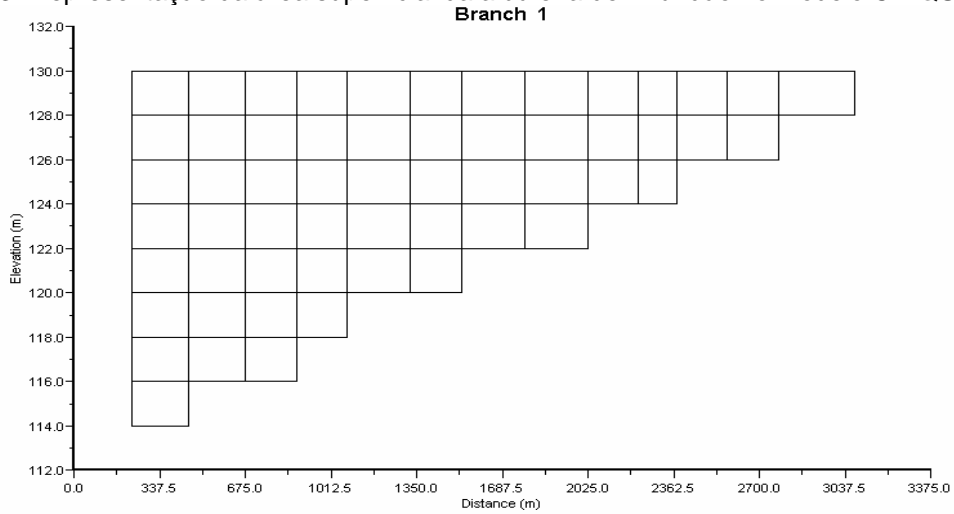


Figura 14- Perfil longitudinal da albufeira de Alfundão

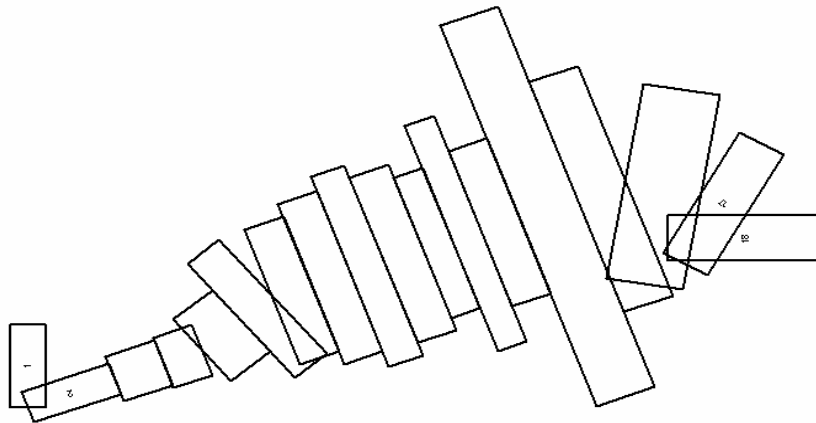


Figura 15- Representação da área superficial da albufeira de Pisão no modelo CE-QUAL-W2.

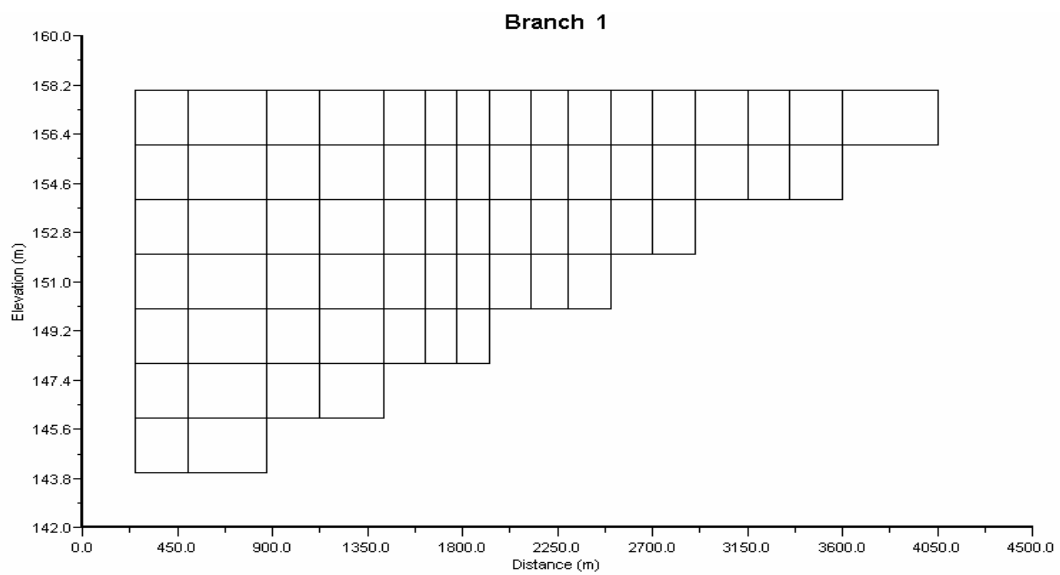


Figura 16- Perfil longitudinal da albufeira de Pisão

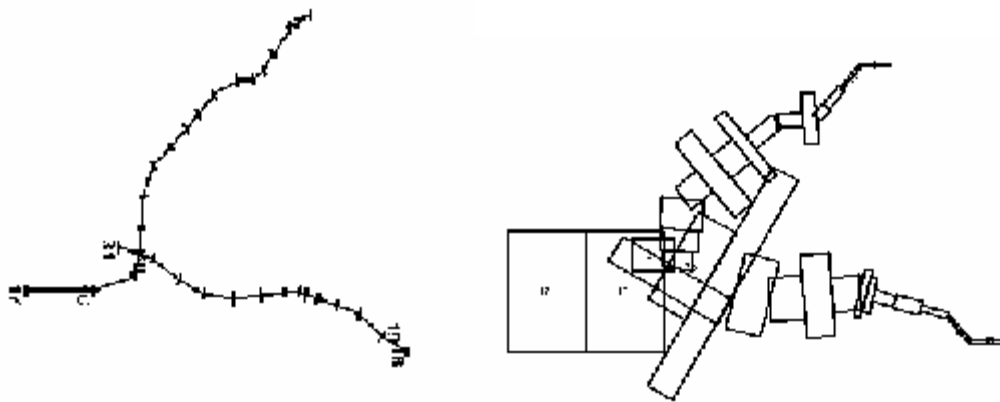


Figura 17- Representação da área superficial da albufeira de Roxo no modelo CE-QUAL-W2 (À esquerda apresenta-se uma representação diferente para permitir uma melhor compreensão da discretização do domínio).

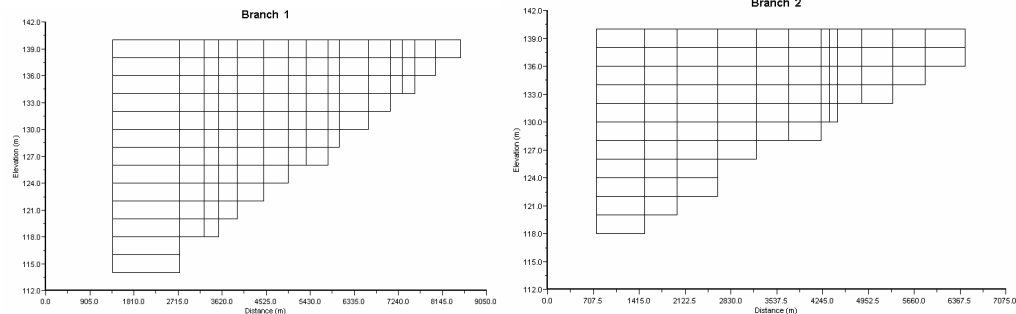


Figura 18– Perfil longitudinal dos dois braços da albufeira do Roxo

|              | Res. Vertical | Nº Camadas | Nº Segmentos | Máximo X | Mínimo X |
|--------------|---------------|------------|--------------|----------|----------|
| Alvito       | 2 m           | 22         | 27           | 550 m    | 150 m    |
| Vale Do Gaio | 2 m           | 19         | 24           | 487 m    | 125 m    |
| Odivelas     | 2 m           | 22         | 26           | 500 m    | 125 m    |
| Roxo         | 2 m           | 15         | 16 + 15      | 1375 m   | 125 m    |
| Álamos       | 2 m           | 17         | 13           | 350 m    | 125 m    |
| Loureiro     | 2 m           | 15         | 19           | 350 m    | 75 m     |
| Barras       | 2 m           | 13         | 15           | 375 m    | 125 m    |
| Pisão        | 2 m           | 9          | 18           | 450 m    | 150 m    |
| Monte Novo   | 2 a 4 m       | 16         | 27           | 500 m    | 100 m    |
| Alfundão     | 2 m           | 10         | 15           | 300 m    | 150 m    |

Quadro 1– Principais características da malha computacional nas diferentes albufeiras.

A batimetria é obviamente muito importante para a simulação da hidrodinâmica e do transporte. A falta de informação acerca da batimetria das albufeiras aliada ao facto de ela ser representada por secções transversais leva a que a sua geração seja um dos processos mais delicados durante o processo de modelação. Para validar as batimetrias geradas para as albufeiras que se encontram actualmente em funcionamento (Alvito, Monte Novo, Odivelas, Vale do Gaio e Roxo) são calculados os volumes

correspondentes a cada cota e é determinada a curva de volumes acumulados utilizada pelo modelo. Essa curva é depois comparada com a curva real (Figura 19 até Figura 23) que se obtém a partir dos dados disponíveis no Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH – do INAG ([www.inag.pt/snirh](http://www.inag.pt/snirh)).

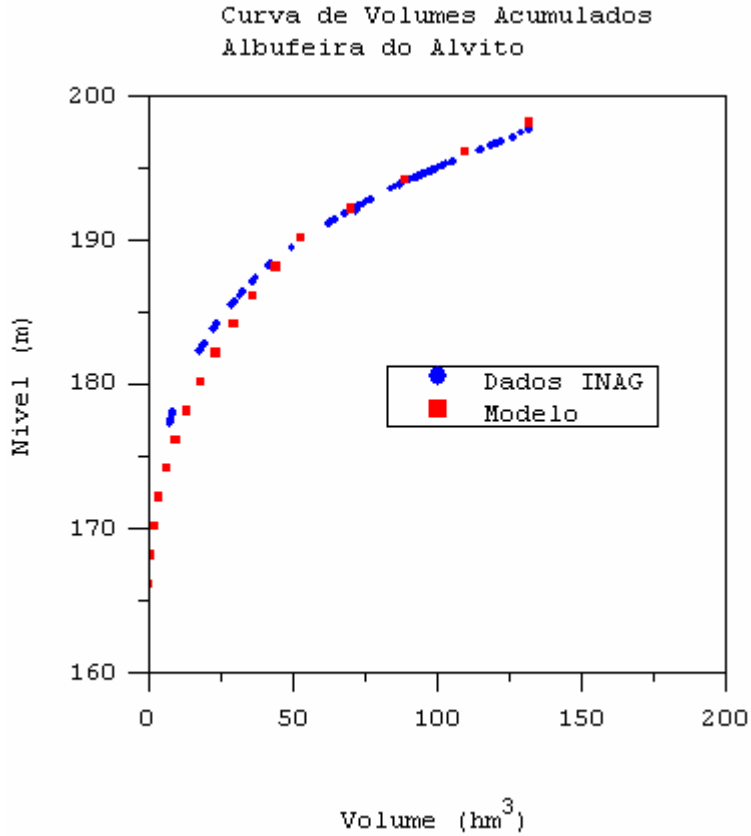


Figura 19– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira do Alvito.

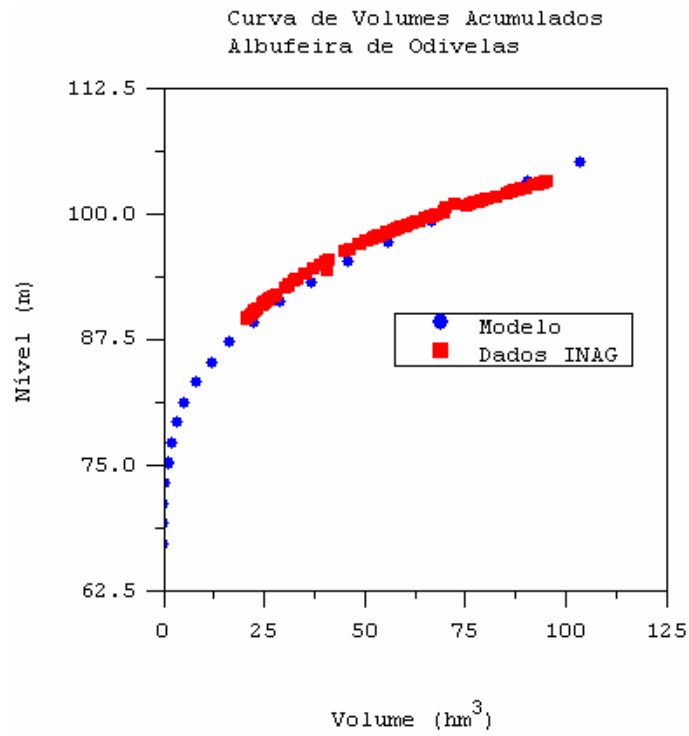


Figura 20– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira de Odivelas.

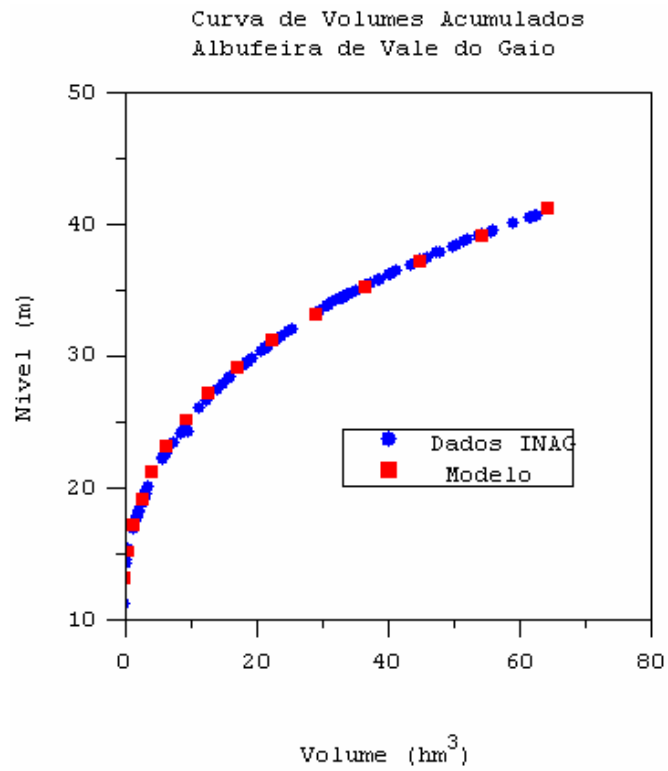


Figura 21– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira de Vale do Gaio.

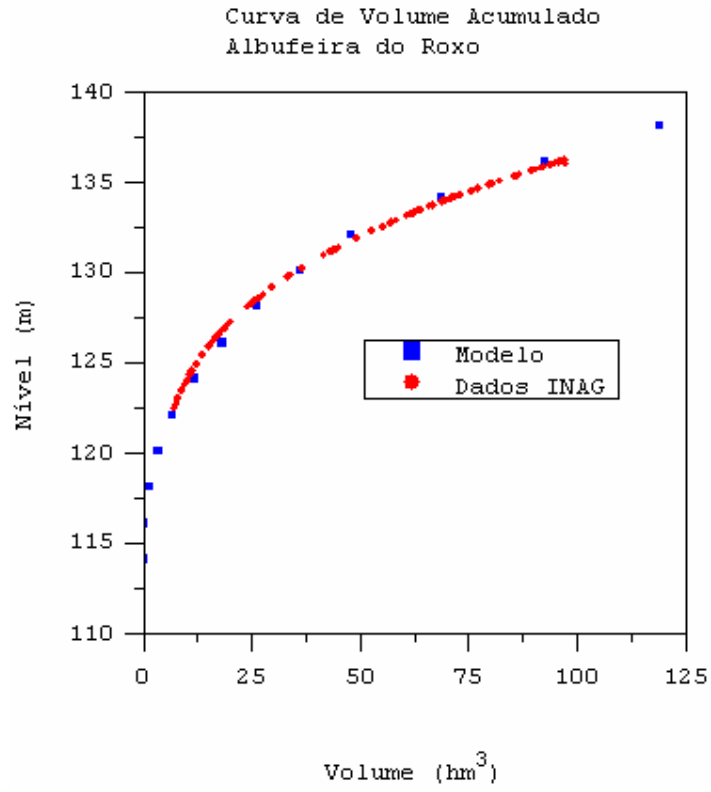


Figura 22– Comparação da curva de volumes acumulados na albufeira do Roxo.

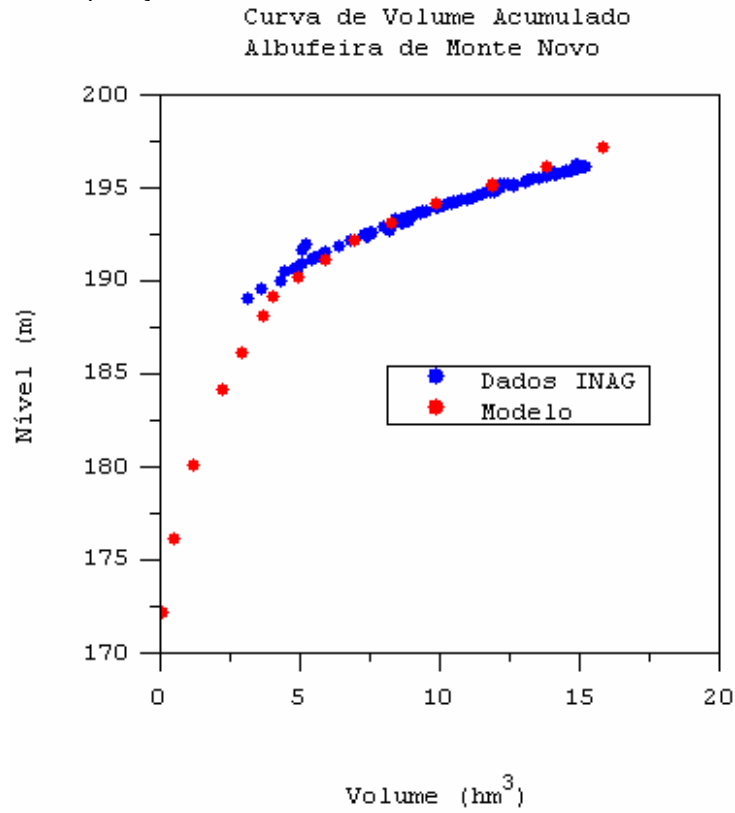


Figura 23 – Curva de volume acumulado para a albufeira de Monte Novo.

Para as albufeiras de Álamos, Loureiro, Barras, Pisão e Alfundão as batimetrias foram digitalizadas directamente das cartas militares do Instituto Geográfico do Exército estando portanto menos sujeitas a erros. Neste caso compararam-se os níveis de pleno armazenamento – NPA.



## 4 – ESTADO DE REFERÊNCIA

### 4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A simulação do estado actual das albufeiras assume um papel muito importante neste tipo de estudo uma vez que permite:

- 1 – Testar o modelo no sistema em estudo
- 2 – Determinar um conjunto de parâmetros a utilizar pelo modelo na simulação de cenários futuros comparando os resultados do modelo com dados existentes.
- 3 – Estabelecer um cenário actual a partir do qual se podem quantificar os previsíveis impactes.

Por estas razões foi dado no presente estudo um grande ênfase à simulação do estado de referência que obviamente só foi feito para as albufeiras que se encontram actualmente em funcionamento.

As simulações da hidrodinâmica e dos parâmetros de qualidade da água foram realizadas para os períodos que se indicam no Quadro 2. Estes períodos de simulação foram determinados pela disponibilidade de dados que permitam avaliar os caudais afluentes às diferentes albufeiras. Para a albufeira de Vale do Gaio não foi possível simular o período compreendido entre 1 de Janeiro de 1992 e 1 de Setembro de 1993 devido ao reduzido volume acumulado que coloca problemas numéricos complicados. De qualquer forma, durante esse período o volume da albufeira foi praticamente nulo pelo que a interrupção da simulação corresponde efectivamente a um corte na dinâmica do sistema. A albufeira de Monte Novo foi simulada para os anos de 1994 e 1995 onde existe um conjunto de dados muito completo que permite validar o modelo quantitativa e qualitativamente.

|              | <b>Início da Simulação</b> | <b>Duração</b>    | <b>Observações</b>                             |
|--------------|----------------------------|-------------------|--|
| Alvito       | 1 Jan. 1990                | 10 anos           |  |
| Vale Do Gaio | 1 Jan. 1990                | 8 anos            | Interrupção de 1.75 anos entre 1/1/92 e 1/9/93 |
| Odivelas     | 1 Jan. 1990                | 9 anos            |  |
| Monte Novo   | 1 Jan. 1994                | 2 anos            |  |
| Roxo         | 1 Fev. 1990                | 8 anos e 11 meses |  |

Quadro 2– Dados relativos aos períodos de simulação.

O forçamento meteorológico utilizado (Temperaturas do ar e do ponto de orvalho, velocidade do vento, precipitação e nebulosidade) foram obtidos na página de INTERNET do Instituto da Água - INAG - no endereço <http://www.inag.pt/snrh>. Para as albufeiras de Alvito, Monte Novo, Vale do Gaio e Odivelas foram utilizados os dados da estação meteorológica de Portel e para a albufeira do Roxo dados obtidos na estação do Roxo. A evaporação,

os fluxos de calor latente, sensível e infravermelho, e a radiação solar são calculados pelo modelo com base nos dados referidos.

Como condição inicial, considera-se que todas as propriedades (temperatura, oxigénio dissolvido, nutrientes, etc) têm um valor constante em profundidade o que corresponde a uma situação de boa mistura - forte turbulência provocada pela intensificação dos ventos e principalmente pela diminuição da radiação solar - típica dos meses de Inverno. Esta aproximação é válida uma vez que em todos os casos o modelo é inicializado durante o Inverno. Os níveis iniciais (e conseqüentemente os volumes) são impostos de acordo com os dados disponíveis (194 m para Alvito; 103 m para Odivelas; 40.5 m para Vale do Gaio; 137 m para Roxo; 193.2 m para Monte Novo).

## 4.2 DADOS E RESULTADOS DE HIDRODINÂMICA E TEMPERATURA

### 4.2.1 – Alvito

Os dados referentes a concentrações de constituintes como por exemplo os nitratos ou o oxigénio dissolvido, são importantes, para serem utilizados por um lado como condição de fronteira à entrada da albufeira e por outro lado como meio de validação dos resultados. Outro tipo de dados muito importantes são as afluências e os consumos de água numa albufeira. Os dados disponíveis e úteis para a simulação da albufeira do Alvito são bastante escassos. No Quadro 3 apresenta-se o conjunto de dados disponíveis assim como alguns parâmetros relativos a esses dados.

| Parâmetro                | Período com informação | Banda de variação           | Valor médio | Desvio Padrão |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
| CBO5                     | 10/1/95 a 12/9/95      | 1.1 a 5.8 mg/l              | 2.4         | 1.5           |
| Coliformes totais        | 4/2/97 a 2/12/97       | 0 a 161 MPN/100ml           | 38          | 48            |
| Fosfato                  | 18/10/94 a 3/6/97      | 0.02 a 0.3 mg/l             | 0.04        | 0.047         |
| Amónia                   | 18/10/94 a 12/9/95     | 0 a 0.3 mg/l                | 0.1         | 0.07          |
| Nitrato                  | 3/1/96 a 6/12/99       | 0.09 a 8.18 mg/l            | 1.02        | 1.67          |
| Oxigénio Dissolvido      | 18/10/94 a 6/12/99     | 4.03 a 17.8 mg/l            | 9.56        | 2.52          |
| Sólidos Suspensos Totais | 18/10/94 a 6/12/99     | 0.6 a 46 mg/l               | 8.86        | 9.83          |
| Volume Acumulado         | 31/1/90 a 31/12/99     | 8.1 a 132.5 hm <sup>3</sup> | 79.3        | 36.7          |
| Nível                    | 31/1/90 a 31/12/99     | 177.1 a 197.5 m             | 191.6       | 5.5           |

Quadro 3– Dados disponíveis para a albufeira do Alvito.

Como se pode constatar pelo Quadro 3 não existem, relativamente à albufeira do Alvito, dados relativos a afluências nem a consumos. As estimativas disponíveis das afluências à albufeira do Alvito indicam valores entre 9,8 hm<sup>3</sup> e 11,2 hm<sup>3</sup> por ano (ver Figura 24). Para um ano médio as estimativas indicam um valor de 22,4 hm<sup>3</sup> por ano. Com base nestes valores e nos volumes acumulados utilizou-se um método iterativo onde se faz uma primeira estimativa das afluências e depois se calcula o valor do consumo. Seguidamente corrige-se de novo o valor da afluência prosseguindo o método até os valores se ajustarem completamente ao volume observado (ver Figura 25).

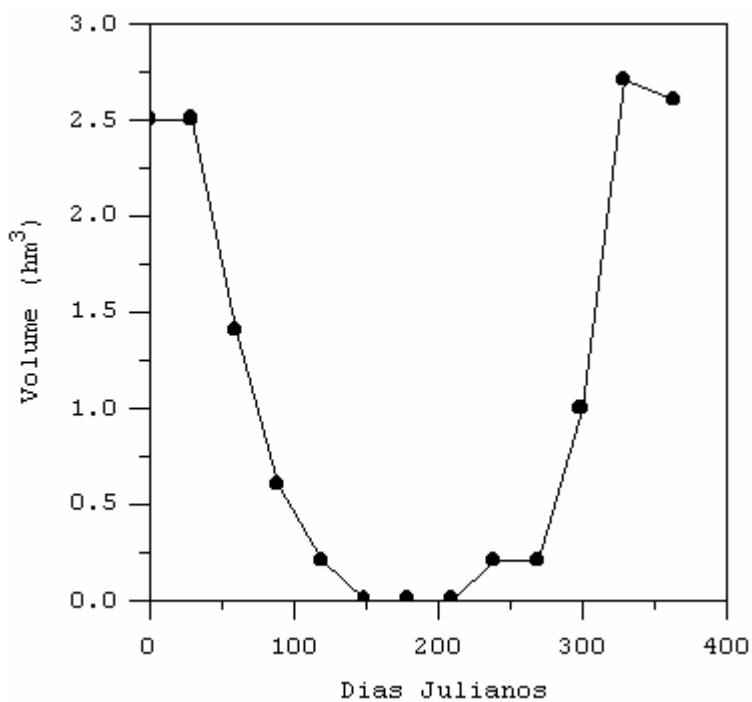


Figura 24- Volume de afluições mensais à albufeira do Alvito em ano seco típico.

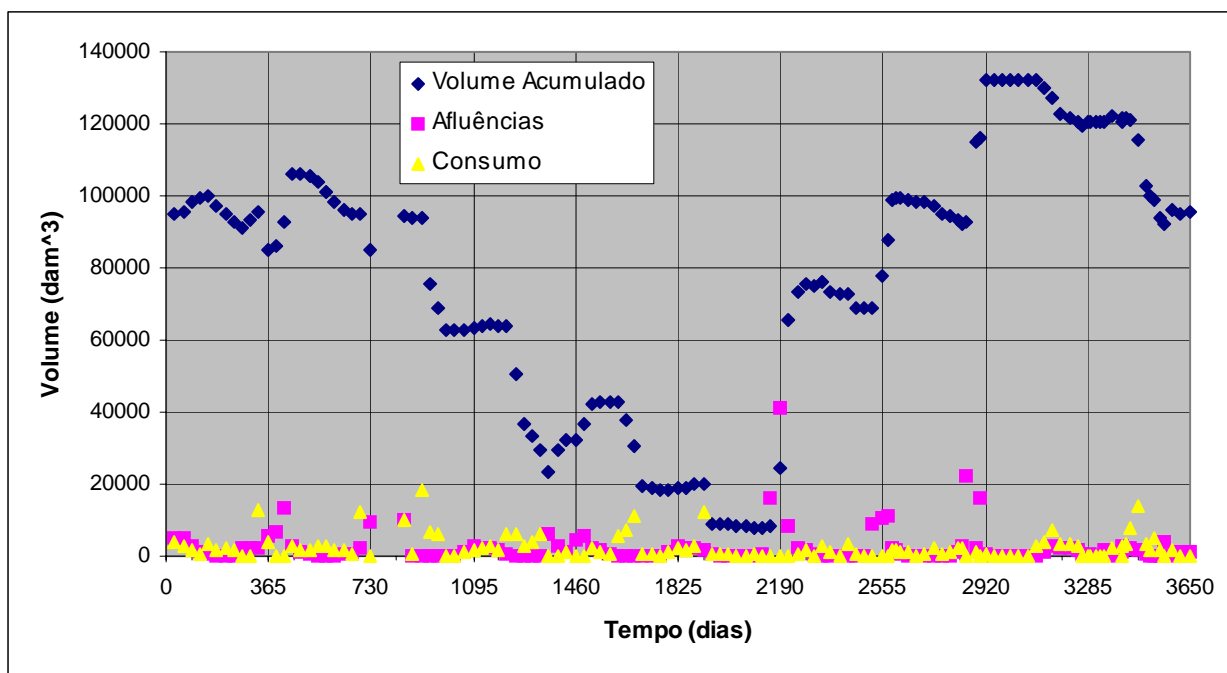


Figura 25– Volume acumulado, afluições e consumo mensais na albufeira do Alvito. Valores utilizados no modelo durante os 10 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1999.

As aflúências calculadas estão em concordância com os dados de precipitação na região (ver Figura 26). De facto os valores mais elevados de aflúências ocorrem na transição de 1996 para 1997 (dia 2190 na Figura 25) e no final de 1998 (dia 2920). Durante os anos secos as aflúências são muito baixas, como seria de esperar.

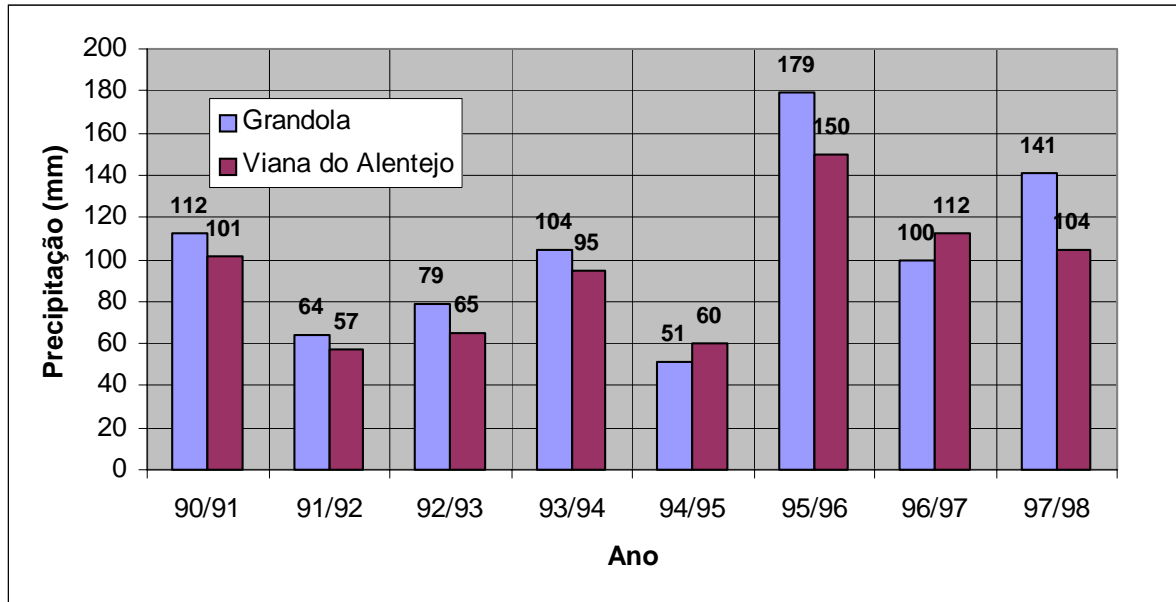


Figura 26– Precipitação anual observada nas estações de Grândola e Viana do Alentejo. (Dados retirados de [www.inag.pt/snirh/](http://www.inag.pt/snirh/))

Como se pode constatar no Quadro 3 os dados relativos à qualidade da água são escassos na albufeira do Alvito. Além disso estes dados apresentam uma amostragem temporal pouco significativa. Sendo necessário pelo menos um valor mensal por parâmetro, para ser usado como condição de fronteira, i. e., a concentração transportada pela Ribeira de Oriola - a montante da albufeira – houve necessidade de extrapolar os dados. A estratégia consiste em extrapolar os dados de acordo com as características de cada ano – para um ano tipicamente seco a extrapolação recorre a valores típicos de ano seco. Para alguns parâmetros necessários para o modelo não existem dados disponíveis. Nestes casos recorreu-se a alguns casos de estudo mencionados no manual do modelo (Cole e Buchak, 1995) com características semelhantes, a dados relativos a outras estações de monitorização da região ou fizeram-se estimativas consistentes com o restante conjunto de informação. No caso da matéria orgânica refractária assume-se que a sua concentração é 10% da concentração da matéria orgânica particulada.

O modelo CE – QUAL – W2, fornece a evolução espaço-temporal de um elevado número de parâmetros. A análise detalhada de todos estes parâmetros torna-se bastante complicada. Por questões de simplicidade optou-se por centrar a discussão nos parâmetros mais relevantes para a

caracterização do sistema. Estes parâmetros são também os referidos em estudos prévios consagrados à albufeira do Alqueva.

Os parâmetros físicos cuja validação mais significado tem numa albufeira são porventura a temperatura e o volume (ou o nível). No caso da albufeira do Alvito optou-se por comparar níveis. A comparação mostra-se na Figura 27. A discrepância entre os dados do INAG e os resultados do modelo, deve-se principalmente a erros na determinação das afluências e dos consumos embora também se possam atribuir a erros na batimetria. Os erros são mais evidentes em períodos de seca. Além disso os erros são sempre por excesso e aumentam com o tempo o que permite suspeitar de uma sistemática sobreavaliação das afluências.

O ciclo sazonal da temperatura, típico das latitudes médias é bem reproduzido pelo modelo. Durante os primeiros meses do ano, devido à acção do vento e principalmente, devido à pouca radiação solar incidente, a temperatura apresenta-se homogénea em toda a coluna de água com valores que rondam os 14°C (Figura 28a). No início da Primavera a temperatura da camada superior começa a aumentar produzindo-se então duas regiões distintas separadas por uma zona de diminuição rápida da temperatura – a termoclina – caracterizada por fortes gradientes verticais. Por esta altura do ano a temperatura à superfície atinge os 22°C – Figura 28b. Em Julho observa-se que a camada superficial continuou a aquecer atingindo-se valores para a temperatura à superfície próximos dos 27°C (Figura 28c). A camada superficial homogénea – camada de mistura – tem agora uma espessura que não excede os 5 m. Finalmente o ciclo completa-se com a erosão da termoclina e o arrefecimento geral já visível em Outubro (Figura 28d).

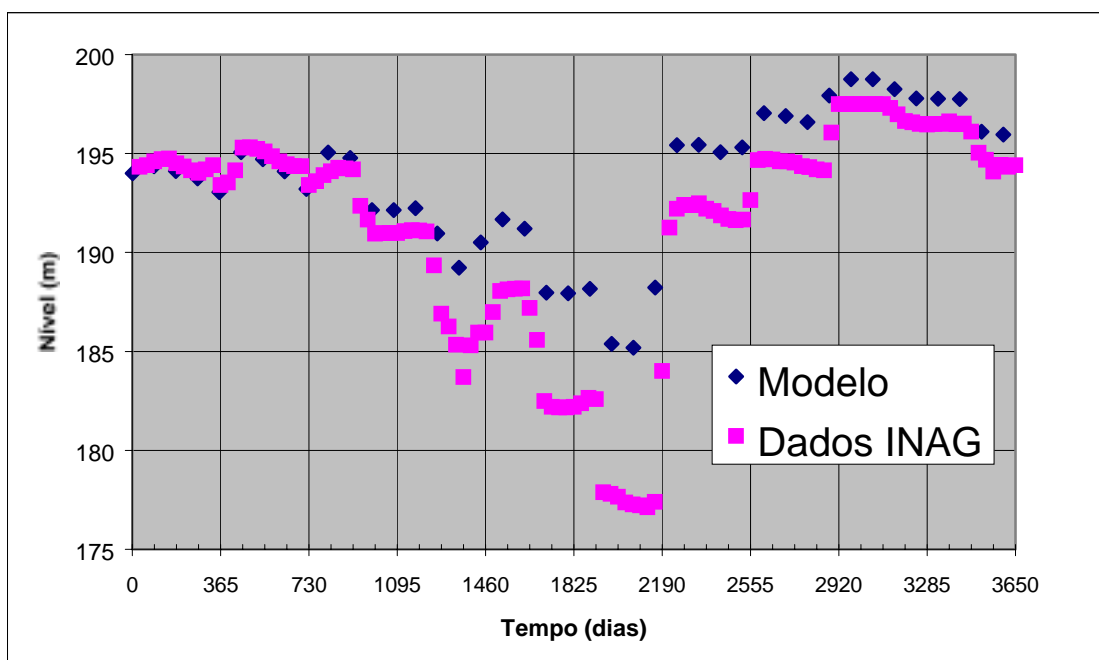
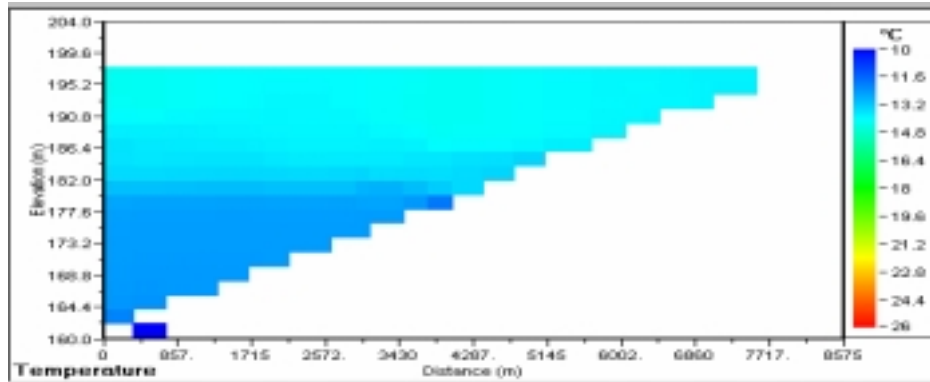
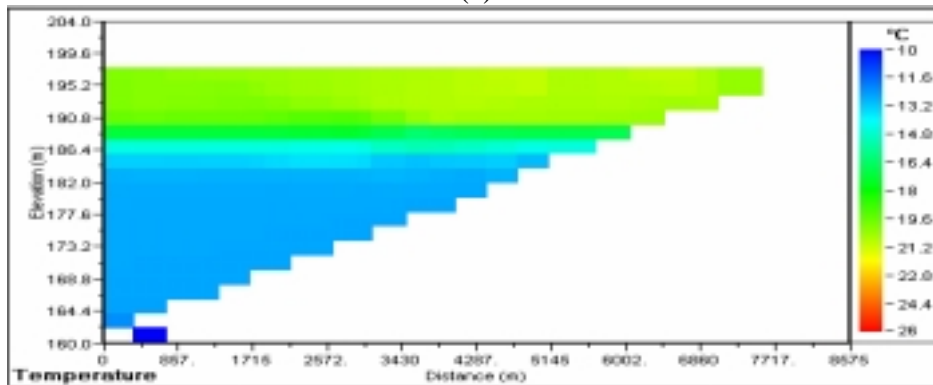


Figura 27– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999.

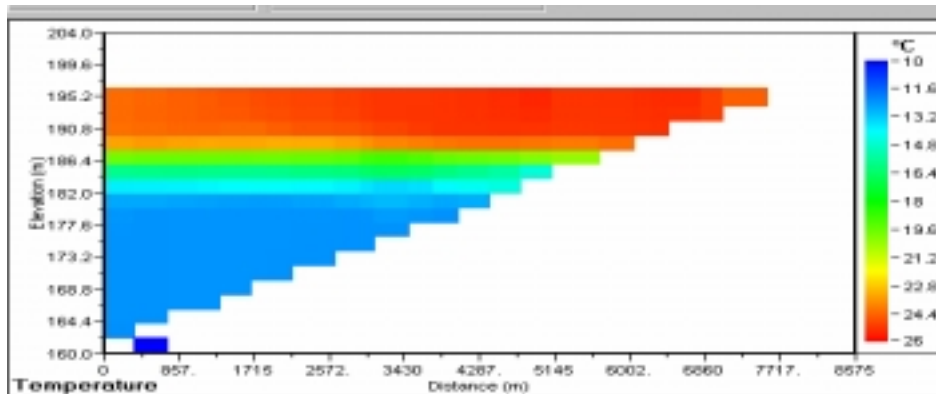
Por fim deve referir-se que exceptuando as diferenças óbvias impostas pela profundidade local, não se observam diferenças significativas na distribuição longitudinal de temperatura.



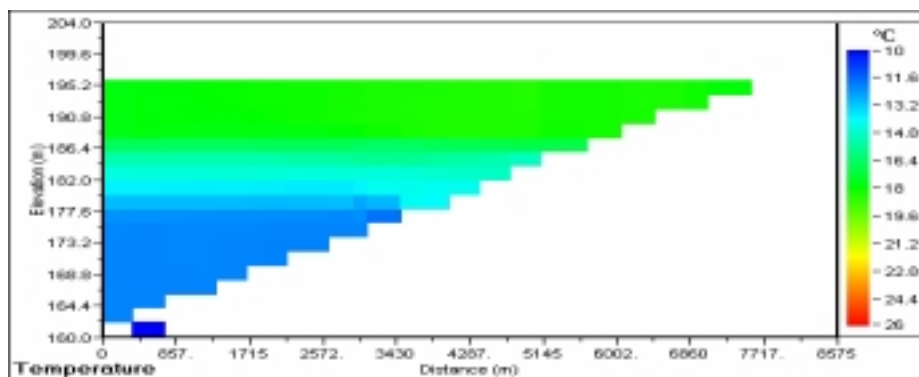
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 28– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d) de 1996.

#### 4.2.2 - Odivelas

No Quadro 4 apresenta-se o conjunto de dados disponíveis para a albufeira de Odivelas. Constata-se a ausência de dados relativos à qualidade da água. Por essa razão utilizaram-se os dados da albufeira do Alvito como condição de fronteira a montante da albufeira de Odivelas. Em princípio o erro cometido nesta aproximação não é muito significativo, visto que as duas albufeiras se encontram no mesmo curso de água e a pouca distância uma da outra. Por outro lado a classificação trófica das albufeiras é semelhante (INAG, 1995). Por outro lado neste caso além dos volumes tem-se um conjunto bastante completo de dados relativamente a consumos o que reduz a incerteza na determinação das afluências. O método utilizado para determinar as afluências é em tudo semelhante simplesmente deixa de ser um processo iterativo uma vez que só existe neste caso uma incógnita. A Figura 29 mostra os valores do volume, dos consumos e das afluências para o período da simulação.

| Parâmetro              | Período com informação                |
|------------------------|---------------------------------------|
| Volume                 | 1/01/90 a 1/12/98                     |
| Nível                  | 1/01/90 a 1/12/98                     |
| Descarga de Fundo      | 1/01/90 a 1/12/98                     |
| Descarga de Superfície | 1/01/90 a 1/12/98                     |
| Consumo Agrícola       | 3/1/96 a 6/12/99<br>1/01/90 a 1/12/98 |
| Consumo Diverso        | 1/01/90 a 1/12/98                     |

Quadro 4– Dados disponíveis para a albufeira de Odivelas.

Mais uma vez se verifica alguma concordância entre as afluências e os dados de precipitação como aliás seria de esperar. A evolução do volume acumulado é muito semelhante à observada na albufeira do Alvito, o que não é de estranhar dada a proximidade geográfica das duas albufeiras.

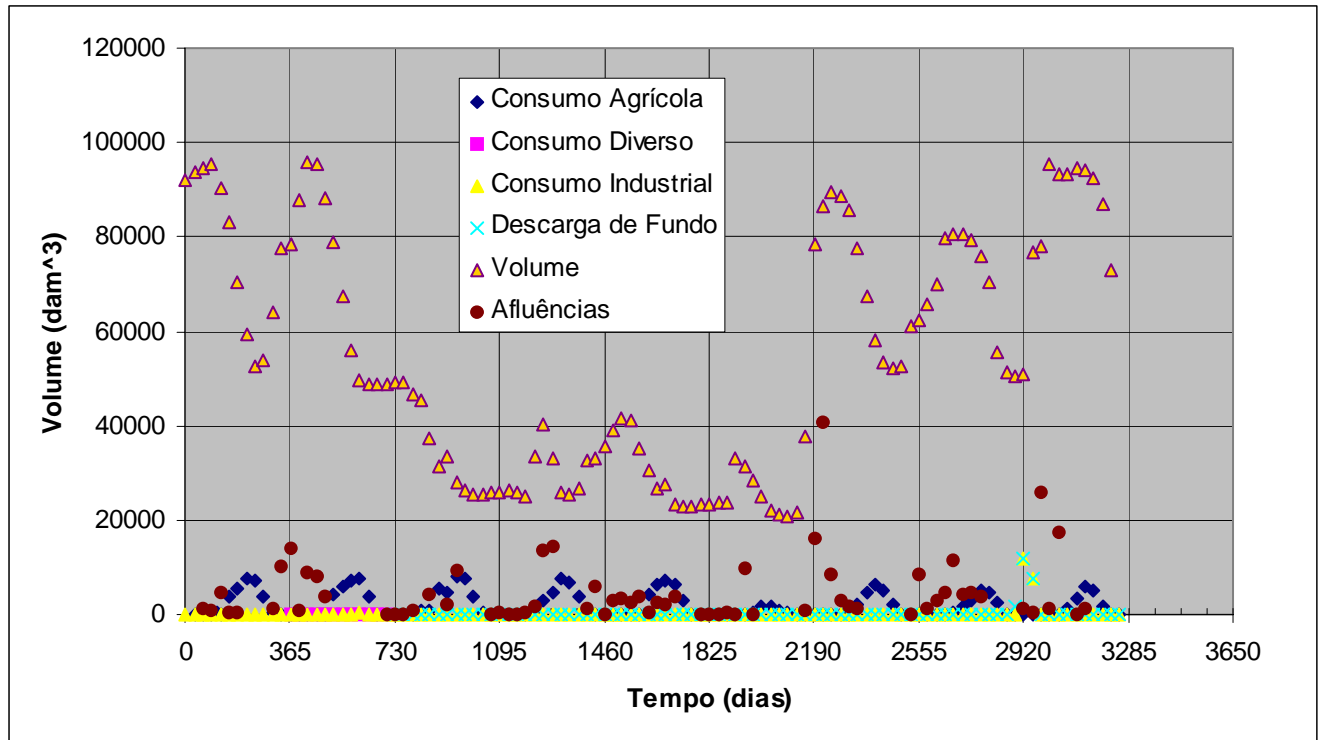


Figura 29– Volume acumulado, afluências e consumos mensais na albufeira de Odivelas. Valores utilizados no modelo durante os 10 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998.

Mais uma vez apenas se podem comparar os níveis devido à disponibilidade de dados (Figura 30). A concordância obtida neste caso é bastante superior ao da albufeira do Alvito. Este facto confirma que o bom conhecimento dos consumos reduz significativamente a incerteza na determinação das afluências. Mais uma vez os erros mais significativos ocorrem em períodos de seca, o que está obviamente relacionado com a maior dificuldade de representar correctamente as áreas das cotas mais baixas da albufeira e com o facto de ser aí que as pequenas variações de volume correspondem grandes variações de nível.



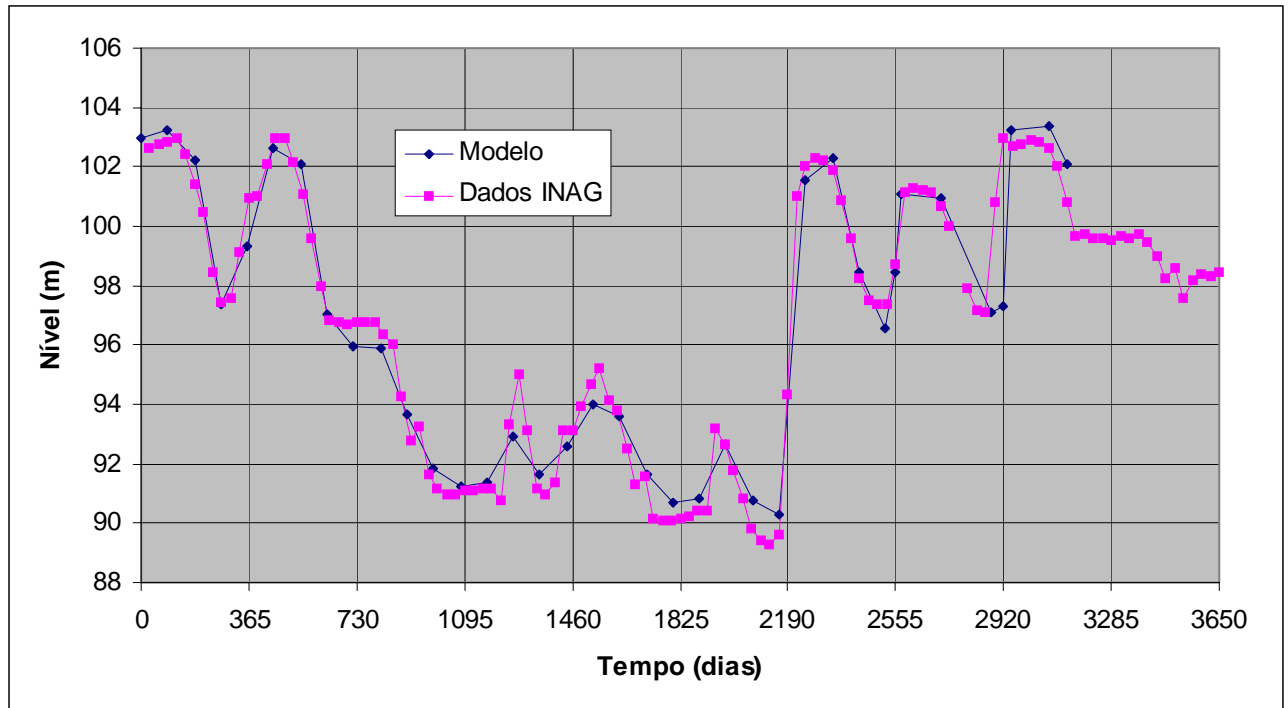
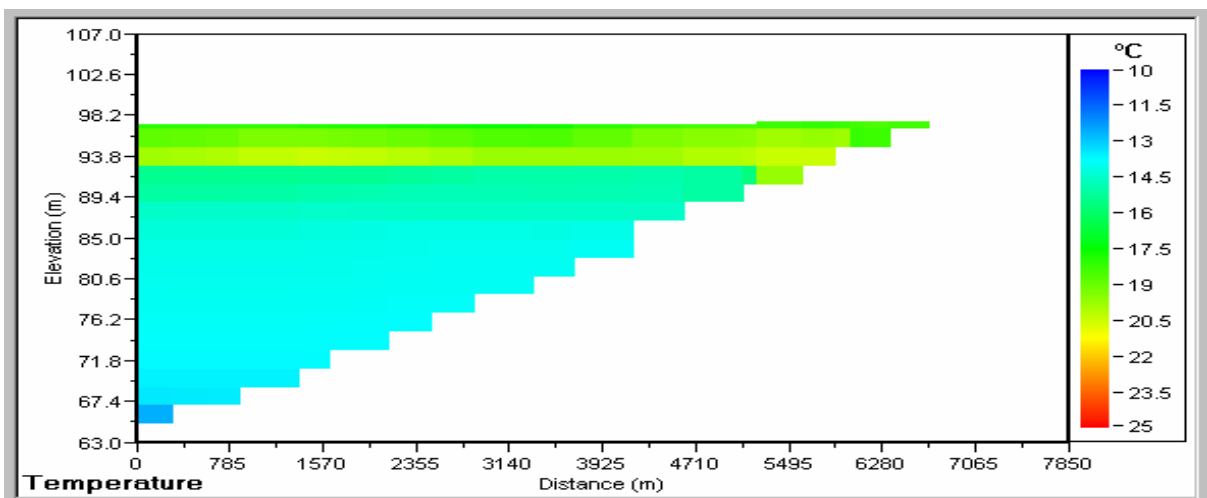
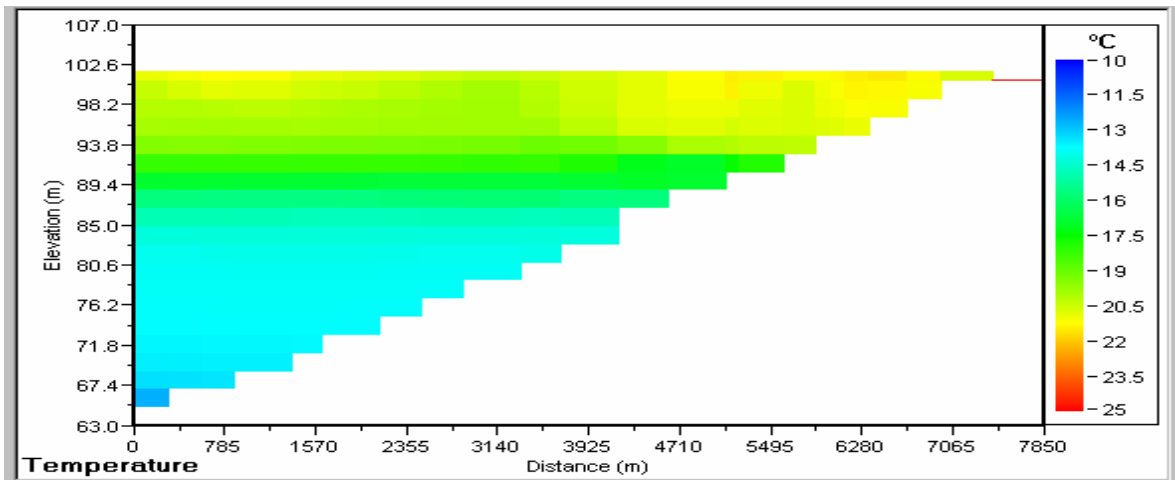


Figura 30– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999.

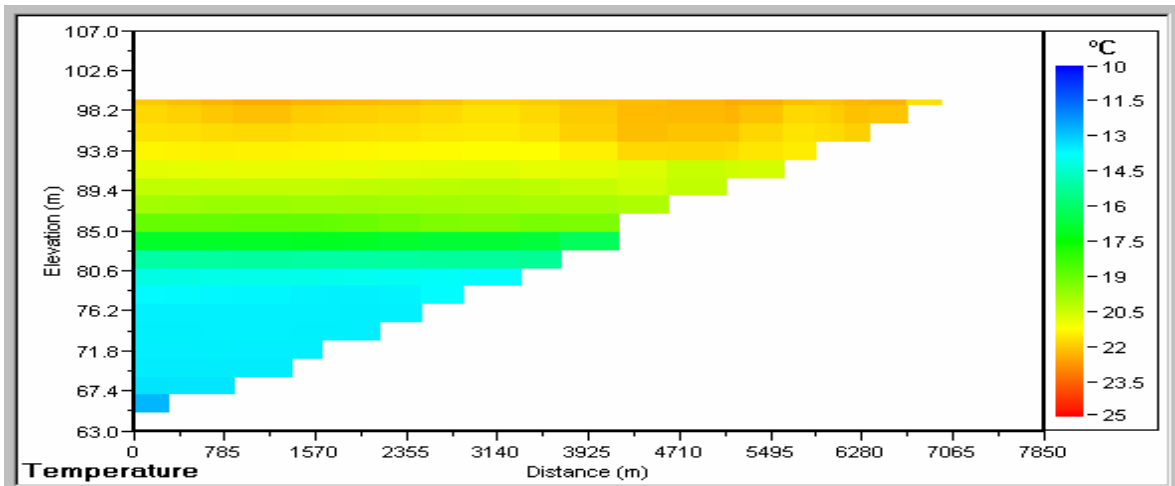
O ciclo sazonal da temperatura, é mais uma vez bem reproduzido pelo modelo. De facto o ciclo é evidentemente muito semelhante o que se obteve na albufeira do Alvito. Devem no entanto notar-se algumas diferenças. Assim existem menores diferenças longitudinais o que pode ter explicação na menor capacidade da albufeira. Outra diferença é a menor amplitude de variação sazonal da temperatura da superfície acompanhada por uma maior camada de mistura.



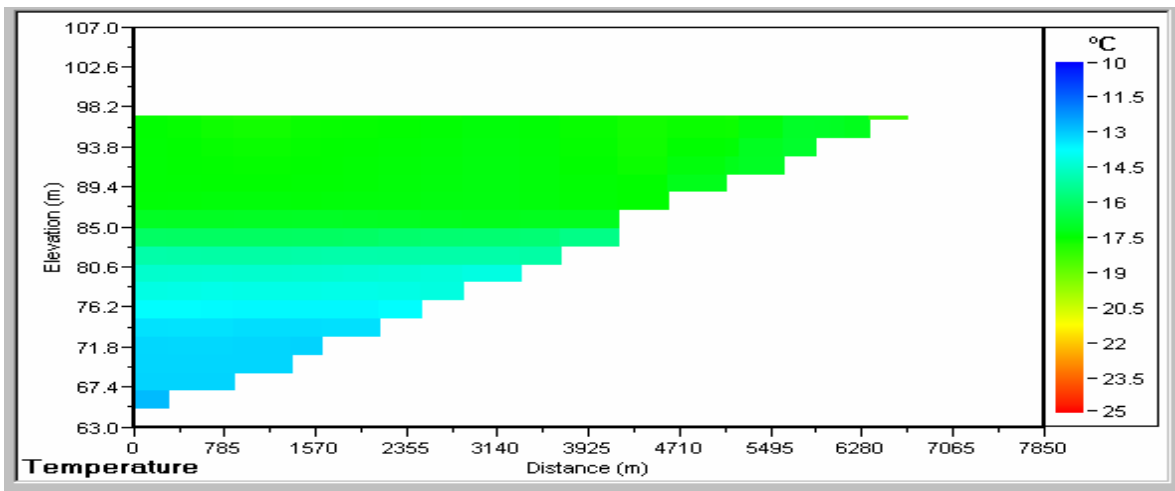
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 31– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Agosto (c) e Outubro (d) de 1996.

### 4.2.3 – Vale do Gaio

Para a albufeira de Vale do Gaio tem-se um conjunto de dados que inclui volumes, níveis, consumos de água e descargas e ainda dados de qualidade da água relativos a um período de 1 ano (ver Quadro 5). Utilizou-se o mesmo método descrito anteriormente para determinar as afluências (ver

Figura 32). Relativamente à qualidade da água optou-se por utilizar os dados disponíveis para todo o período de simulação. Refira-se que a simulação teve de ser interrompida por um período de aproximadamente 2 anos uma vez que o volume acumulado era muito baixo e colocava alguns problemas computacionais.

| Parâmetro                | Período com informação | Banda de variação      | Valor médio | Desvio Padrão |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------|---------------|
| CBO5                     | 10/1/95 a 12/9/95      | 1 a 9.4 mg/l           | 5.06        | 2.85          |
| Coliformes totais        | 17/10/94 a 19/9/95     | 13 a 1500 MPN/100ml    | 352         | 407           |
| Fosfato                  | 17/10/94 a 19/9/95     | 0.03 a 0.5 mg/l        | 0.28        | 0.125         |
| Amónia                   | 17/10/94 a 19/9/95     | 0 a 1 mg/l             | 0.19        | 0.26          |
| Nitrato                  | 17/10/94 a 19/9/95     | 0.03 a 9.1 mg/l        | 1.64        | 2.6           |
| Oxigénio Dissolvido      | 17/10/94 a 19/9/95     | 2.4 a 15.6 mg/l        | 8.1         | 3.6           |
| Sólidos Suspensos Totais | 17/10/94 a 19/9/95     | 4 a 40 mg/l            | 15.4        | 10.5          |
| Volume Acumulado         | 1/1/90 a 31/12/99      | 0 a 63 hm <sup>3</sup> | -           | -             |
| Nível                    | 1/1/90a 31/12/99       | 11 a 40.5 m            | -           | -             |
| Descarga de Fundo        | 1/1/90 a 31/12/98      | -                      | -           | -             |
| Descarga de Superfície   | 1/1/90 a 31/12/98      | -                      | -           | -             |
| Consumo Agrícola         | 1/1/90 a 31/12/98      | -                      | -           | -             |

Quadro 5– Dados disponíveis para a albufeira de Vale do Gaio.

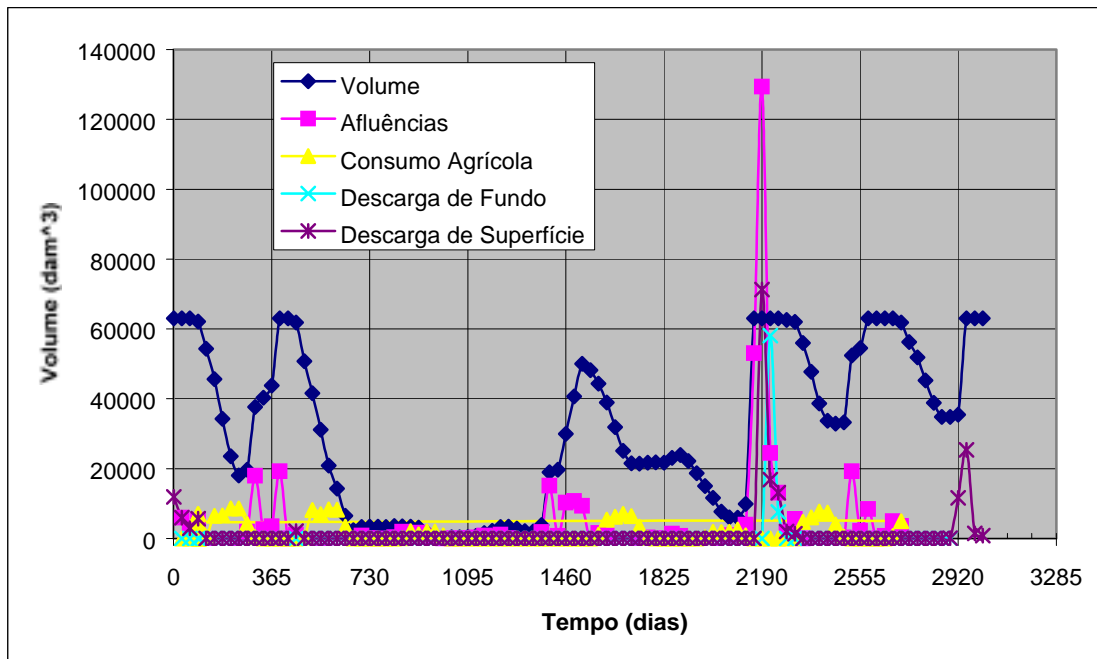


Figura 32– Volume acumulado, afluências e consumos mensais na albufeira de Vale do Gaio. Valores utilizados no modelo durante os 8 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998.

Uma vez que a simulação foi na verdade partida em duas, os níveis são comparados com os dados do INAG para esses dois períodos (Figura 33). Verifica-se de novo uma concordância muito boa a que não será alheio o facto de se possuírem dados relativos a consumos e descargas que reduzem significativamente a incerteza na determinação das afluências.

A estrutura térmica apresenta de novo um ciclo muito semelhante ao obtido nas albufeiras do Alvito e Odivelas. Em Janeiro e estrutura vertical é praticamente inexistente, apresentando um máximo na superfície aparentemente devido à água proveniente do rio (Figura 34a). Na Primavera (em Abril) formou-se uma camada de mistura mais quente com uma espessura de aproximadamente 11m (Figura 34b) que evolui para uma camada menos espessa em Julho (Figura 34c), com apenas 7m. A partir do final do Verão a espessura da camada de mistura aumenta atingindo em Outubro 10m. Tal como no caso de Odivelas, também neste caso não parece evidente que existam grandes gradientes longitudinais.

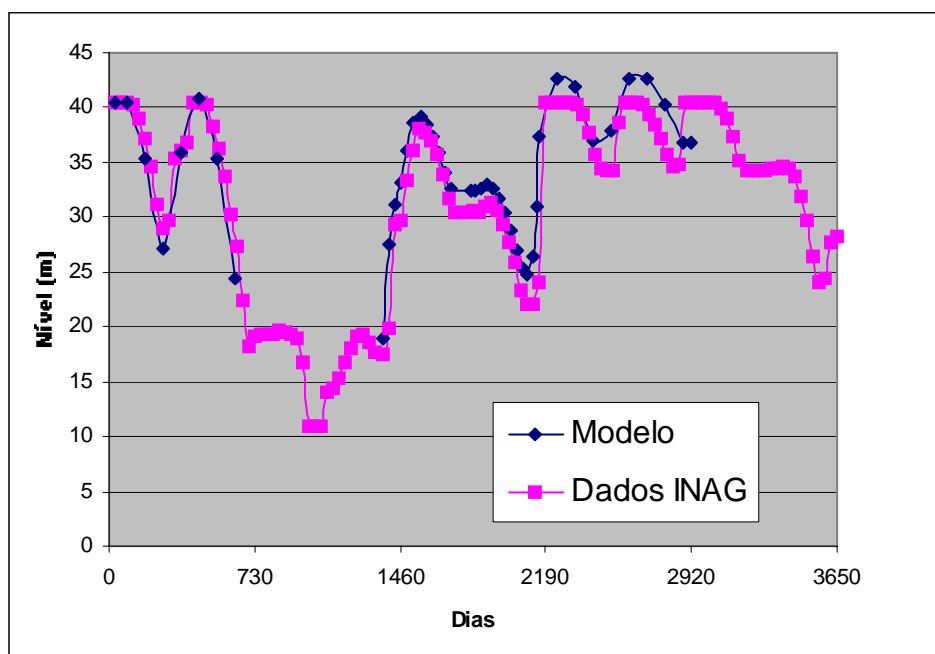
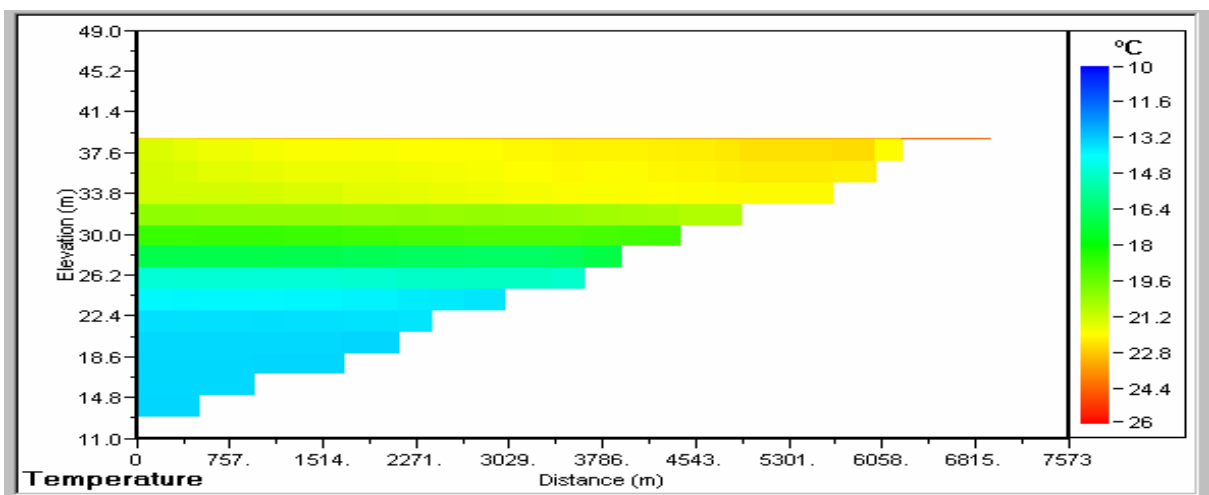
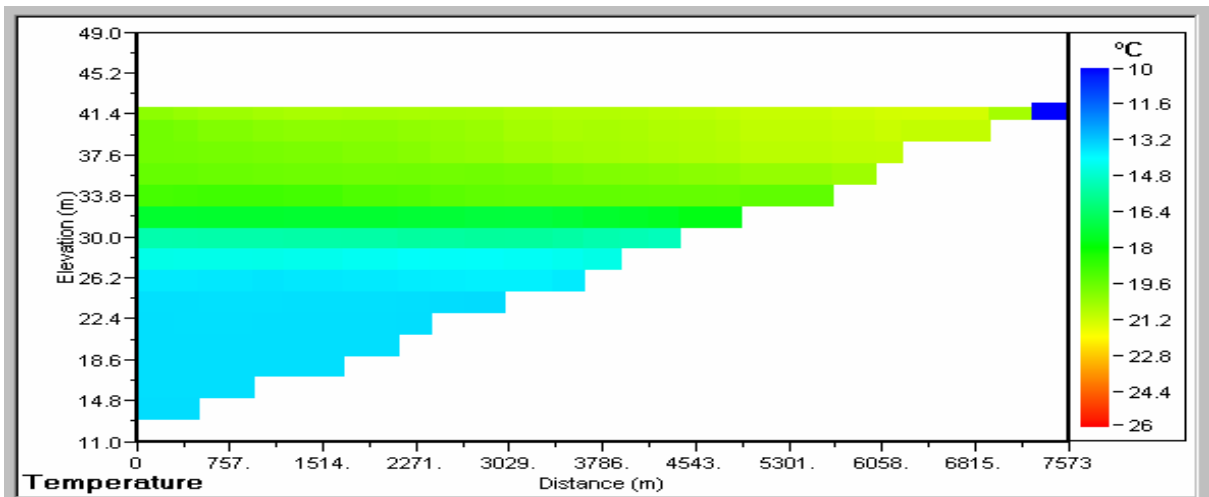
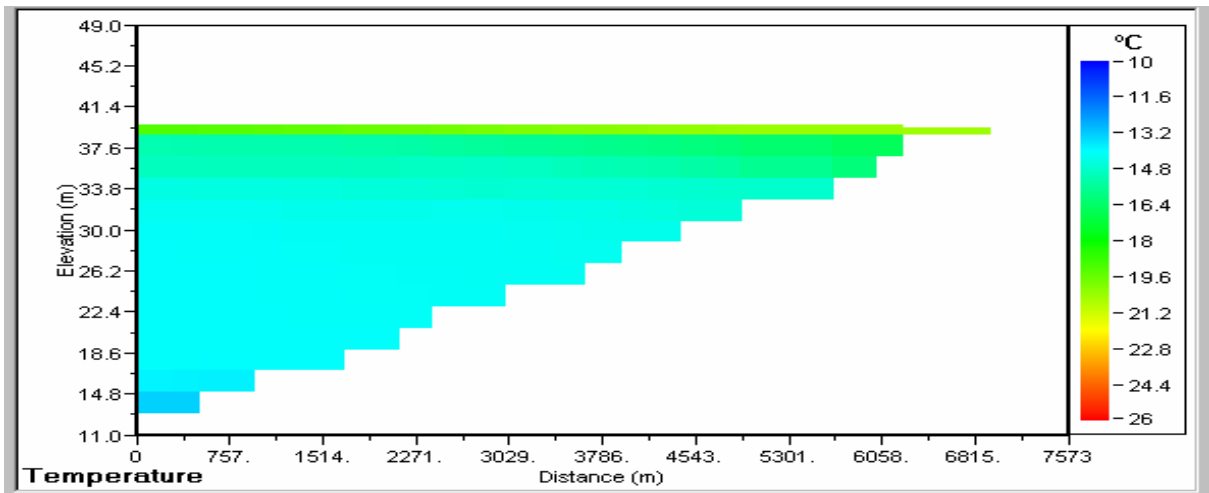


Figura 33– Comparação entre níveis observados e simulados. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3650 corresponde a 31 de Dezembro de 1999.



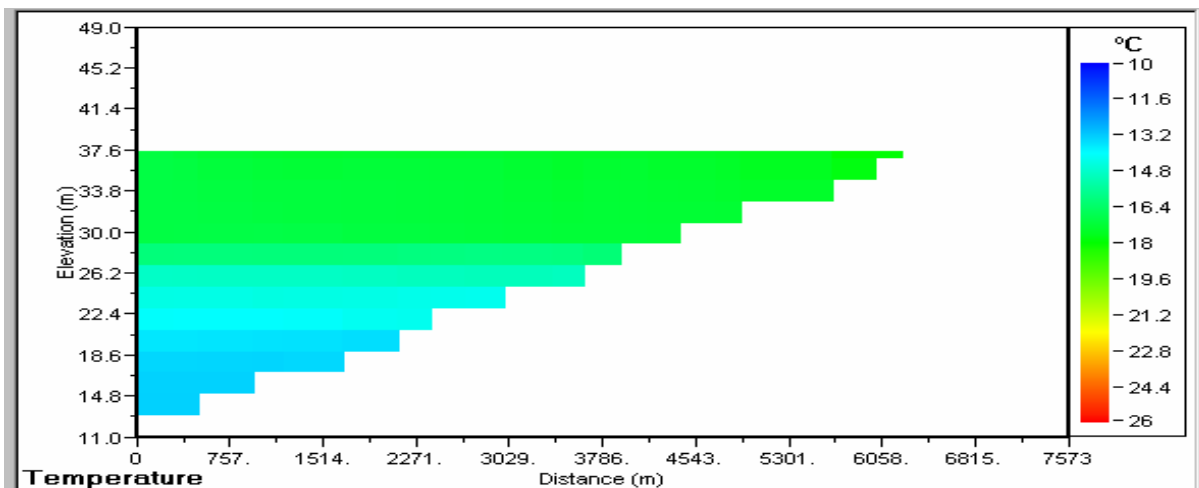


Figura 34– Distribuições longitudinais de temperatura em Janeiro (a), Abril (b), Agosto (c) e Outubro (d) de 1996.

#### 4.2.4 – Roxo

Para a albufeira do Roxo possui-se o melhor de todos os conjuntos de dados. O facto de a albufeira se destinar ao consumo municipal permite que se tenham dados relativos a temperatura e qualidade da água, dentro da albufeira, a 3 níveis (denominados superfície, meio e fundo). Além disso existem dados sobre volumes, níveis, consumos de água e descargas (ver Quadro 6). Utilizou-se o mesmo método descrito anteriormente para determinar as afluências (ver Figura 35).

Os níveis servem mais uma vez para calibrar o modelo em termos de balanço de água. Os resultados mostram uma discrepância relativamente aos dados do INAG (Figura 36). Esta diferença é devida à necessidade de o modelo ter sido inicializado com um valor do nível 1.8 m superior ao valor real. Esta necessidade advém da albufeira ter sido representada por dois braços, sendo um deles menos profundo que o outro. Em períodos de seca o braço menos profundo poderia ficar com o seu volume muito reduzido e criar dificuldades computacionais acrescidas que em última análise conduziriam (tal como em Vale do Gaio) a uma interrupção da simulação. Para evitar que isto acontecesse o nível foi artificialmente aumentado, permanecendo esse erro durante toda a simulação. Deve no entanto acrescentar-se que o erro manteve-se quase constante em toda a simulação – o valor médio que se obtém com o modelo é 132.18m e o desvio padrão 4.09.

| Parâmetro                     | Período com informação | Banda de variação           | Valor médio | Desvio Padrão |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|---------------|
| <b>CBO5</b>                   | 6/2/91 a 12/12/95      | 1 a 5 mg/l                  | 2.6         | 1.1           |
|                               | 13/2/96 a 3/3/98       | 1 a 11.5 mg/l               | 3.7         | 3.25          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.5 a 15 mg/l               | 4.3         | 3.7           |
| <b>Coliformes totais</b>      | 26/10/94 a 7/9/99      | 0 a 337 MPN/100ml           | 43          | 81            |
|                               | -                      | -                           | -           | -             |
| <b>Fosfato</b>                | 8/10/90 a 6/10/99      | 0 a 0.43 mg/l               | 0.05        | 0.08          |
|                               | 13/2/96 a 6/10/99      | 0.003 a 0.47 mg/l           | 0.08        | 0.11          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.002 a 0.43 mg/l           | 0.085       | 0.1           |
| <b>Amônia</b>                 | 8/10/90 a 6/10/99      | 0 a 0.4 mg/l                | 0.09        | 0.1           |
|                               | 13/2/96 a 6/10/99      | 0 a 1.2 mg/l                | 0.12        | 0.2           |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0 a 1.1 mg/l                | 0.18        | 0.23          |
| <b>Nitrato</b>                | 8/10/90 a 6/10/99      | 0.02 a 10.9 mg/l            | 1.84        | 2.5           |
|                               | 13/2/96 a 6/10/99      | 0.09 a 14 mg/l              | 3.12        | 3.7           |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.09 a 11.7 mg/l            | 3.16        | 3.3           |
| <b>Oxigênio Dissolvido</b>    | 8/10/90 a 6/10/99      | 0.62 a 17.3 mg/l            | 8.7         | 2.3           |
|                               | 13/2/96 a 6/10/99      | 0.96 a 14.7 mg/l            | 7.9         | 2.82          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.5 a 11.9 mg/l             | 7.2         | 2.94          |
| <b>Temperatura</b>            | 8/10/90 a 6/10/99      | 9 a 27 °C                   | 17.2        | 4.73          |
|                               | 13/2/96 a 5/1/99       | 10.3 a 27 °C                | 17.6        | 4.44          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 10.3 a 23.6 °C              | 17.1        | 4.22          |
| <b>Volume Acumulado</b>       | 1/1/90 a 1/12/98       | 7.75 a 97.7 hm <sup>3</sup> | -           | -             |
| <b>Nível</b>                  | 31/1/90a 29/2/2000     | 122.8 a 136 m               | 130.5       | 4.18          |
| <b>Consumo Municipal</b>      | 1/1/90 a 1/12/98       | -                           | -           | -             |
| <b>Descarga de Superfície</b> | 1/1/90 a 1/12/98       | -                           | -           | -             |
| <b>Consumo Agrícola</b>       | 1/1/90 a 1/12/98       | -                           | -           | -             |
| <b>Consumo Industrial</b>     | 1/1/90 a 1/12/98       | -                           | -           | -             |

Quadro 6– Dados disponíveis para a albufeira do Roxo. Para os parâmetros de qualidade da água incluem-se 3 linhas relativas a valores à superfície a meia coluna de água e fundo (primeira, segunda e terceira linha respectivamente).

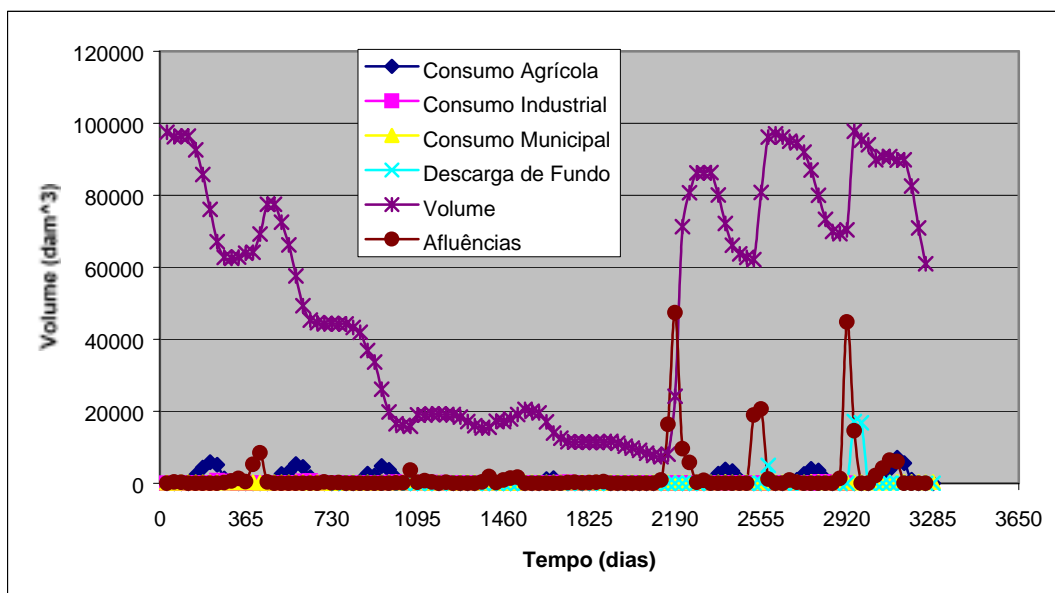


Figura 35- Volume acumulado, aflúncias, decargas e consumos mensais na albufeira do Roxo. Valores utilizados no modelo durante os 9 anos de simulação. O dia 0 corresponde a 1 de Janeiro de 1990 e o dia 3285 corresponde ao dia 31 de Dezembro de 1998

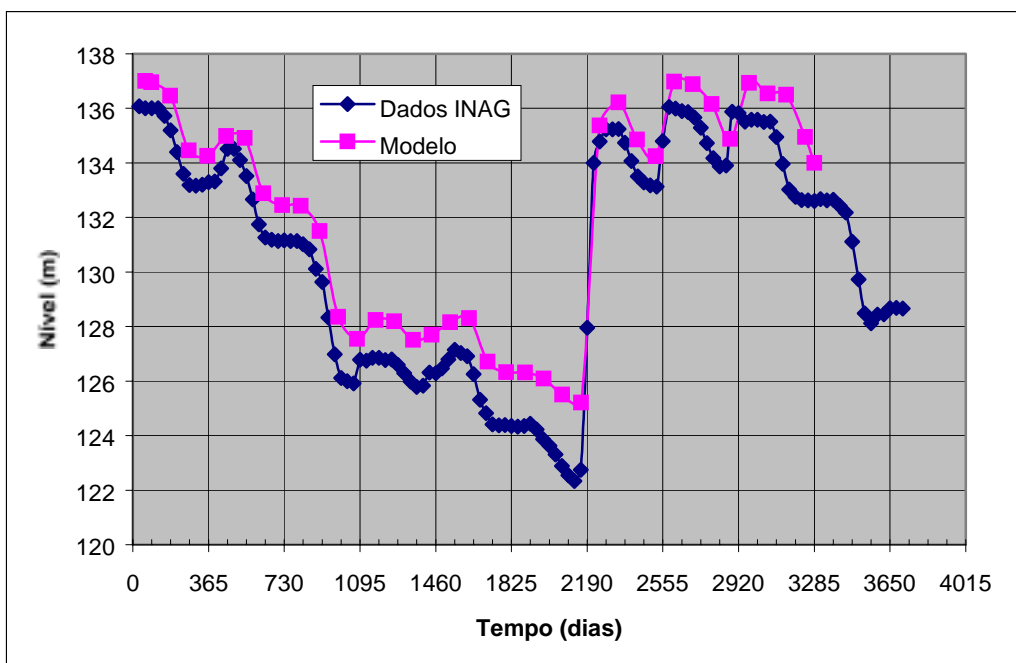


Figura 36– Comparação entre os níveis obtidos no modelo e os dados do INAG.

A albufeira do Roxo revela um comportamento atípico relativamente às outras albufeiras no que diz respeito à estrutura térmica vertical. Na Figura 37 podem ver-se séries temporais de dados obtidos na albufeira a 3 níveis que mostram a quase ausência de estratificação.

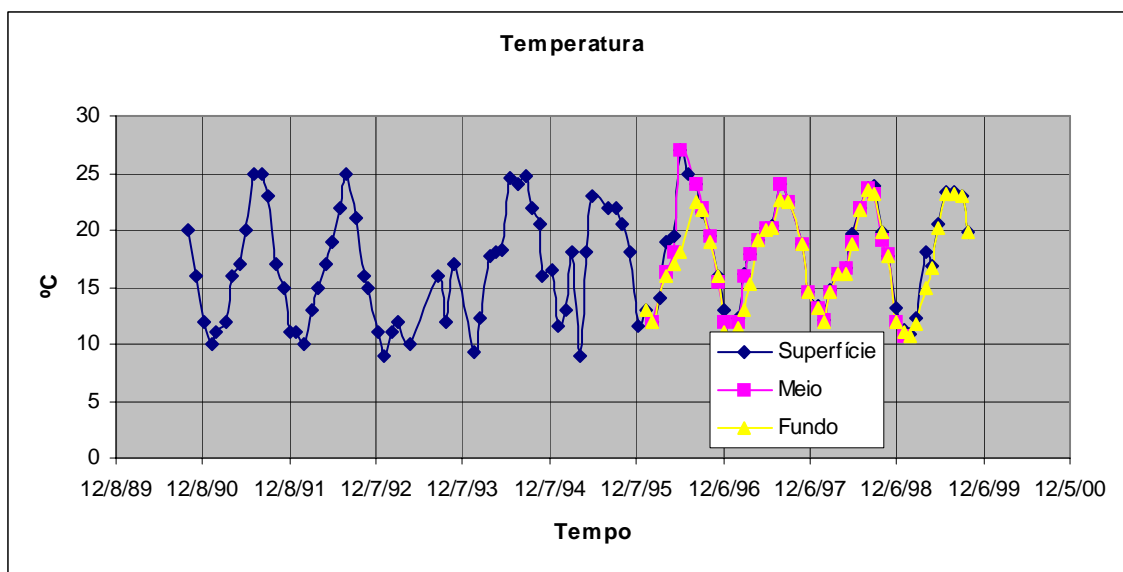


Figura 37– Séries temporais de temperatura medidas em 3 níveis na albufeira do Roxo.



Os valores da temperatura variam entre aproximadamente 10°C no Inverno e 25°C no Verão. Os resultados do modelo (Figura 38) revelam uma estrutura muito semelhante. As 3 séries temporais apresentadas são resultados junto ao paredão e mostram também a quase total inexistência de estratificação – note-se a pequena diferença existente entre a série a azul que representa a temperatura na camada 8 do modelo à cota de 127 m e a série a verde à cota de 121 m. Os valores da temperatura variam entre 12 e 25°C o que revela apesar de tudo alguma discrepância. Aparentemente esta diferença é devida a um excesso de mistura vertical que transporta calor de cima para baixo, arrefecendo as águas superficiais e aquecendo o fundo.

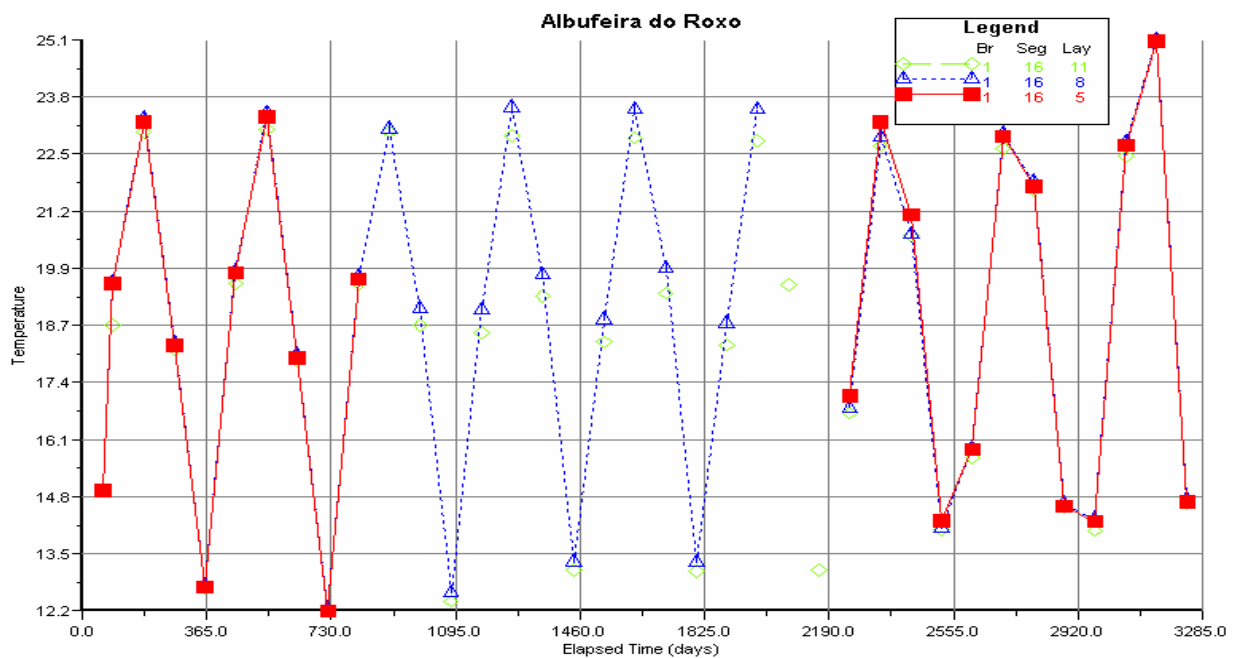


Figura 38– Séries temporais de temperatura obtidas com o modelo, junto ao paredão. A vermelho estão os valores mais à superfície e a verde os do fundo.

### 4.3 – QUALIDADE DA ÁGUA

A classificação trófica das albufeiras do Roxo, Odivelas e Vale do Gaio, foi objecto de alguns estudos nos últimos 20 anos (Oliveira, 1984; INAG, 1995). Resumidamente pode dizer-se que as albufeiras do Alvito e Odivelas apresentam-se pouco produtivas com fitoplâncton típico de meios oligotróficos (dominância das Clorófitas). A albufeira do Roxo pode considerar-se mesotrófica ou eutrófica com dominância das Cianófitas no Verão e Outono embora com concentrações moderadas. Finalmente a albufeira de Vale do Gaio é considerada muito produtiva, com dominância das Cianófitas acompanhadas por espécies de Clorófitas próprias de ambientes muito ricos em nutrientes. No que diz respeito a densidades, em Vale do Gaio os

valores médios eram 2 vezes superiores ao Roxo e 4 vezes superiores a Odiveelas. Os resultados obtidos com o modelo para a década de 90 são apresentados na Figura 39. Embora não seja possível confirmar a eventual existência de maior biomassa na albufeira de Vale do Gaio é bem evidente o diferente comportamento das diferentes albufeiras.

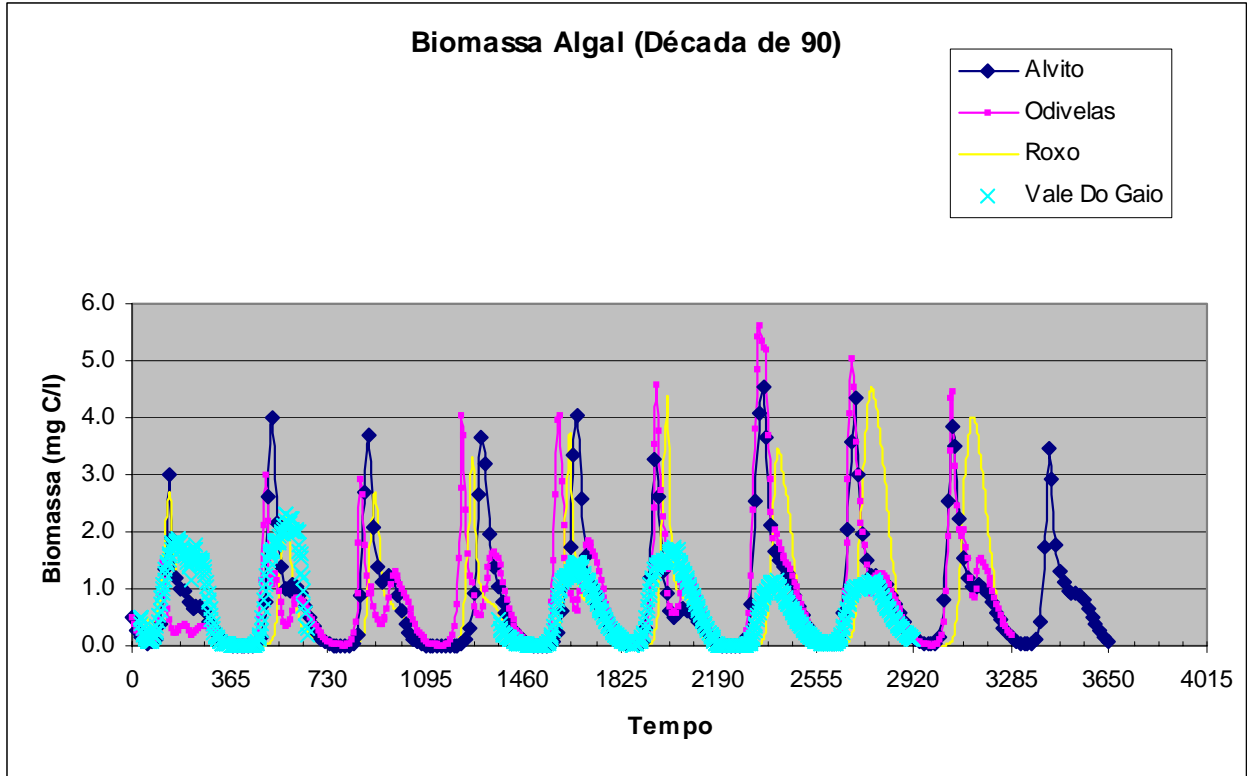


Figura 39 – Séries temporais de biomassa algal, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990.

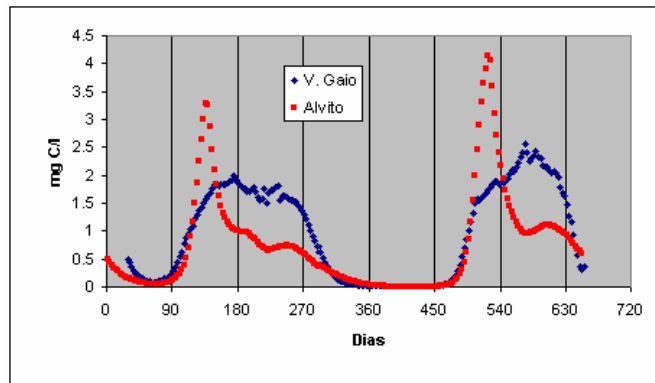


Figura 40 – Concentrações de fitoplâncton nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores obtidos com o modelo junto aos paredões à superfície.

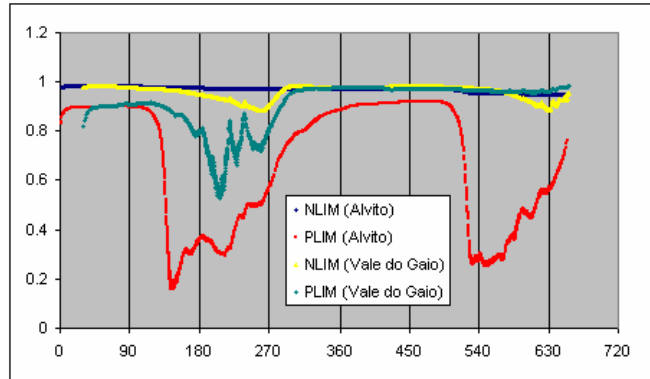


Figura 41 – Limitação por nutrientes nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores calculados a partir das concentrações de nitrato, azoto amoniacal e fosfato, obtidas com o modelo junto aos paredões á superfície.

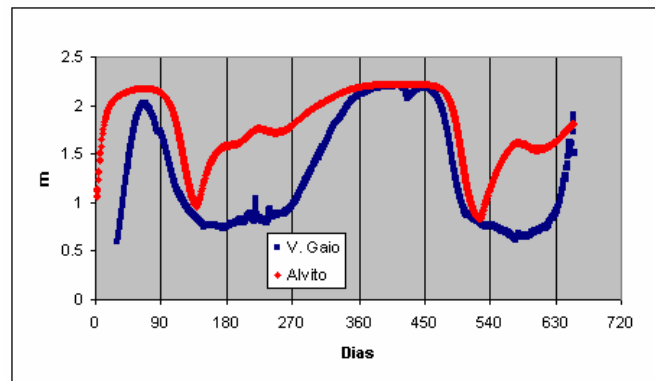


Figura 42 – Coeficientes de extinção da luz nas albufeiras de Vale do Gaio e Alvito nos anos de 1990 e 1991. Valores calculados a partir das concentrações de fitoplâncton, matéria orgânica e sólidos suspensos, obtidas com o modelo junto aos paredões á superfície.

Para uma melhor compreensão dos processos analisem-se os resultados para os dois primeiros anos de simulação (1990/91). A Figura 40 mostra a evolução da biomassa algal à superfície junto ao paredão para as albufeiras de Vale do Gaio e Alvito em 1990/91. Pode ver-se que na albufeira do Alvito o *bloom* é mais intenso mas também mais curto durando apenas cerca de 30 dias (o mês de Abril). É ainda possível observar um segundo máximo na concentração no final do Verão que é particularmente evidente em 1991. Se se observar a Figura 41 pode ver-se que a partir do final de Abril o fósforo torna-se limitante, situação essa que se mantém até ao Outono onde devido ao aumento do escoamento passa a haver de novo disponibilidade de nutrientes. Nessa altura é a luz que funciona como factor limitante à produtividade biológica. Esta evolução temporal da biomassa algal é típica de ambientes com uma quantidade moderada de nutrientes e sem grandes problemas de eutrofização. Pelo contrário a evolução na albufeira de Vale do Gaio revela características completamente diferentes. Na Figura 41 pode ver-se que nem o fósforo nem o azoto são de facto limitantes durante todo o período (1990/91). Assim a produtividade biológica ocorre desde o início da Primavera até ao início do Outono. As concentrações máximas que se obtêm

com o modelo são inferiores às que se obtiveram no Alvito, mas o bloom é muito longo (superior a 6 meses). Este comportamento é típico de albufeiras com problemas de eutrofização. Estes resultados estão assim de acordo com as caracterizações das albufeiras em questão. Na Figura 42 pode ver-se a evolução dos coeficientes de extinção da luz calculados pelo modelo tendo em conta as concentrações de fitoplâncton, matéria orgânica e sólidos suspensos. A maior disponibilidade de nutrientes na albufeira de Vale do Gaio leva a que mesmo no Inverno as concentrações de fitoplâncton e matéria orgânica sejam suficientemente elevadas para reduzir substancialmente a penetração da luz de forma que esta se torna no factor limitante durante praticamente todo o ano. É esta a razão pela qual os *blooms* em Vale do Gaio têm máximos mais moderados. Por outro lado, a luz por si só não limita completamente a produção primária nos meses de Primavera e Verão (como acontece com a ausência de nutrientes) donde resulta que os *blooms* apesar de uma intensidade moderada são muito longos.

Na albufeira de Odivelas o modelo produz resultados comparáveis com os que se obtêm para o Alvito confirmando assim que o estado trófico das albufeiras é semelhante. No Roxo a situação é intermédia entre Vale do Gaio e Alvito. No princípio da década os máximos de fitoplâncton ocorriam no princípio da Primavera eram intensos e curtos, assemelhando-se ao que acontece em albufeiras pouco produtivas como é o caso do Alvito. Após 1995 os *blooms* tornaram-se mais extensos e igualmente intensos perfigurando um caso de eutrofização com alguma gravidade. Da Figura 43 até à Figura 46 podem observar-se séries temporais dos nutrientes e do oxigénio dissolvido. A distribuição de nutrientes reflecte o ciclo sazonal típico. Os valores mínimos de nitrato e fósforo ocorrem sempre durante o período de Primavera-Verão e a seguir à ocorrência das concentrações máximas de fitoplâncton e amónia. Mas o que é verdadeiramente interessante é analisar o comportamento do sistema em situações extremas – anos secos e anos húmidos. Já foi observado neste trabalho que o período compreendido entre 1991 e o final de 1995 foi um período de precipitação relativamente baixa onde o volume acumulado nas albufeiras diminuiu consistentemente atingindo o seu mínimo em 1995. Por exemplo no caso da albufeira do Roxo a partir do final de 1992 o volume acumulado foi sempre inferior a 20% da capacidade da albufeira. Olhando atentamente para a Figura 40 pode ver-se claramente que a partir dessa altura – dia 1095 – se tem um aumento na concentração de fitoplâncton (durante o período de Primavera-Verão) a que corresponde um aumento significativo na concentração de amónia. Este aumento de concentração não significa necessariamente um aumento de biomassa mas sim uma diminuição de volume. A partir do final de 1995 a precipitação aumentou consideravelmente o mesmo acontecendo com o volume acumulado nas albufeiras que muito rapidamente atingiram a sua capacidade máxima. A este aumento de volume/afluências corresponde um aumento também muito significativo dos fluxos de nutrientes.

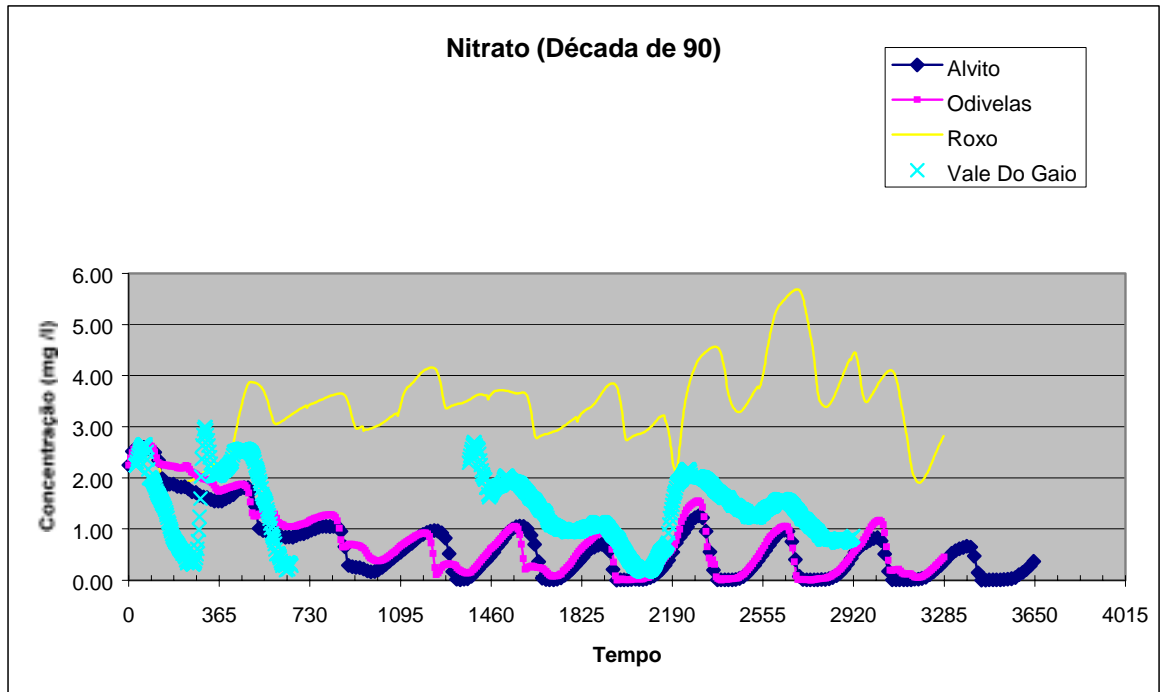


Figura 43 - Séries temporais de nitratos, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990

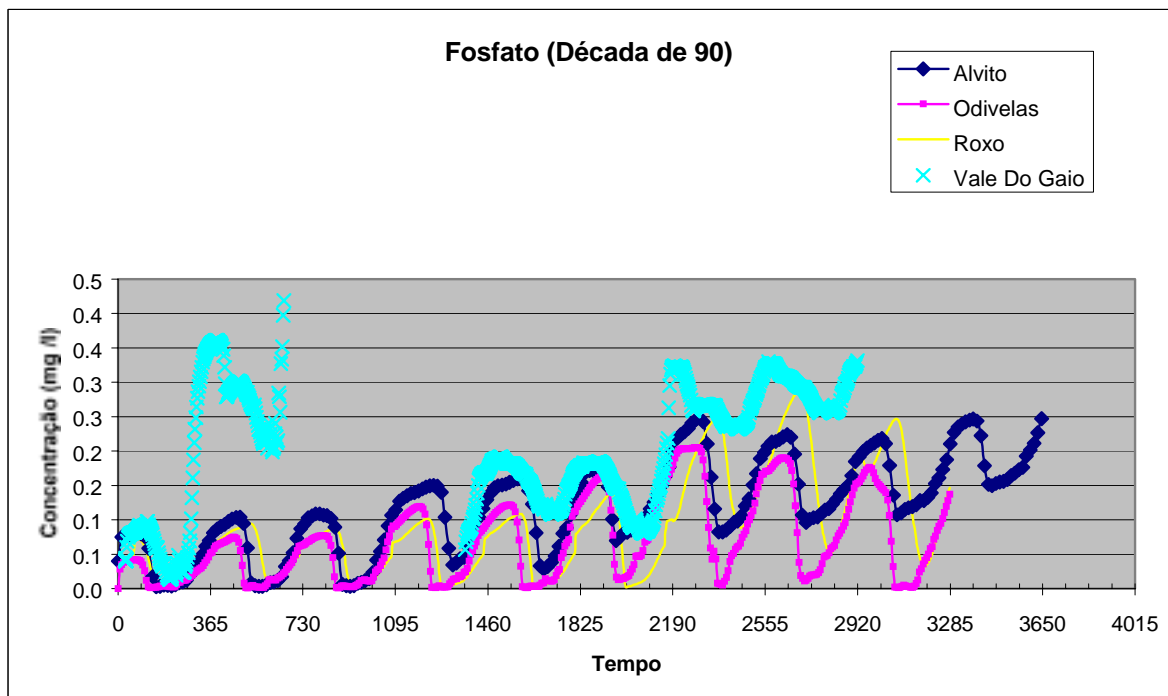


Figura 44 - Séries temporais de fosfatos, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990

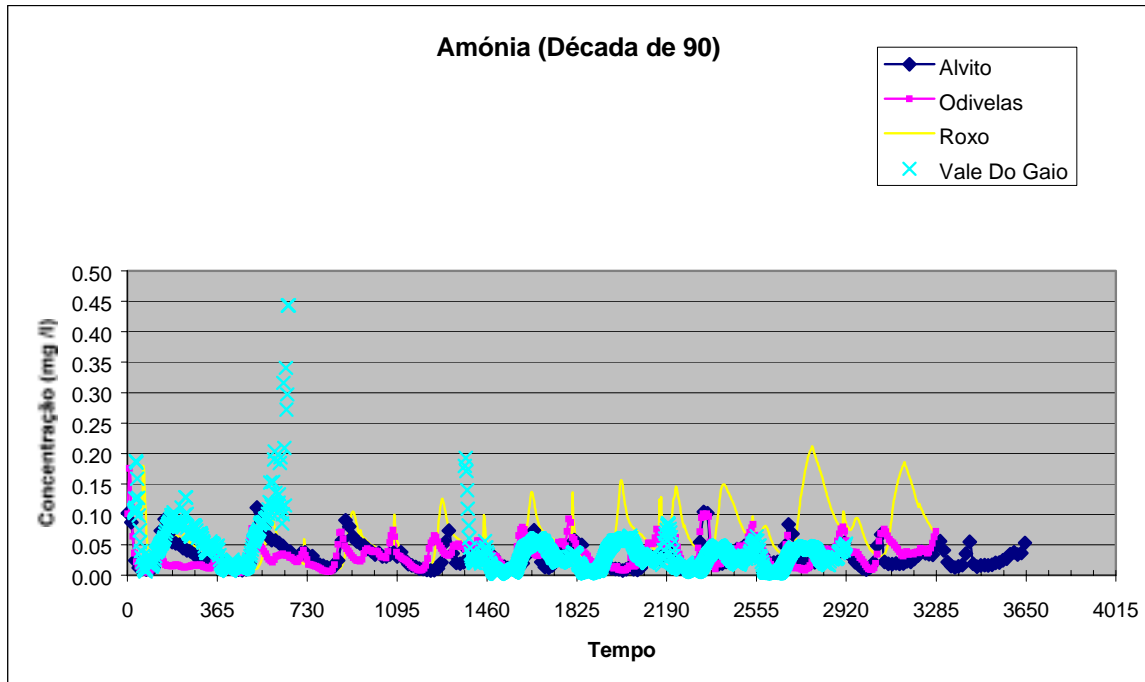


Figura 45 - Séries temporais de azoto amoniacal, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990

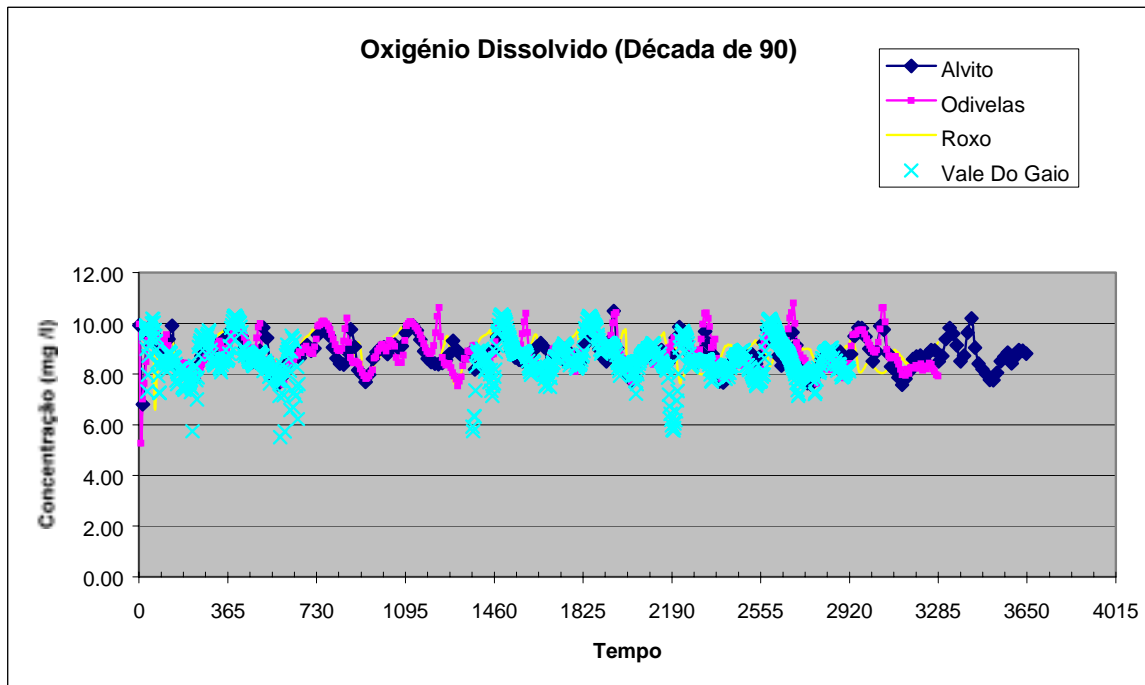


Figura 46 - Séries temporais de oxigénio dissolvido, à superfície junto aos paredões. O dia 0 corresponde às 0.00 horas do dia 1 de Janeiro de 1990

Quanto ao oxigénio dissolvido os valores à superfície são em geral elevados (entre 8 e 10 mg/l) e apenas esporadicamente em Vale do Gaido se têm valores ligeiramente inferiores a 6 mg/l durante o Verão.

De seguida aborda-se a evolução dos parâmetros de qualidade da água tendo em conta a sua distribuição na vertical. É importante fazer esta análise dos resultados não tanto do ponto de vista quantitativo mas antes do ponto de vista qualitativo uma vez que se podem compreender os processos biogeoquímicos envolvidos. Uma análise semelhante feita com recurso a observações (ainda que feitas noutra local) pode permitir uma validação qualitativa do modelo que é muito relevante. Esse conjunto de dados existe para a albufeira de Monte Novo e é analisado noutra secção. Aqui é feita a análise dos resultados para as albufeiras de Vale do Gaido e Alvito. Os resultados são apresentados num conjunto de 12 figuras (Figura 47 até à Figura 58). Em termos de biomassa algal é evidente a diferença de comportamento das duas albufeiras. A extensão dos blooms em Vale do Gaido é comparativamente maior tanto em termos temporais como na vertical. Também é muito evidente as diferenças existentes em termos de distribuição de nutrientes, existindo em Vale do Gaido uma maior abundância como aliás já havia sido referido. As interações da coluna de água com o fundo são importantes neste tipo de sistema. Próximo do fundo as concentrações relativamente elevadas de matéria orgânica durante o período estival conduzem a concentrações muito baixas de oxigénio dissolvido ocorrendo aí processos anaeróbicos. Dois desses processos consistem na libertação de fósforo e azoto amoniacal pelos sedimentos. Outro processo típico da zona anaeróbica da albufeira é a desnitrificação onde o nitrato passa a azoto molecular libertando oxigénio. Estes processos implicam a existência de elevadas concentrações de fósforo e azoto amoniacal no hipolímnio da albufeira bem como muito baixas concentrações de nitrato.

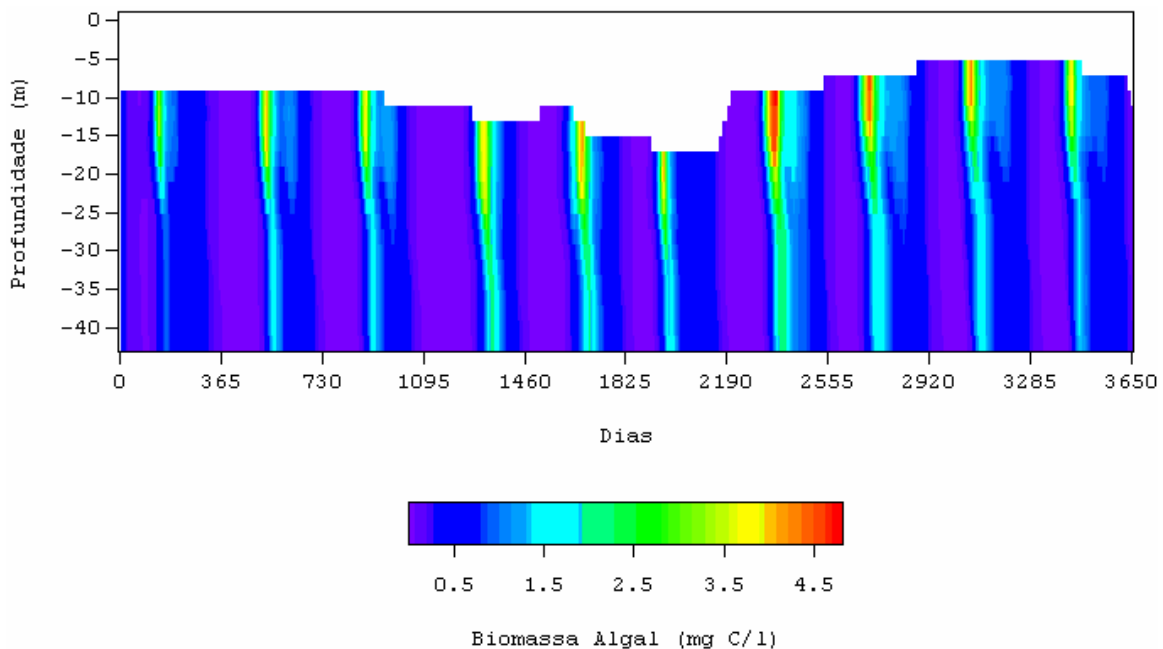


Figura 47 – Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fitoplâncton junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.

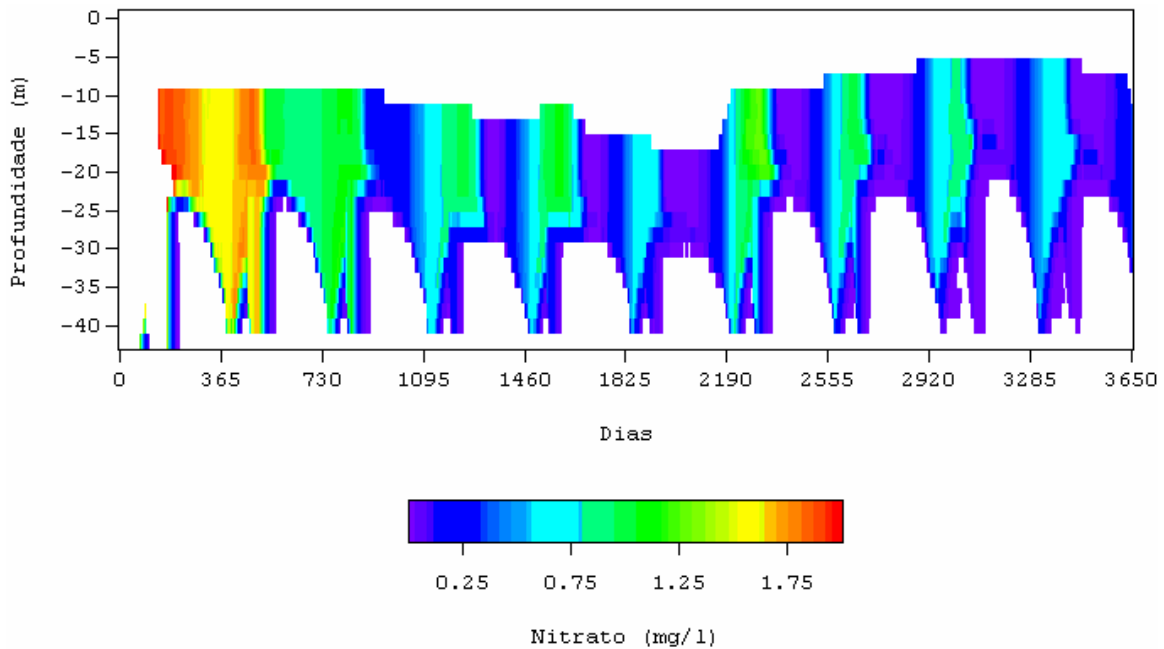


Figura 48 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de nitrato junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999. As manchas brancas próximos do fundo representam concentrações nulas relacionadas com a desnitrificação.

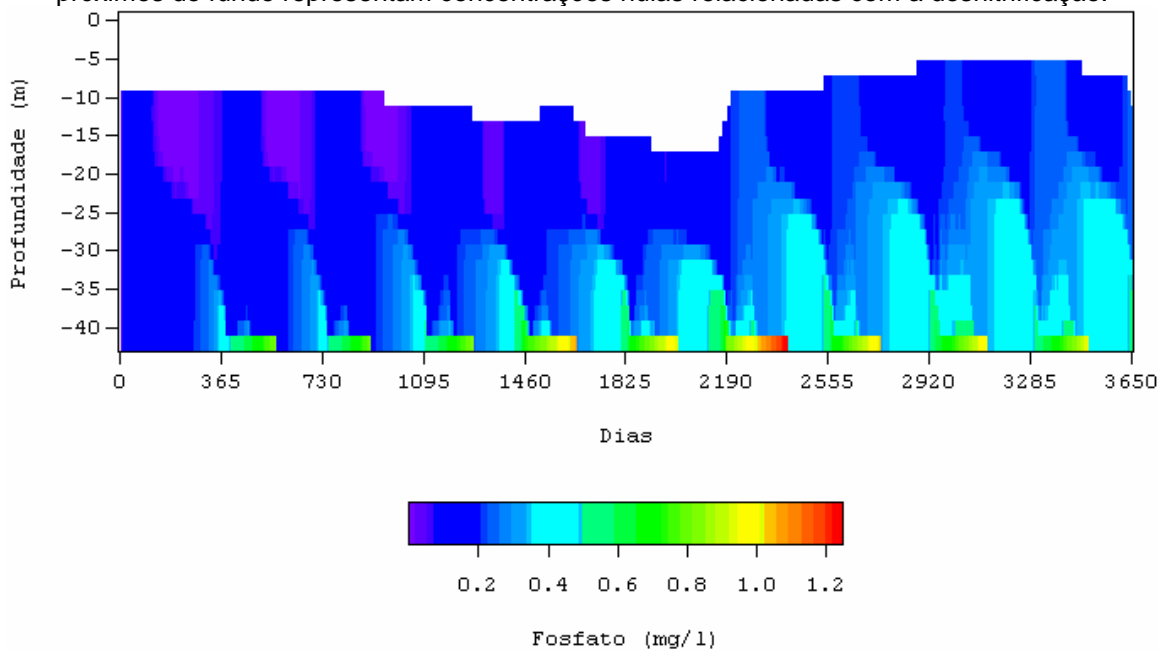


Figura 49 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fosfato junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.



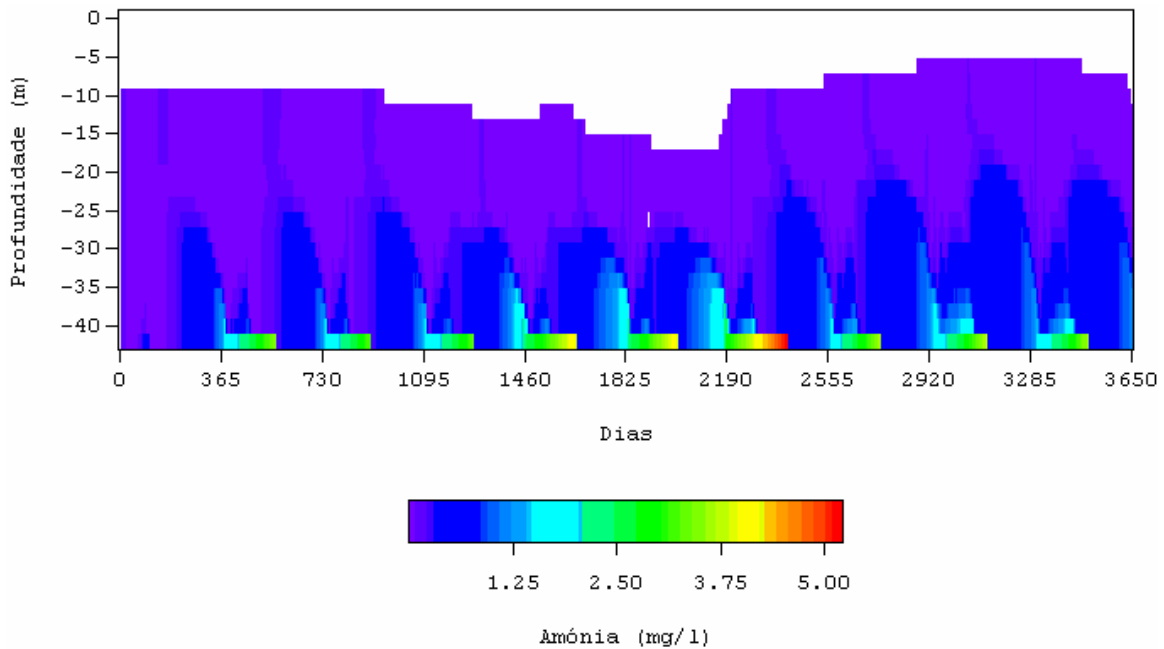


Figura 50 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de azoto amoniacal junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.

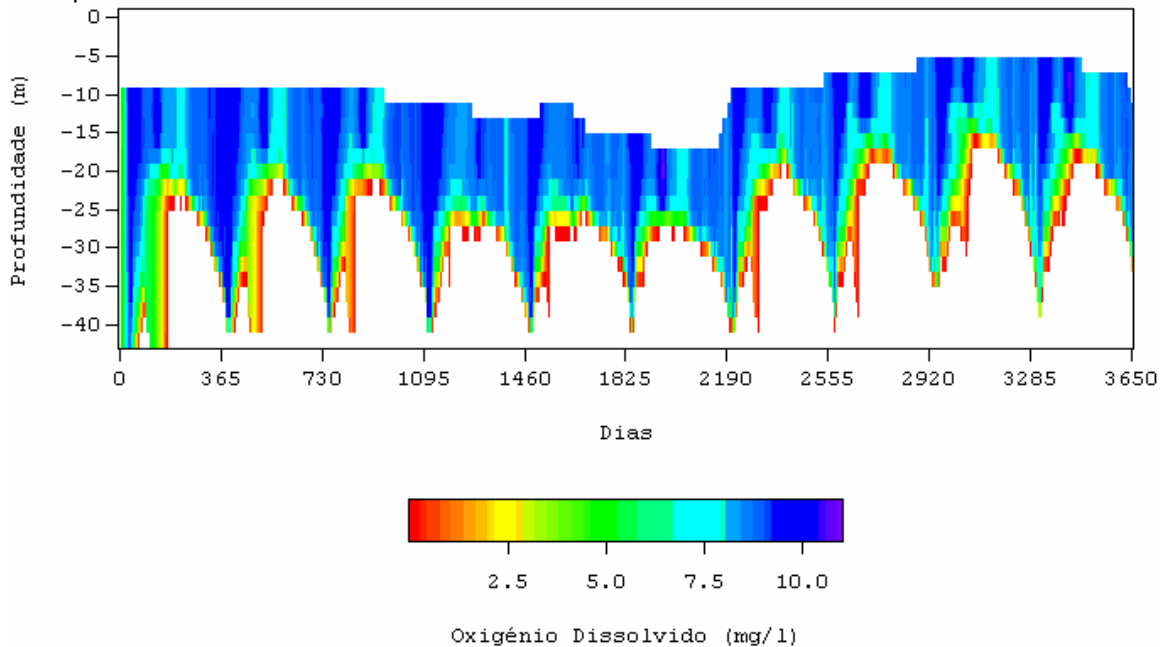


Figura 51 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de oxigénio dissolvido junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999. As manchas brancas próximos do fundo representam concentrações inferiores a 1mg/l.

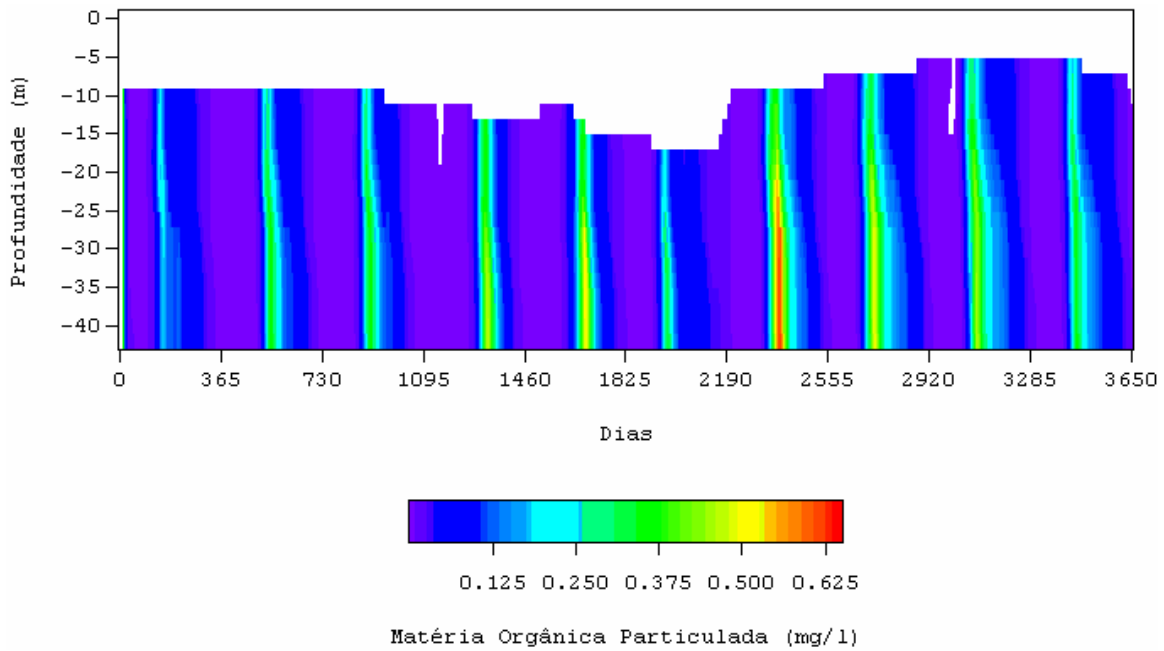


Figura 52 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de matéria orgânica particulada junto ao paredão na albufeira do Alvito entre 1 de Janeiro de 1990 e 31 de Dezembro de 1999.

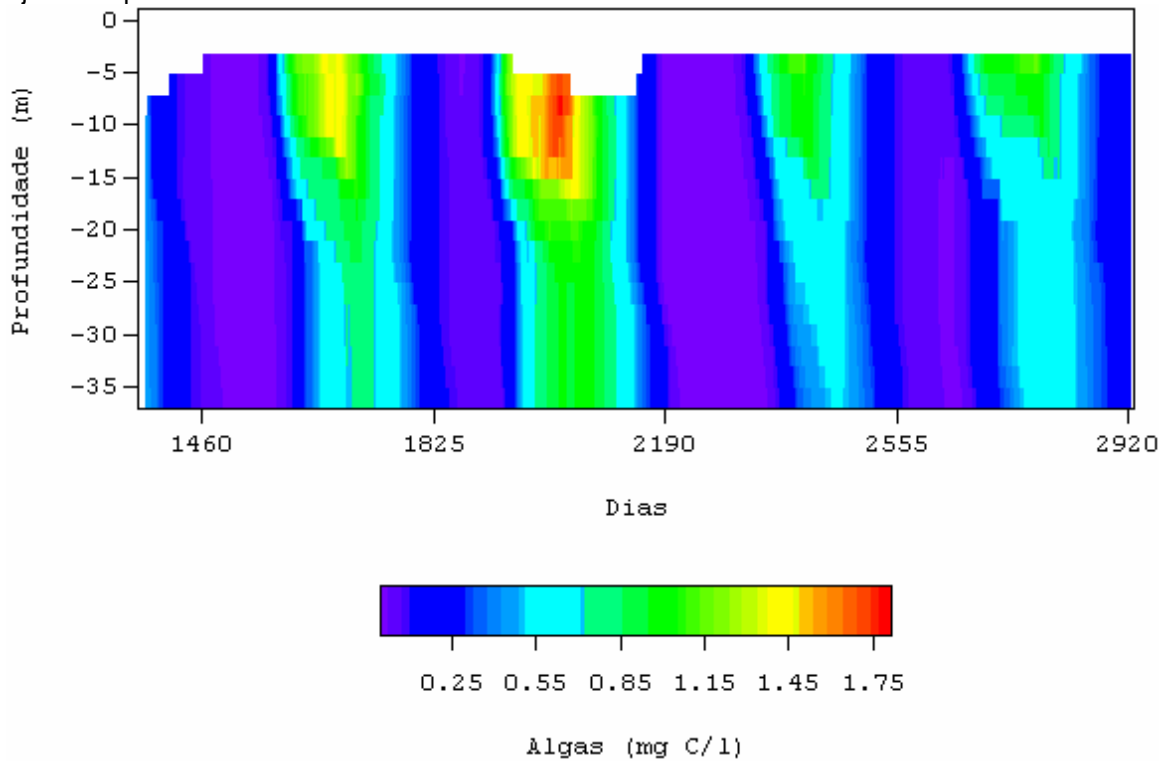


Figura 53 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fitoplâncton junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997.

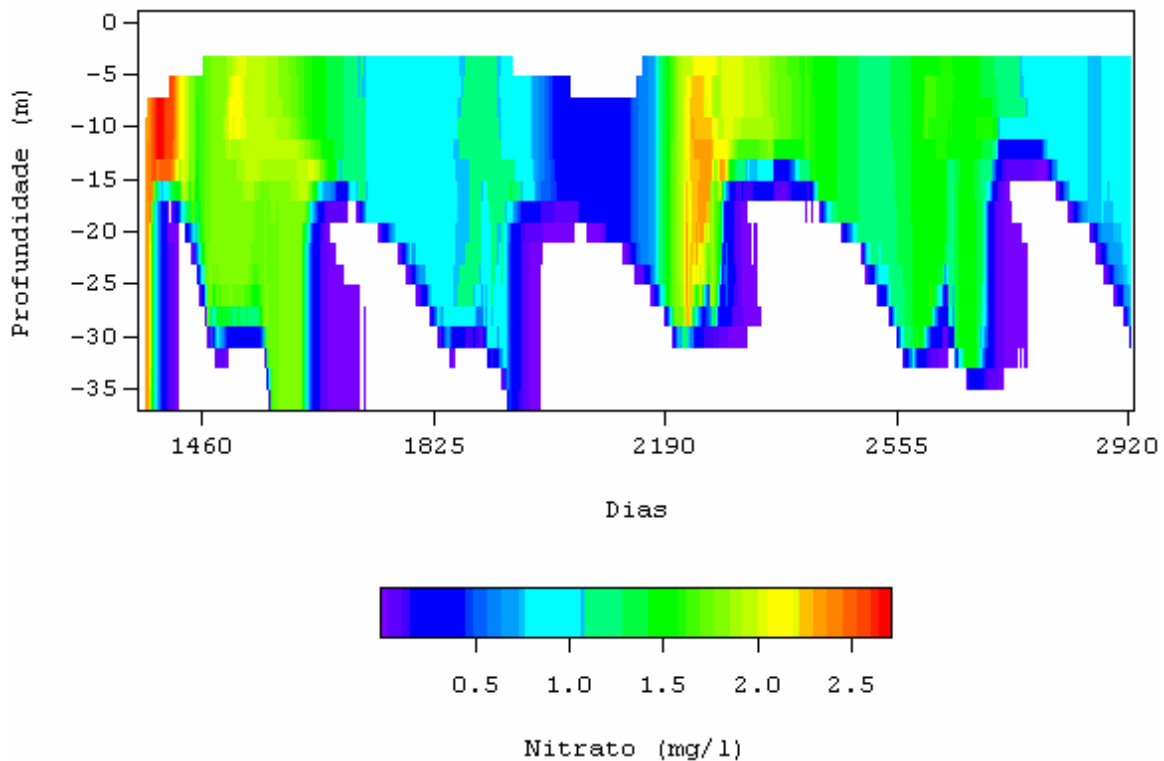


Figura 54 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de nitrato junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. As manchas brancas próximo do fundo indicam concentrações aproximadamente nulas.

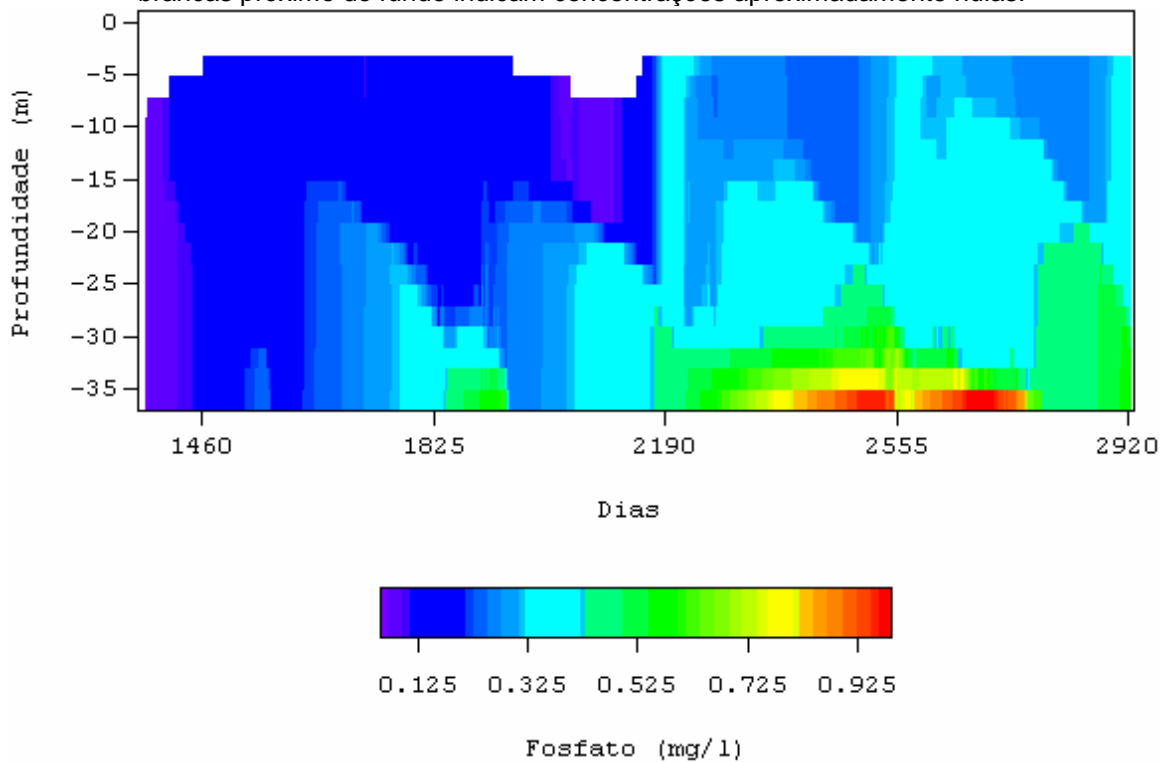


Figura 55 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de fosfato junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997.

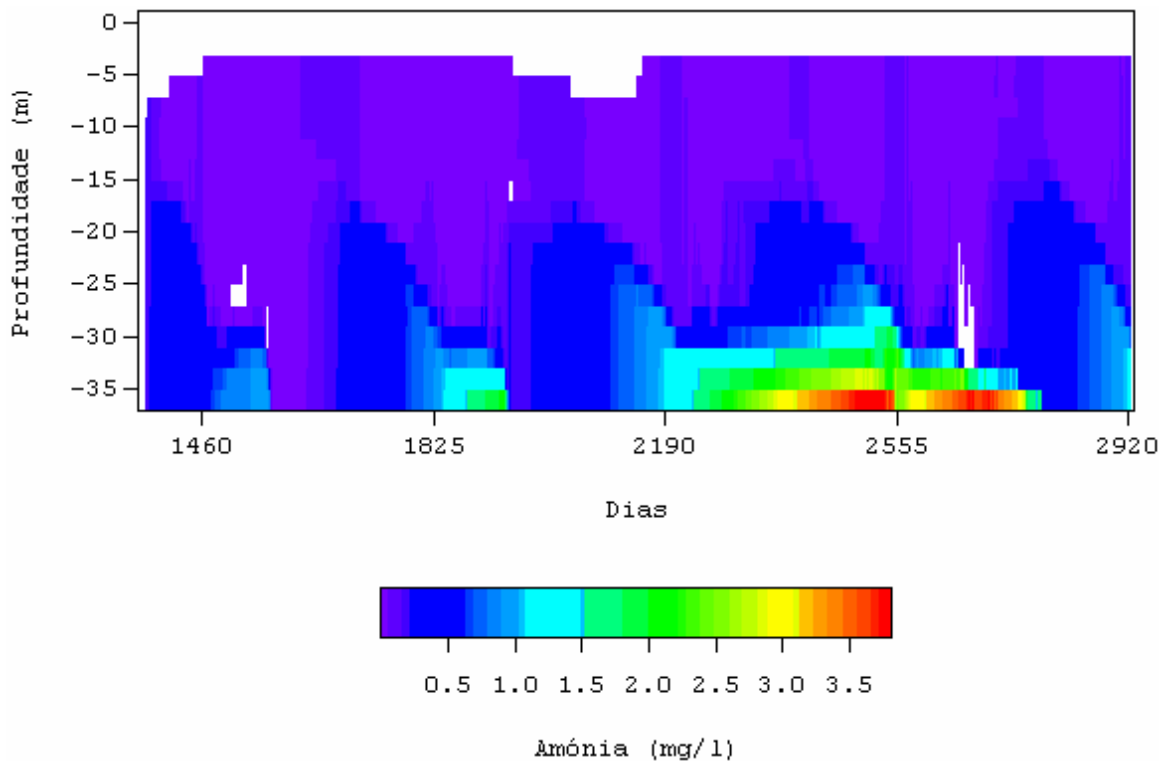


Figura 56 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de azoto amoniacal junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997.

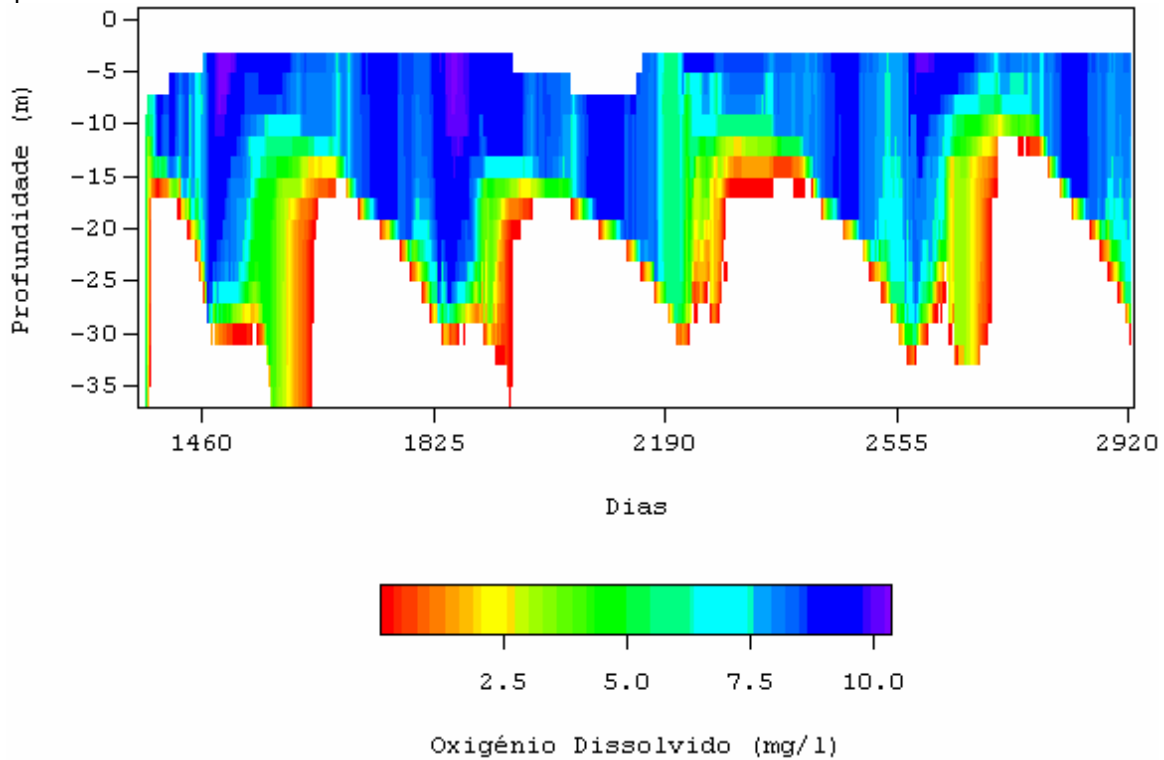


Figura 57 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de oxigénio dissolvido junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997. As manchas brancas próximo do fundo representam concentrações inferiores a 1 mg/l.

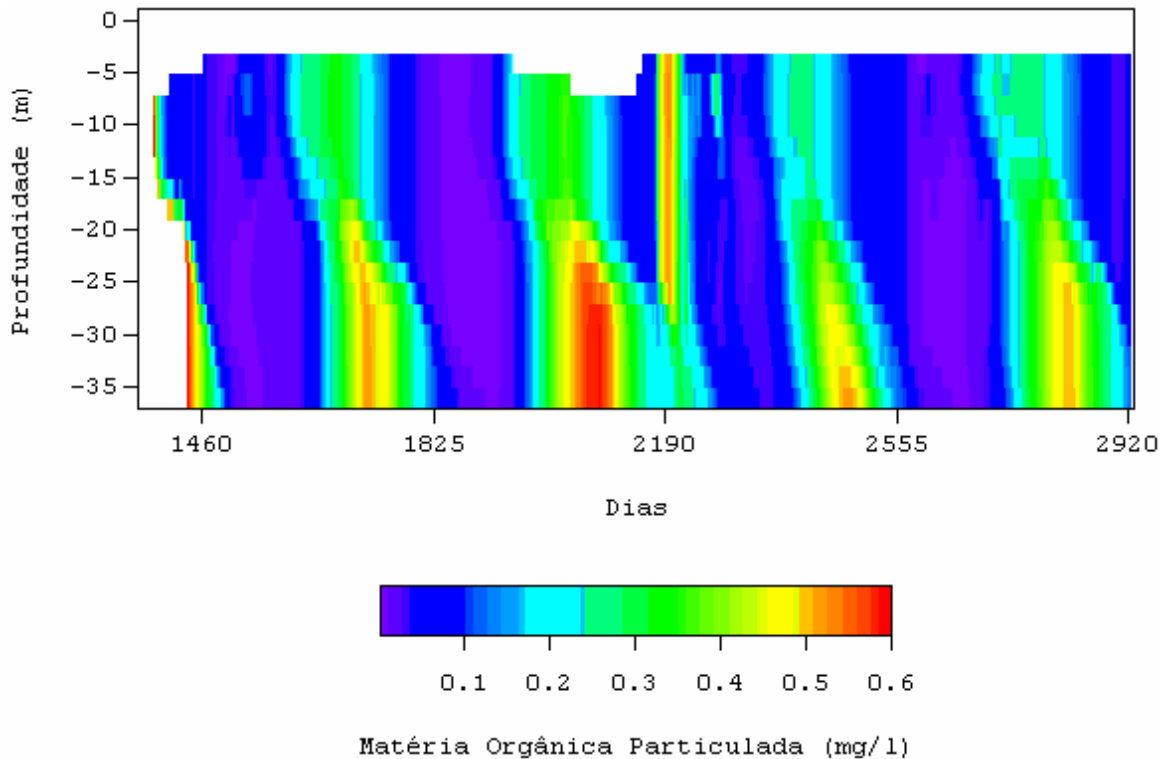


Figura 58 - Evolução temporal do perfil vertical da concentração de matéria orgânica particulada junto ao paredão na albufeira de Vale do Gaio entre 1 de Setembro de 1993 e 31 de Dezembro de 1997.

Os resultados também mostram a existência de concentrações baixas de oxigénio dissolvido próximo do fundo no período estival (principalmente) coincidindo com concentrações relativamente elevadas de matéria orgânica.

Duma forma geral estes processos ocorrem em todas as albufeiras e como adiante se verá podem ser observados com uma estratégia de amostragem adequada. O facto de se poder confirmar a ocorrência destes processos noutras albufeiras constitui por si só uma forma de validação do modelo.

Os resultados obtidos com um modelo deste tipo permitem também avaliar a distribuição longitudinal dos parâmetros de qualidade da água. As figuras que mostram essas distribuições são apresentadas no

## Anexo 2.

### 4.4 – O CASO PARTICULAR DE MONTE NOVO

#### 4.4.1.- Dados

A albufeira de Monte Novo assume-se como particularmente importante neste estudo, uma vez que o conjunto de dados disponível permite a calibração do modelo, nomeadamente no que diz respeito aos parâmetros envolvidos na produção primária. Tal como no caso do Roxo o facto de a albufeira se destinar ao consumo municipal permite que se tenham dados relativos a temperatura e qualidade da água, dentro da albufeira, a 2 níveis (denominados superfície e fundo). Este conjunto de dados inclui medidas de clorofila-a e de transparência o que não acontece em nenhuma outra albufeira. Além disso existem dados sobre volumes, níveis, consumos de água e descargas. Utilizou-se o mesmo método descrito anteriormente para determinar as afluências (ver Figura 59).

| Parâmetro                     | Período com informação | Banda de variação         | Valor médio | Desvio Padrão |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------|---------------|
| <b>CBO5</b>                   | 15/3/94 a 8/3/2000     | 0 a 13 mg/l               | 4.1         | 2.6           |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.5 a 15 mg/l             | 4.3         | 3.7           |
| <b>Coliformes totais</b>      | 16/03/95 a 2/11/99     | 2 a 111000 MPN/100ml      | 8885        | 20935         |
|                               | -                      | -                         | -           | -             |
|                               | -                      | -                         | -           | -             |
| <b>Fosfato</b>                | 15/3/94 a 3/10/2000    | .0020 a 1.06 mg/l         | 0.08        | 0.14          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.002 a 0.43 mg/l         | 0.085       | 0.1           |
| <b>Amónia</b>                 | 15/3/94 a 3/10/2000    | 0.03 a 1.12 mg/l          | 0.12        | 0.16          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0 a 1.1 mg/l              | 0.18        | 0.23          |
| <b>Nitrato</b>                | 15/3/94 a 3/10/2000    | 0.03 a 7.2 mg/l           | 1.10        | 1.54          |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.09 a 11.7 mg/l          | 3.16        | 3.3           |
| <b>Oxigénio Dissolvido</b>    | 1/5/94 a 3/10/94       | 1.8 a 16                  | 8.2         | 2.3           |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 0.5 a 11.9 mg/l           | 7.2         | 2.94          |
| <b>Clorofila - A</b>          | 15/3/94 a 23/3/95      | 9.75 a 150.8 µg/l         | 46.7        | 44.6          |
| <b>Temperatura</b>            | 15/3/94 a 3/10/2000    | 8 a 26.8 °C               | 18.6        | 5             |
|                               | 16/1/96 a 6/10/99      | 10.3 a 23.6 °C            | 17.1        | 4.22          |
| <b>Volume Acumulado</b>       | 1/1/90 a 1/12/99       | 3.21 a 15 hm <sup>3</sup> | -           | -             |
| <b>Nível</b>                  | 31/1/90 a 31/12/99     | 188.9 a 196.1 m           | 194.2       | 1.83          |
| <b>Consumo Municipal</b>      | 31/1/90 a 1/12/98      | -                         | -           | -             |
| <b>Descarga de Superfície</b> | 1/1/95 a 1/12/95       | -                         | -           | -             |
| <b>Descarga de Fundo</b>      | 1/1/95 a 1/12/95       | -                         | -           | -             |

Quadro 7 - Dados disponíveis para a albufeira de Monte Novo junto à captação. Para os parâmetros de qualidade da água incluem-se 2 linhas relativas a valores à superfície e fundo (primeira e segunda linha respectivamente).

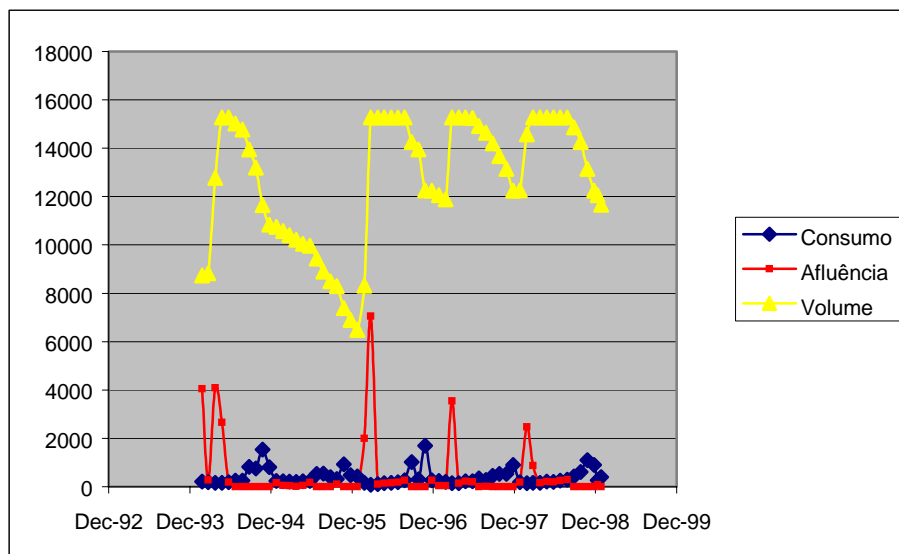


Figura 59 – Volume acumulado, consumos e afluências entre 1 de Janeiro de 1994 e 31 de Dezembro de 1998 na albufeira de Monte Novo.

#### 4.4.2 – Resultados: Hidrodinâmica e Temperatura

Para validar o modelo em termos de balanço de água recorreu-se de novo aos níveis observados na albufeira (Figura 60). A concordância obtida é muito satisfatória para todo o período de simulação como aconteceu aliás na generalidade das albufeiras.

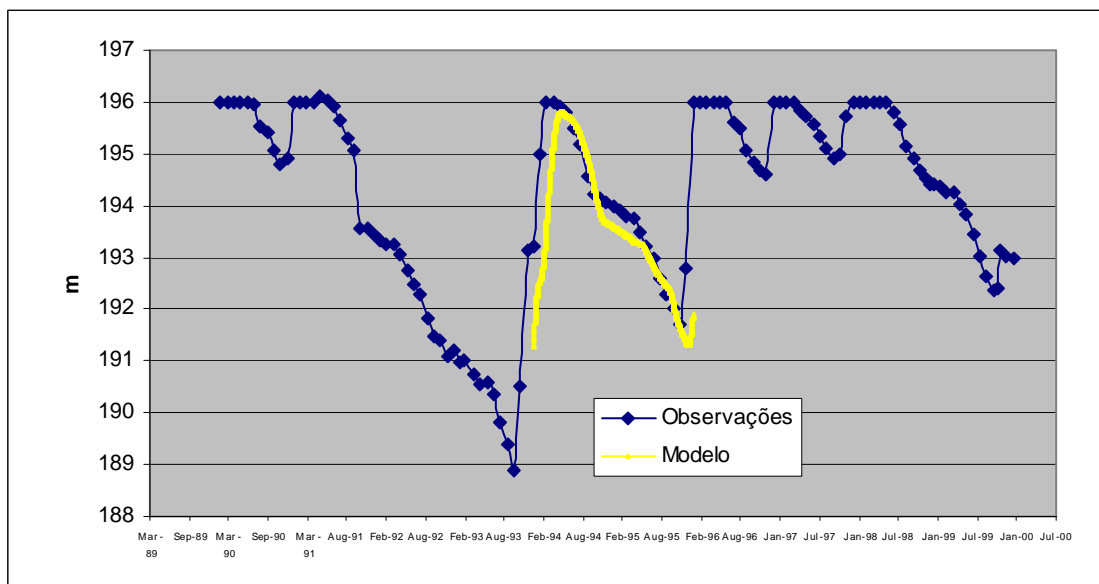


Figura 60 – Comparação dos níveis observados e simulados na albufeira de Monte Novo nos anos de 1994 e 1995.

Na Figura 61 mostra-se a comparação entre as temperaturas observadas e simuladas. A concordância obtida é particularmente boa para o fundo embora mesmo à superfície os resultados sejam muito razoáveis. Também se pode

concluir que a albufeira de Monte Novo é um caso em que a estratificação existe durante toda a Primavera e Verão sendo a termoclina erodida apenas no Outono quando a temperatura no fundo que vem aumentando por difusão iguala a temperatura da superfície. A partir dessa altura a coluna de água torna-se homogénea até meados de Fevereiro quando, começa de novo a apresentar sinais de estratificação.

#### **4.4.3 - Qualidade da água**

Como já foi referido a albufeira de Monte Novo apresenta-se como fundamental neste estudo. Esta importância particular da albufeira está relacionada com o facto de existirem dados suficientes para validar o modelo de qualidade da água em dois aspectos fundamentais: do ponto de vista qualitativo avaliar se os processos simulados pelo modelo ocorrem efectivamente nas albufeiras em estudo. do ponto de vista quantitativo os dados disponíveis permitem ajustar correctamente os parâmetros a utilizar. Uma vez ajustados os parâmetros para esta albufeira é de esperar que eles sejam válidos para todas as albufeiras visto estarem todas elas localizadas na mesma região. O grupo de parâmetros que é fundamental ajustar é aquele que se relaciona com a produção primária e portanto com o consumo e regeneração dos nutrientes (fósforo e azoto). Mesmo considerando que o conjunto de dados disponível é bastante razoável é ainda assim bastante difícil realizar a simulação correctamente pois as condições de fronteira à entrada da albufeira (no rio Degebe) não são conhecidas. Uma hipótese é admitir que as características do rio Degebe não são muito diferentes das do rio Guadiana e usar dados de uma estação de monitorização aí localizada (por exemplo Azenha dos Cerieiros). Obviamente que admitir tal hipótese só tem fundamento se a calibração do modelo não depender excessivamente das condições fronteira. De seguida apresentam-se algumas considerações que fundamentam esta ideia.



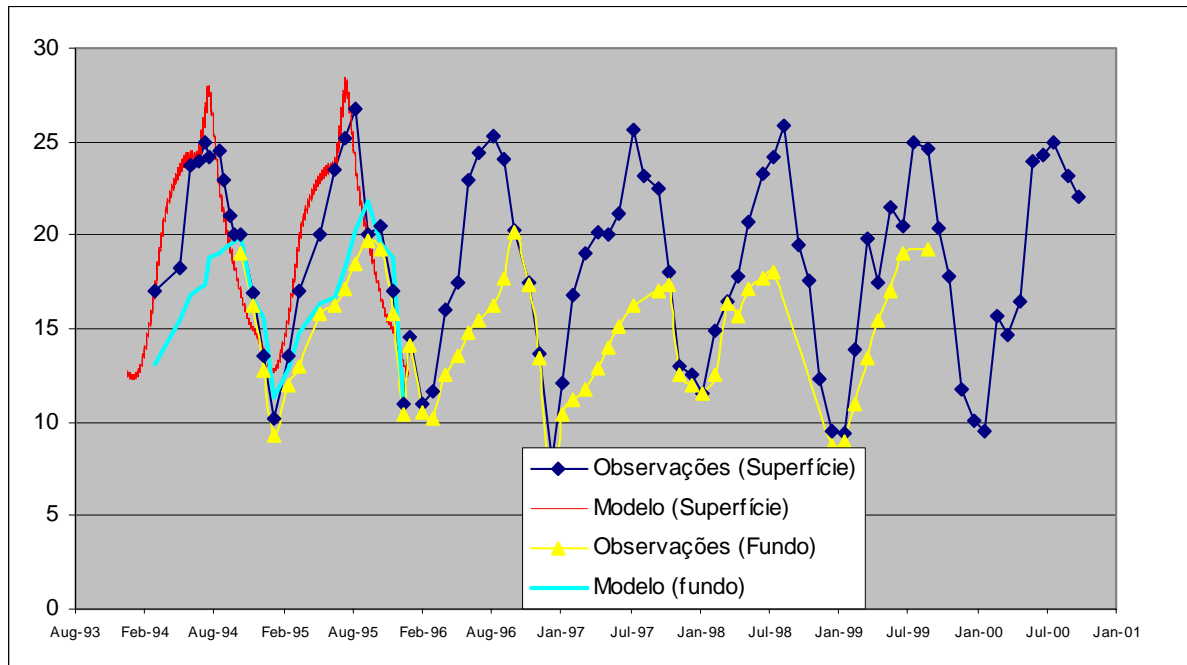


Figura 61 – Comparação das temperaturas observadas e simuladas com o modelo na albufeira de Monte Novo, junto à captação nos anos de 94 e 95.

A Figura 62 e a Figura 63 mostram a evolução temporal dos factores limitantes da produção primária na albufeira de Monte Novo. A determinação destes factores foi feita utilizando a formulação do modelo, mas usando os dados de fosforo e azoto medidos *in situ* entre 1994 e 2000. Os gráficos apresentam ainda curvas para os mesmos parâmetros fazendo variar de 50% o valor das constantes de semi-saturação ( a partir dos valores de referência que são 0.009 para o fósforo e 0.05 para o azoto). A ideia importante a reter destas figuras é que os nutrientes só pontualmente limitam a produção primária sendo principalmente a luz e a temperatura quem desempenha esse papel. É portanto no ajuste dos parâmetros relacionados com a luz e a temperatura, assim como nas taxas de crescimento, mortalidade excreção e respiração das algas, que é fundamental concentrar a atenção. Por outro lado também se pode concluir que eventuais erros nas cargas de nutrientes (condições de fronteira) introduzidas na albufeira desde que não subestimem os nutrientes não terão grande influência nos resultados. Ora em princípio as cargas de nutrientes associadas ao rio Guadiana são bastante superiores às cargas do rio Degebe sendo assim justificável a opção de utilizar os dados da estação da Azenha dos Cerieiros como condição de fronteira para o modelo. Da Figura 64 à Figura 67 podem observar-se alguns dos conjuntos de dados utilizados como condição de fronteira à entrada da albufeira de Monte Novo ( a título ilustrativo mostram-se também séries temporais para as estações de Monte da Vinha e Monte Novo).

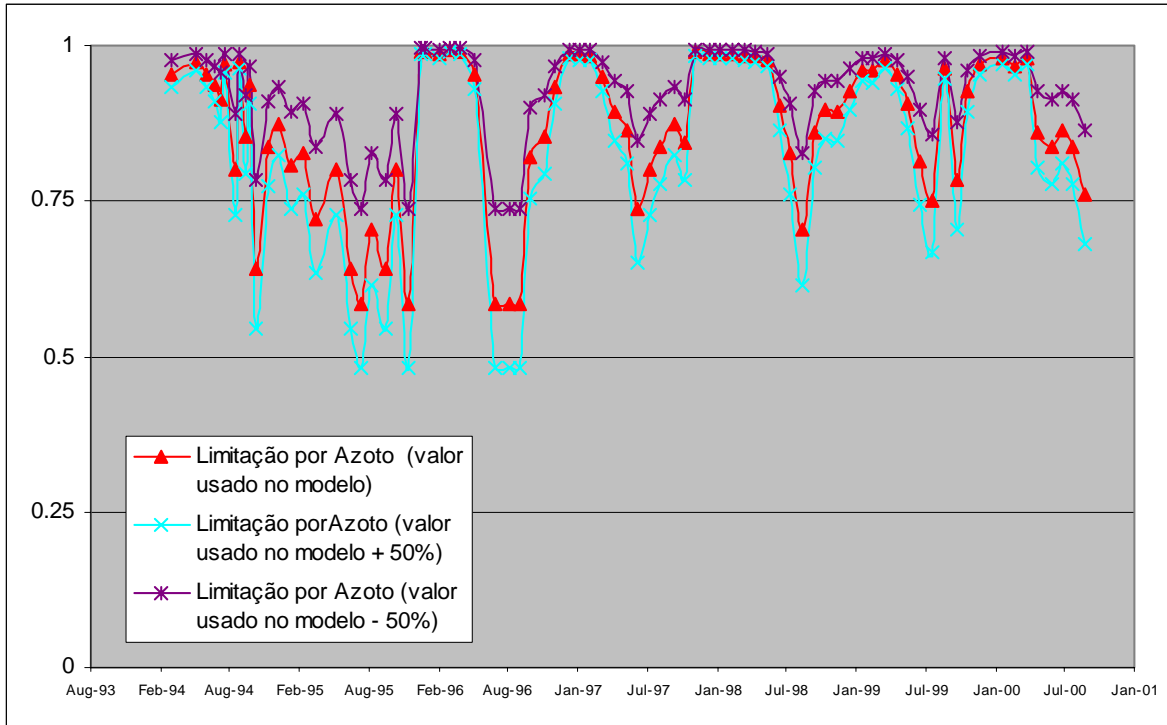


Figura 62 - Limitação à produção primária pelo pelo azoto. Os cálculos foram feitos de acordo com a formulação usada pelo modelo CE-QUAL-W2. Na legenda as referências a incrementos ou decréscimos de 50% são relativos às constantes de meia saturação.

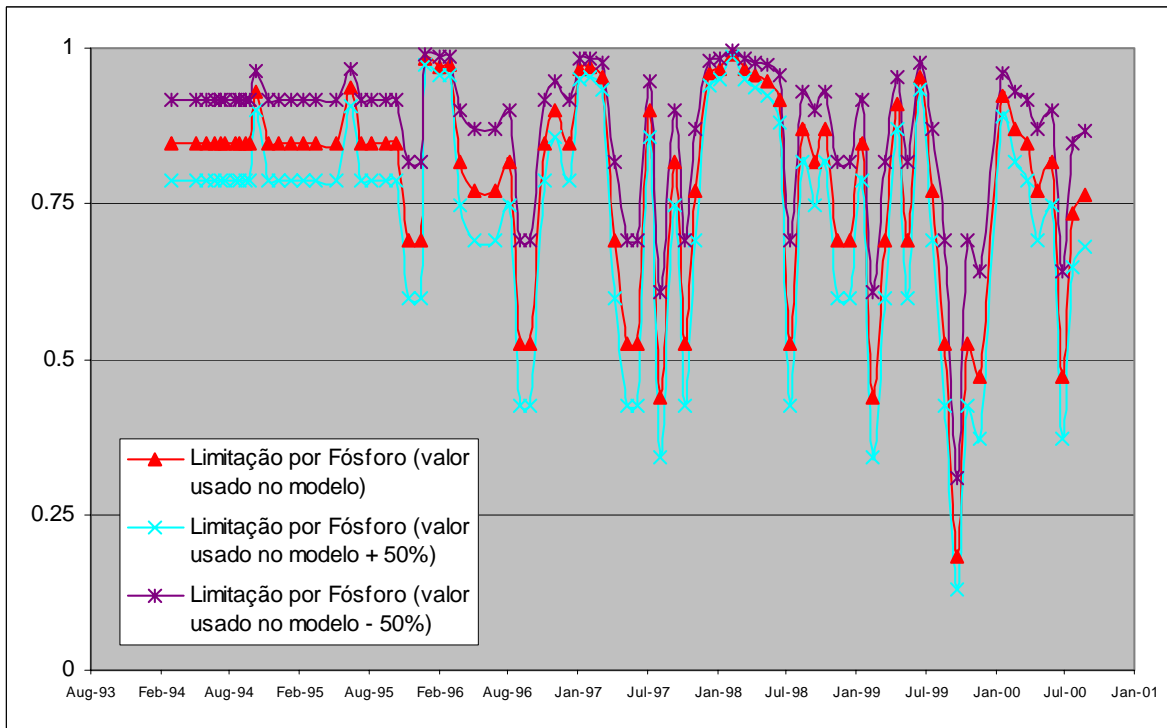


Figura 63 – Limitação à produção primária pelo pelo fósforo. Os cálculos foram feitos de acordo com a formulação usada pelo modelo CE-QUAL-W2. Na legenda as referências a incrementos ou decréscimos de 50% são relativos às constantes de meia saturação.

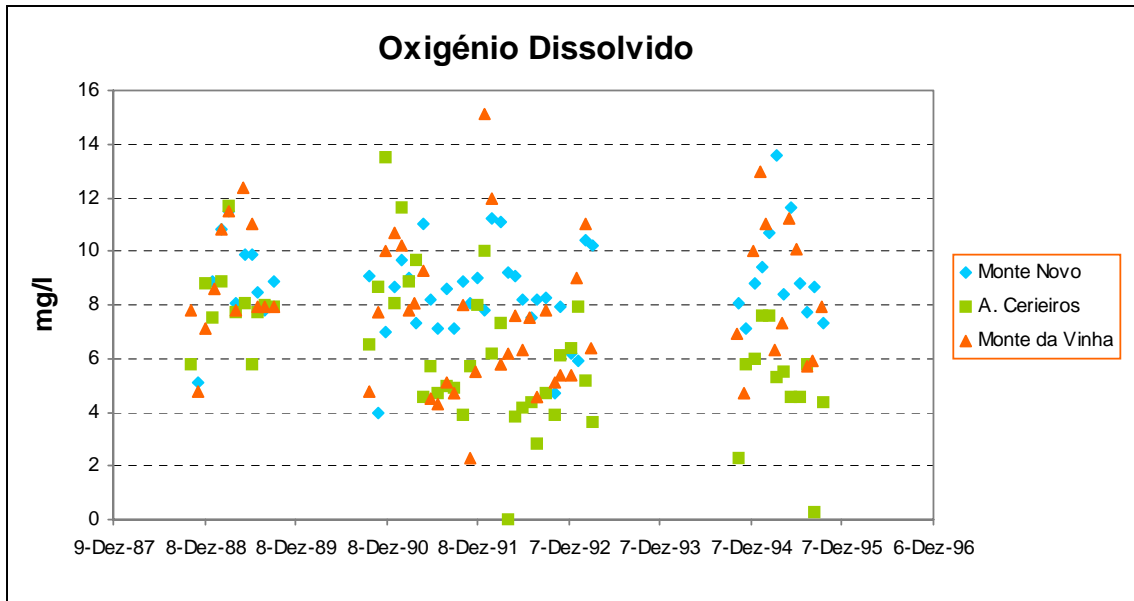


Figura 64 – Concentrações de oxigênio dissolvido entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.

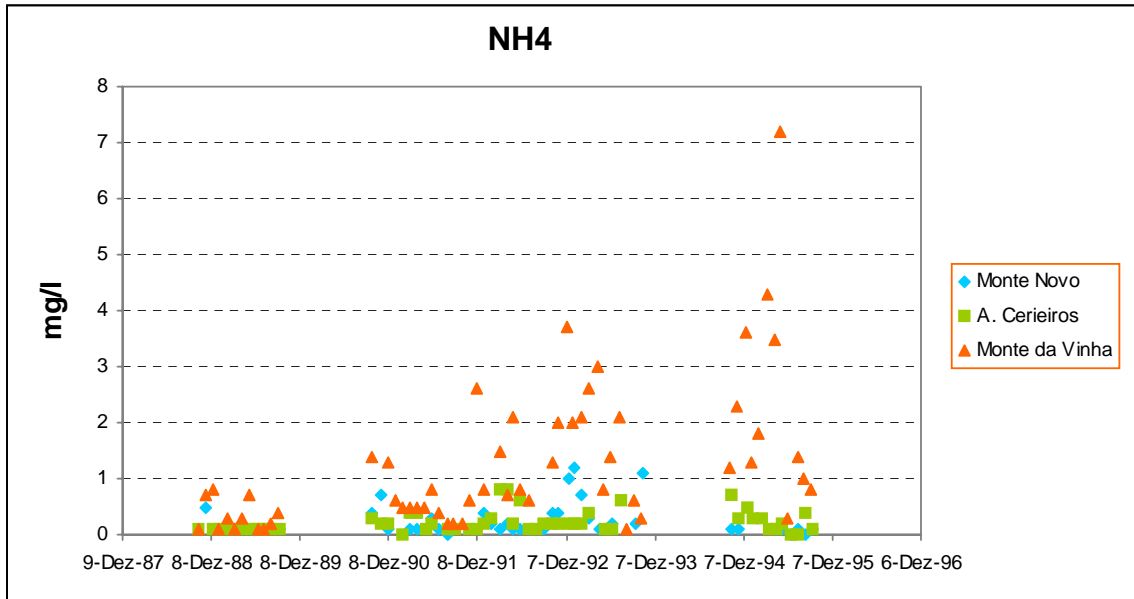


Figura 65 - Concentrações de amónia entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.

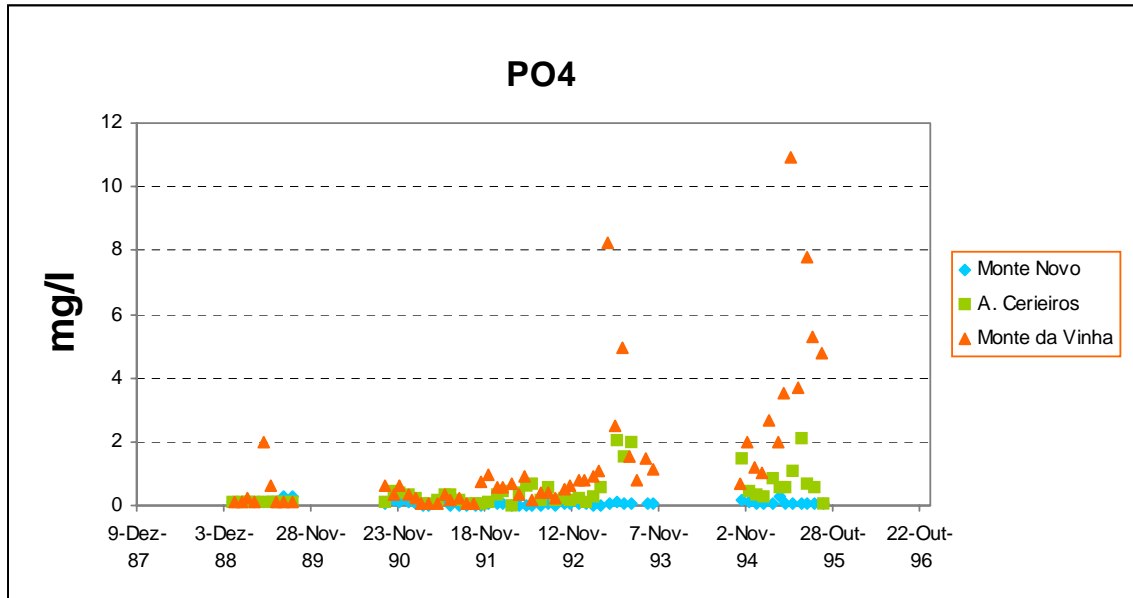


Figura 66 - Concentrações de fosfato entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.

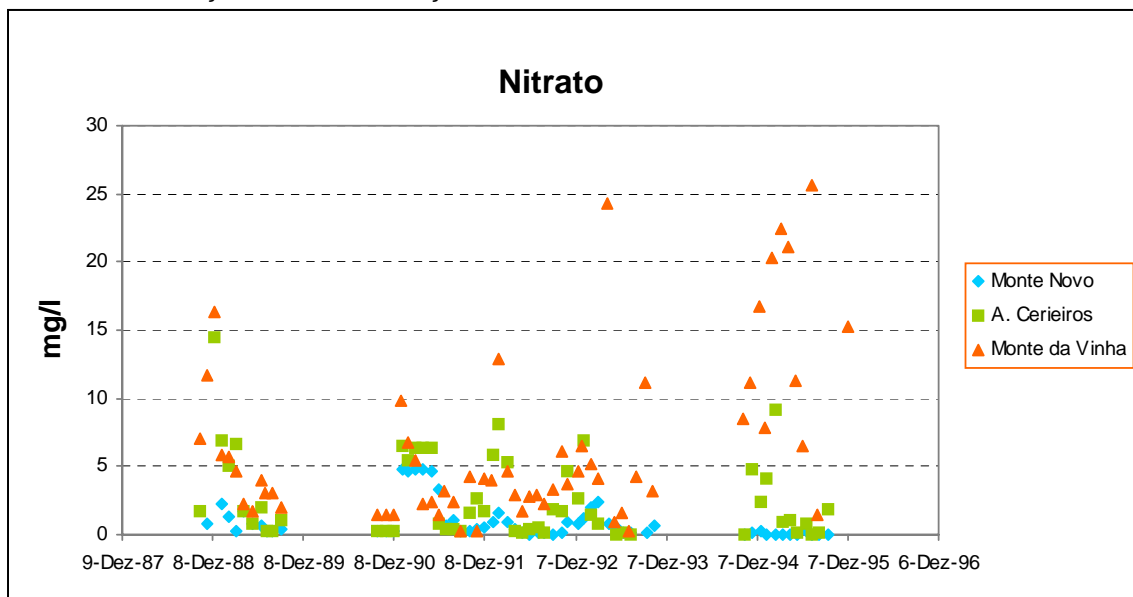


Figura 67 - Concentrações de nitrato entre 1988 e 1995 na albufeira de Monte Novo e nas estações de monitorização de Monte da Vinha e Azenha dos Cerieiros.

Tomando em consideração que uma das limitações do modelo é ter apenas um compartimento algal torna-se relevante decidir à partida que grupo de fitoplâncton se deseja simular. Sabe-se que se o nível trófico for baixo (oligotrófico) as Clorófitas e as Diatomáceas, que se desenvolvem em períodos de boa mistura vertical, dominam a comunidade fitoplanctónica. Por outro lado se o sistema for muito produtivo (eutrófico) a composição da comunidade vai ser dominada por Cianófitas que se desenvolvem em períodos em que a coluna de água se apresenta estratificada. A literatura apresenta para algumas espécies de Cianófitas encontradas no Guadiana (

como a *Oscillatoria limnetica*) valores de taxas de crescimento que variam entre 0.5 e 0.86 dia<sup>-1</sup> (Jorgensen, 1994; Cole e Buchak, 1995). Para algumas das espécies de Clorófitas ( como a *Scenedesmus quadricauda* ) os valores encontrados na literatura são de aproximadamente 2.0 dia<sup>-1</sup>. Estes valores deixam uma indicação de que as Clorófitas têm taxas de crescimento superiores às Cianófitas. Duma forma geral o nutriente limitante é o fósforo ( em particular para as Cianófitas que têm a faculdade de fixar azoto molecular) embora as águas residuais contenham proporcionalmente mais fósforo o que altera substancialmente a razão N/P. Considera-se em geral que um sistema é eutrófico quando a concentração de fósforo total é superior a 35 mg/m<sup>3</sup> ( o que implica concentrações de fosfato da ordem de 100 mg/m<sup>3</sup>). Tais concentrações são frequentemente encontradas actualmente na albufeira de Monte Novo assim como são previstas na captação da Amieira pelo estudo realizado no âmbito do plano de ordenamento do Alqueva (FBO, 2000). Por outro lado no Verão de 1994, verificou-se um bloom de Cianófitas na albufeira de Monte Novo (Oliveira, 1996) com concentrações de fósforo da ordem de 30 mg/m<sup>3</sup>. Finalmente refira-se ainda que os *blooms* de Cianófitas são em geral mais nocivos para a saúde pública do que os *blooms* de Clorófitas que são em geral mais curtos e onde não se regista a produção de toxinas.

Assim sendo pareceu mais adequado ajustar o modelo para reproduzir fundamentalmente os *blooms* de Cianófitas que habitualmente têm início na Primavera e perduram até final de Outubro. No entanto é importante não perder de vista que em algumas das albufeiras em estudo (caso do Alvito e de Odivelas) ainda não se verificam grandes problemas de eutrofização e a dominância é das Clorófitas que constituem cerca de 90% do fitoplâncton. Portanto a parameterização a usar deve ser suficientemente versátil para permitir a ocorrência de *blooms* de diferentes características. A Figura 68 mostra as concentrações de clorofila-a observadas na albufeira de Monte Novo junto à captação de Março de 1994 a Março de 1995. Podem identificar-se elevadas concentrações em 1994 particularmente elevadas no Verão que se sabe terem sido originadas por um *bloom* Cianófitas (deve notar-se que a partir de Abril de 1994 a albufeira apresenta sempre um estado de eutrofização bastante acentuado). Aparentemente no período anterior as concentrações eram relativamente baixas (inferiores a 20 µg/l). No entanto no ano de 1995 em Fevereiro os valores da concentração de clorofila-a atingiram valores superiores a 140 µg/l. Tentou-se com o modelo reproduzir este padrão de evolução mas verificou-se que com apenas um compartimento algal tal não é possível – foram efectuadas cerca de 100 simulações com diferentes combinações de parâmetros!. Embora tenha sido possível simular ambos os eventos não é possível fazê-lo com uma só parameterização, pelo que deve concluir-se que se trata de diferentes espécies de fitoplâncton. Na Figura 69 e na Figura 70 apresenta-se a evolução temporal dos nitratos, oxigénio dissolvido e fosfatos na albufeira de Monte Novo junto à captação a duas profundidades: à superfície e junto ao fundo. Pode verificar-se que o oxigénio dissolvido tende a ter valores de concentração relativamente elevados junto à superfície (próximos do nível de saturação) devido às trocas com a atmosfera. Junto ao fundo o consumo de oxigénio nos processos de oxidação leva à existência de valores muito baixos de oxigénio dissolvido durante a Primavera e Verão. No Inverno a boa mistura vertical permite que

os valores de oxigénio dissolvido se aproximem dos registados à superfície. Este processo é bem simulado pelo modelo como foi referido anteriormente quando da apresentação dos resultados nas albufeira do Alvito e Vale do Gaio. No que diz respeito aos nitratos (representados na mesma figura) pode observar-se que junto à superfície ocorre um aumento significativo no final do Outono princípio do Inverno a que se segue uma diminuição (devida ao consumo pelas algas) atingindo-se no Verão valores muito baixos. Notem-se também os valores muito baixos no fundo durante o Verão que não são devidos ao consumo pelo fitoplâncton mas antes à desnitrificação com passagem de nitrato a azoto molecular que posteriormente se liberta para a atmosfera. Próximo da superfície os fosfatos têm uma evolução muito semelhante ao nitrato. Em geral as concentrações aumentam entre o Outono e o Inverno devido ao maior escoamento nos rios, diminuindo depois progressivamente até ao Verão. Junto ao fundo as concentrações são elevadas no Verão devido à libertação anaeróbica de fosfato pelos sedimentos. Finalmente na Figura 71 mostra-se a evolução temporal do azoto amoniacal. À superfície o azoto amoniacal apresenta dois máximos por ano: O primeiro ocorre no Inverno e está relacionado com o aumento do escoamento nos rios. O segundo máximo ocorre em resposta ao aumento de concentração da biomassa algal. Efectivamente o fitoplâncton liberta azoto amoniacal para o sistema provocando um aumento das concentrações bem evidente por exemplo em 1996 e 1999. Junto ao fundo os valores da concentração de azoto amoniacal são em geral bastante elevados no Verão quando essa região da albufeira é pouco oxigenada. Mais uma vez o processo que está na base desse aumento de concentrações é a libertação anaeróbica pelos sedimentos. Como foi abordado anteriormente todos estes processos são bem simulados pelo modelo o que permite de alguma forma validar o modelo em termos qualitativos. Em seguida comparam-se os resultados obtidos na albufeira de Monte Novo com os dados aqui descritos para o ano de 1994.

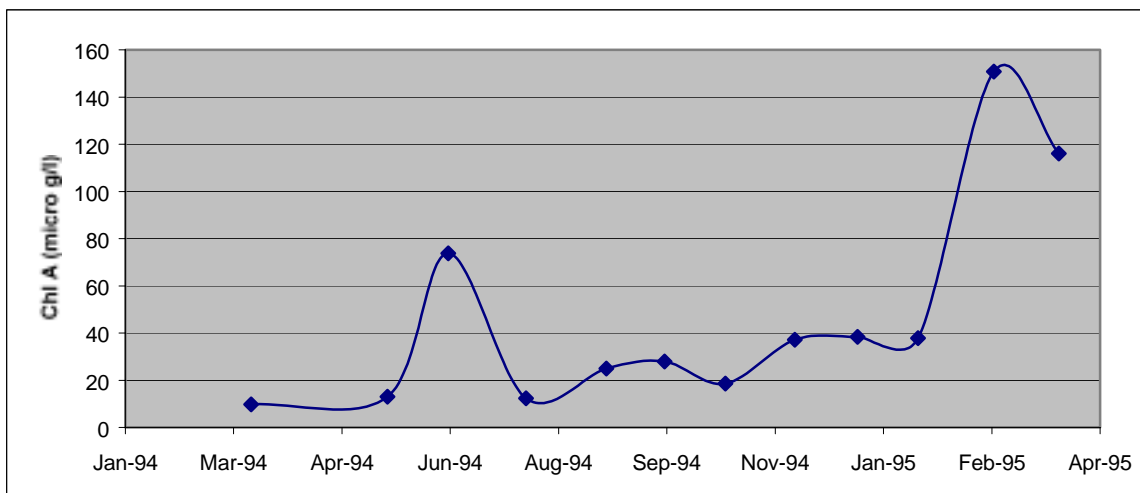


Figura 68 – Concentrações de clorofila-a observadas na albufeira de Monte Novo á superfície junto à captação.

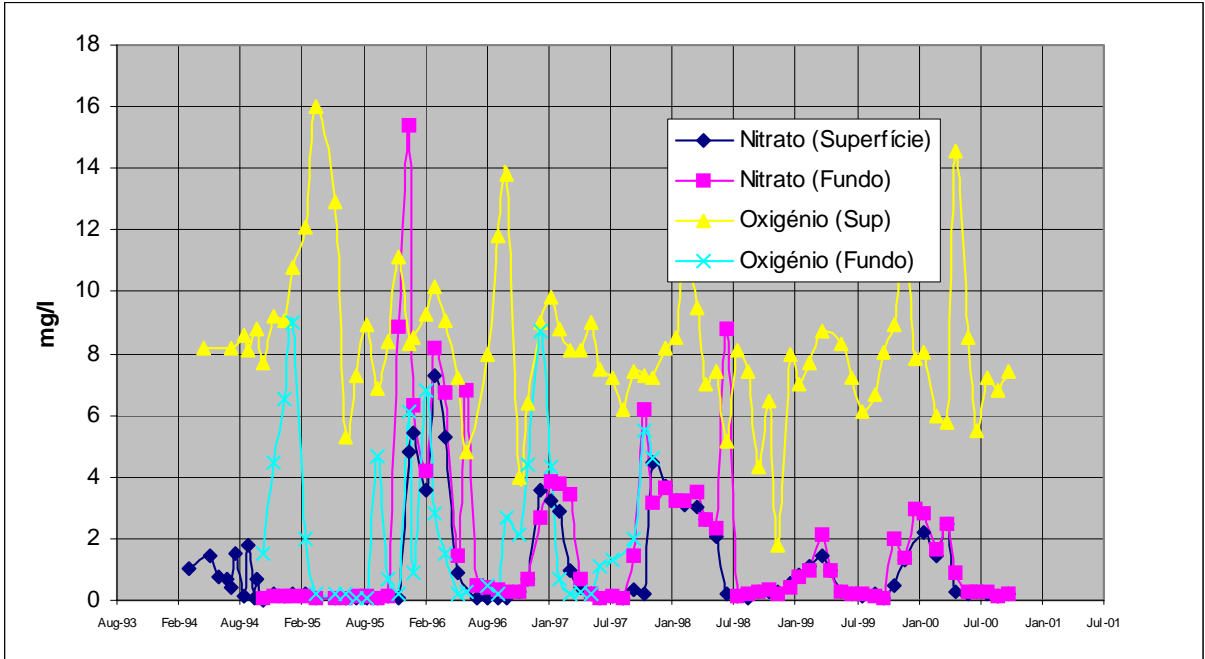


Figura 69 - Concentrações de oxigénio dissolvido e nitrato observadas na albufeira de Monte Novo á superfície e no fundo junto à captação.

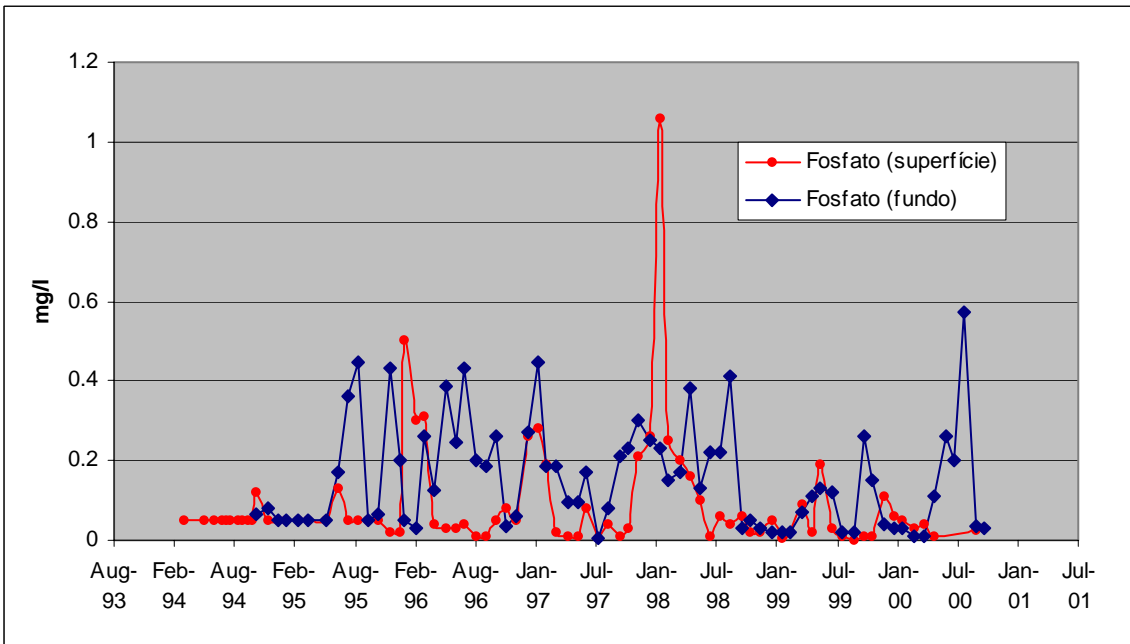


Figura 70 - Concentrações de fosfato observadas na albufeira de Monte Novo á superfície e no fundo junto à captação.

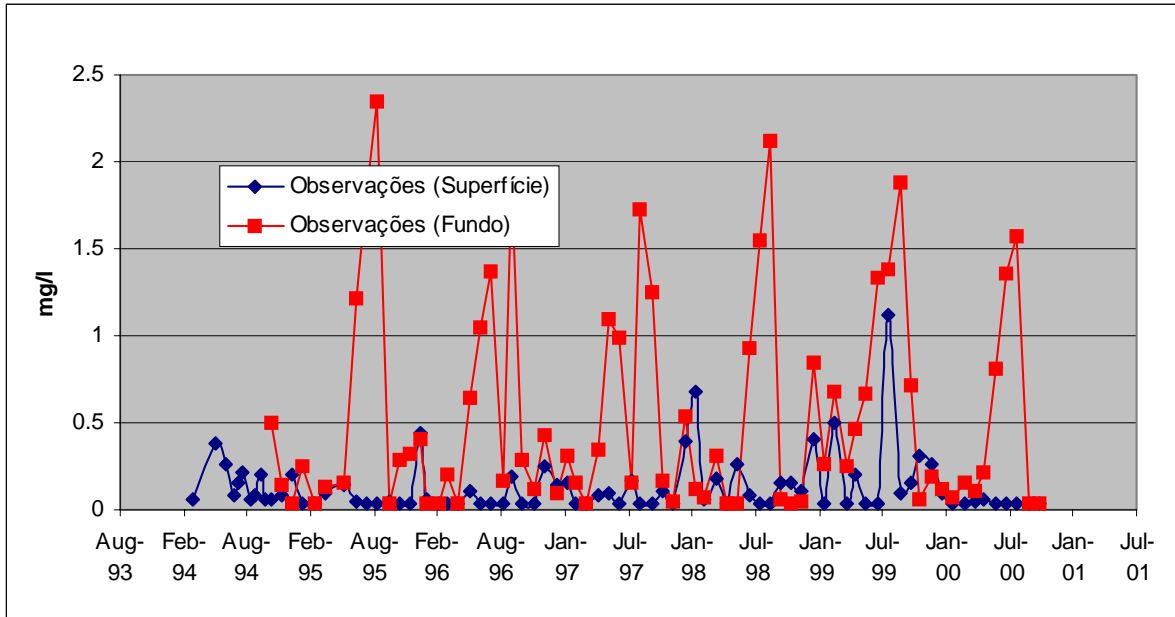


Figura 71 - Concentrações de azoto amoniacal observadas na albufeira de Monte Novo á superfície e no fundo junto à captação.

A Figura 72 mostra séries temporais de clorofila-a observadas e simuladas na albufeira de Monte Novo no ano de 1994. Optou-se por comparar os resultados neste ano e não em 1995 por duas razões fundamentais: porque se têm mais dados em 1994; e porque do se sabe que o *bloom* de 1994 foi composto por Cianofíceas, que como já foi referido são de maior interesse para este estudo.

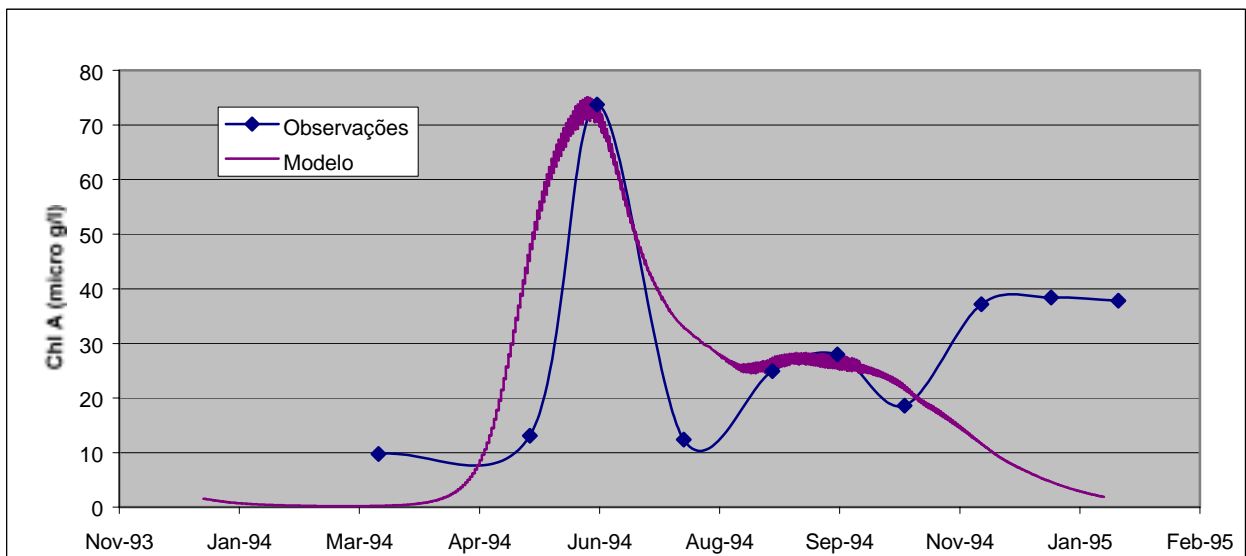


Figura 72 – Séries temporais de clorofila-a à superfície junto à captação na albufeira de Monte Novo.



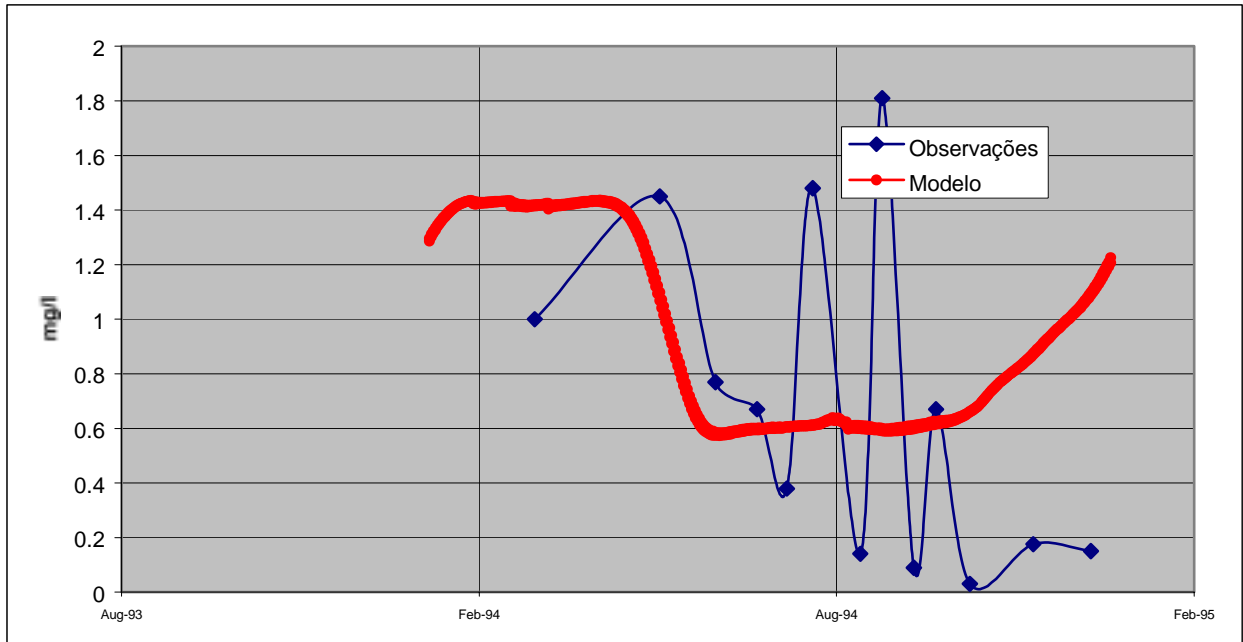


Figura 73 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação na albufeira de Monte Novo.

Os resultados obtidos para o fitoplâncton mostram-se bastante razoáveis para o período compreendido entre Abril e Novembro. Nos outros meses o modelo tende a subestimar a biomassa algal. São variadíssimas as razões que podem estar na base desta discrepância. O mais provável é tratar-se de outro grupo fitoplanctónico que é capaz de sobreviver com temperaturas relativamente baixas e condições de mistura vertical intensa. Quanto aos resultados para os outros parâmetros de qualidade da água (Figura 73 até à Figura 76) a comparação é boa se for levado em conta que as condições de fronteira são desconhecidas. Apenas no caso do fosfato existem grandes discrepâncias, mas em todo o caso a quantidade de fosfato existente no modelo é suficiente para a ocorrência de produção primária tal como foi observado.

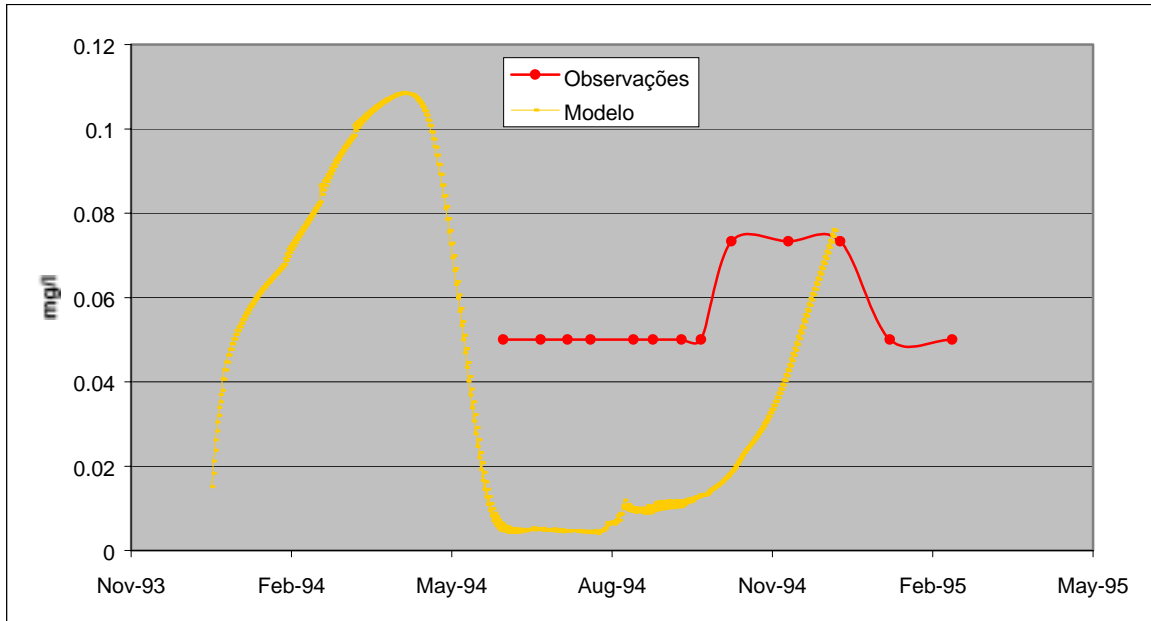


Figura 74 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação na albufeira de Monte Novo.

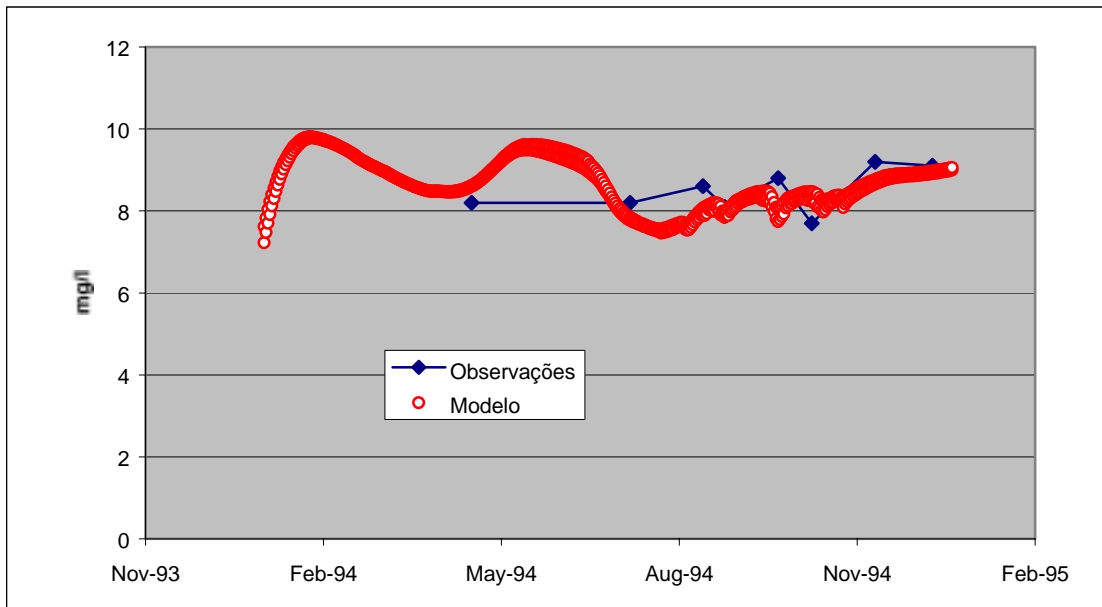


Figura 75 - Séries temporais de oxigénio dissolvido à superfície junto à captação na albufeira de Monte Novo.

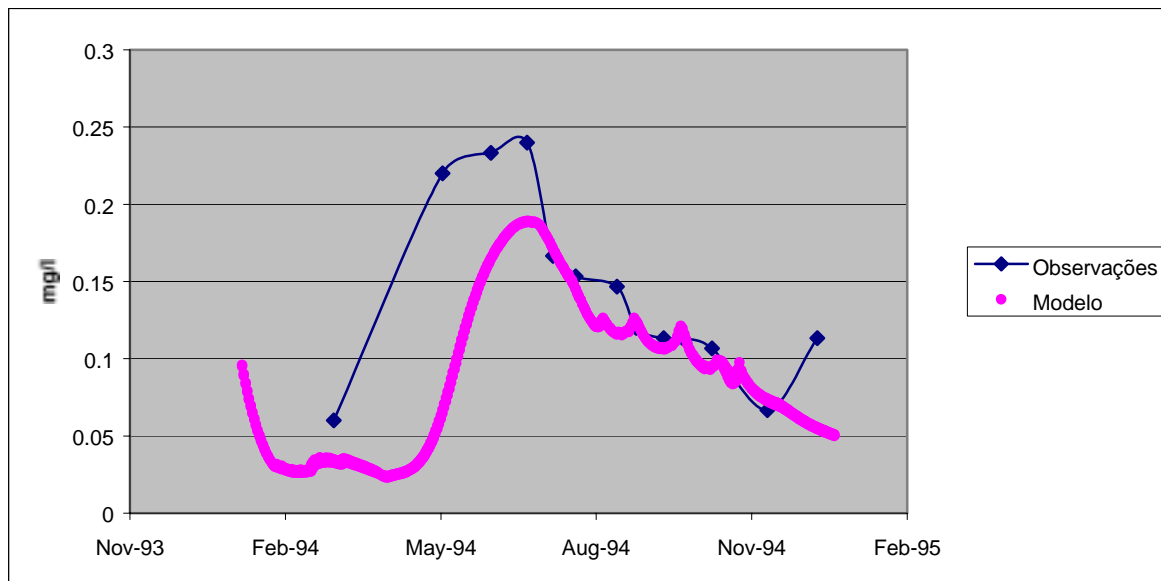


Figura 76 - Séries temporais de azoto amoniacal à superfície junto à captação na albufeira de Monte Novo.

## 5- SIMULAÇÃO DOS TRANSVASES

### 5.1 – DADOS E CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nesta fase do estudo, pretende-se avaliar os impactes resultantes das transferências de água entre a Bacia do Guadiana e a Bacia do Sado e ainda para o bloco do Alto Alentejo. Simulara-se os transvases para um cenário de ano seco e um cenário de ano médio. Em ano seco os volumes transferidos para cada uma das albufeiras que compõem o sistema são apresentados no Quadro 8. Em ano médio os valores são da ordem de 80% dos apresentados no Quadro 8 excepto para as albufeiras de Barras (22%), Roxo (55%) e Vale do Gaio (para a qual não é previsto transvase em ano médio). Dos valores apresentados nesse quadro pode concluir-se que cerca de 90% da água extraída da albufeira de Alqueva na estação elevatória de Amieira vai chegar à Bacia hidrográfica do Sado (albufeira de Alvito) e restante será conduzido para o bloco do Alto Alentejo.

|              | Volume a montante | Afluências naturais | Consumo | Volume a jusante |
|--------------|-------------------|---------------------|---------|------------------|
| Álamos       | 777.7             | 0.5                 | 3       | 775.2            |
| Loureiro     | 775.2             | 0.8                 | 1.4     | 774.6            |
| Alvito       | 701.1             | 11.2                | 18.1    | 694.2            |
| Monte Novo   | 48.5              | 0                   | 5       | 43.6             |
| Odivelas     | 86.5              | 10.2                | 96.7    | 0                |
| Barras       | 50.5              | 2.2                 | 1.7     | 51               |
| Vale do Gaio | 35                | 0                   | 35      | 0                |
| Pisão        | 448.4             | 1.7                 | 104.4   | 345.7            |
| Alfundão     | 40                | 2                   | 42      | 0                |
| Roxo         | 109.3             | 8.7                 | 118     | 0                |

Quadro 8– Volumes transferidos a montante e a jusante das albufeiras em ano seco, afluências naturais e consumo. Valores anuais em hm<sup>3</sup>.

O que se pretende neste trabalho é avaliar que modificações no comportamento do sistema vão ser introduzidas com o transvase. Para tal foram feitas simulações de 1 ano para todas as albufeiras que constituem o sistema – Álamos, Loureiro, Alvito, Monte Novo, Barras, Vale do Gaio, Odivelas, Pisão, Alfundão e Roxo. Os factores decisivos na qualidade da água no futuro nas albufeiras da bacia hidrográfica do Sado são evidentemente a quantidade de água transferida e a sua qualidade. Estes dois dados são assim cruciais para que se possam fazer estimativas razoáveis dos cenários futuros. Se relativamente à quantidade de água a transferir os estudos já realizados deixam a ideia de que pelo menos a ordem de grandeza do transvase já está bem determinada, já a qualidade da água a ser transferida constitui uma incógnita do problema. Recentemente um estudo realizado no âmbito do plano de ordenamento das albufeiras de Alqueva e Pedrogão (FBO, 2000) recorreu à modelação matemática (utilizando este mesmo modelo) no sentido de prever qual a qualidade da água na albufeira de Alqueva. Nesse estudo foi concluído que a qualidade da água junto à estação elevatória da Amieira não apresenta problemas de maior. São precisamente esses resultados que são usados como condição de fronteira a montante de todo o sistema, isto é, assume-se no presente estudo que os valores dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água que chega a Álamos são os valores obtidos no referido estudo junto à estação elevatória da Amieira (ver Figura 77 até Figura 81). Embora numa forma geral estes valores não sejam preocupantes a verdade é que são de uma forma geral reveladores de pior qualidade da água relativamente às albufeiras da bacia do Sado.

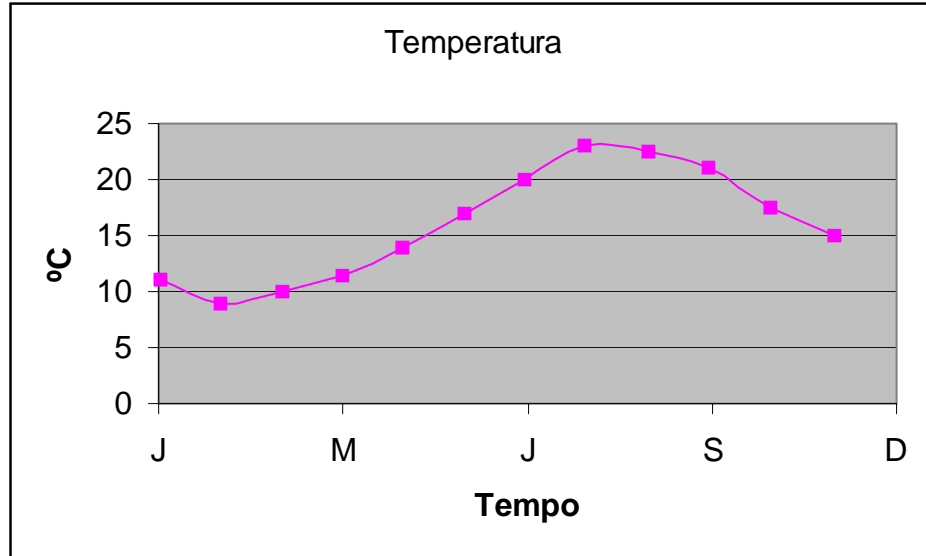


Figura 77– Evolução da temperatura junto à captação da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)

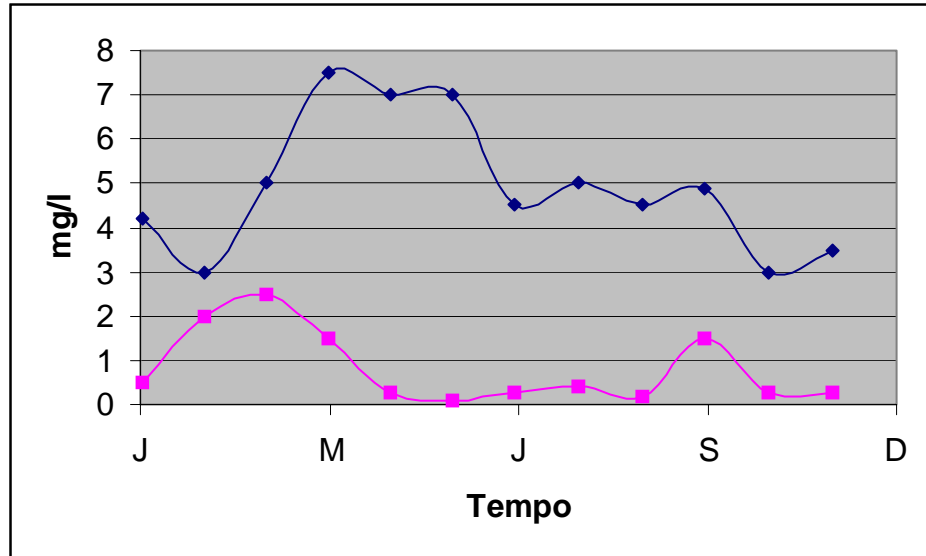


Figura 78– Evolução da biomassa algal (rosa) e do nitrato (azul) junto à captação da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)

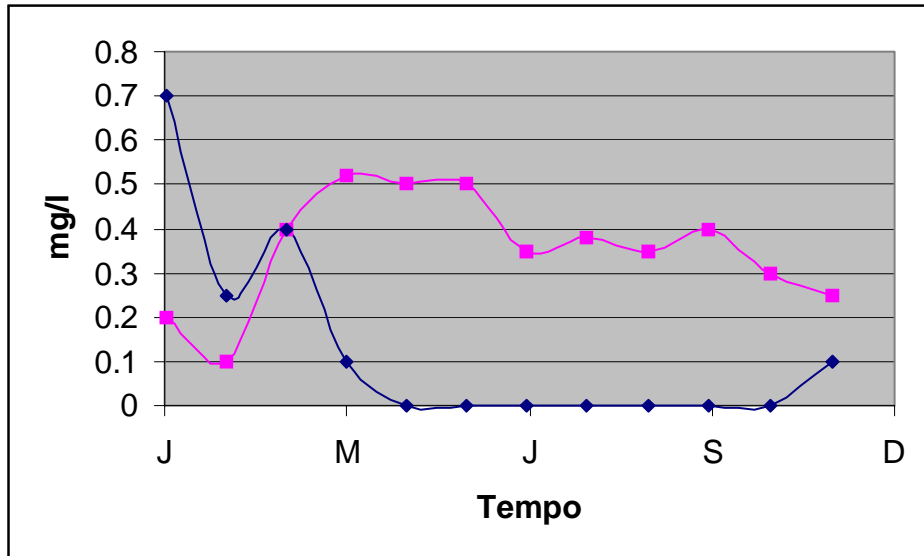


Figura 79– Evolução da amônia (azul) e fosfato (rosa) junto à captura da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)

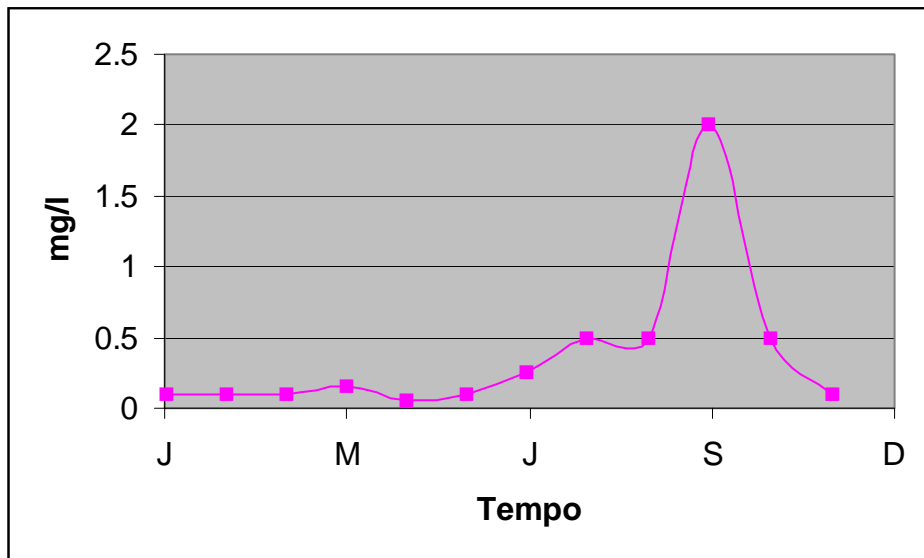


Figura 80– Evolução do CBO junto à captura da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)

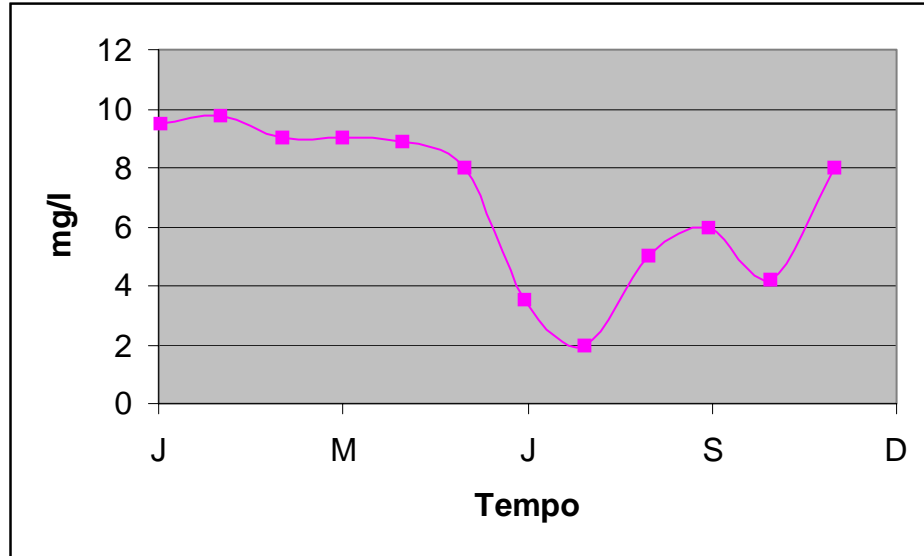


Figura 81– Evolução do oxigénio dissolvido junto à captação da Amieira ( adaptado de FBO, 2000)

A estratégia seguida nas simulações foi a de encadear as albufeiras não simulando os troços de ligação mas considerando o rearejamento que aí deve ocorrer – e conseqüente aumento das concentrações de oxigénio dissolvido. Assim os parâmetros a jusante duma albufeira servem como condição de fronteira a montante da albufeira seguinte. Os volumes mensais impostos a montante de cada albufeira são a soma do transvase com as afluências naturais (ver Figura 82 até Figura 90). Em termos de parâmetros de qualidade da água, eles são impostos à entrada das albufeiras considerando a média ponderada (pelos caudais) entre as condições actuais e futuras.

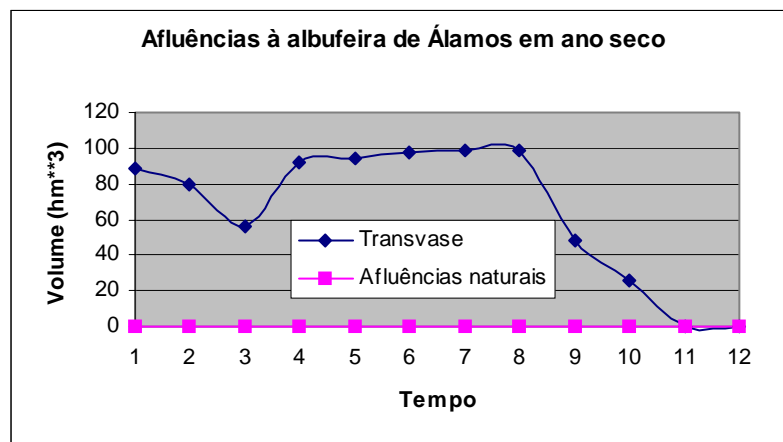


Figura 82– Afluências à albufeira de Álamos em ano seco.

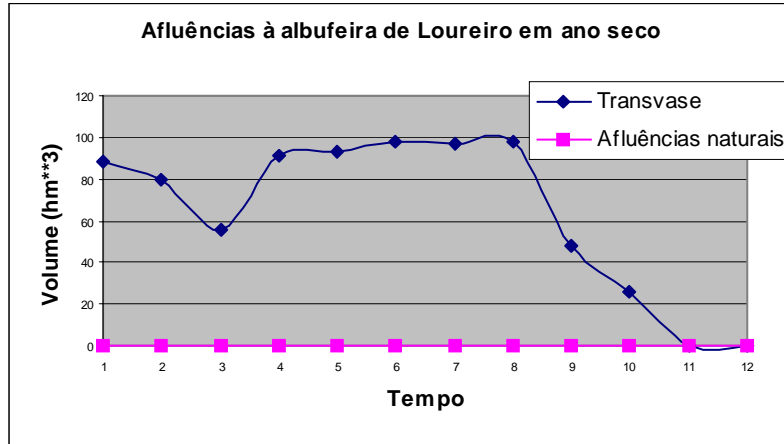


Figura 83– Afluências à albufeira de Loureiro em ano seco.

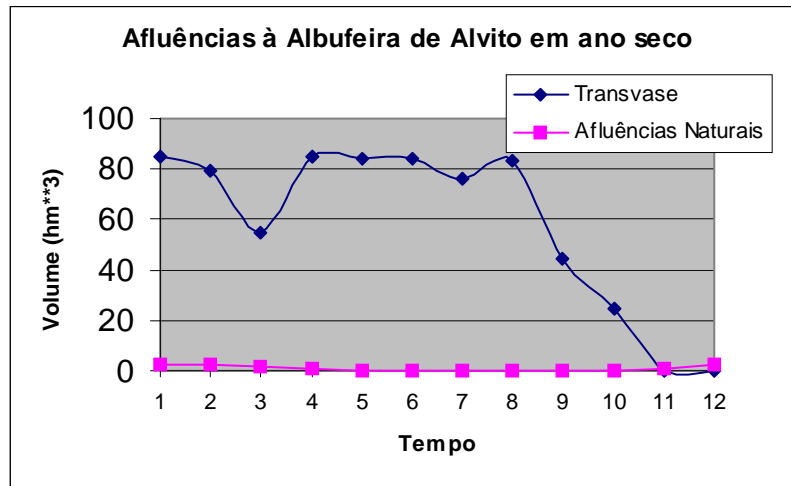


Figura 84– Afluências à albufeira de Alvito em ano seco.

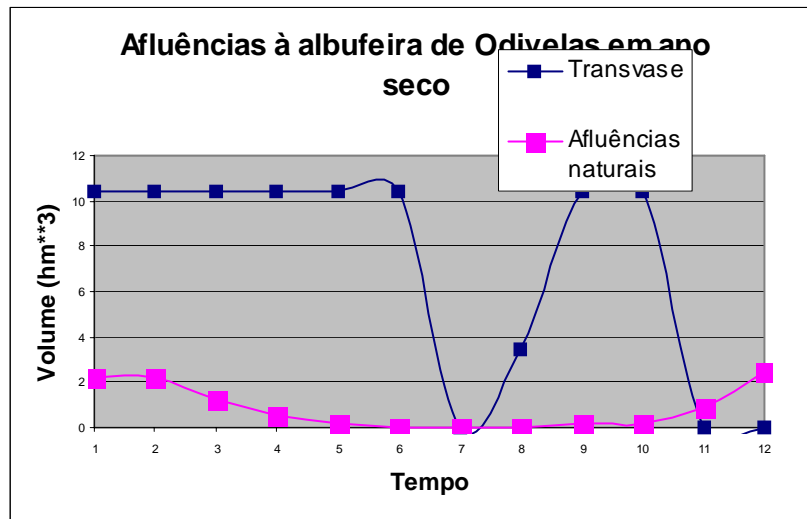


Figura 85– Afluências à albufeira de Odivelas em ano seco.



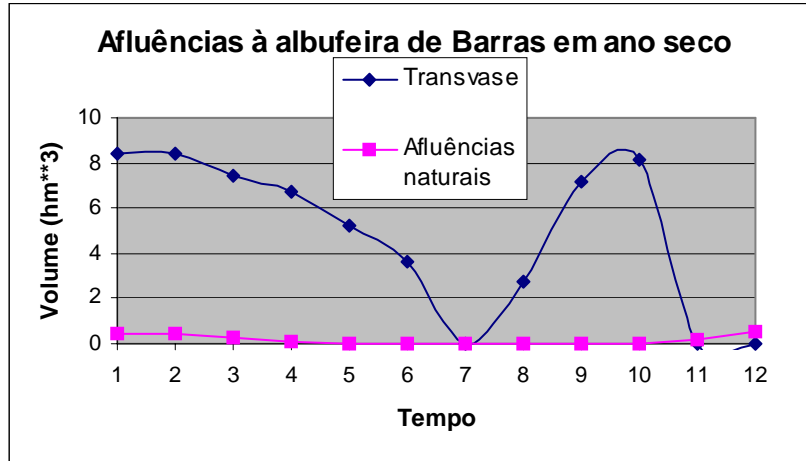


Figura 86– Afluências à albufeira de Barras em ano seco.

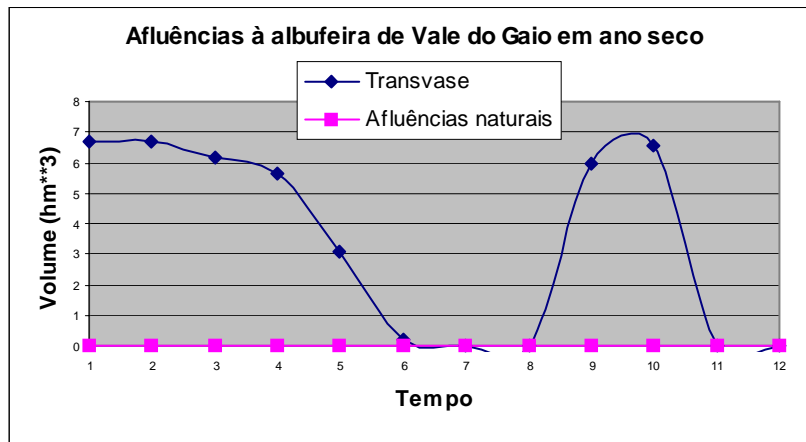


Figura 87– Afluências à albufeira de Vale do Gaio em ano seco.

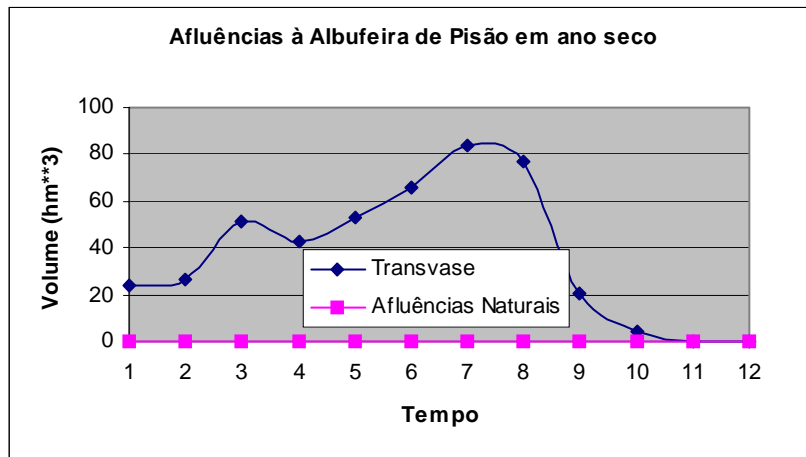


Figura 88– Afluências à albufeira de Pisão em ano seco.

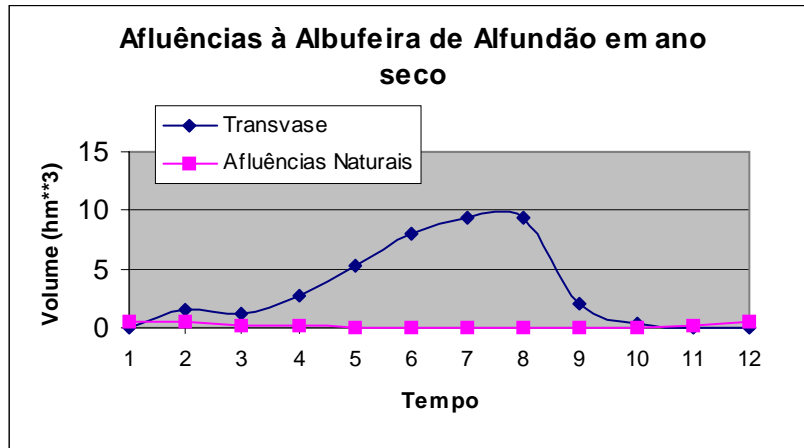


Figura 89– Afluências à albufeira de Alfundão em ano seco.

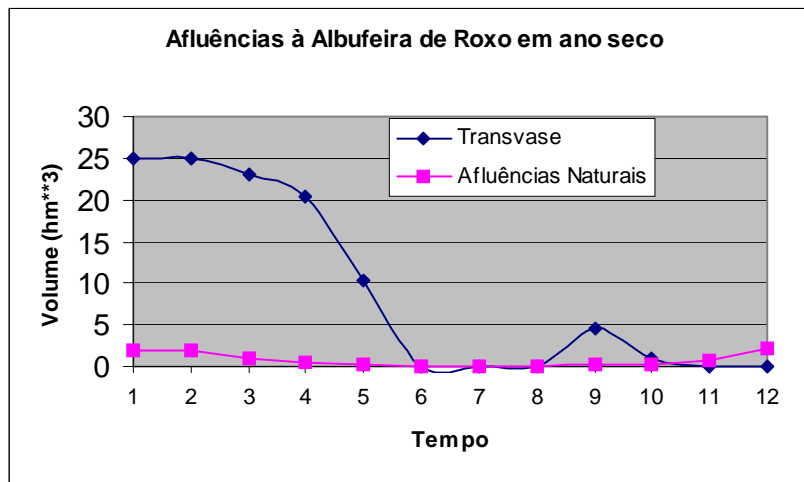


Figura 90– Afluências à albufeira de Roxo em ano seco.

Sendo verdade que o regime de afluências será no futuro profundamente afectado pelos transvases, não deixa também de ser evidente que algumas albufeiras serão mais afectadas que outras. Um parâmetro que permite desde já ter uma ideia da magnitude do impacte é o tempo de residência da água nas albufeiras. A Figura 91 mostra o tempo de residência em diversas albufeiras para um cenário de ano seco. Foram feitas várias estimativas do tempo de residência uma vez que se trata de um parâmetro que apresenta algumas dificuldades na sua determinação. Uma estimativa possível consiste em determinar simplesmente a razão entre a capacidade da albufeira e o volume de água a ser transferido. Uma outra forma de determinar o tempo de residência numa albufeira, utilizando um modelo, consiste em “encher a albufeira com um traçador”, impor como condição de fronteira à entrada da albufeira concentração nula desse traçador e esperar que a concentração no interior se reduza até um determinado valor predefinido. Neste caso considera-se que esse valor é 10% da concentração inicial em 75% da albufeira. Nenhuma destas definições é exacta mas como se pode observar os resultados são bastante concordantes. Permitem dividir as albufeiras em 3 grupos: as que têm tempos de residência da ordem de uma semana; as que

têm tempos de residência de 1 a 2 meses; e as que têm tempos de residência superiores a 3 meses. No primeiro grupo cabem as albufeiras de Álamos, Loureiro e Pisão. No segundo grupo podem-se encaixar as albufeiras de Monte Novo, Alvito, Barras e Alfundão e finalmente no terceiro grupo as albufeiras de Odivelas, Vale do Gaio e Roxo. É evidente que para estes resultados contribui em larga medida a posição das albufeiras na cadeia para além da capacidade da albufeira. Assim todas as albufeiras de razoável dimensão que estão no final da cadeia (Roxo, Vale do Gaio e Odivelas) apresentam tempos de residência elevados antevendo-se desde já que serão aquelas que menos serão perturbadas pelo transvase. Por outro lado as pequenas albufeiras que se encontram no início da cadeia (Álamos e Loureiro) apresentam tempos de residência muito baixos prevendo-se que venham a ter um comportamento que não se assemelha exactamente ao de um reservatório. O mesmo se passa na albufeira de Pisão que apesar de não estar no início da cadeia receberá ainda assim cerca de 60% do transvase. Em situação intermédia encontram-se as albufeiras de Alvito, Monte Novo, Alfundão e Barras. Os últimos 3 casos correspondem a albufeiras que receberão mais ou menos a mesma quantidade de água e que têm capacidades muito semelhantes. De qualquer forma tratam-se de casos em que a magnitude anual do transvase excede a capacidade da albufeira. O caso da albufeira de Alvito é diferente: trata-se da albufeira com maior capacidade de todas as que estão em estudo mas ainda assim a magnitude do transvase é cerca de 6 a 7 vezes superior.

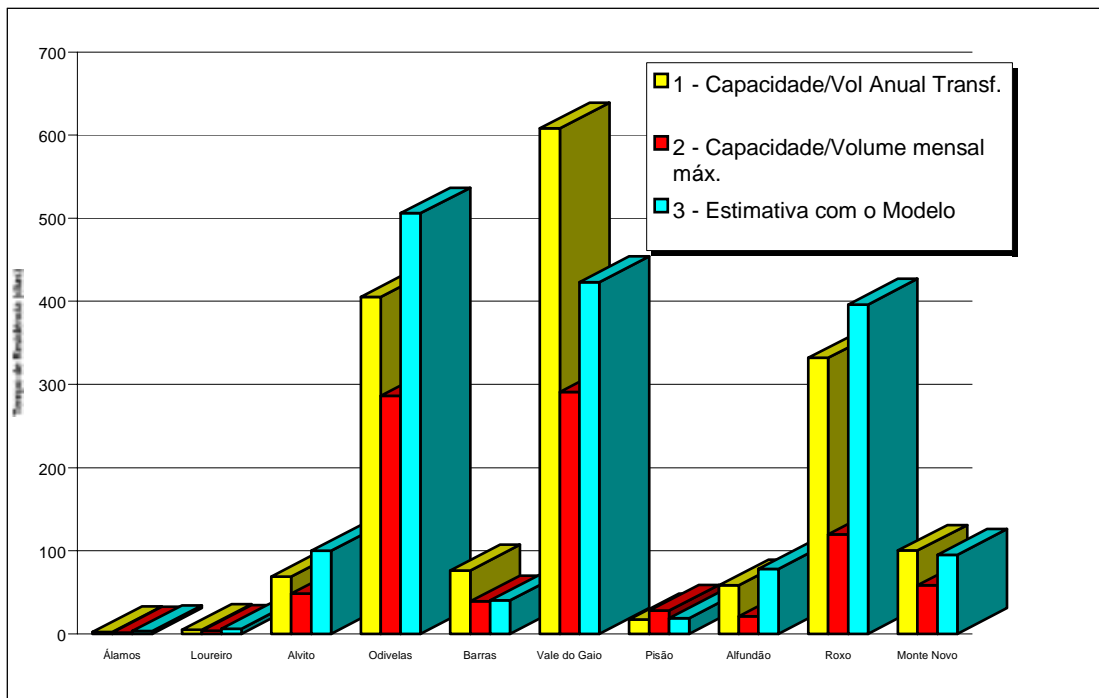


Figura 91– Tempos de residência estimados para cada uma das 10 albufeiras que serão envolvidas no processo de transferência de água em ano seco. A amarelo está representado o tempo de residência estimado usando o quociente entre o volume transferido por ano e a capacidade da albufeira. A vermelho a estimativa é feita usando o valor máximo mensal de volume transferido (projectado num intervalo de tempo de 1 ano). A azul encontra-se a estimativa feita com o modelo (os detalhes estão explicados no texto).

## 5.2 – RESULTADOS

### 5.2.1 – Hidrodinâmica e Temperatura

Nesta secção analisam-se os resultados obtidos para os parâmetros físicos nas simulações dos transvases. Apresenta-se apenas a análise para ano seco que não difere significativamente do que acontece em ano médio.

A estrutura térmica das albufeiras depende muito da sua capacidade total e principalmente da sua profundidade. Do conjunto das 9 albufeiras analisadas podemos dividi-las em 3 grupos: As estratificadas, as parcialmente estratificadas e as homogéneas.

A albufeira de Álamos apresenta-se pouco estratificada até final de Abril (ver Figura 92). A temperatura varia entre 10°C no final de Abril e 16°C no final de Abril. Só no final de Julho se observa alguma estratificação. Por essa época do ano os valores atingem os 26°C. No final de Outubro o valor da temperatura ronda os 16.5°C. Pela descrição apresentada pode concluir-se que a albufeira de Álamos será verticalmente homogénea durante quase todo o ano.

O cenário na albufeira do Loureiro é ligeiramente diferente (Figura 93). No final de Janeiro o perfil vertical de temperatura apresenta-se homogéneo com valores a rondar os 10°C. Devido ao aquecimento que ocorre no princípio da Primavera a situação altera-se ligeiramente no final de Abril. Assim é possível observar um camada de mistura superficial cuja espessura é de 6 a 7 m. Abaixo dessa camada de mistura observa-se claramente uma termoclina – a temperatura baixa de 15°C para 10°C entre a cota de 211m e a cota de 202m. No final de Julho o cenário é muito semelhante mas o gradiente de temperatura é maior – variação de 7°C entre a superfície e a base da termoclina. Em Outubro já é possível verificar a erosão da termoclina tendo a camada de mistura cerca de 10m de espessura e a diferença de temperatura é de 13°C entre a base da camada de mistura e o fundo. Pode concluir-se que com os 20m de profundidade junto à barragem a albufeira do Loureiro é verticalmente estratificada.

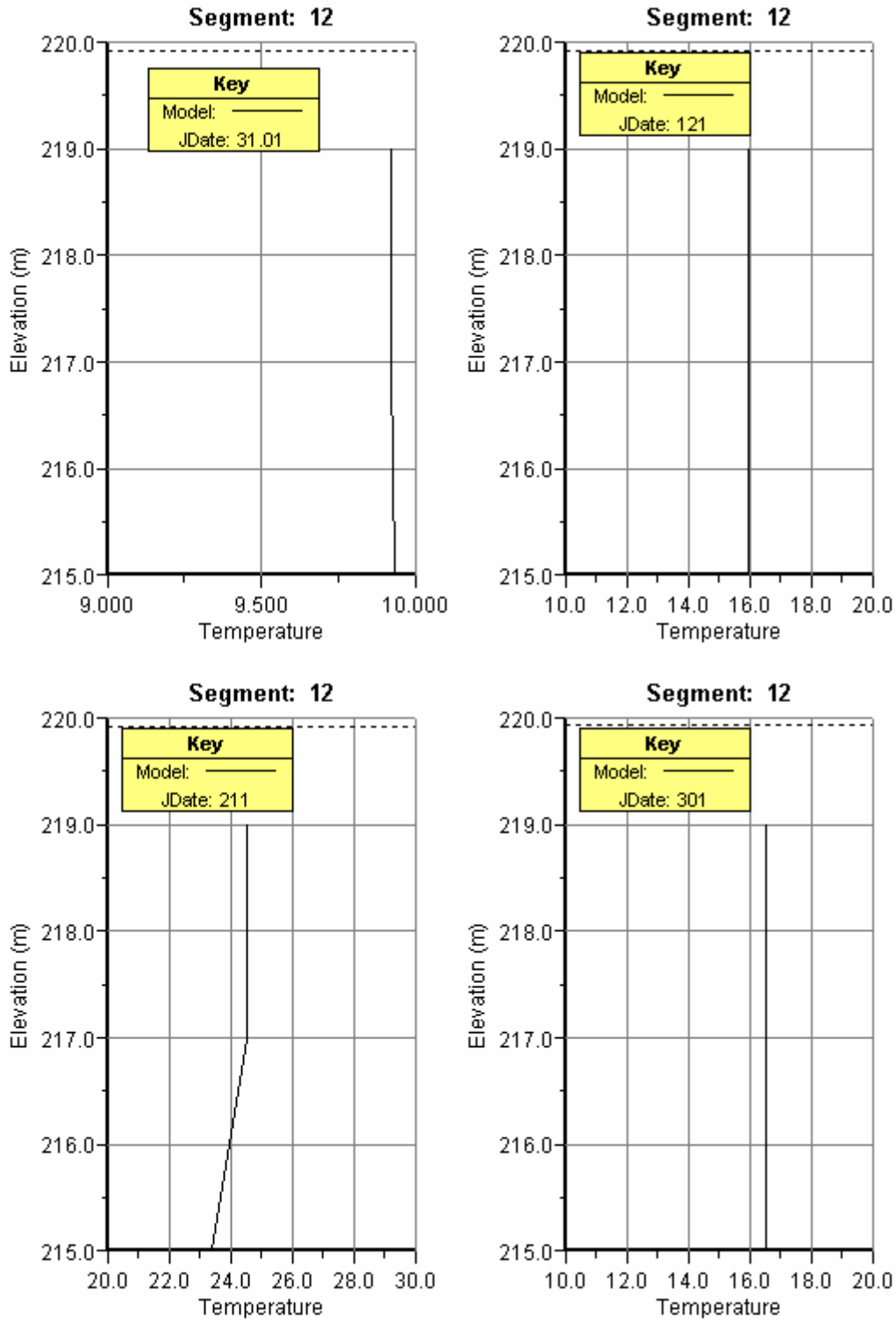


Figura 92– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Álamos, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

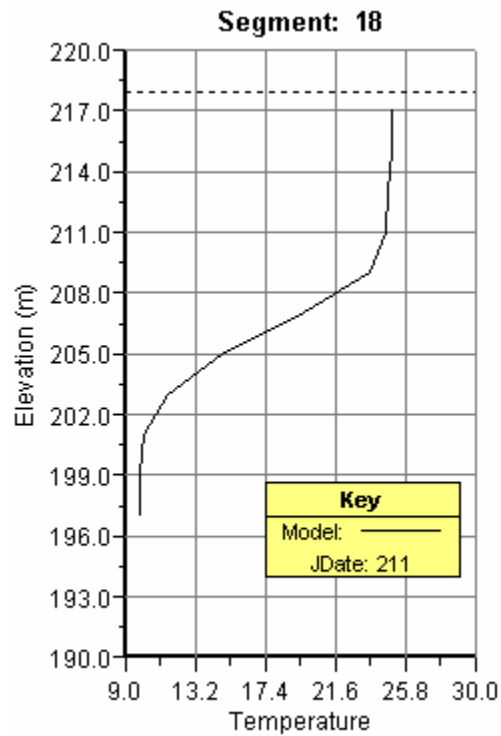
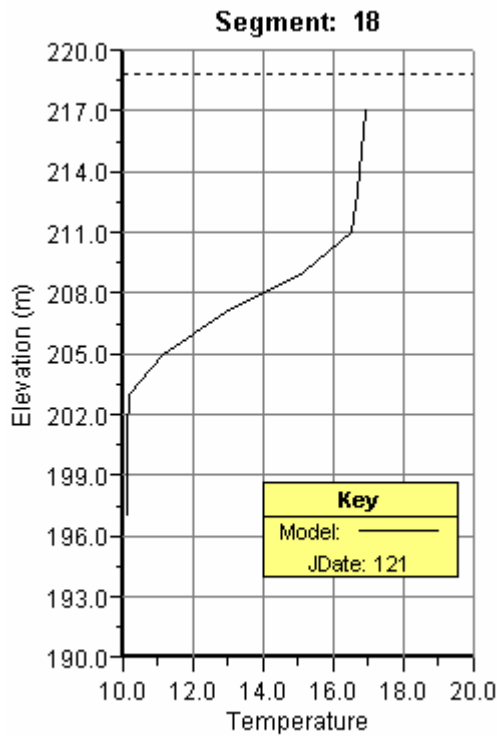
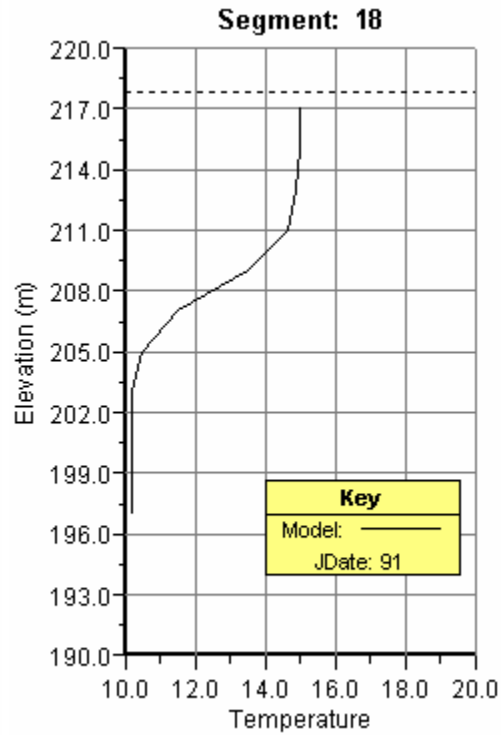
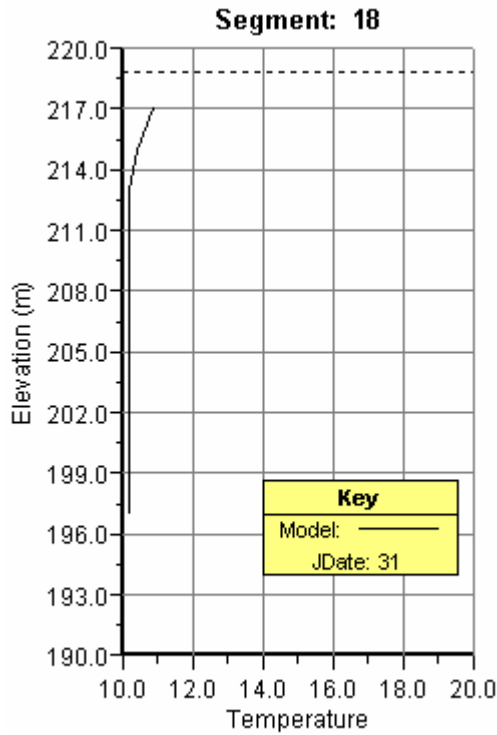


Figura 93— Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Loureiro, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

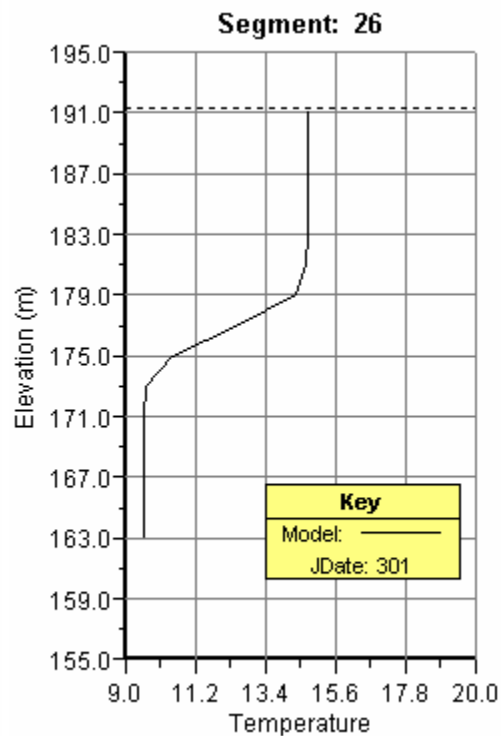
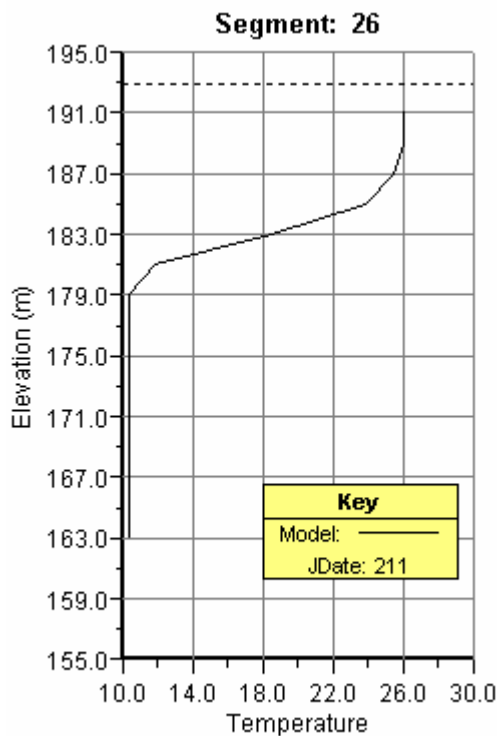
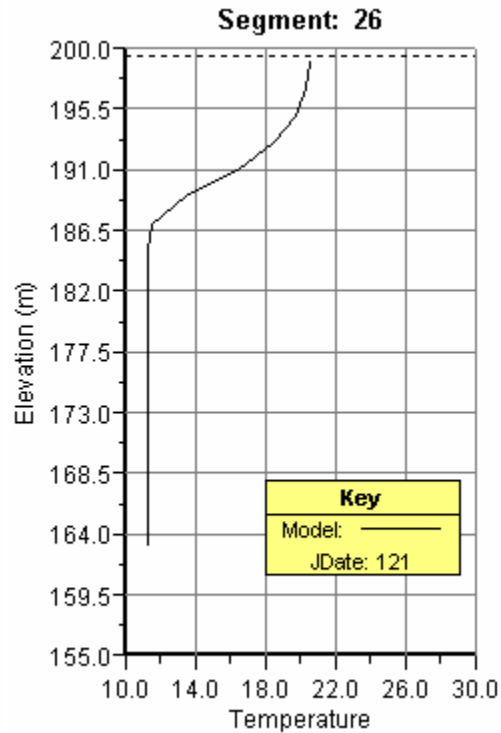
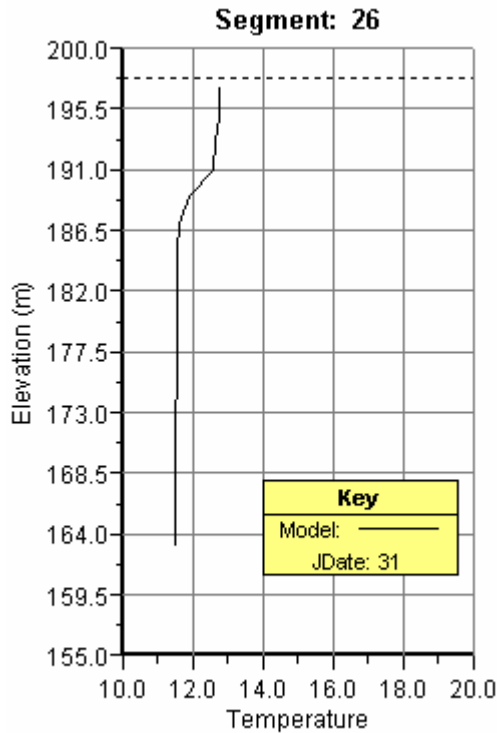


Figura 94— Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Alvito, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

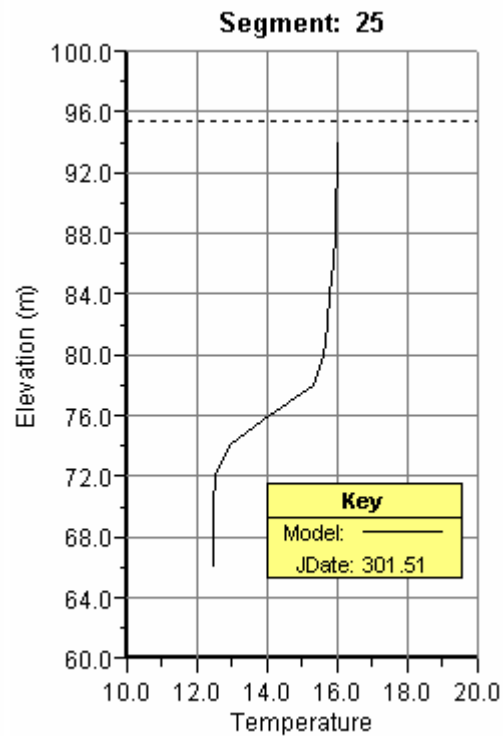
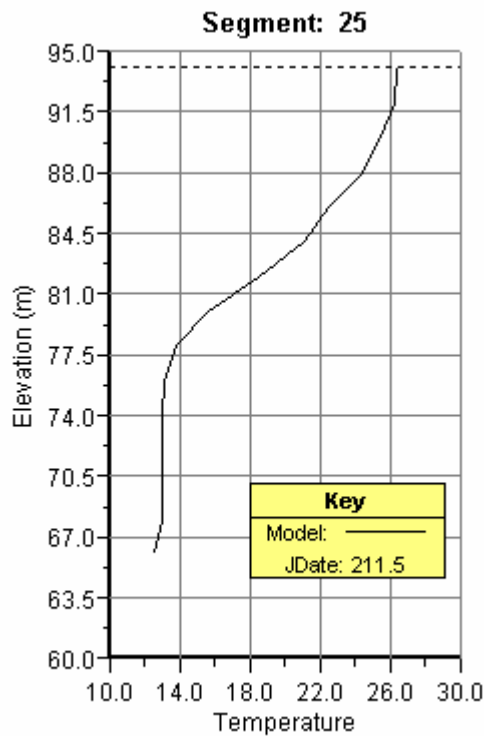
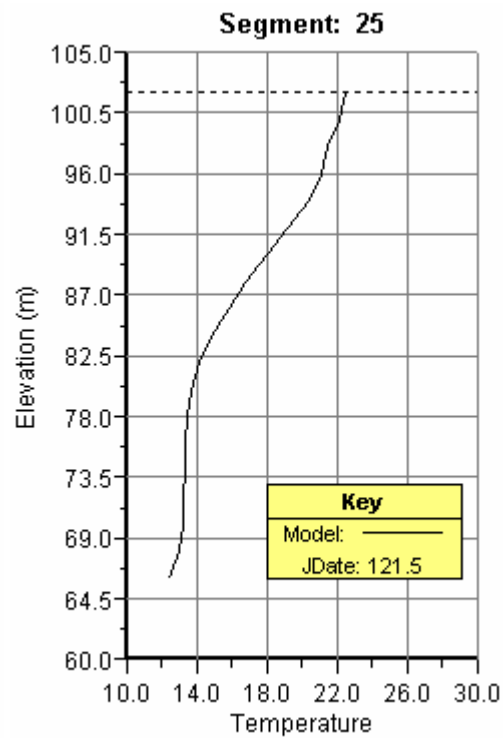
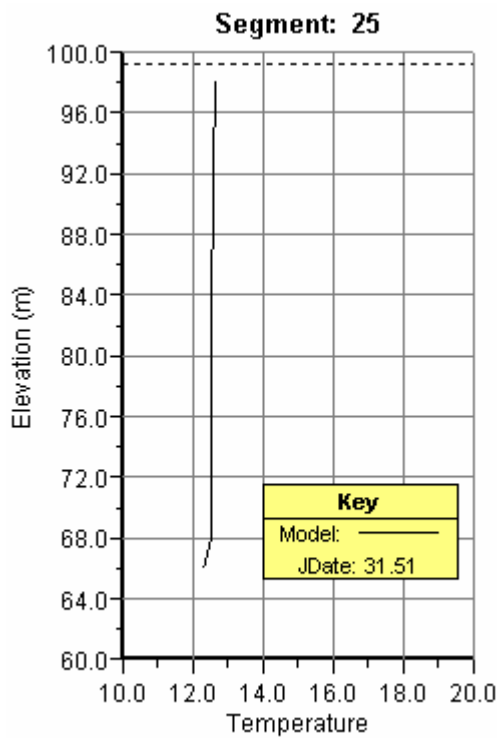


Figura 95– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Odivelas, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.



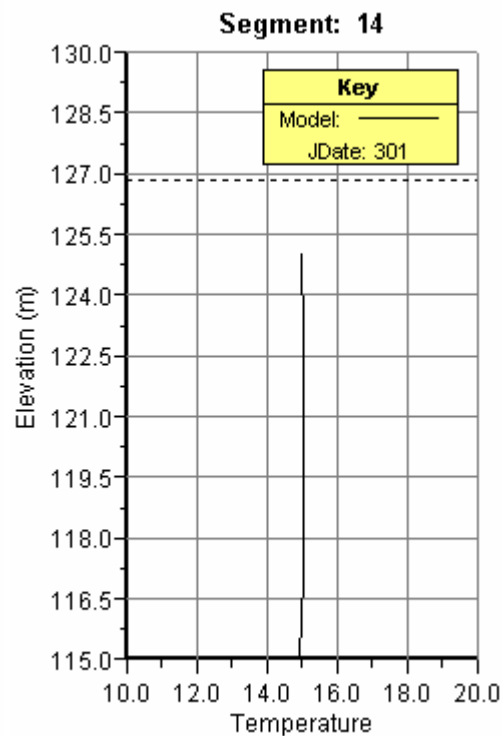
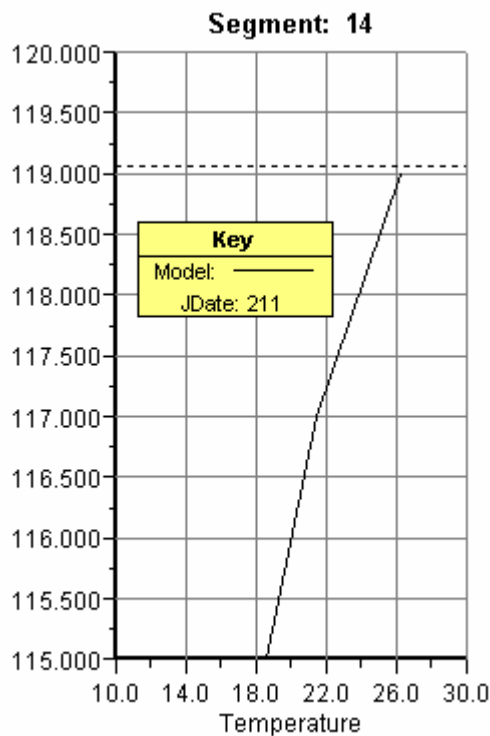
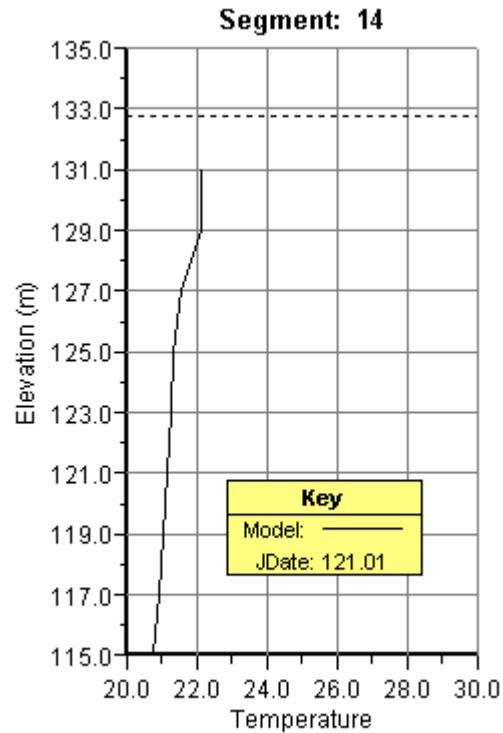
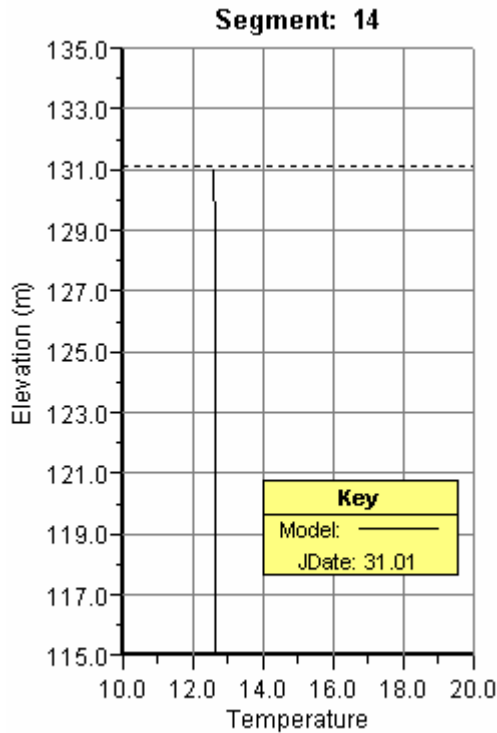


Figura 96– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Barras, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

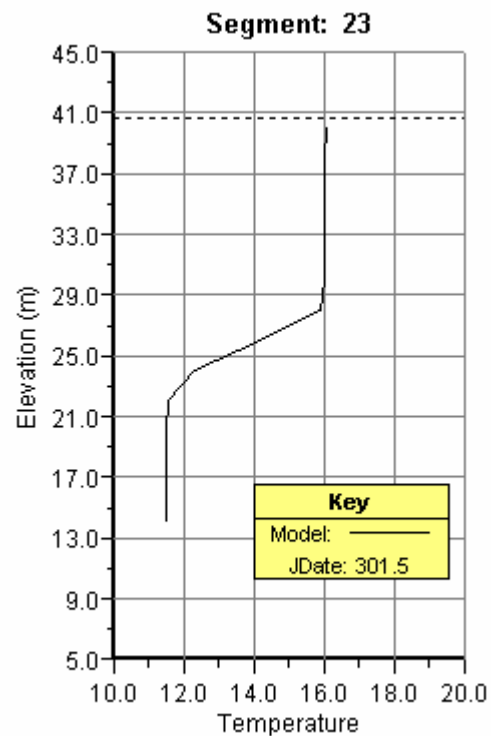
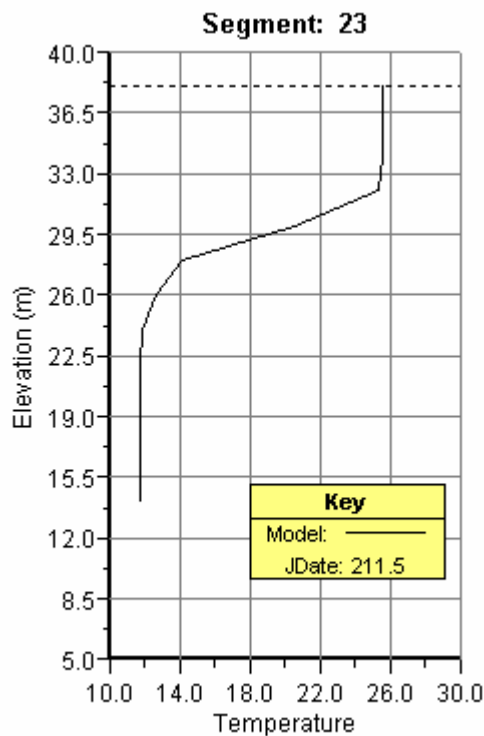
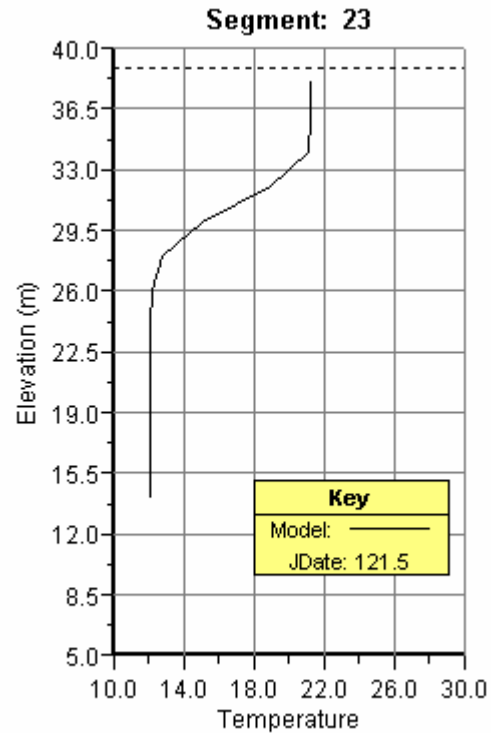
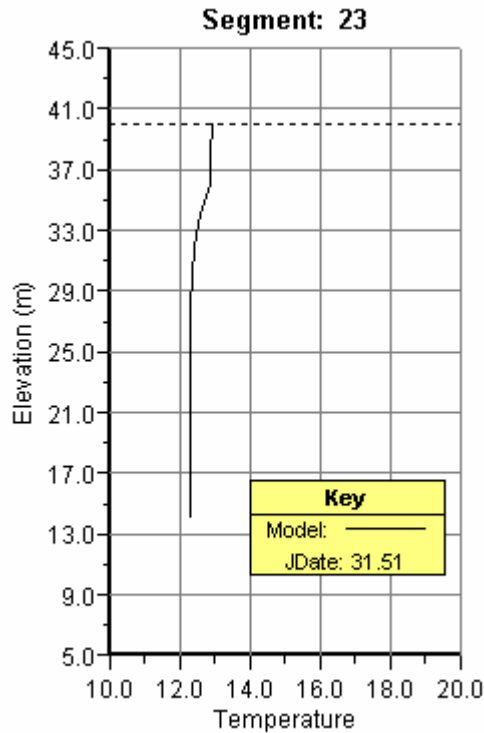


Figura 97– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Vale do Gaio, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

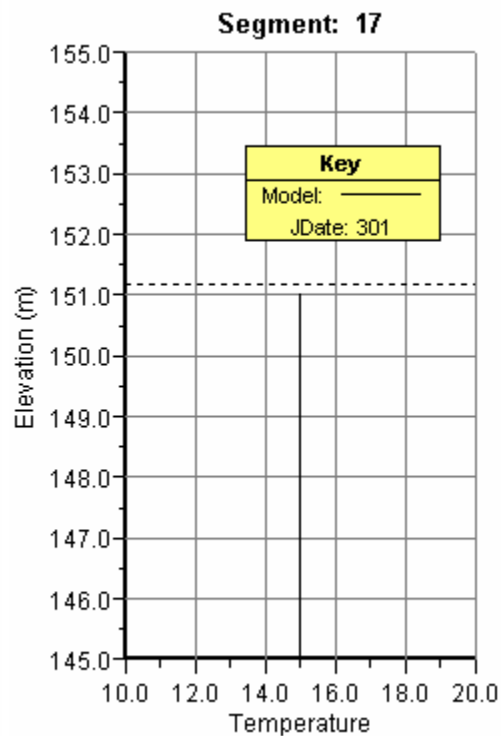
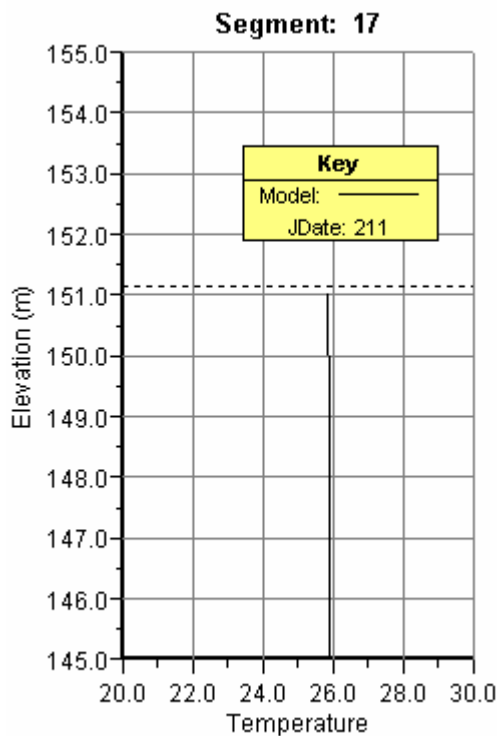
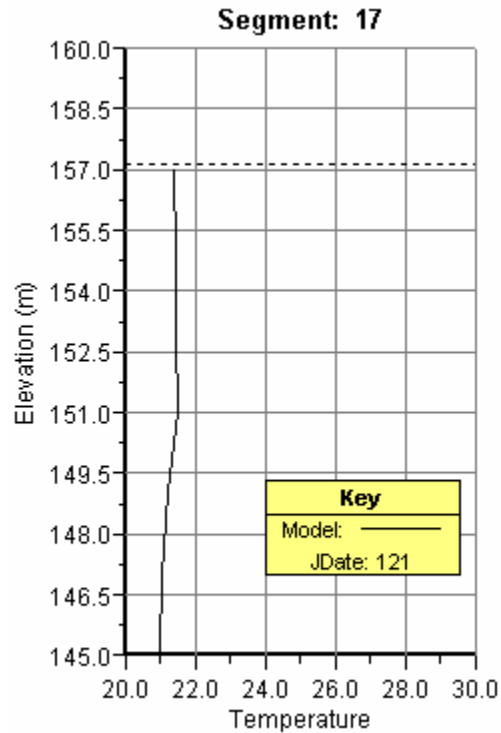
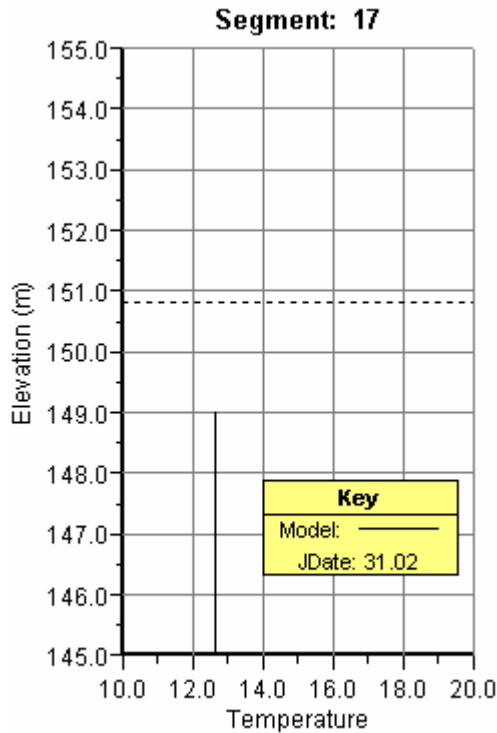


Figura 98— Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Pisão, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

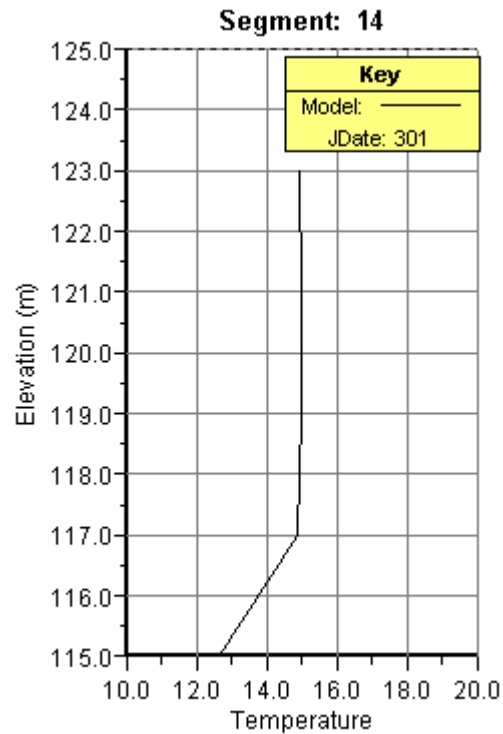
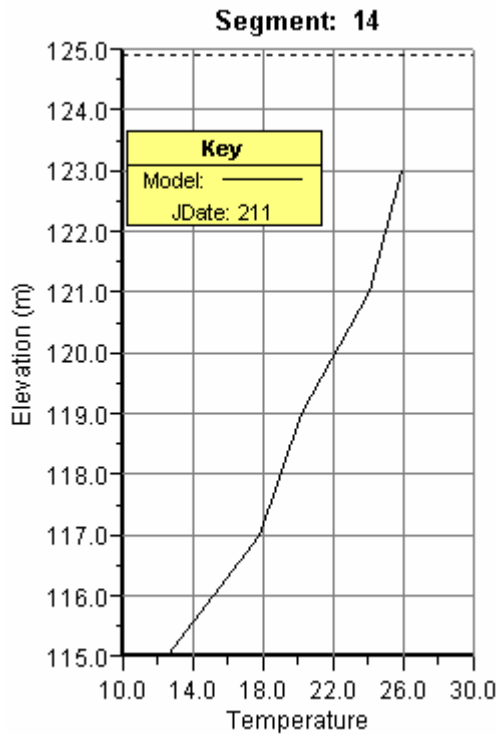
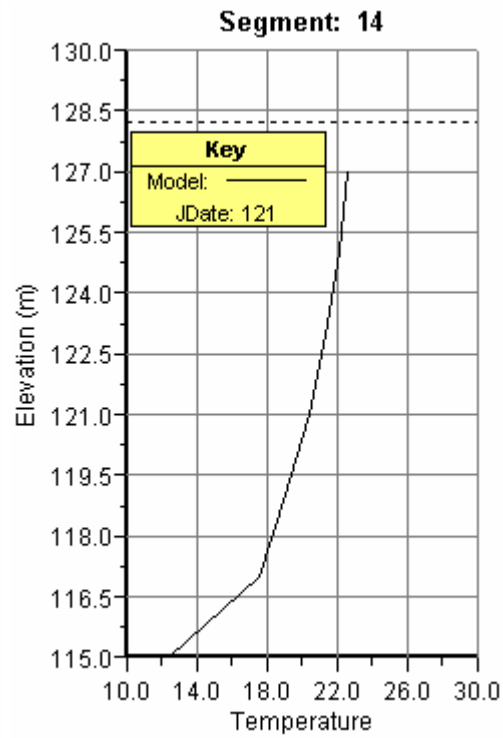
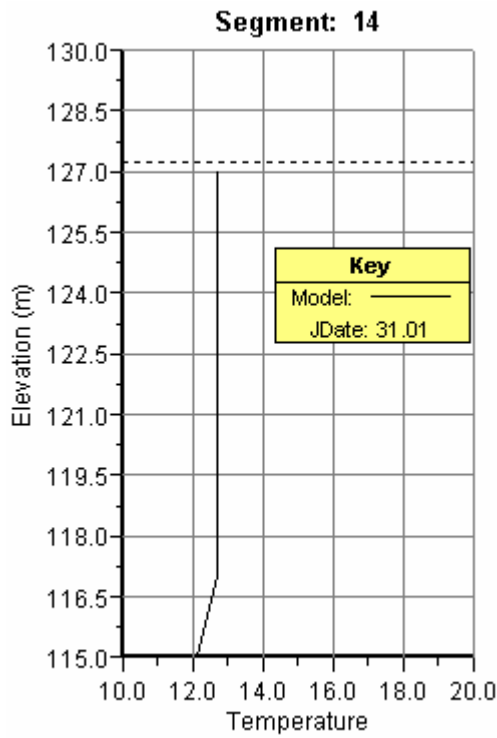


Figura 99– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Alfundão, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

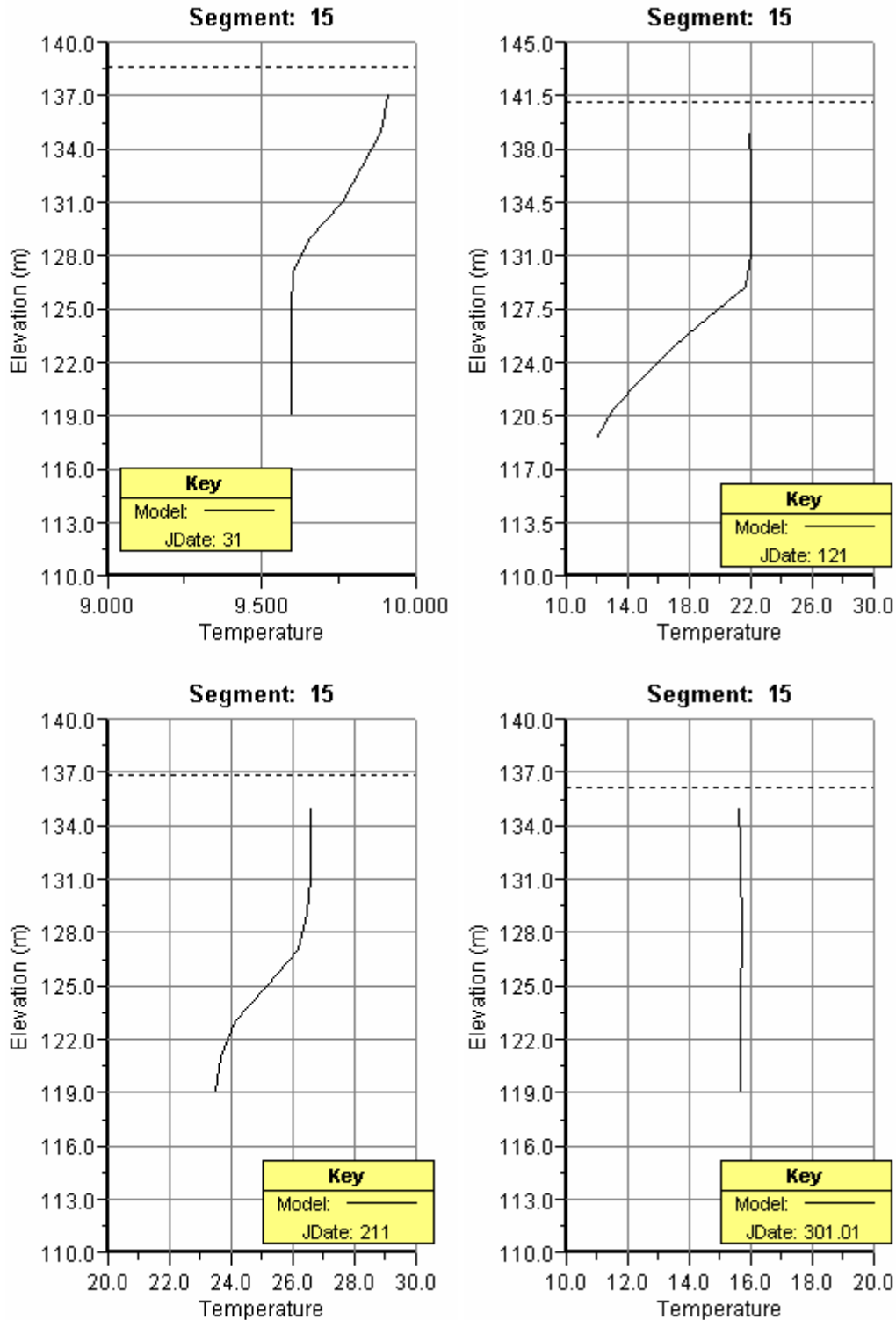


Figura 100– Perfis de temperatura no final de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente, na albufeira de Roxo, junto à barragem. A linha horizontal a tracejado indica a posição da superfície livre.

A albufeira de Alvito apresenta já no final de Janeiro uma pequena termoclina situada 8 a 9 m abaixo da superfície (ver Figura 94). A temperatura ronda os 12°C. Em finais de Abril, já em plena Primavera, praticamente não existe camada de mistura superficial estendendo-se a termoclina pelos primeiros 15m de coluna de água com a temperatura a variar entre os 20°C e os 11°C. Esta situação evolui para uma outra no final de Julho em que existe uma camada de mistura superficial com 5-6 m de espessura a que se segue uma termoclina bem marcada em que a temperatura diminui 16°C – de 26°C para 10°C – entre a cota de 189m e a cota de 179m. Em finais de Outubro a camada de mistura superficial encontra-se em expansão atingindo a profundidade de 12m. A temperatura diminui 14.5°C entre essa profundidade e a base da termoclina à cota de 173 m. Esta albufeira assim como as de Odivelas (Figura 95) e Vale do Gaio (Figura 97) são casos de albufeiras verticalmente estratificadas.

Em Barras (Figura 96) a coluna de água apresenta-se homogénea durante quase todo o ano. Apenas no final de Julho se observa um decréscimo quase linear da temperatura entre a superfície e o fundo que diminui de 26°C para 18°C. Em Janeiro a temperatura é da ordem dos 13°C, aumentando para 21°C em Abril. No final de Outubro têm-se temperaturas da ordem dos 15°C. A albufeira de Barras pode-se considerar uma albufeira verticalmente homogénea, com excepção do Verão onde exhibe um padrão de estratificação atípico.

A albufeira de Pisão apresenta ausência de estratificação durante todo o ano (Figura 98). As temperaturas variam entre 12.5°C em Janeiro e 26°C em Julho. Trata-se dum caso de uma albufeira verticalmente homogénea.

Sendo ligeiramente mais profunda que Pisão, a albufeira de Alfundão apresenta alguma estratificação (Figura 99). Os perfis de temperatura são no entanto consideravelmente diferentes dos que se observam em albufeiras bem estratificadas como Alvito/Odivelas/Vale do Gaio. Em Janeiro a coluna de água apresenta-se homogénea com temperaturas da ordem dos 13°C. Em Abril observa-se que a temperatura decresce de forma quase linear entre a superfície (cota dos 127m) e os 117m, desde os 22°C e os 18°C. No fundo (115m) a temperatura é 12°C. Em Julho o perfil é muito semelhante com 26°C à superfície e 12.5°C no fundo. Finalmente em Outubro o perfil é bastante homogéneo – com excepção dos últimos 2 metros. Alfundão pode considerar-se uma albufeira parcialmente estratificada.

A albufeira de Roxo (Figura 100), apesar das suas dimensões consideráveis apresenta – como já se viu – condições favoráveis à mistura vertical. Em Janeiro o perfil é bastante homogéneo (9.7°C). No final de Abril o perfil é bastante homogéneo nos 10m superficiais com temperatura da ordem dos 22°C, decrescendo linearmente até 12°C no fundo. Em Julho à superfície a temperatura ultrapassa ligeiramente os 26°C sendo a coluna de água muito homogénea nos primeiros 10m. Dá até à cota de 119m a temperatura baixa para 23°C. Finalmente em Outubro a temperatura apresenta-se bastante uniforme em toda a coluna de água com valores próximos dos 16°C. Assim sendo a albufeira do Roxo pode considerar-se parcialmente estratificada.

Duma forma geral pode concluir-se que todas as albufeiras se comportam como lagos em regiões temperadas com um ciclo sazonal bem marcado. O

aparecimento de estratificação ocorre sempre que a energia térmica proveniente da atmosfera não é transmitida a toda a coluna de água, o que geralmente acontece quando esta é suficientemente profunda. Com excepção talvez da albufeira de Roxo todas as outras caem dentro desta lógica. Se a albufeira é suficientemente profunda para que a turbulência superficial – induzida pelo vento, essencialmente – não consiga produzir mistura em toda a coluna de água, então ela estratifica, caso contrário ele apresenta-se bem misturada.

Os perfis de velocidade em três albufeiras – Loureiro, Alvito e Barras – e servem para ilustrar a circulação típica em períodos de hidrodinamismo mais intenso – quando os transvases são mais significativos (Figura 101 até Figura 103). Em qualquer um dos três casos podem observar-se as diferenças entre a zona onde é introduzido o transvase na albufeira e zona próxima da barragem onde a circulação é dominada pelo vento. Nas zonas a montante a corrente é mais intensa apresentando máximos subsuperficiais – a água mais fria e densa proveniente dos canais/rios tende a mergulhar – com valores máximos entre 1 e 5 cm/s. Junto à barragem os máximos ocorrem na camada superficial – camada de mistura – onde a quantidade de movimento proveniente da acção do vento fica aprisionada devido à estratificação. Nesta zona as velocidades são geralmente da ordem de alguns mm/s (sempre inferiores a 1 cm/s).

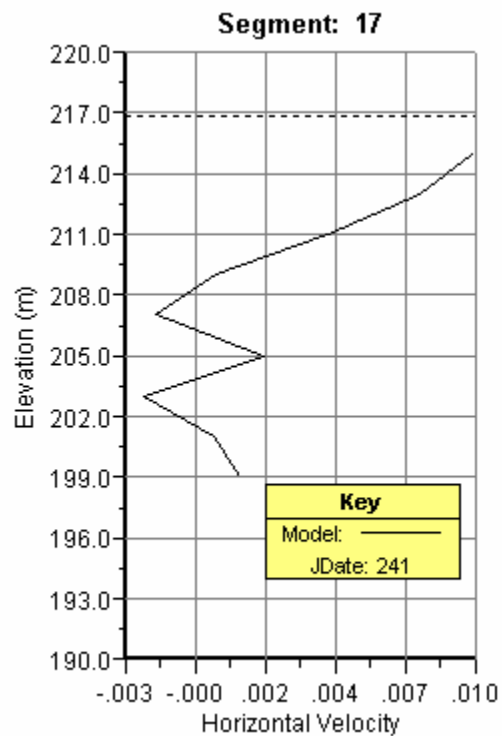
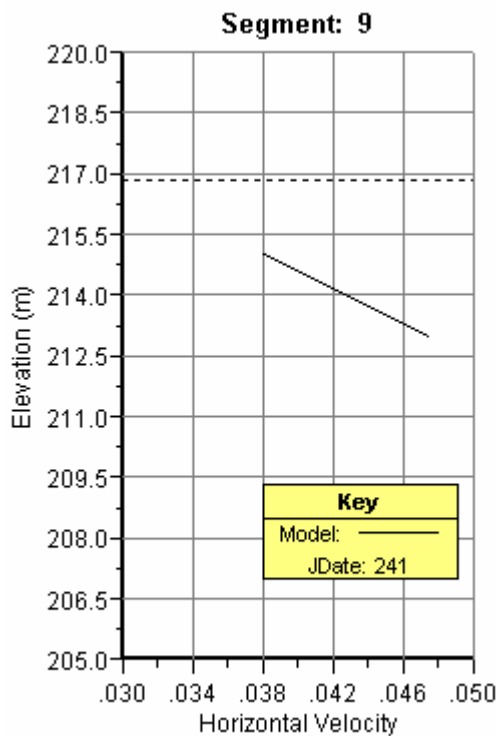
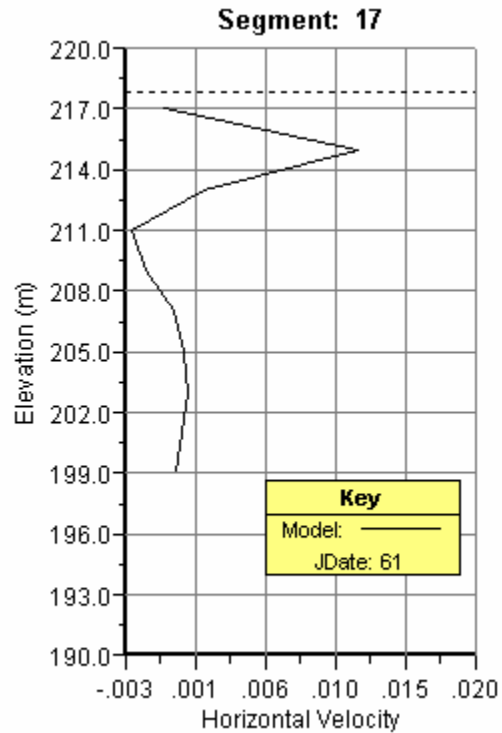
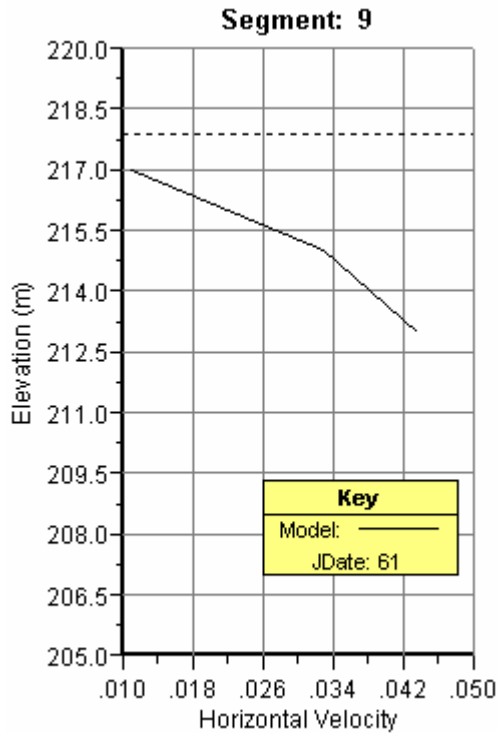


Figura 101– Perfis de velocidade horizontal na albufeira do Loureiro. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro a meio da albufeira. Em cima à direita perfil no final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Setembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem.



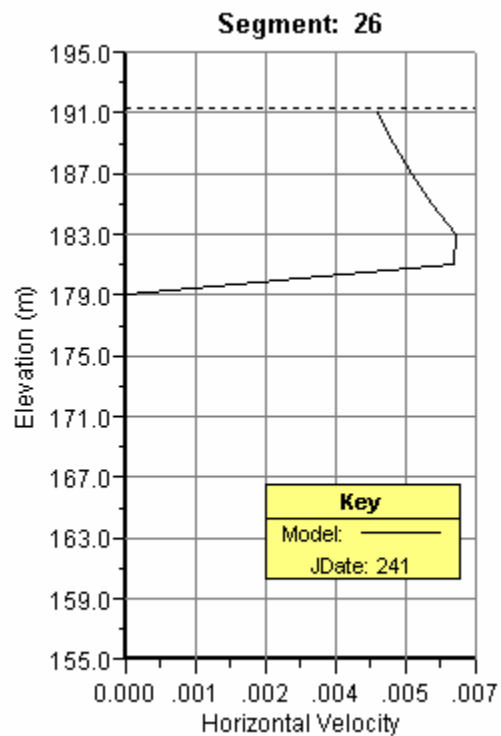
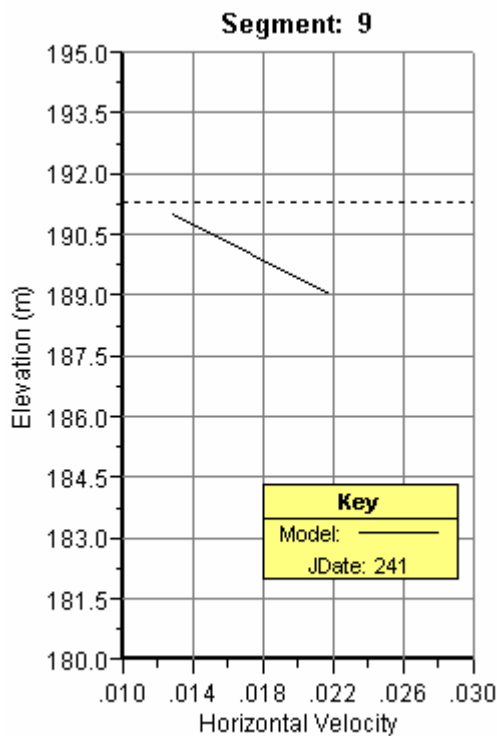
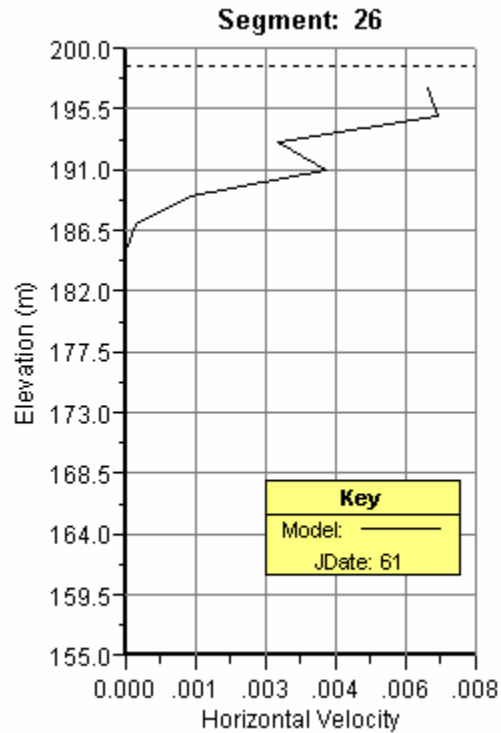
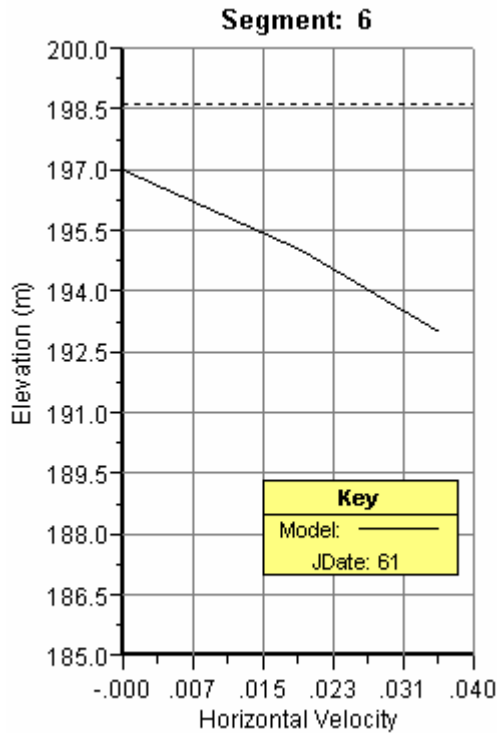


Figura 102– Perfis de velocidade horizontal na albufeira do Alvito. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro na cabeceira da albufeira. Em cima à direita perfil no final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Setembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem.

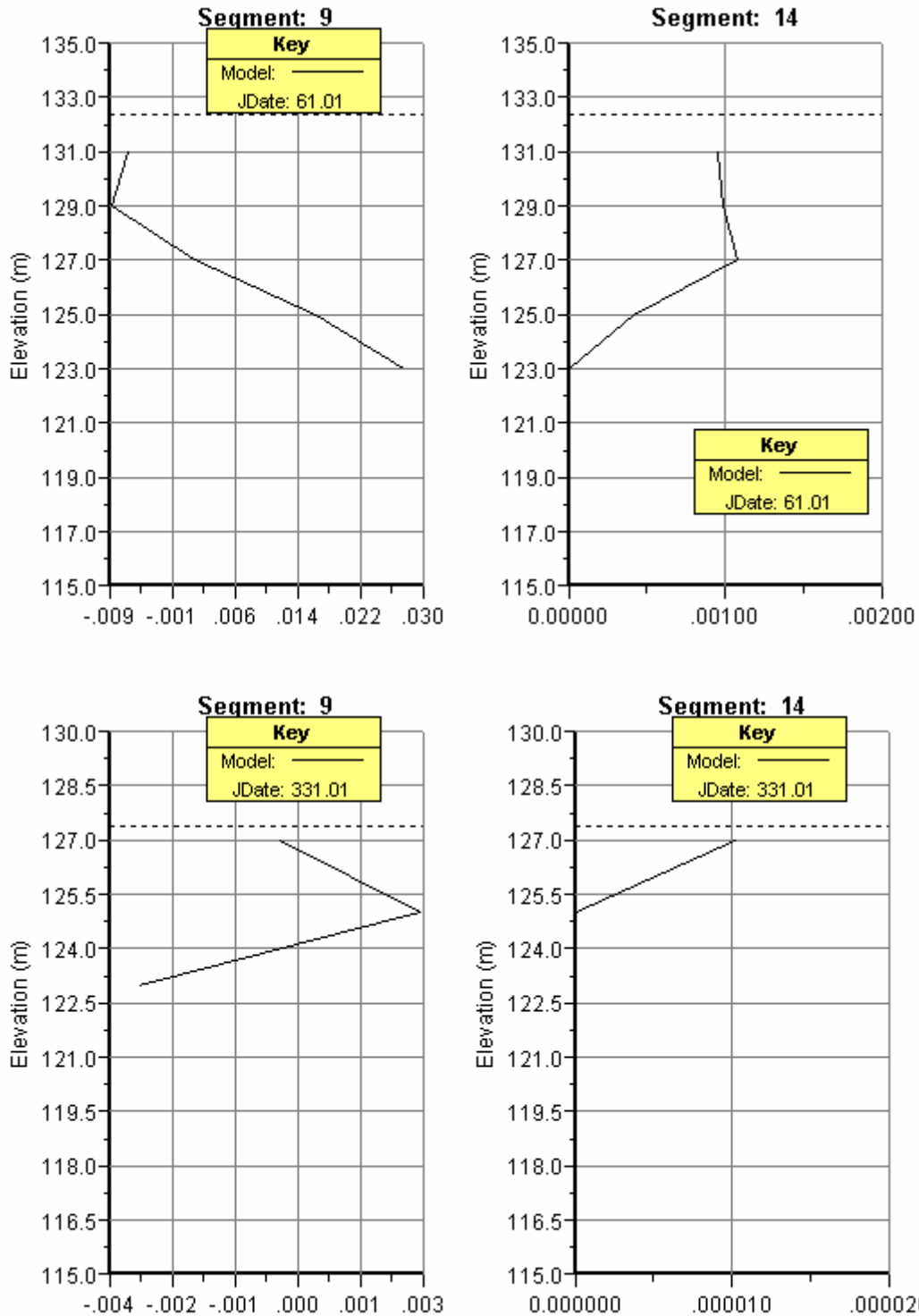


Figura 103– Perfis de velocidade horizontal na albufeira de Barras. Em cima à esquerda perfil no final de Fevereiro a meio da albufeira. Em cima à direita perfil no final de Fevereiro junto à barragem. Em baixo: O mesmo para o final de Novembro. Os valores da velocidade estão em m/s e são positivos no sentido da barragem

## 5.2.2 – Qualidade da Água: Ano Seco

Um dos problemas óbvios relacionados com os transvases prende-se com a mudança do regime de afluições às albufeiras. Por um lado passa a afluir água às albufeiras durante a Primavera e Verão em quantidades muito significativas que trazem em princípio alguns nutrientes. Numa albufeira como a do Alvito, em regime natural (sem transvase), não existem nutrientes no Verão, porque os que lá estavam já foram consumidos e a ausência de afluições não renova o *stock*. Consequentemente a produtividade biológica é praticamente nula no Verão. A introdução de grandes quantidades de água, neste período do ano, ainda que com baixas concentrações de nutrientes vem obviamente alterar o sistema. No Quadro 8 foram apresentados os volumes a ser transferidos em ano seco e as afluições naturais a cada uma das albufeiras. A razão entre os volumes transferidos e as afluições naturais chega a ser de várias ordens de grandeza e portanto é de esperar que a qualidade da água a ser transferida seja um dos factores com mais influência nos cenários futuros na Bacia do Sado.

Já foi referido neste trabalho que a qualidade da água do Alqueva foi objecto de alguns estudos nomeadamente no âmbito do Plano de Ordenamento das albufeiras de Alqueva e Pedrogão (FBO, 2000). Os resultados da aplicação deste mesmo modelo (CE-QUAL-W2) à albufeira do Alqueva mostram que a qualidade da água na captação da Amieira será aceitável para a generalidade dos parâmetros. No entanto existe um parâmetro fundamental que apresenta valores acima do desejável. Efectivamente as concentrações de fosfato são sempre superiores a 250 µg/l a que corresponde uma concentração de fósforo total de 82 µg/l. Quer isto dizer que a concentração de fósforo total será sempre superior a 82 µg/l. O valor limite a partir do qual se considera que uma massa de água entra em eutrofização é 35 µg/l segundo a OCDE. Isto embora segundo a classificação do INAG só para valores superiores a 940 µg/l de fosfato é que a água se pode considerar poluída. O problema fundamental não é tanto as concentrações serem demasiado altas mas antes o facto de o fósforo ser em geral quem determina se uma determinada massa de água está ou não eutrofizada. Havendo fósforo e luz (como acontece na maior parte do ano no Alentejo) em princípio há produtividade biológica podendo desde já antever-se que pelo menos nas albufeiras do início da cadeia (Alvito, Monte Novo, etc.) é bem possível que venham a existir problemas de eutrofização.

Outro factor determinante em todo este processo é o tempo de residência da água nas albufeiras. A Figura 91 mostra os tempos de residência previstos para as diversas albufeiras. Referiu-se anteriormente que as albufeiras podem ser divididas em 3 grupos: tempos de residência da ordem de dias (Álamos, Loureiro e Pisão); tempos de residência da ordem de 1 a 2 meses (Alvito, Monte Novo, Barras e Alfundão); tempos de residência superiores a 3 meses (Odivelas, Vale do Gaio e Roxo). Para as albufeiras do primeiro grupo com tempos de retenção muito pequenos é de esperar que a qualidade da água no seu interior seja idêntica à qualidade da água à entrada. Por outro lado para as albufeiras do terceiro grupo com tempos de retenção muito grandes será de esperar que sejam as menos afectadas do conjunto por duas razões fundamentais: primeiro porque a quantidade de água a ser aduzida será inferior, se não em termos absolutos pelo menos em comparação com a

capacidade da própria albufeira; em segundo lugar porque grande parte dos nutrientes introduzidos no sistema (via albufeira do Alvito) foi entretanto incorporado na biomassa algal. É para as albufeiras do segundo grupo que se prevêem à partida maiores impactes visto que os tempos de residência moderados significacam geralmente grandes volumes aduzidos e portanto posições no encadeamento próximos do Alqueva onde ainda não houve consumo dos nutrientes (é o caso de Monte Novo e Alvito).

A Figura 104 mostra a evolução temporal para um ano seco da biomassa algal à superfície junto aos paredões das diferentes albufeiras. O que se acabou de dizer é perfeitamente claro nessa figura. Duma forma geral todas as albufeiras (à excepção de Álamos e Loureiro) apresentam uma distribuição temporal típica de ambientes eutrofizados com *blooms* intensos e longos. Para 5 (Alvito, Barras, Alfundão, Pisão e Monte Novo) das 10 albufeiras consideradas as concentrações de fitoplâncton são superiores a 3 mg C/l (aproximadamente 50 µg Chl-a/l) durante cerca de 6 meses (entre o final de Março e o final de Setembro). Para as restantes 3 albufeiras (Vale do Gaio, Roxo e Odivelas) os resultados indicam situações muito próximas do que se tem actualmente. A Figura 108 mostra uma comparação entre as séries temporais de biomassa algal num cenário de transvase e um ano com baixa produtividade com é o caso de 1990. Na Figura 109 mostra-se uma comparação idêntica para o ano de 1996 que foi um ano de alta produtividade.

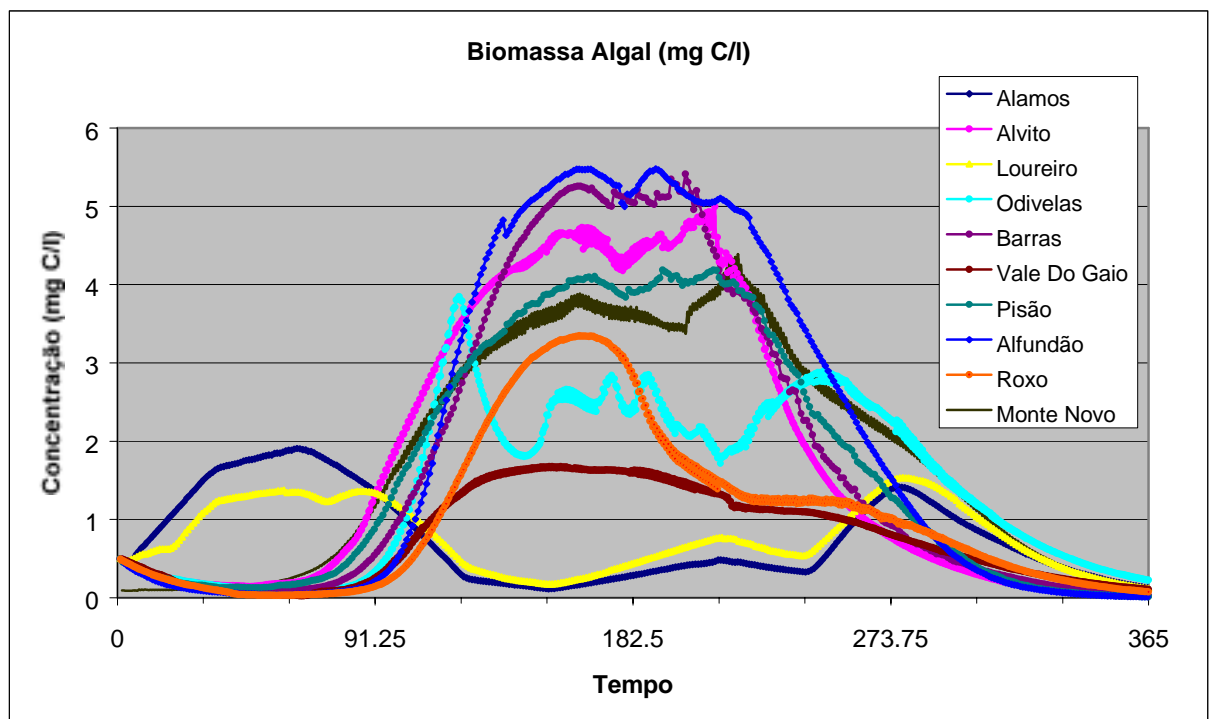


Figura 104 – Séries temporais de biomassa algal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras.

A Figura 104 mostra evolução do nitrato para as diferentes albufeiras nos mesmos pontos. É possível verificar que os valores decrescem significativamente entre a albufeira de Álamos (no início do sistema) e as albufeiras que se encontram no outro extremo da cadeia (Roxo, Odivelas, Vale do Gaio e Alfundão) o que significa que no que diz respeito a este parâmetro a qualidade da água vai melhorando. As outras conclusões importantes que se podem tirar desta figura são que: Os valores estão sempre abaixo do limite a partir do qual a água pode ser considerada poluída (25 mg/l); não se observa em nenhuma altura do ano valores de concentração de nitrato muito baixos o que significa que o azoto dificilmente será um factor limitante para a produtividade biológica. A Figura 110 mostra a comparação entre o simulado para o ano de 1996 e o cenário de transvase. Exceptuando Vale do Gaio é evidente que existe um aumento dos valores do nitrato em todas as albufeiras. Em particular isso acontece para o Alvito e Odivelas onde por exemplo em 1996 a partir do Verão as concentrações de nitrato foram muito baixas.

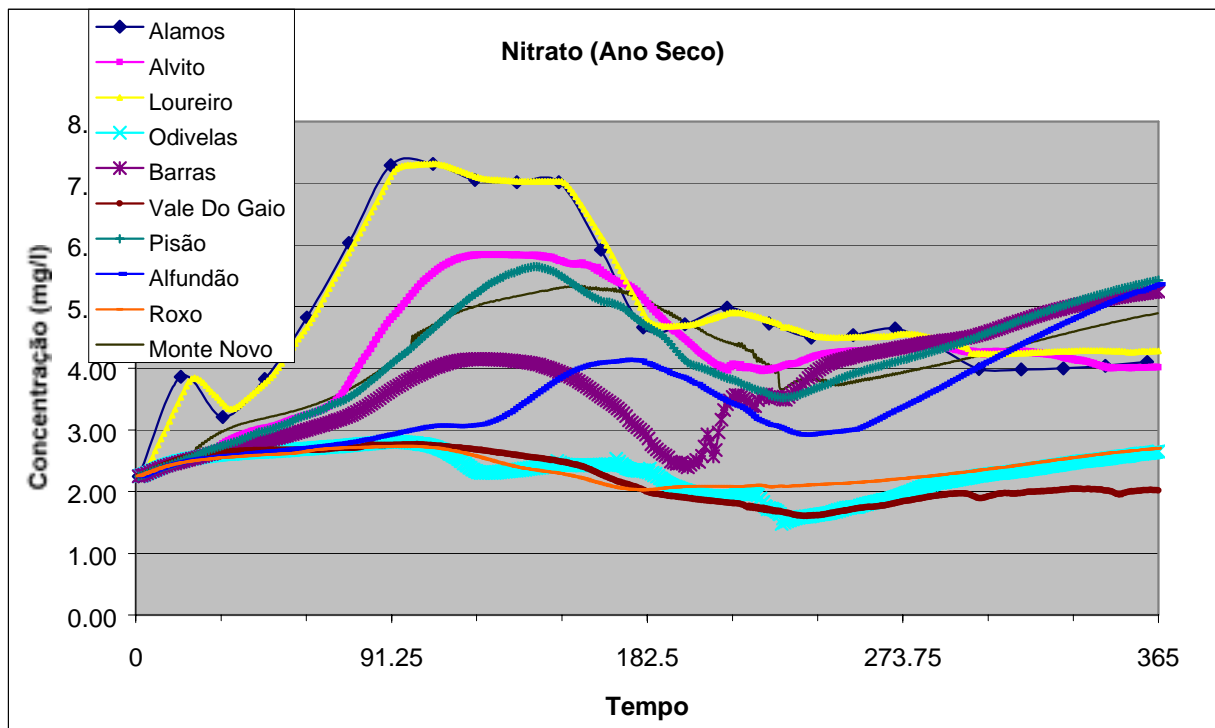


Figura 105 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

O que foi dito para o nitrato em termos de diminuição das concentrações na albufeiras que se encontram na extremidade da cadeia (Odivelas, Vale do Gaio, etc.) é válido para o fosfato. Os valores são sempre inferiores ao estabelecido pelo INAG para que se possa considerar a água como poluída (0.95 mg/l) mas em várias albufeiras estão acima dos 35 µg/l de fósforo total estabelecidos pela OCDE como limite a partir do qual o sistema se pode considerar eutrofizado. Mais uma vez se constata também que em todas as albufeiras haverá sempre fosfato suficiente durante o Verão para que ocorra produção primária. Este facto conjugado com a simultânea disponibilidade de

azoto conduz aos *blooms* de algas muito longos que foram anteriormente descritos. A Figura 111 mostra uma comparação entre um cenário de ano seco e o ano de 1990. Pode verificar-se que exceptuando o Alvito os valores são da mesma ordem de grandeza assim como o padrão de evolução temporal. Já em 1996 (ver Figura 112) os valores de concentração de fosfato são em geral superiores ao que se espera no futuro (deve notar-se que neste ano em particular foi o azoto e não o fósforo quem funcionou como factor limitante para a produção primária).

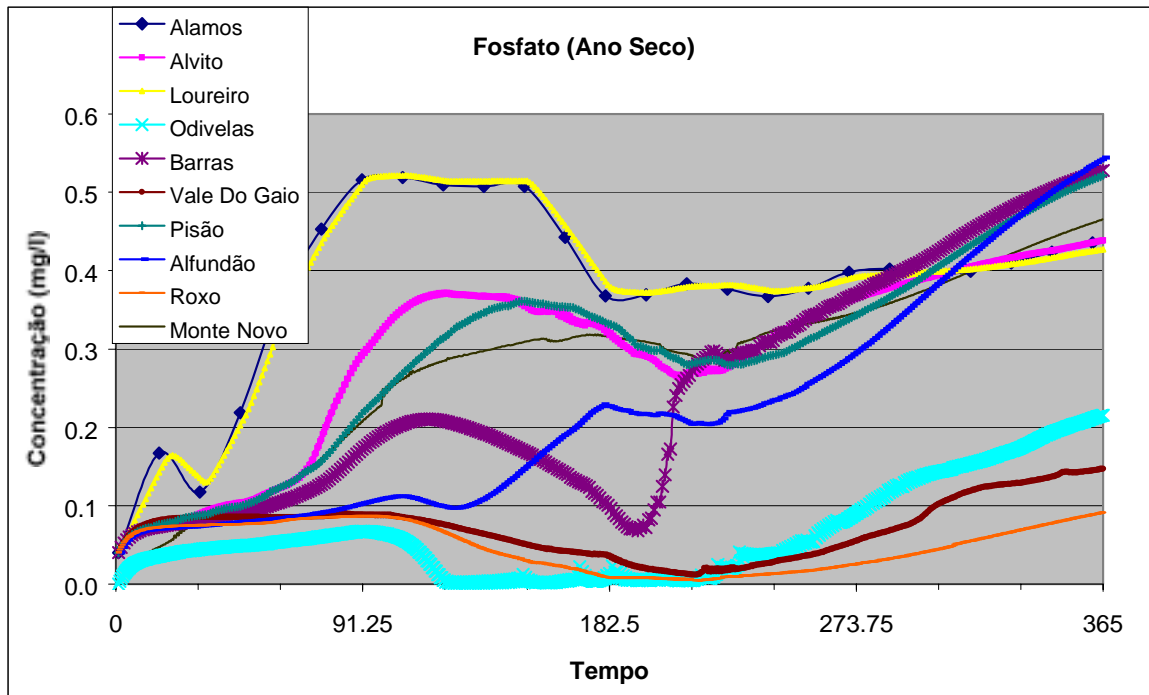


Figura 106 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

O azoto amoniacal segue a evolução temporal do fitoplâncton ( ver Figura 107). Os valores que se obtiveram na simulação são sempre inferiores ao valor limite estabelecido pelo INAG como sendo o limite inferior para que a água possa ser considerada poluída quanto a este descritor. Na Figura 113 comparam-se os valores obtidos para 1996 e para o cenário de transvase em ano seco, sendo possível verificar que a gama de valores é comparável embora a evolução temporal seja ligeiramente diferente de acordo com a distribuição de fitoplâncton já descrita.

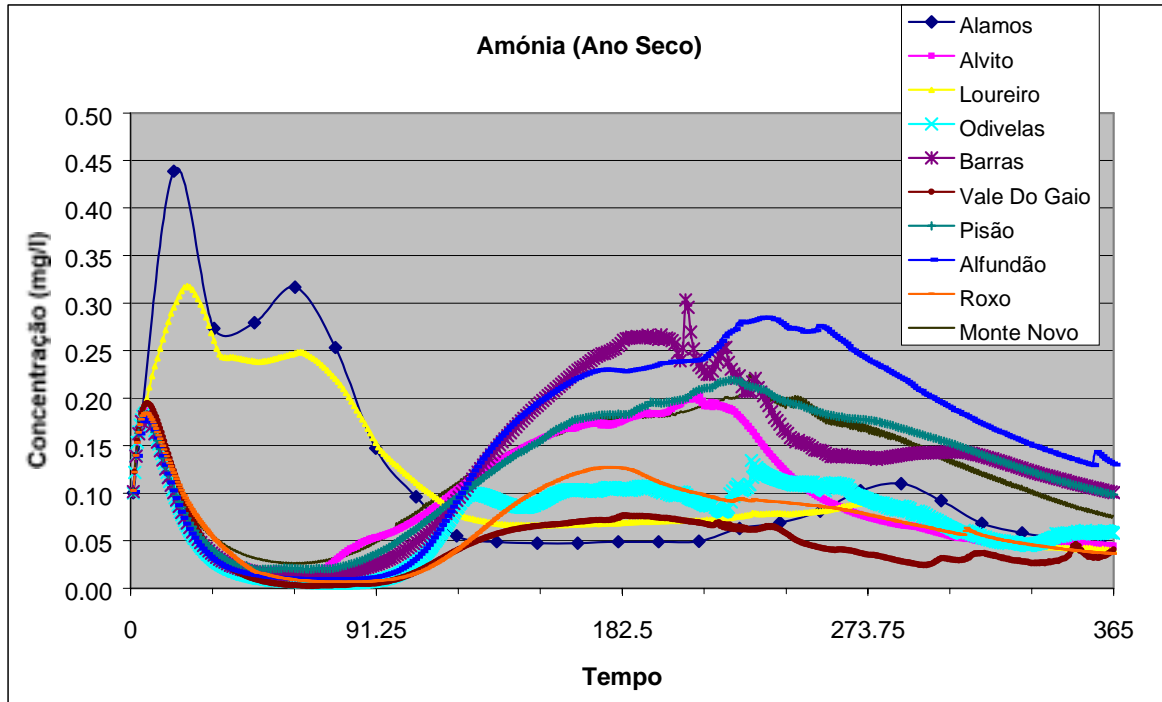


Figura 107 - Séries temporais de azoto amoniaco à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

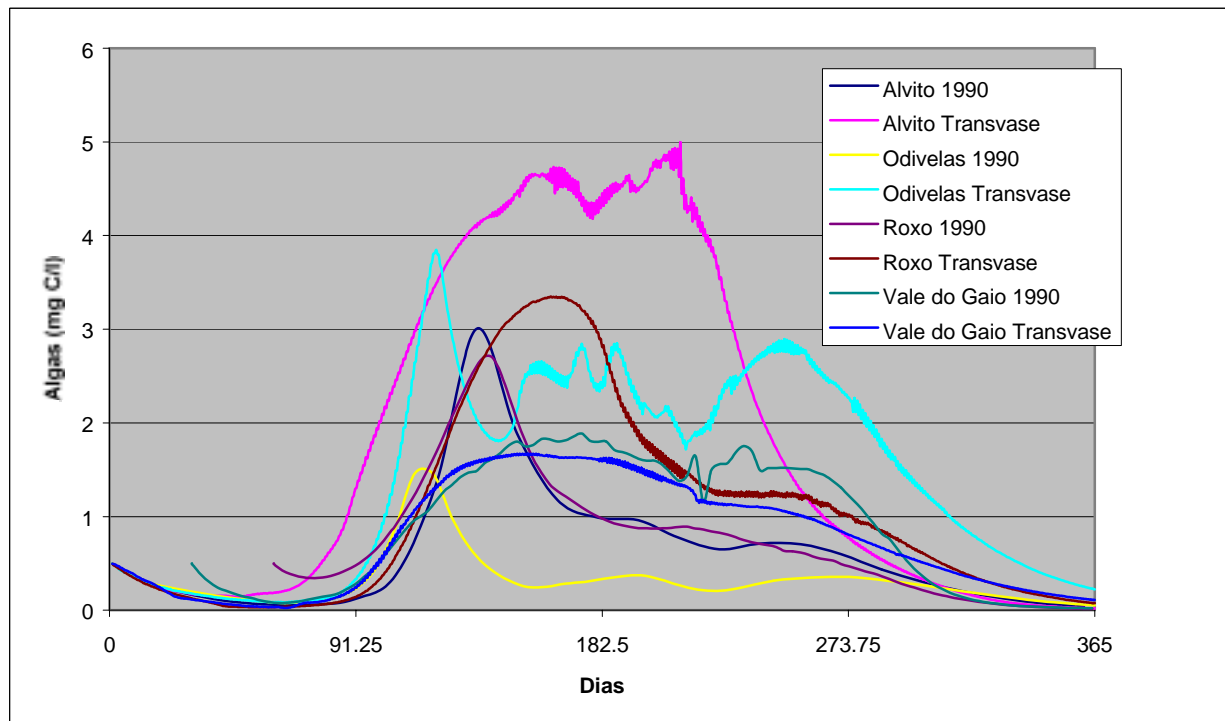


Figura 108 – Comparação da biomassa algal simulada para o ano de 1990 num cenário futuro de ano seco.

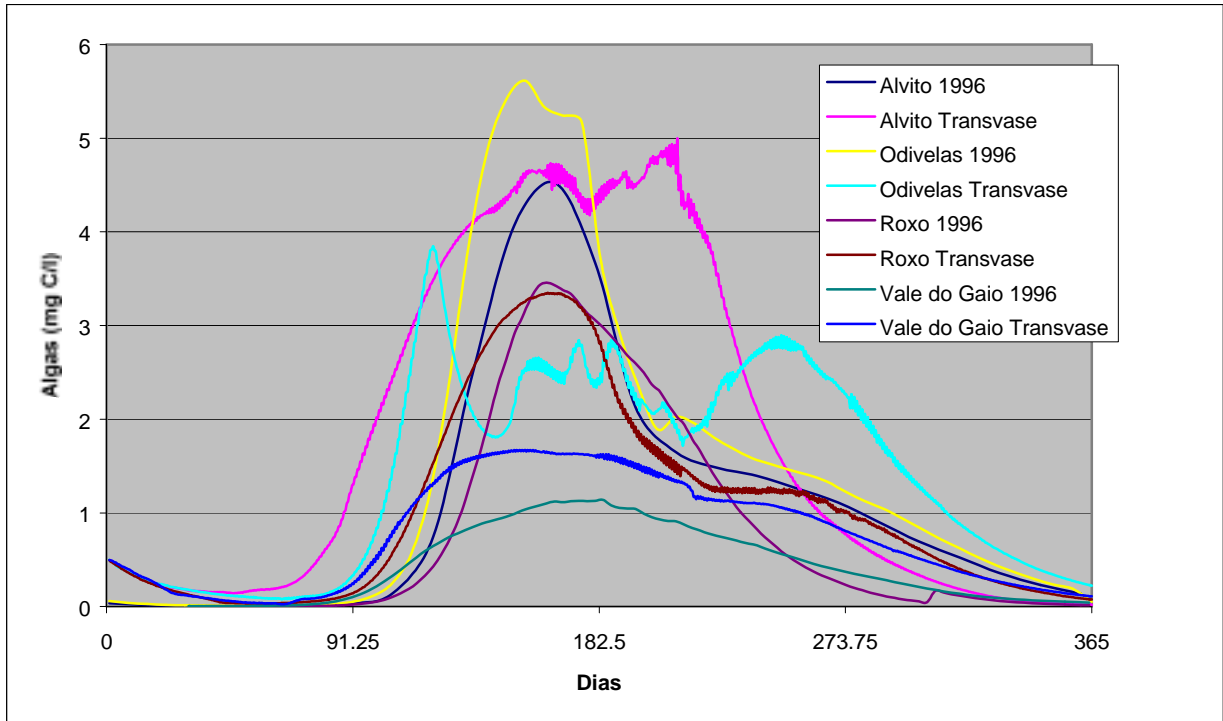


Figura 109 - Comparação da biomassa algal simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.

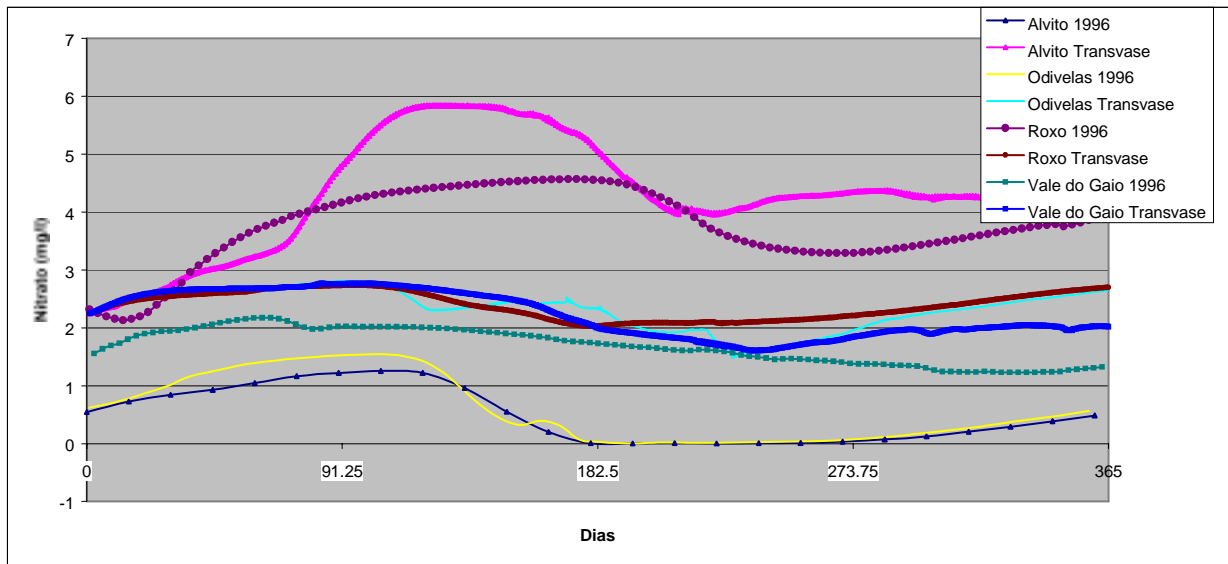


Figura 110 - Comparação da concentração de nitrato simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.



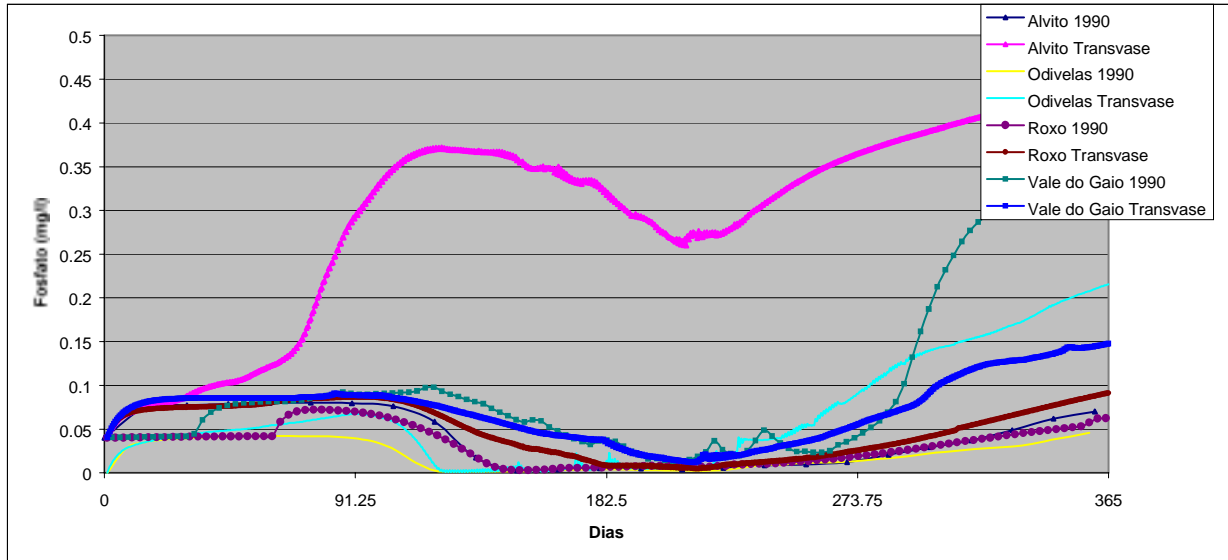


Figura 111 - Comparação da concentração de fosfato simulada para o ano de 1990 num cenário futuro de ano seco.

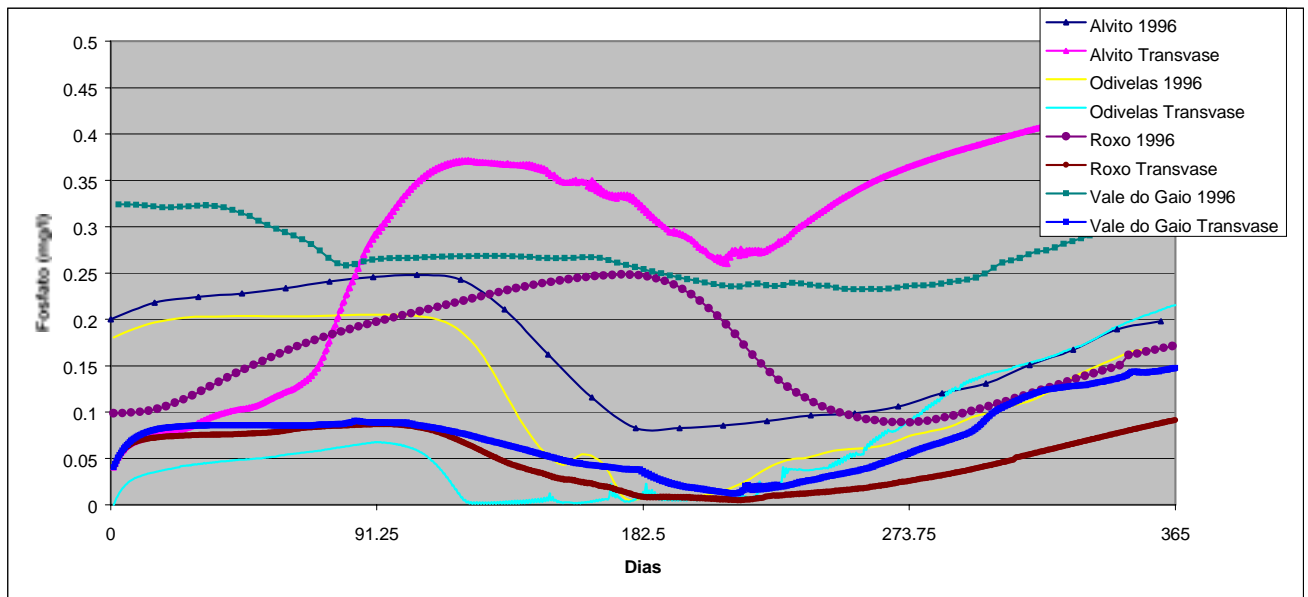


Figura 112 - Comparação da concentração de fosfato simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco..

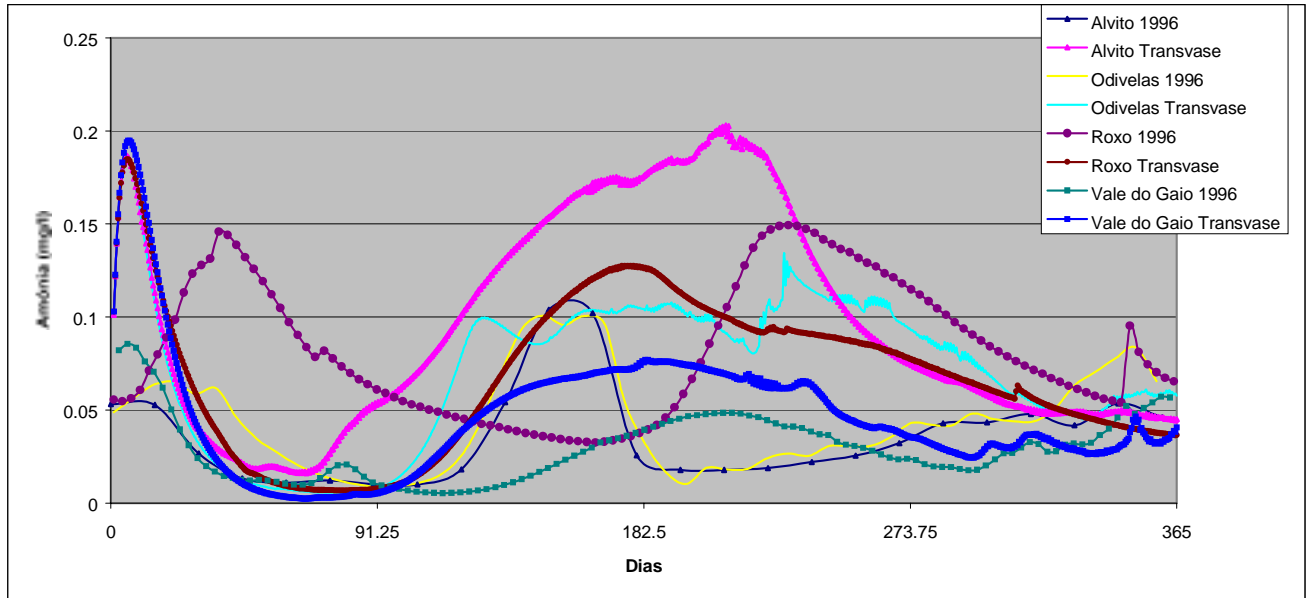


Figura 113 - Comparação da concentração de azoto amoniacal simulada para o ano de 1996 num cenário futuro de ano seco.

### Sódio

Um dos parâmetros que é interessante simular é o ião sódio. Infelizmente não se possuem neste momento estimativas de quais virão a ser as suas concentrações no futuro na albufeira do Alqueva. Assim sendo a única possibilidade que se tem de inferir a sua distribuição nas albufeiras da bacia do Sado é construir cenários eventualmente irrealistas. Os únicos dados, que são utilizáveis no modelo, que foi possível recolher dizem respeito ao final dos anos 80 nas estações de monitorização de Monte da Vinha, Azenha dos Cerieiros e na albufeira de Monte Novo (ver Figura 114). Não foram encontrados dados relativos à bacia do Sado o que torna a avaliação de possíveis impactes extremamente difícil, senão mesmo impossível.

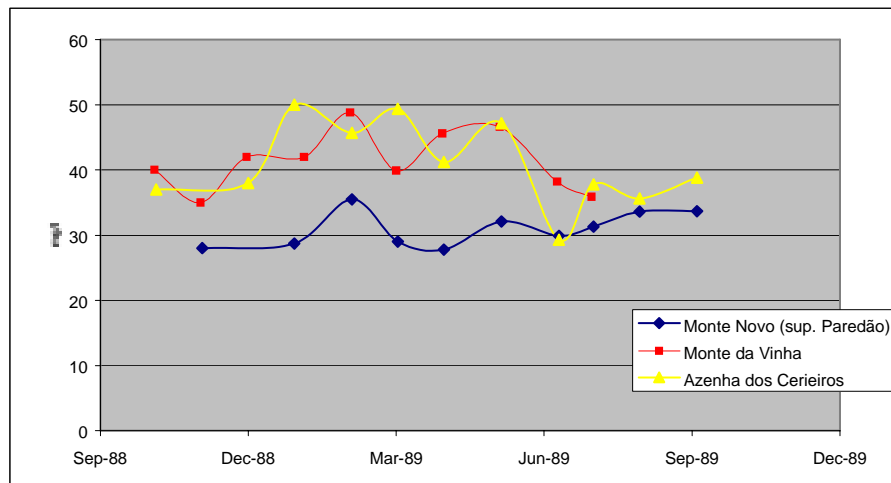


Figura 114 – Séries temporais de concentrações de sódio.

O que é possível verificar é que no rio Guadiana as concentrações de sódio eram nesta altura cerca de 25% superiores às que se observavam na albufeira de Monte Novo. A única possibilidade que se tem de avaliar possíveis impactes do transvase é admitir uma determinada concentração na albufeira do Alqueva e utilizar esse valor como condição de fronteira à entrada da albufeira de Álamos simulando o sistema daí para a frente como se fez para os outros parâmetros de qualidade da água. O único valor de referência que se possui são os dados de Monte Novo daí que apenas tenha significado fazer a simulação para essa albufeira. Na Figura 115 mostram-se resultados dessa simulação que permitem concluir que, se a concentração na albufeira do Alqueva for semelhante à que se observava no rio Guadiana em 1989, então na albufeira de Monte Novo a concentração de sódio terá valores muito semelhantes a esses, o que representa um acréscimo de 25% comparativamente a 1989. Foram feitas outras em outras condições que mostraram que a concentração de sódio será semelhante aquela que se observar no Alqueva. Mais ainda fizeram-se também simulações para o Alvito e Odivelas que mostraram que a prazo os valores serão semelhantes aos do Alqueva também nessas albufeiras.

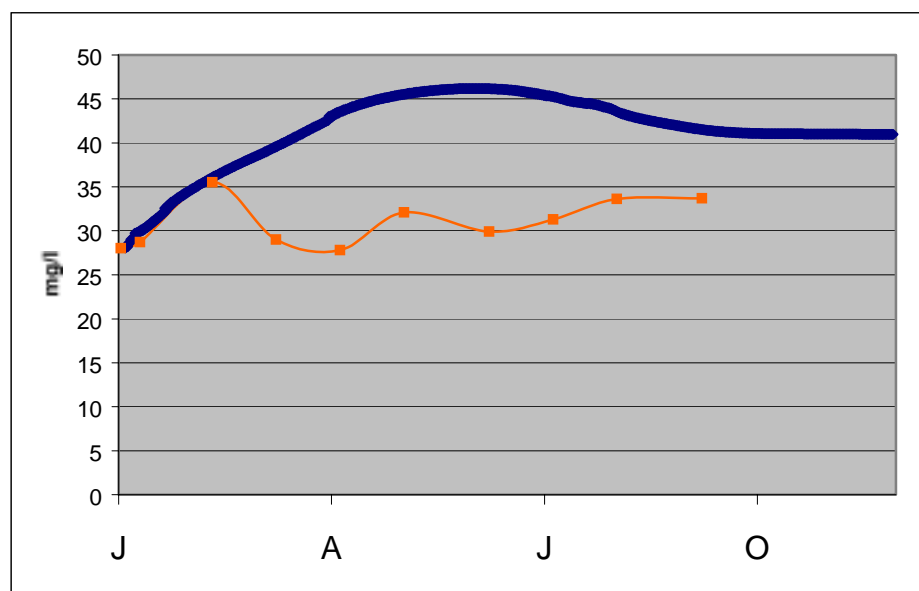


Figura 115 – Séries temporais da concentração do ião sódio à superfície na albufeira de Monte Novo junto ao paredão. A azul são representados os resultados do modelo e laranja os dados referentes a 1989.

### 5.2.2 – Qualidade da Água: Ano Médio

Para a maioria das albufeiras simuladas em ano médio (Vale do Gaio não é simulado) não se registam diferenças significativas nos resultados obtidos. Ainda assim existem algumas albufeiras para as quais as diferenças encontradas devem ser salientadas. Uma das albufeiras onde se verificam grandes diferenças é a albufeira de Barras para a qual por exemplo a concentração de biomassa algal tem uma evolução temporal completamente

diferente apresentando um mínimo relativo no Verão, que é indicador da ocorrência de limitação devida aos nutrientes (ver Figura 116). Também nas albufeiras do Roxo e Odivelas se registam melhorias significativas (em comparação com o ano seco). Os resultados obtidos na albufeira do Roxo são comparáveis com os que se obtiveram para 1990 (um ano de fraca produtividade na albufeira do Roxo) e são em certos aspectos reveladores de uma qualidade da água comparável com o que existia no início da década de 90. Semelhante conclusão se pode tirar para a albufeira de Odivelas. No que diz respeito ao azoto (amónia e nitrato) não se observam grandes diferenças relativamente (ver Figura 117 e Figura 119). Para o fosfato o padrão verificado é muito semelhante ao que tinha para ano seco mas, nas albufeiras já mencionadas de Barras, Roxo e Odivelas os valores da concentração são relativamente baixos no período estival, tendo-se verificado que o fósforo se torna o factor inibidor da produção primária nessas albufeiras. Estas diferenças registadas entre ano seco a ano médio nas albufeiras que se situam mais próximo do rio Sado estão obviamente relacionadas com os menores volumes de água transferidos.

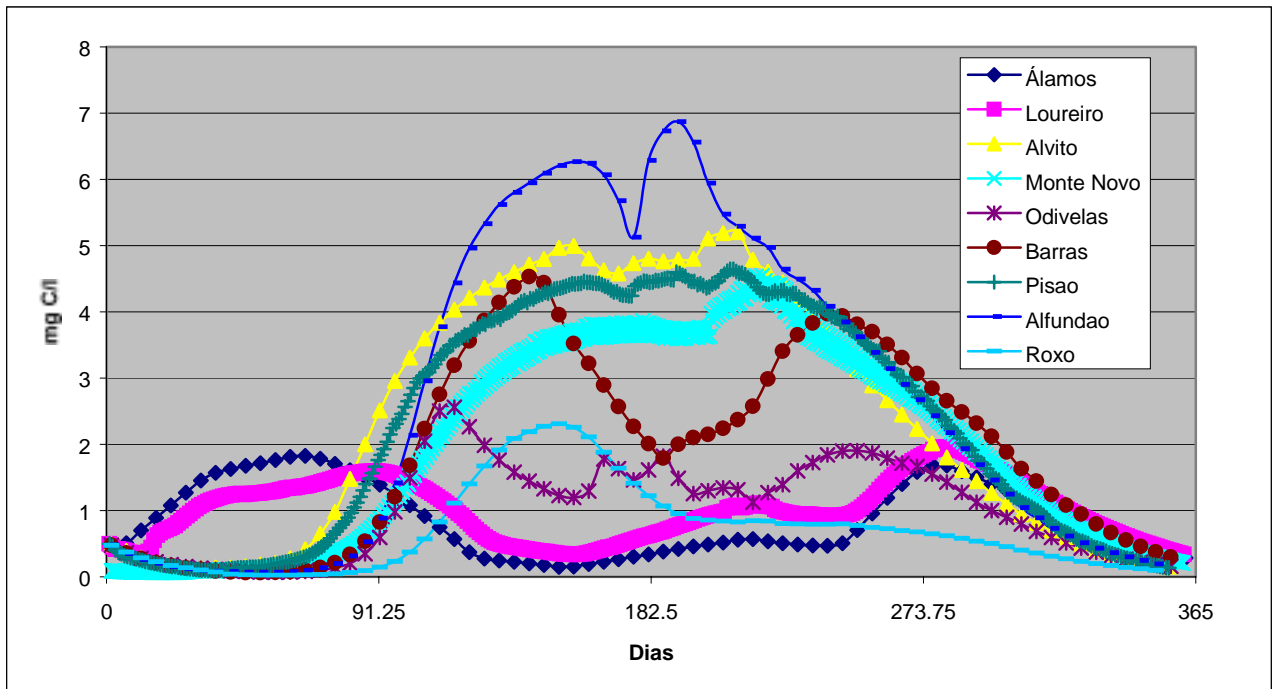


Figura 116 – Séries temporais de biomassa algal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras.

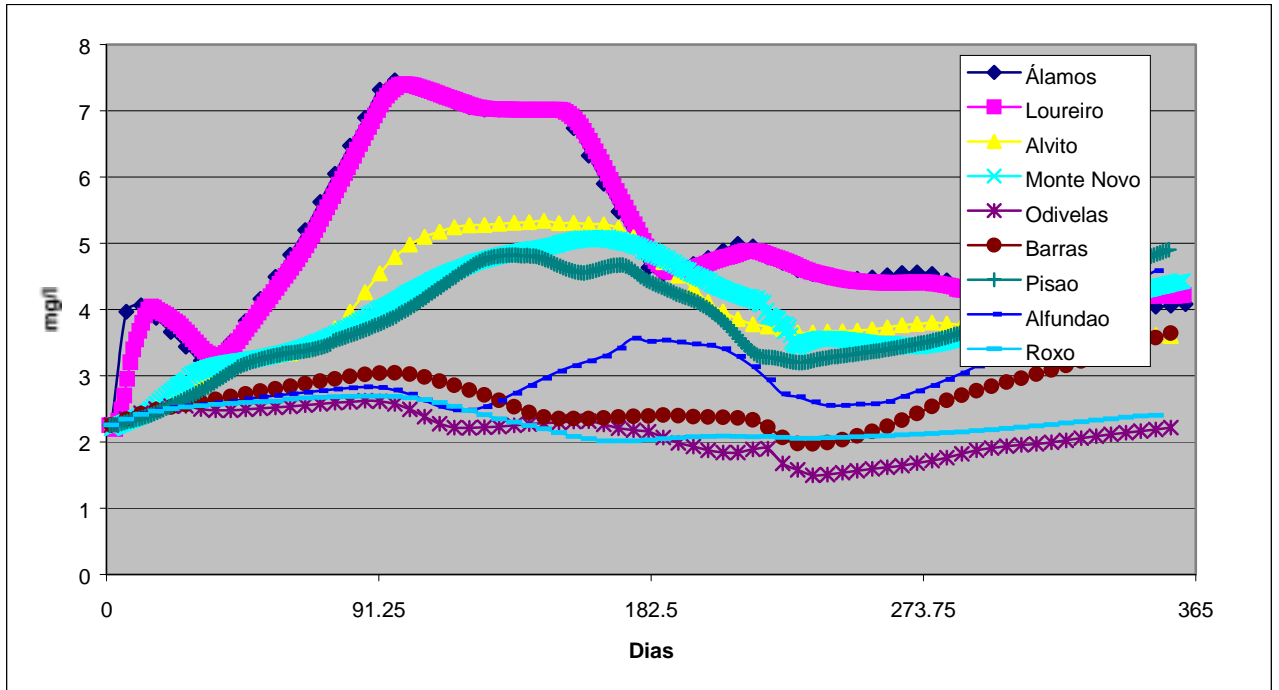


Figura 117 - Séries temporais de nitrato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

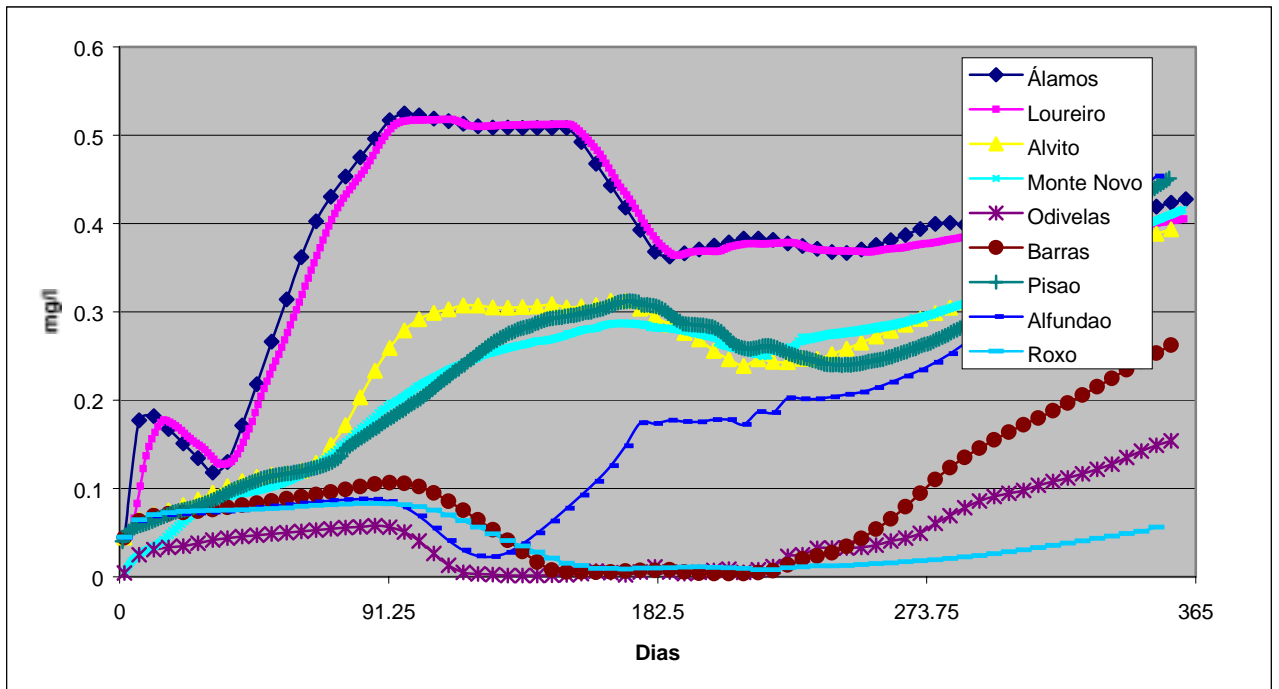


Figura 118 - Séries temporais de fosfato à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

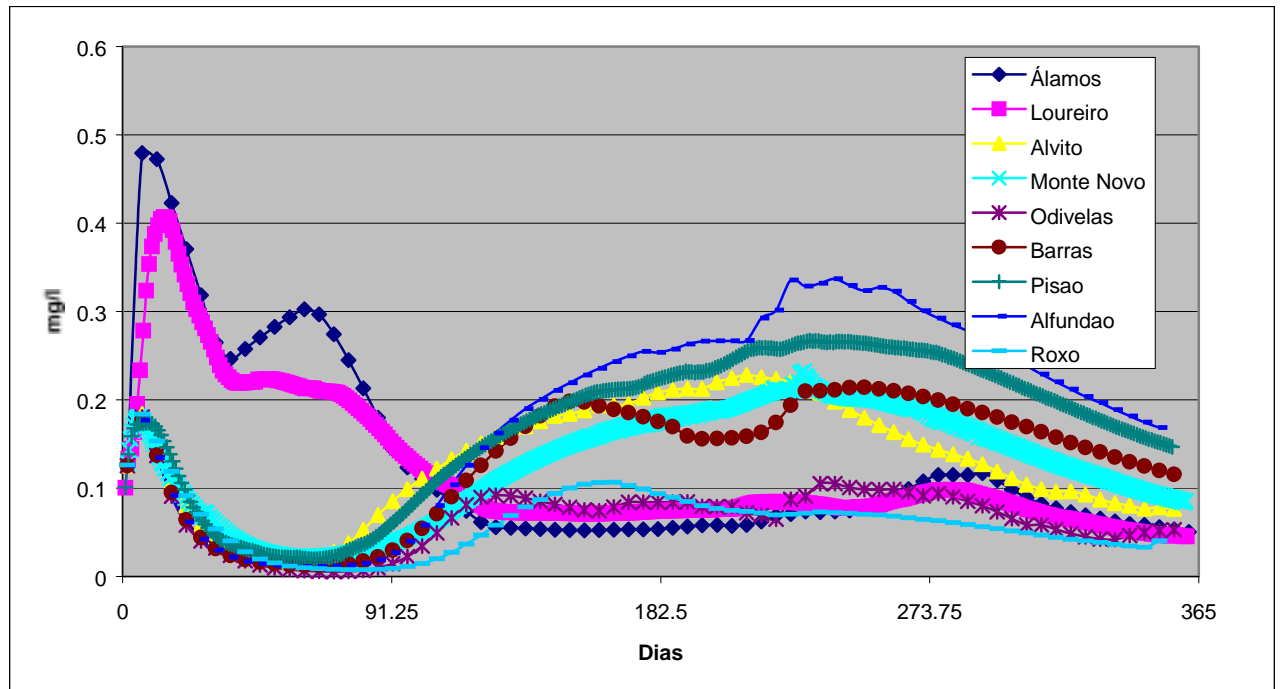


Figura 119 - Séries temporais de azoto amoniacal à superfície junto à captação nas diferentes albufeiras

## 6- AVALIAÇÃO DE IMPACTES NO ESTUÁRIO DO SADO

Neste capítulo analisa-se a influência que os aumentos de caudal e das concentrações de nutrientes na bacia do Sado poderão ter sobre a qualidade da água. Utiliza-se para esse fim o sistema de modelos Mohid2000. O modelo hidrodinâmico foi calibrado e validado utilizando dados de seis marégrafos e catorze correntómetros distribuídos ao longo do estuário. Os dados disponíveis de concentrações dos efluentes, fontes pontuais, fontes difusas e valores na coluna de água não são suficientes para efectuar uma calibração dos modelos de qualidade da água e de produção primária. Apesar disso os resultados obtidos permitem identificar características gerais conhecidas para o estuário como por exemplo as regiões e alturas do ano com maior crescimento de fitoplâncton. Esse facto fornece alguma confiança aos resultados permitindo a sua utilização de uma forma qualitativa. Deste modo foi efectuada uma análise de sensibilidade às consequências do aumento das concentrações do rio.

### 6.1 - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUÁRIO DO SADO

O estuário do Sado possui uma área de aproximadamente 160 Km<sup>2</sup> com um comprimento de 20 Km e uma largura média de 8 Km. A sua profundidade média é de 8 m possuindo uma profundidade máxima da ordem dos 50 m perto da barra como representado na Figura 120. Do ponto de vista

morfológico pode-se dividir o estuário em duas regiões de características distintas: o estuário propriamente dito e o canal de alcácer. A região do estuário propriamente dito apresenta uma topografia complexa com zonas de baixa profundidade e canais de acentuada curvatura. Perto da barra, bancos de areia individualizam um canal Norte e um canal Sul com características hidrodinâmicas diferentes. A zona de montante desta região caracteriza-se por um sapal que ocupa cerca de 1/3 da sua área. A região do canal de Alcácer é constituída por um canal longo e estreito, com uma profundidade média da ordem de 1 m que liga o estuário ao rio Sado.

A cidade de Setúbal com cerca de cem mil habitantes e as intensas actividades portuárias e industriais que se desenvolvem na sua margem Norte são responsáveis por uma grande pressão antropogénica sobre o sistema. A margem Sul é caracterizada por dunas despovoadas, possuindo apenas algumas estruturas turísticas próximo da barra. A região de montante é constituída principalmente por áreas florestais e de cultivo. No seu interior a pesca é ainda uma importante actividade económica a par da aquacultura. A importância económica e natural do estuário justificam o seu estudo aprofundado.

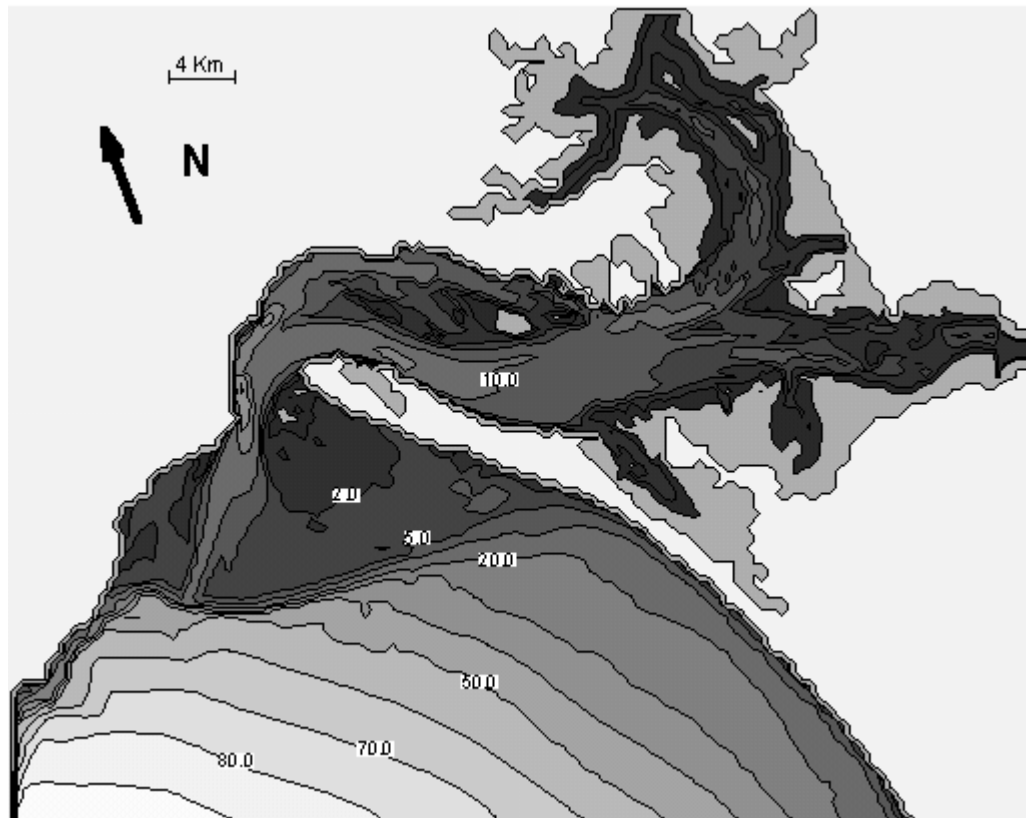


Figura 120 – Batimetria do estuário do Sado

Do ponto de vista hidrodinâmico o escoamento é forçado principalmente pela maré. A maré é do tipo semi-diurno com amplitudes que variam de 1.6 m em

maré viva a 0.6 m em maré morta. A análise harmónica para o marégrafo de Sesimbra indica uma maré de aproximação com carácter acentuadamente semi-diurno e do tipo "enchente dominante"; a intensidade da distorção é no entanto pequena com uma relação  $M_4 / M_2$  entre as amplitudes das constituintes de apenas 0.01. Este valor cresce progressivamente quando se progride para o interior do estuário, reflectindo a geração de constituintes de ordem superior devido a efeitos não lineares. O caudal do rio apresenta uma forte variabilidade com valores médios diários no Verão inferiores a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e valores máximos no Inverno superiores a  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , sendo o valor médio anual de cerca de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  (Cabeçadas, 1993). Os medidas de salinidade e velocidade de Ambar et al., (1980) permitem classificar o estuário como fracamente estratificado segundo o diagrama de Hansen e Rattray.

### *Campos Instantâneos*

Estudos anteriores (Martins et. al., 2001) permitiram caracterizar o campo instantâneo de velocidades e de elevações no estuário. As Figura 121 até Figura 124 apresentam-se os campos de velocidade e de elevação em situação de enchente e de vazante.

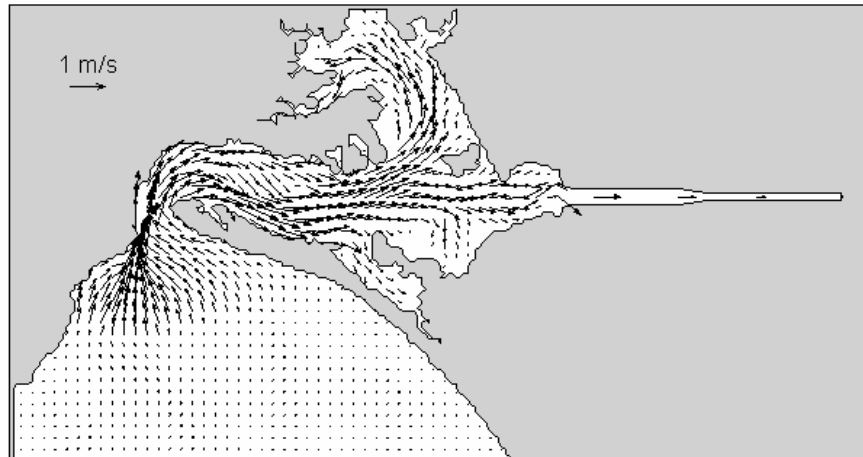


Figura 121 - Campo de velocidades à superfície 11 horas depois da preia-mar.



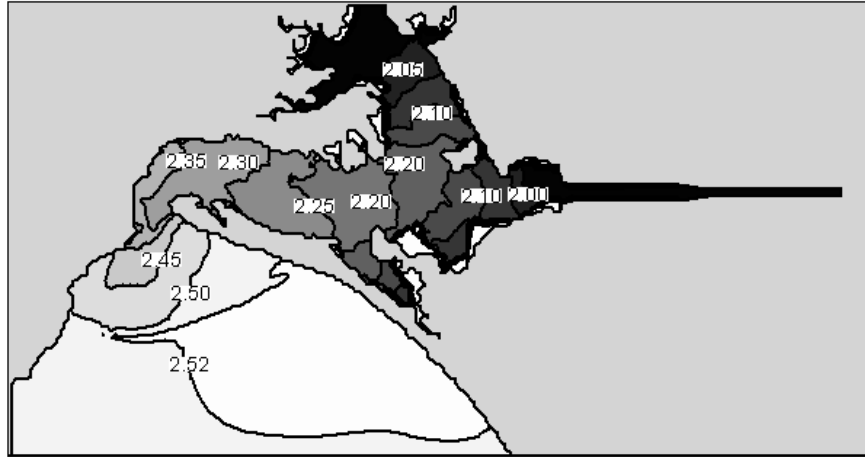


Figura 122 - Campo de elevações 11 horas depois da preia-mar

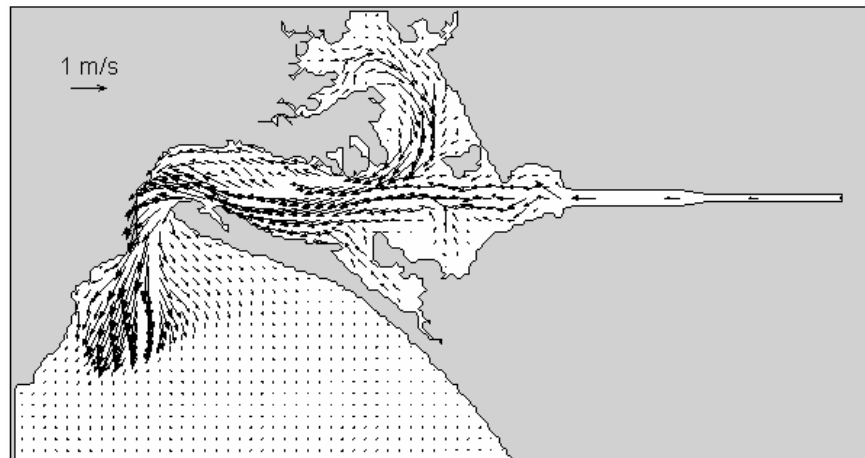


Figura 123 - Campo de velocidades à superfície 5 horas depois da preia-mar.

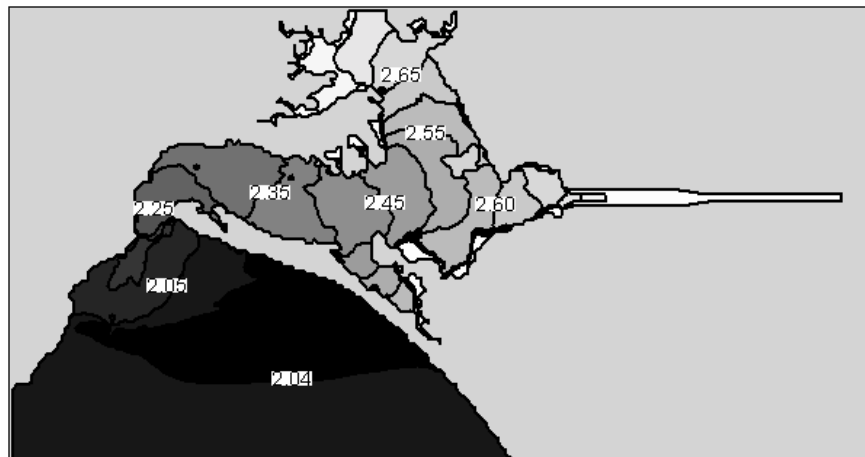


Figura 124 - Campo de elevações 5 horas depois da preia-mar.

O campo de elevações mostra uma atraso da maré superior a meio metro entre o exterior e as regiões mais afastadas do canal da Marateca. Nos campos de velocidade pode-se observar que o escoamento se dá

preferencialmente pelo canal Sul durante a vazante sendo distribuído pelo canal Sul e Norte durante a enchente. Esta característica tem importantes consequências para o transporte na região sendo melhor analisada através dos campos residuais de velocidades.

### *Velocidades Residuais*

Estudos anteriores permitiram também determinar os campos de velocidades residuais através de médias eulerianas. Na Figura 125 apresenta-se o campo de velocidades residuais à superfície para um período maré viva - maré morta.

Este tipo de resultado, permite analisar os padrões de transporte a longo prazo no interior do estuário; tanto para substâncias transportadas na coluna de água, como para sedimentos. Perto da embocadura formam-se dois vórtices residuais que ocupam grande parte da região e condicionam o transporte nessa zona. No interior do estuário o padrão é mais complexo. Entre o canal Norte e Sul forma-se um vórtice residual com sentido anticiclónico que evidencia a preferência do escoamento pelo canal Sul durante a vazante. Desta forma o transporte para o canal Norte não se efectua preferencialmente por montante. Ao invés, as substâncias tendem a percorrer o canal Sul entrando no canal Norte a partir de jusante. Em frente ao canal de Alcácer forma-se um vórtice anticiclónico associado ao vórtice ciclónico no canal da Marateca. Estes vórtices controlam a distribuição do material proveniente do canal sendo o vórtice da Marateca responsável pela distribuição das substâncias nas zonas de sapal da Marateca.

O tempo de residência no estuário foi determinado com o recurso a um modelo de transporte do tipo lagrangeano utilizando traçadores. O tempo de residência médio na região do estuário é da ordem de 2 a 3 dias enquanto que na região do canal de Alcácer é da ordem de 1 a 2 meses.

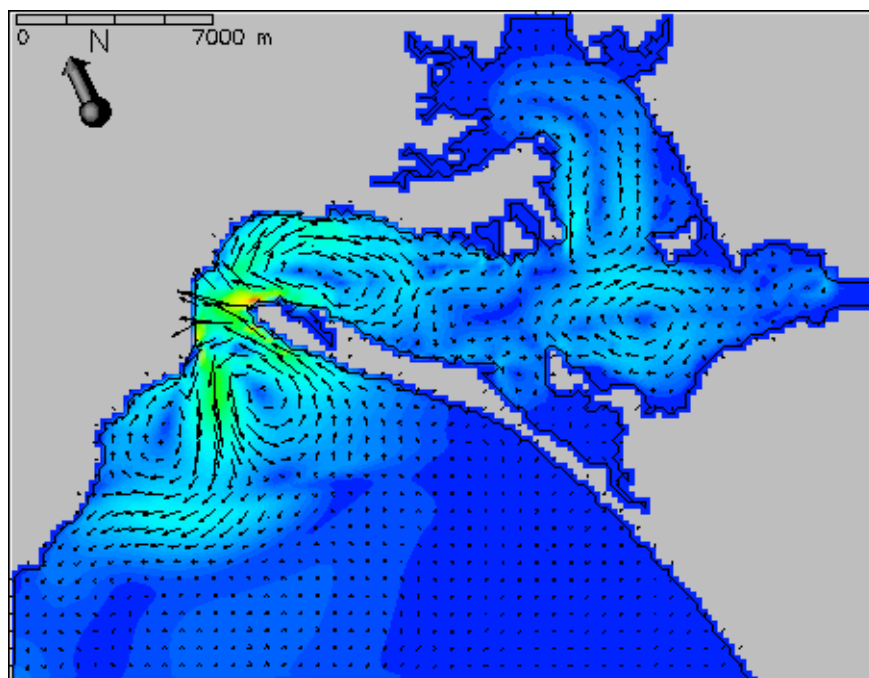


Figura 125 - Campo de velocidades residuais à superfície

## 6.2 - MODELAÇÃO ECOLÓGICA

### 6.2.1 - Condições da Simulação

Para a simulação ecológica e da qualidade da água utilizou-se uma batimetria do Estuário com 60 x 79 pontos e um passo espacial variável entre 400 e 2300 metros.

O forçamento de maré foi obtido por imposição do nível na fronteira aberta. Para isso utilizou-se uma maré M2 típica com 1 metro de amplitude (excursão de maré de 2 metros). A supressão de outras componentes de maré está de acordo com o carácter qualitativo da análise. Este facto permitiu também a utilização de um método de simulação hidrodinâmica mais eficiente do ponto de vista do tempo de cálculo.

As concentrações iniciais das espécies transportadas foram as constantes do Quadro 9. O Rio Sado apresenta um regime de descarga do tipo torrencial com valores médio anuais da ordem dos  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por esse motivo considerou-se para a simulação de referência um caudal de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . No Quadro 10 apresentam-se os valores das concentrações das propriedades introduzidas no estuário através do Rio Sado para a simulação de referência. Não se consideraram outras fontes pontuais nem fontes difusas.

| Propriedade        | Distribuição | Valor(es)                  | Referência                 |
|--------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|
| Sedimentos         | Constante    | 3 mg/l                     | (Cabeçadas, 1993)          |
| Temperatura        | Constante    | 18 °C                      | -                          |
| Salinidade         | Constante    | 36 psu                     | -                          |
| Oxigénio           | Constante    | 8 mgO/l                    | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Zooplâncton        | Por regiões  | 0 - 2E <sup>-4</sup> mgC/l | (Lobo et al., 2000)        |
| Fitoplâncton       | Por regiões  | 0.4 - 0.7 mgC/l            | (Cabeçadas, 1993)          |
| Nitrito            | Constante    | 4.0E <sup>-4</sup> mgN/l   | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Nitrato            | Constante    | 3.0E <sup>-3</sup> mgN/l   | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Amónia             | Constante    | 3.5E <sup>-3</sup> mgN/l   | (Duarte e Henriques, 1991) |
| DNRON <sup>1</sup> | Constante    | 0.05 mgN/l                 | -                          |
| DRON <sup>2</sup>  | Constante    | 0.05 mgN/l                 | -                          |
| PON <sup>3</sup>   | Constante    | 0.01 mgN/l                 | -                          |

Quadro 9 - Distribuição inicial das propriedades transportadas

| Propriedade  | Valor      | Referência                 |
|--------------|------------|----------------------------|
| Sedimentos   | 200.0 mg/l | (Cabeçadas, 1993)          |
| Temperatura  | 18.0 °C    | -                          |
| Salinidade   | 0.0 psu    | -                          |
| Oxigénio     | 8.0 mgO/l  | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Zooplâncton  | 0.0 mgC/l  | (Lobo et al., 2000)        |
| Fitoplâncton | 0.9 mgC/l  | (Cabeçadas, 1993)          |
| Nitrito      | 0.04 mgN/l | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Nitrato      | 3.6 mgN/l  | (Duarte e Henriques, 1991) |
| Amónia       | 0.24 mgN/l | (Duarte e Henriques, 1991) |
| DNRON        | 0.2 mgN/l  | -                          |
| DRON         | 0.0 mgN/l  | -                          |
| PON          | 0.2 mgN/l  | -                          |

Quadro 10- Propriedades introduzidas pelo Rio Sado (Simulação de referência)

Para analisar o impacto das descargas sobre o ecossistema do estuário efectuaram-se simulações de sensibilidade com as condições de fronteira do rio alteradas. A utilização da água proveniente da barragem do Alqueva na

<sup>1</sup> Azoto orgânico dissolvido não refractário.

<sup>2</sup> Azoto orgânico dissolvido refractário.

<sup>3</sup> Azoto orgânico particulado.

bacia hidrográfica do Sado poderá influenciar o Estuário de duas formas diferentes: Devido ao aumento da concentração de nutrientes e fosfatos introduzidos no estuário e devido ao aumento do caudal do rio.

| Propriedade | Simulação referência | Simulação 2x | Simulação 3.5x |
|-------------|----------------------|--------------|----------------|
| Nitrato     | 3.6 mgN/l            | 7.2 mgN/l    | 12.6 mgN/l     |
| Nitrito     | 0.04 mgN/l           | 0.08 mgN/l   | 0.14 mgN/l     |
| Amónia      | 0.24 mgN/l           | 0.48 mgN/l   | 0.84 mgN/l     |

Quadro 11 - Propriedades introduzidas pelo Rio Sado (análise de sensibilidade)

O aumento de caudal pode alterar a hidrodinâmica no interior do estuário tanto de forma directa, devido à introdução de momento, como indirectamente devido à alteração da distribuição de salinidade. Este efeito no entanto não se espera ser significativo uma vez que estudos anteriores mostraram que a influência do rio no forçamento hidrodinâmico é pequena, tanto na sua componente barotrópica como baroclínica (Martins et. al., 1998). Neste estudo optou-se por esse motivo por analisar a influência do aumento de nutrientes no estuário mantendo o caudal de referência. Consideraram-se duas simulações com as concentrações de azoto inorgânico aumentadas respectivamente para o dobro e para 3,5 vezes os seus valores de referência. As concentrações utilizadas são as constantes do Quadro 11. Os restantes valores mantiveram-se iguais aos da simulação de referência.

## 6.2.2 - RESULTADOS

Para a simulação de qualidade da água do sistema estuarino torna-se necessário efectuar simulações com um período de vários anos. Este período de simulação levanta problemas para o cálculo da hidrodinâmica uma vez que o esforço computacional necessário para esse cálculo é muito elevado. Para contornar o problema utilizou-se uma metodologia de simulação ecológica com utilização de campos prognósticos das variáveis hidrodinâmicas. Nesta metodologia o cálculo hidrodinâmico é efectuado para um período representativo da hidrodinâmica (neste caso 10 ciclos de maré) e os campos hidrodinâmicos obtidos são posteriormente utilizados para a simulação ecológica. Com esta técnica torna-se possível a simulação de um domínio como o utilizado no Estuário do Sado por um período de 3 anos em menos de um dia. Efectuaram-se assim simulações com um período de 3 anos. Nos resultados obtidos verificou-se que o primeiro ano de simulação comportou-se como um ano de estabilização, não devendo por isso ser considerado. Os outros dois anos apresentaram comportamentos praticamente idênticos. Esta replicação dos resultados é esperada uma vez que nenhum forçamento possui variabilidade interanual. Garante-se desta forma que os processos simulados se encontram estabilizados. Nos resultados seguintes apresenta-se apenas um ano de simulação estabilizada.

### Simulação de Referência

Para a simulação de referência utilizaram-se valores extraídos da literatura tendo-se efectuado uma calibração preliminar e qualitativa do modelo ecológico. Os dados disponíveis não permitem uma calibração completa nem a validação do modelo, sugerindo a necessidade de campanhas de medições. Foram determinadas séries temporais dos valores simulados em pontos representativos do estuário, tendo sido também determinadas médias espaciais. Para essas médias dividiu-se o estuário em sete zonas (caixas) como indicado na Figura 127. Na Figura 126 compara-se a série temporal da concentração média de fitoplâncton na caixa 6 no segundo ano de simulação, com os valores da literatura para pontos na mesma zona (Cabeçadas, 1993). Os valores obtidos apresentam uma elevada variabilidade de alta frequência associada ao ciclo semi-diurno da maré. Calculou-se por isso o valor médio, utilizando médias móveis com uma amostragem de 50 horas.

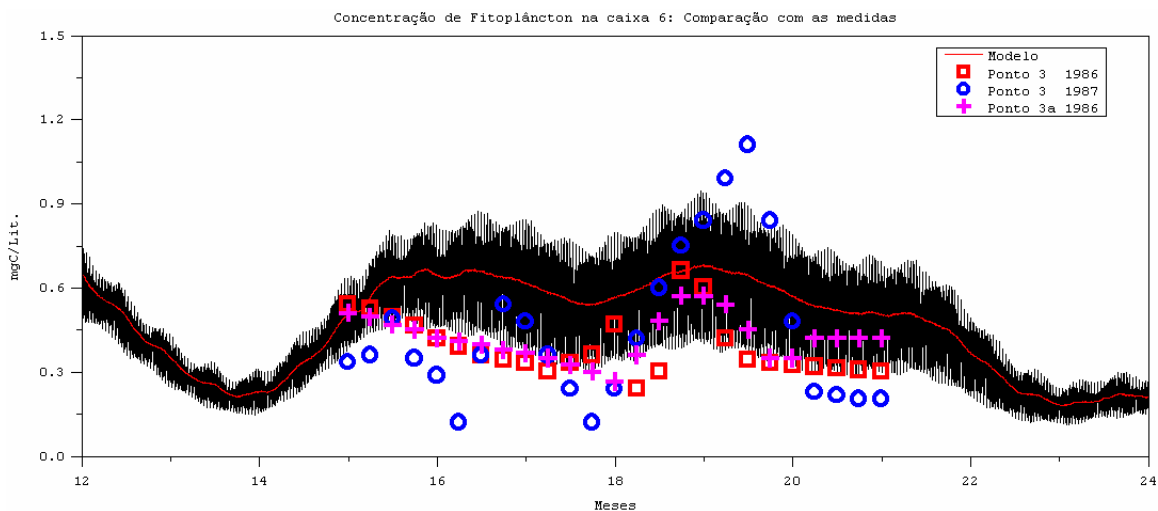


Figura 126 - Comparação da evolução temporal de fitoplâncton na caixa 6 com as medidas.

Apesar das condições iniciais e fronteira utilizadas na simulação serem condições médias e por isso não estarem directamente relacionadas com as condições nos anos das campanhas, os resultados obtidos são qualitativamente semelhantes aos valores das medidas. Isto verifica-se relativamente à sua ordem de grandeza e também relativamente ao seu comportamento anual, sendo possível detectar os “blooms” de Primavera e de fim de Verão nos instantes correctos.

Os bons resultados obtidos nesta comparação fornecem alguma segurança quanto à qualidade das simulações, no entanto a falta de dados experimentais permite apenas uma análise qualitativa dos resultados.

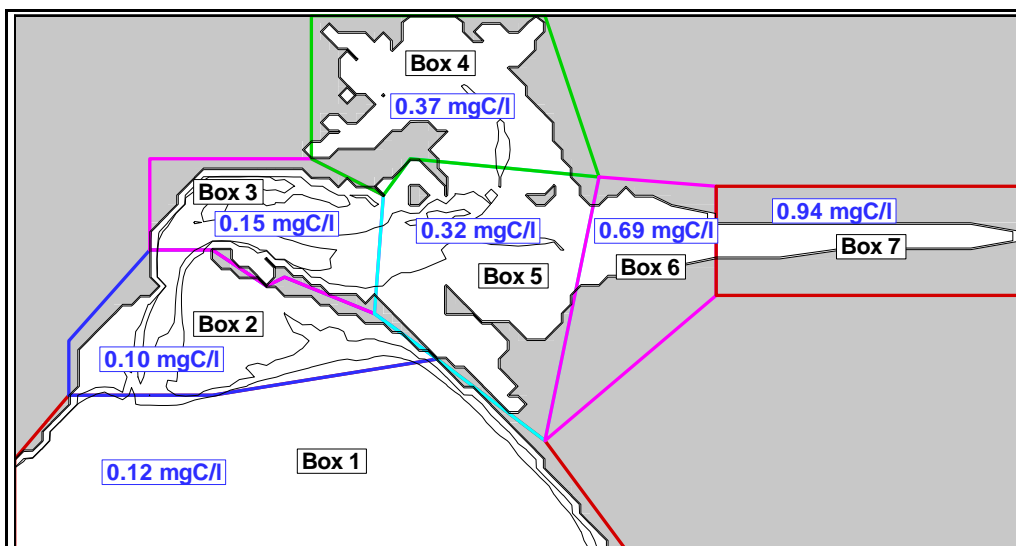


Figura 127 - Concentração média anual de fitoplâncton para as condições de referência.

Os valores médios anuais das propriedades nas diversas regiões do estuário permitem caracterizar a sua natureza do ponto de vista da produção e do transporte. Na Figura 127 representam-se as médias anuais da concentração de fitoplâncton nas seis caixas definidas.

As maiores concentrações ocorrem na caixa 7 que coincide com o Canal de Alcácer e na caixa 6 na zona de ligação ao estuário propriamente dito. As concentrações destas duas zonas são uma a duas ordens de grandeza superiores às encontradas no resto do estuário. Estes resultados são confirmados pela literatura (Coutinho, 1994). De acordo com alguns autores (Anderson, 1986), (Mallin et. al., 1991) estes valores são típicos de estuários medianamente produtivos, sem problemas de eutrofização generalizada.

Os valores totais anuais das trocas entre caixas foram também calculados. Para esse cálculo integraram-se os fluxos instantâneos das propriedades entre as células das caixas adjacentes. Estes fluxos representam o transporte efectivo entre as caixas uma vez que englobam tanto a componente convectiva como a difusiva. Na Figura 128 representam-se os valores totais de fitoplâncton trocados entre caixas para um ano típico.

Visto que o fitoplâncton se comporta como uma grandeza não conservativa a análise conjunta das concentrações médias e dos fluxos entre caixas permite extrair conclusões sobre os locais de maior produção, o transporte e os locais de maior mortalidade. Assim as regiões de maior produtividade podem ser associadas às caixas 6 e 7. O fitoplâncton aí produzido é exportado para o resto do estuário. As trocas totais anuais entre a caixa 2 e a caixa 3 apresentam um sentido de jusante para montante parecendo indicar que na zona perto da barra (caixa 3) a mortalidade média anual é superior à produção. Deve-se notar que a componente convectiva do transporte desempenha um papel importante nestes fluxos. Para o caso dos valores totais anuais, o campo convectivo que se deve analisar é o das velocidades residuais, como apresentado na Figura 125. Pode-se observar que na região da barra forma-se uma separação entre o vórtice residual exterior ao estuário e o vórtice residual que se desenvolve no interior do estuário, com um

escoamento para montante junto à península de Tróia. Este escoamento, conjuntamente com a elevada mortalidade na caixa 3 explicam a direcção para montante do fluxo total anual nessa zona.

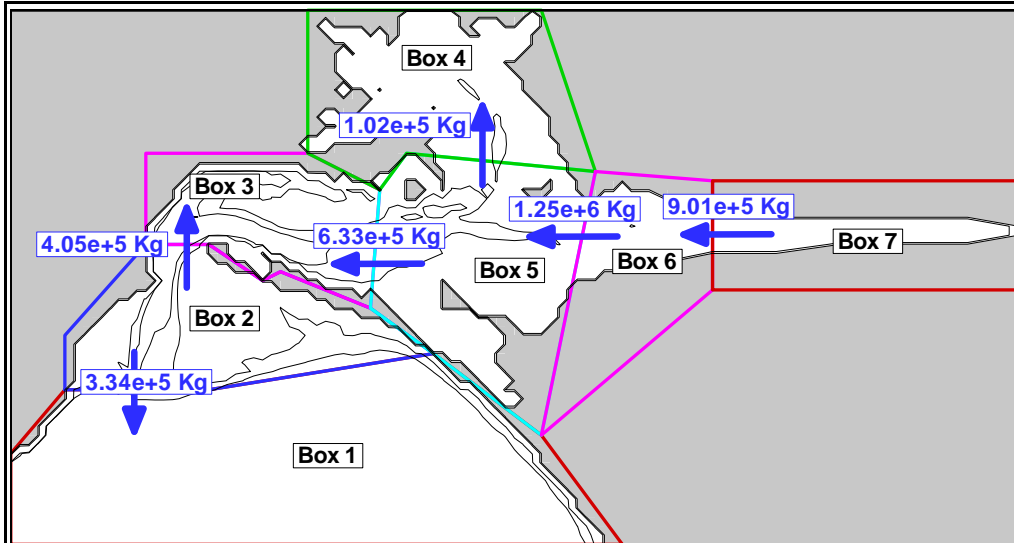


Figura 128 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a situação de referência

#### *Análise de Sensibilidade*

Utilizando as condições fronteira do rio anteriormente apresentadas efectuaram-se duas simulações para analisar a sensibilidade do estuário ao aumento da carga de nutrientes. Na Figura 129 e na Figura 130 apresentam-se os valores das concentrações médias anuais de fitoplâncton para as duas simulações.

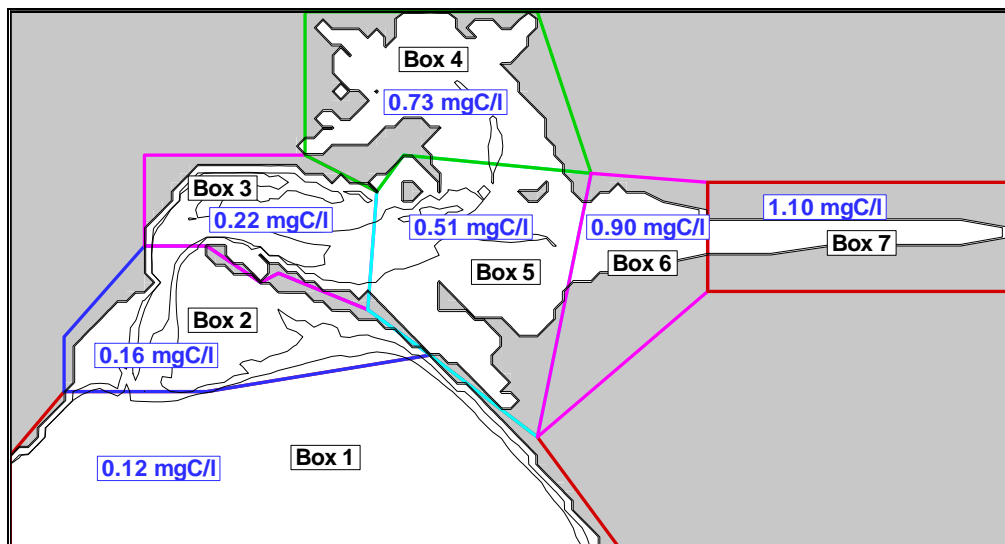


Figura 129 - Concentração média anual de fitoplâncton para a simulação 2x.



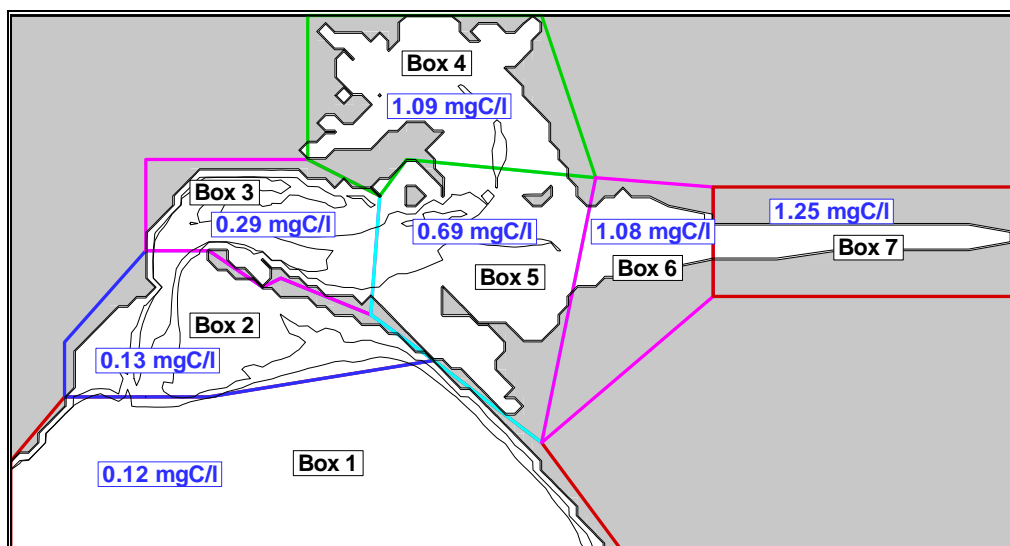


Figura 130 - Concentração média anual de fitoplâncton para a simulação 3,5x.

Verifica-se que nas caixas 6 e 7 onde a produção era já elevada os aumentos de concentração são pequenos. A região de jusante do estuário (caixas 3, 4 e 5) apresenta uma maior sensibilidade ao aumento da carga de nutrientes com aumentos de concentração significativos. Neste contexto a região do Canal da Marateca (caixa 4) é a mais sensível com aumentos de concentração relativamente à simulação de referência de 97% e 195% para as simulações 2x e 3,5x respectivamente. A região inferior do estuário (caixas 3 e 5) apresenta uma sensibilidade inferior. No Quadro 12 encontram-se calculadas as variações percentuais relativamente à simulação de referência, da concentração média anual de fitoplâncton para todas as caixas.

|            | Caixa 1 | Caixa 2 | Caixa 3 | Caixa 4 | Caixa 5 | Caixa 6 | Caixa 7 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Referência | 0%      | 0%      | 0%      | 0%      | 0%      | 0%      | 0%      |
| 2X         | 0%      | 60%     | 47%     | 97%     | 59%     | 30%     | 17%     |
| 3,5X       | 0%      | 30%     | 93%     | 195%    | 116%    | 57%     | 33%     |

Quadro 12 - Variações percentuais da concentração média anual de fitoplâncton.

Foram também calculados os valores das trocas totais anuais de fitoplâncton entre as caixas para as simulações de análise de sensibilidade. Na Figura 131 e na Figura 132 apresentam-se esses valores.

Como se pode observar, as trocas entre as regiões de montante (caixas 6 e 7) e o resto do estuário diminuíram. Isto indica uma maior produção no estuário inferior. O mesmo se verifica para as trocas entre as caixas 4 e 5. Nesse caso a direcção das trocas totais inclusivamente mudou de direcção, comportando-se agora a região do Canal da Marateca como exportadora de fitoplâncton. O aumento de produtividade no interior do estuário inverteu também o sentido das trocas na região da barra, entre as caixas 2 e 3, e aumentou a exportação para a plataforma adjacente (trocas entre as caixas 1 e 2). Os resultados apresentados parecem sugerir que o estuário possui alguma sensibilidade ao aumento de nutrientes por via fluvial mas que a situação presente não é preocupante e que um aumento moderado de

nutrientes não produzirá uma situação de eutrofização generalizada. Deve-se notar que os valores das concentrações de nutrientes utilizados na análise de sensibilidade são valores excessivamente elevados, não sendo esperados aumentos de concentrações tão elevados.

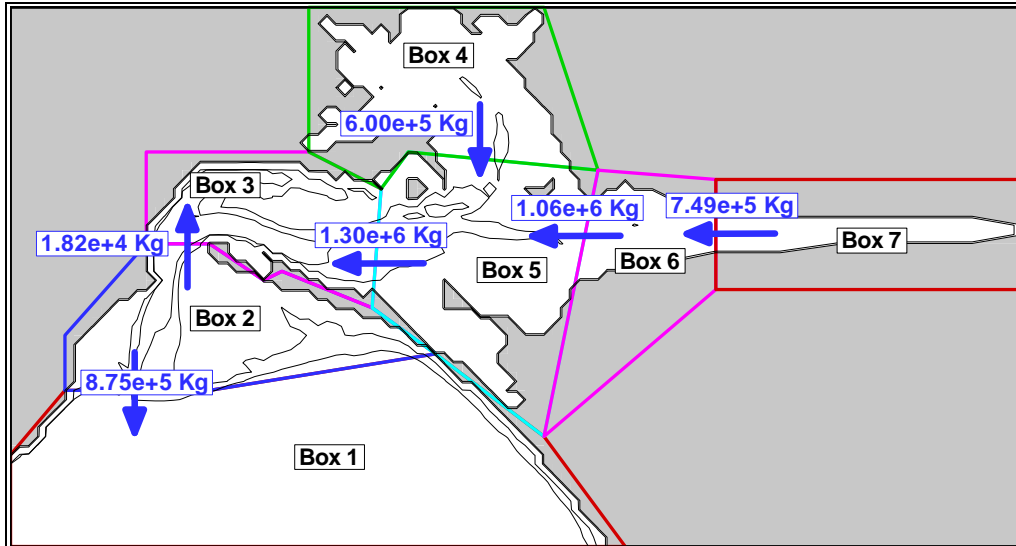


Figura 131 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a simulação 2x.

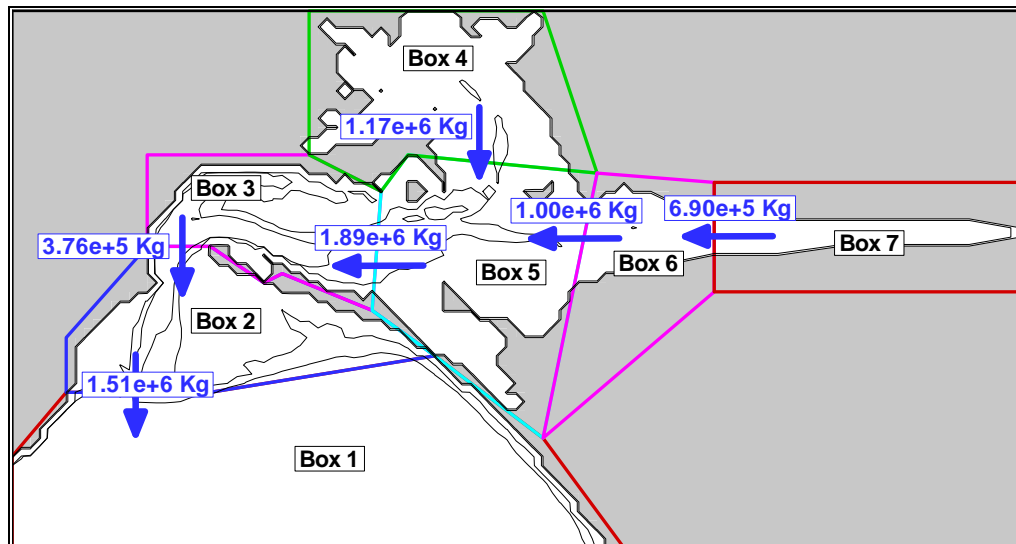


Figura 132 - Transporte total de fitoplâncton entre caixas para a simulação 3,5x.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho caracterizou-se a situação de referência em 4 albufeiras da bacia do Sado (Roxo, Vale do Gaio, Odivelas e Alvito), uma albufeira da bacia do Guadiana (Monte Novo) e no Estuário do Sado. De seguida simularam-se as transferências de água entre a bacia do Guadiana e a bacia do Sado em

cenários de ano seco e ano médio. Os resultados obtidos permitem tirar as seguintes conclusões:

O modelo CE-QUAL-W2 foi aplicado com sucesso para simular o estado de referência nas albufeiras de Monte Novo, Alvito, Vale do Gaio, Odivelas e Roxo. Em particular verificou-se que o modelo foi capaz de reproduzir o *bloom* de Cianofíceas que ocorreu em 1994 na albufeira de Monte Novo. Verificou-se também o modelo consegue simular os principais processos biogeoquímicos que ocorrem nas albufeiras do Alentejo.

O mesmo modelo foi aplicado à simulação de transvases entre a bacia do Guadiana e a bacia do Sado e entre a albufeira do Alqueva e a albufeira de Monte Novo. A principal conclusão que se pode tirar deste estudo dos transvases é que estes vão afectar grande parte da bacia do Sado com especial incidência na albufeira do Alvito. Nesta albufeira e ainda nas novas albufeiras de Pisão, Alfundão e Barras (esta principalmente em ano seco) espera-se a ocorrência de condições favoráveis à eutrofização durante o período de Primavera/Verão. No que diz respeito aos nutrientes e oxigénio dissolvido os valores esperados não se revelam muito elevados. O grande problema é que os transvases incidirão sobre o período estival fornecendo assim nutrientes em quantidade suficiente para que ocorra produção biológica durante toda a Primavera e Verão. Tentou-se também estimar os possíveis aumentos de concentração do ião sódio na bacia do Sado. Tal não foi possível de realizar por não terem sido encontrados dados de sódio que caracterizem a situação de referência na bacia do Sado. Em vez disso demonstrou-se que a prazo as concentrações na bacia do Sado deverão ser semelhantes às que se têm actualmente na bacia do Guadiana. Deve ainda referir-se que em ano médio, o transvase pode produzir em algumas albufeiras, como Odivelas e Roxo, condições que são comparáveis com o estado actual ( tendo portanto impacte nulo ) e que em alguns aspectos podem mesmo ser vantajosas.

Finalmente avaliaram-se os possíveis impactes estuário do Sado. Para tal recorreu-se a um modelo 3D desenvolvido no Instituto Superior Técnico (MOHID2000). O modelo revelou-se capaz de reproduzir as observações existentes para o estuário. Para avaliar os impactes potenciais idealizaram-se cenários que contemplam essencialmente o aumento das cargas de nutrientes transportadas pelo rio. Concluiu-se que embora em certas regiões do estuário possam vir a existir aumentos da concentração de fitoplâncton da ordem dos 200% esses valores estão ainda longe de representar uma ameaça para o estuário.

As simulações deixam muito claro que a bacia do Sado passará a ser muito sensível a tudo o que se passar na bacia do Guadiana pelo que se recomenda uma estratégia de monitorização que contemple ambas as bacias.

## REFERÊNCIAS

- Ambar, I., A. Fiúsa, F. Sousa e I. Lourenço, 1980. *General circulation in the lower Sado river estuary under drought conditions*. Proceedings of Actual problems of oceanography in Portugal. Ed. JNICT, Lisboa.
- Anderson, G., 1986. *Silica, diatoms and a freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay*. Estuarine Coastal and Shelf Science **22**:183-197.
- Cabeçadas, L., 1993. *Ecologia do Fitoplâncton do Estuário do Sado: para uma estratégia de conservação*. Estudos de conservação da Natureza **10**. SNPRCN, Lisboa.
- Cole, T. e Buchak, E., 1996: CE-QUAL-W2: A two-dimensional laterally averaged, hydrodynamic and Water Quality model, Version 2.0. Instruction Report EL-95-, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Coutinho, M., 1994. *Variação espaço-temporal do fitoplâncton no Estuário do Sado*. Seminário sobre recursos haliêuticos, ambiente, aquacultura e qualidade do pescado da península de Setúbal 79-88. IPIMAR.
- Duarte, M. e M. Henriques, 1991. *Caracterização físico-química das águas do Estuário do Rio Sado*. INETI DEII 14/91.
- EDIA, 1996: Aproveitamento Hidroeléctrico do Alqueva e Açude do Pedrogão. Estudo de qualidade da água – Análise complementar. 30 pp.
- EDIA, 1996: Significado ambiental e ecológico do transvase Guadiana-Sado previsto no Empreendimento dos Fins Múltiplos de Alqueva. 29 pp.
- FBO/CHIRON, 2000: Plano de Ordenamento das albufeiras de Alqueva e Pedrogão.
- INAG, 1995: Recursos hídricos de Portugal e sua utilização. Vol. 1. Instituto da água, Ministério do Ambiente, Lisboa.
- Lobo, G., J. Almeida, N. Carvalhais e S. Costa, 2000. *Gestão Ambiental do Estuário do Sado*. (em preparação)
- Mallin, M., H. Paerl e J. Rudek, 1991. *Seasonal phytoplankton composition productivity and biomass in the Neuse River estuary, North Carolina*. Estuarine Coastal and Shelf Science **32**:609-623.
- Martins, F., R. Neves, P. Leitão e A. Silva, 2001. *3D modeling in the Sado estuary using a new generic coordinate approach*. Oceanologica Acta, Vol.24, N°1.
- Martins, F., R. Neves e P. Leitão, 1998. *A three-dimensional hydrodynamic model with generic vertical coordinate*. Proceedings de Hydroinformatics'98, Vol. 2, pp. 1403-1410, Ed. V. Babovic & L. C. Larsen, Balkema, Rotterdam.
- Neves, R., 1985:
- Oliveira, M. R. L., 1984: Contribuição para o conhecimento das comunidades fitoplanctónicas das albufeiras a Sul do Tejo. Boletim do Instituto Nacional de Investigação e Pescas, 11, 3-27.

## Anexo 1 – Equações gerais do modelo CE-QUAL-W2

Neste anexo apresentar-se-ão brevemente as principais equações que o modelo utiliza. As equações auxiliares, tais como para os fluxos de calor ou turbulência podem ser consultadas em pormenor no manual do modelo.

### Equações fundamentais para a hidrodinâmica e transporte

Este modelo utiliza um conjunto de equações obtidas a partir da integração lateral das equações de Navier-Stokes (Edinger and Buchak, 1975, em Cole, T. e Buchak, E., 1996)

*Equação de transporte de quantidade de movimento*

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial BP}{\partial x} + \frac{\partial \left( BA_x \frac{\partial U}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial B_{\tau_x}}{\partial z} \quad (1)$$

onde,

|          |  |              |
|----------|--|--------------|
| $U$      | Velocidade longitudinal (integrada na largura),  | $ms^{-1}$    |
| $B$      | Largura do leito,  | $m$          |
| $t$      | tempo,   | $s$          |
| $x$      | coordenada longitudinal : definido no centro da albufeira, sobre a superfície livre, positivo para a direita |              |
| $z$      | coordenada vertical, positiva para baixo.  |              |
| $W$      | Velocidade vertical, (integrada na largura)  | $ms^{-1}$    |
| $\rho$   | densidade,   | $kg\ m^{-3}$ |
| $P$      | Pressão  | $Nm^{-2}$    |
| $A_x$    | Coeficiente de difusão longitudinal  | $m^2s^{-1}$  |
| $\tau_x$ | Tensão de corte por unidade de massa resultante de gradiente vertical da velocidade horizontal               |              |

O primeiro termo da equação representa a taxa de variação da quantidade de movimento horizontal com o tempo. O segundo e terceiro termos, a advecção horizontal e vertical. O primeiro termo de membro direito representa a força imposta pelo gradiente de pressão horizontal, o segundo a difusão longitudinal e o terceiro a força devido às tensões de corte.

*Equação de transporte de uma propriedade*

$$\frac{\partial B\phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\phi}{\partial z} - \frac{\partial \left( BD_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)}{\partial x} - \frac{\partial \left( BD_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)}{\partial z} = q_\phi B + S_\phi B \quad (2)$$

onde

|          |  |                 |
|----------|--|-----------------|
| $\phi$   | concentração de uma substância, integrada lateralmente                     | $gm^{-3}$       |
| $D_x$    | coeficiente de difusão longitudinal para a propriedade                     | $m^2s^{-1}$     |
| $D_z$    | coeficiente de difusão vertical para a propriedade                         | $m^2s^{-1}$     |
| $q_\phi$ | entradas ou saídas de massa de uma prop. por unidade de volume             | $gm^{-3}s^{-1}$ |
| $S_\phi$ | termo de fonte e poço resultante de reacções químicas para uma propriedade | $gm^{-3}s^{-1}$ |

A distribuição espacial e temporal de cada uma das propriedades consideradas é regida por uma equação equivalente em que só variam os parâmetros envolvidos.

*Elevação da Superfície Livre*

$$\frac{\partial B_\eta \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_\eta^h UB dz - \int_\eta^h qB dz \quad (3)$$

onde

|        |                              |              |
|--------|------------------------------|--------------|
| $B$    | largura da superfície livre, | $m$          |
| $\eta$ | altura da superfície livre,  | $m$          |
| $h$    | profundidade total,          | $m$          |
| $q$    | entradas ou saídas laterais, | $m^3 s^{-1}$ |

*Pressão Hidrostática*

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \quad (4)$$

$g$       aceleração da gravidade       $m s^{-2}$

*Continuidade*

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (5)$$

*Equação de estado*

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ss}) \quad (6)$$

onde

$f(T, \Phi_{TDS}, \Phi_{ss})$  função para a dependência da densidade da temperatura, sólidos totais dissolvidos ou salinidade, e sólidos suspensos

Temos então um conjunto de seis equações e seis incógnitas.

1. Elevação da superfície livre,       $\eta$
2. Pressão,       $P$
3. Velocidade horizontal,       $U$
4. Velocidade vertical,       $W$
5. Concentração de uma substância,       $\Phi$
6. Densidade,       $\rho$

### **Equações fundamentais para a qualidade da água**

As equações descritas anteriormente para o transporte de uma propriedade contêm um termo de fonte e poço. Este termo pode ser proveniente de condições fronteira ou de reacções químicas entre diversos compostos. Neste ponto apresentamos sumariamente as equações para cada propriedade que o modelo pode calcular.

*Sólidos Suspensos Totais*

$$\frac{\partial \Phi_{ss}}{\partial t} = - \frac{\omega_{ss}}{\Delta z} \Phi_{ss} \quad (7)$$

onde

|               |                                    |            |
|---------------|------------------------------------|------------|
| $\omega_{ss}$ | velocidade de sedimentação,        | $m s^{-1}$ |
| $\Phi_{ss}$   | concentração de sólidos suspensos, | $g m^{-3}$ |
| $\Delta z$    | espessura da célula,               | $m$        |

*Coliformes*

$$\frac{\partial \Phi_{col}}{\partial t} = -K_{col} \theta^{(T-20)} \Phi_{col} \quad (8)$$

onde

|              |                                     |             |
|--------------|-------------------------------------|-------------|
| $K_{col}$    | mortalidade dos coliformes,         | $s^{-1}$    |
| $\theta$     | factor influência temperatura (Q10) |             |
| $T$          | temperatura da água,                | $^{\circ}C$ |
| $\Phi_{col}$ | concentração coliformes,            | $g m^{-3}$  |

*Matéria Orgânica Dissolvida Lábil*

$$\partial \Phi_{ldom} = K_{ae} \Phi_a + (1 - P_{am}) K_{am} \Phi_a - \gamma_{om} K_{ldom} \Phi_{ldom} - K_{l \rightarrow r} \Phi_{ldom} \quad (9)$$

onde

|                       |  |            |
|-----------------------|--|------------|
| $K_{ae}$              | taxa de excreção algal,                              | $s^{-1}$   |
| $K_{am}$              | taxa de mortalidade algal,                           | $s^{-1}$   |
| $K_{ldom}$            | taxa de decaimento (degradação) da DOM lábil ,       | $s^{-1}$   |
| $K_{l \rightarrow r}$ | taxa de transformação de DOM lábil para refractária, | $s^{-1}$   |
| $P_{am}$              | coeficiente para mortalidade algal                   |            |
| $\gamma_{om}$         | factor multiplicativo relativo à temperatura         |            |
| $\Phi_a$              | concentração algal,                                  | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{ldom}$         | concentração de DOM lábil,                           | $g m^{-3}$ |

*Matéria Orgânica Dissolvida Refractária*

$$\frac{\partial \Phi_{rdom}}{\partial t} = K_{l \rightarrow r} \Phi_{ldom} - \gamma_{om} K_{rdom} \Phi_{rdom} \quad (10)$$

onde



|                       |   |            |
|-----------------------|---|------------|
| $K_{l \rightarrow r}$ | taxa de transformação de DOM lábil para refractária, $s^{-1}$ |            |
| $C_{ldom}$            | concentração de DOM lábil,                                    | $g m^{-3}$ |
| $\gamma_{om}$         | factor multiplicativo relativo à temperatura                  |            |
| $K_{rdom}$            | taxa de decaimento de DOM refractária                         | $s^{-1}$   |
| $\Phi_{rdom}$         | concentração de DOM refractária                               | $g m^{-3}$ |

*Matéria Orgânica Particulada (Detritos)*

$$\frac{\partial \Phi_{dt}}{\partial t} = P_{am} K_{am} \Phi_a - K_{dt} \gamma_{om} \Phi_{dt} - \frac{\omega_{dt}}{\Delta z} \Phi_{dt} \quad (11)$$

onde

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| $P_{am}$      | coeficiente para a mortalidadeagal           |            |
| $K_{am}$      | taxa de mortalidade algal,                   | $s^{-1}$   |
| $\Phi_a$      | concentração algal                           | $g m^{-3}$ |
| $K_{dt}$      | taxa de decaimento dos detritos              | $s^{-1}$   |
| $\omega_{dt}$ | velocidade de deposição dos detritos         | $m s^{-1}$ |
| $\Phi_{dt}$   | concentração de detritos                     | $g m^{-3}$ |
| $\Delta z$    | espessura da célula do modelo                | $m$        |
| $\gamma_{om}$ | factor multiplicativo relativo à temperatura |            |

*Fitoplâncton*

$$\frac{\partial \Phi_a}{\partial t} = K_{ag} \Phi_a - K_{ar} \Phi_a - K_{ae} \Phi_a - K_{am} \Phi_a - \frac{\omega_a}{\Delta z} \Phi_a \quad (12)$$

onde

|            |                                |            |
|------------|--------------------------------|------------|
| $\Delta z$ | espessura da célula            | $m$        |
| $K_{ag}$   | taxa de crescimento algal      | $s^{-1}$   |
| $K_{ar}$   | taxa de respiração algal,      | $s^{-1}$   |
| $K_{ae}$   | taxa de excreção algal,        | $s^{-1}$   |
| $K_{am}$   | taxa de mortalidade algal,     | $s^{-1}$   |
| $\omega_a$ | velocidade de deposição algal, | $m s^{-1}$ |

$\Phi_a$  concentração algal,  $g C m^{-3}$

*Fosfato*

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_p}{\partial t} = & (K_{ar} - K_{ag}) \delta_P \Phi_a + K_{ldom} \delta_P \gamma_{om} \Phi_{ldom} + K_{dt} \delta_P \gamma_{om} \Phi_{dt} \\ & + K_{rdom} \delta_P \gamma_{om} \Phi_{rdom} + K_s \delta_P \gamma_{om} \Phi_s + S_{od} \gamma_{om} \gamma_{om} A_s \\ & - \frac{P_P (\omega_{ss} \Phi_{ss} + \omega_{dt} \Phi_{dt} + \omega_{FE} \Phi_{FE})}{\Delta z} \Phi_P \end{aligned} \quad (13)$$

onde

|               |  |              |
|---------------|--|--------------|
| $\Delta z$    | espessura da célula do modelo,               | $m$          |
| $A_s$         | área sedimento,                              | $m^2$        |
| $P_P$         | coeficiente de absorção,                     | $m^3 g^{-1}$ |
| $\delta_P$    | coeficiente de estequiometria para o fósforo |              |
| $\gamma_{om}$ | factor multiplicativo relativo à temperatura |              |
| $\omega_i$    | velocidade de sedimentação,                  | $m s^{-1}$   |
| $K_{ar}$      | taxa de respiração algal,                    | $s^{-1}$     |
| $K_{ag}$      | taxa de crescimento algal,                   | $s^{-1}$     |
| $K_{ldom}$    | taxa de decaimento do DOM lábil,             | $s^{-1}$     |
| $K_{dt}$      | taxa de decaimento dos detritos,             | $s^{-1}$     |
| $K_s$         | taxa de decaimento nos sedimentos,           | $s^{-1}$     |
| $S_{od}$      | taxa de libertação de sedimentos anaérobios, | $g m^{-3}$   |
| $K_{rdom}$    | taxa de decaimento de DOM refractária,       | $s^{-1}$     |
| $\Phi_{rdom}$ | concentração de DOM refractária,             | $g m^{-3}$   |
| $\Phi_a$      | concentração algal                           | $g m^{-3}$   |
| $\Phi_{ldom}$ | concentração de DOM lábil,                   | $g m^{-3}$   |
| $\Phi_{dt}$   | concentração de detritos,                    | $g m^{-3}$   |

|             |  |             |
|-------------|--|-------------|
| $\Phi_s$    | massa de sedimentos orgânicos,                 | $g$         |
| $\Phi_{ss}$ | concentração de sólidos suspensos inorgânicos, | $g\ m^{-3}$ |
| $\Phi_P$    | concentração de fósforo,                       | $g\ m^{-3}$ |
| $\Phi_{FE}$ | concentração total de ferro,                   | $g\ m^{-3}$ |

### Azoto Amoniacal

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{NH_4}}{\partial t} = & K_{ar} \delta_N \Phi_s - K_{ag} \delta_N \Phi_a \frac{\Phi_{NH_4}}{\Phi_{NH_4} + \Phi_{NO_3}} + K_{ldom} \delta_N \gamma_{om} \Phi_{ldom} \\ & + K_{rdom} \delta_N \gamma_{om} \Phi_{rdom} + K_{dt} \delta_N \gamma_{om} \Phi_{dt} + K_s \delta_N \gamma_{om} \Phi_s \\ & + S_{NH_4} \gamma_{om} A_s + K_{NO_3} \gamma_{NO_3} \Phi_{NO_3} - K_{NH_4} \gamma_{NH_4} \Phi_{NH_4} \end{aligned} \quad (14)$$

onde

$A_s$  área sedimentos,  $m^2$

$\Delta z$  espessura da célula,  $m$

$\delta_N$  coeficiente de estequiometria para o Azoto

$\gamma_{om}$  factor multiplicativo relativo à temp. para o decaimento de matéria org.

$\gamma_{NH_4}$  factor multiplicativo relativo à temperatura para a nitrificação

$\gamma_{NO_3}$  factor multiplicativo relativo à temperatura para desnitrificação

$K_{ar}$  taxa de respiração algal,  $s^{-1}$

$K_{ag}$  taxa de crescimento algal,  $s^{-1}$

$K_{ldom}$  taxa de decaimento de DOM lábil,  $s^{-1}$

$K_{rdom}$  taxa de decaimento de DOM refractária  $s^{-1}$

$K_{dt}$  taxa de decaimento de detritos,  $s^{-1}$

$K_s$  taxa de decaimento nos sedimentos,  $s^{-1}$

$S_{NH_4}$  taxa de libertação de amónia pelos sedimentos,  $g\ m^{-2}\ s^{-1}$

|               |                                    |            |
|---------------|------------------------------------|------------|
| $K_{NO_3}$    | taxa de decaimento nitrato-Azoto,  | $s^{-1}$   |
| $K_{NH_4}$    | taxa de decaimento amónia-Azoto,   | $s^{-1}$   |
| $\Phi_{ss}$   | concentração de sólidos suspensos, | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{ldom}$ | concentração de DOM lábil,         | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{rdom}$ | concentração de DOM refractária,   | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_a$      | concentração algal,                | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{dt}$   | concentração de detritos,          | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{NH_4}$ | concentração de amónia-Azoto       | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_{NO_3}$ | concentração de nitrato-Azoto,     | $g m^{-3}$ |
| $\Phi_s$      | massa de sedimentos,               | $g$        |

### Nitrato

$$\frac{\partial \Phi_{NO_3}}{\partial t} = K_{NH_4} \gamma_{NH_4} \Phi_{NH_4} - K_{NO_3} \gamma_{NO_3} \Phi_{NO_3} - K_{ag} \delta_N \Phi_a \left( 1 - \frac{\Phi_{NH_4}}{\Phi_{NH_4} + \Phi_{NO_3}} \right) \quad (15)$$

$\gamma_{NH_4}$  factor multiplicativo relativo à temperatura para a nitrificação

$\gamma_{NO_3}$  factor multiplicativo relativo à temperatura para desnitrificação

$\delta_N$  coeficiente de estequiometria para o Azoto

$K_{NH_4}$  taxa de nitrificação,  $s^{-1}$

$K_{NO_3}$  taxa de desnitrificação,  $s^{-1}$

$K_{ag}$  taxa de crescimento algal,  $s^{-1}$

$\Phi_a$  concentração algal,  $g m^{-3}$

$\Phi_{NH_4}$  concentração amónia,  $g m^{-3}$

$\Phi_{NO_3}$  concentração nitrato,  $g m^{-3}$

### Oxigénio Dissolvido

$$\frac{\partial \phi_{DO}}{\partial t} = K_{ag} \delta_{om} \Phi_a - K_{ar} \delta_{om} \Phi_a - K_{NH_4} \delta_{NH_4} \gamma_{NH_4} \Phi_{NH_4} - K_{dt} \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_{dt} - K_s \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_s - S_{od} \gamma_{om} A_s - K_{ldom} \gamma_{om} \delta_{om} \Phi_{ldom} - K_r \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_{rdom} + A_{kt} E_0 (\Phi'_{DO} - \Phi_{DO}) \quad (16)$$

|                 |  |                    |
|-----------------|--|--------------------|
| $A_s$           | área de sedimento  | $m^2$              |
| $A_{kt}$        | área superfície livre  | $m^2$              |
| $\delta_{om}$   | coeficiente de estequiometria para o oxigénio na mat. orgânica           |                    |
| $\delta_{NH_4}$ | factor multiplicativo relativo à temperatura para a nitrificação         |                    |
| $\gamma_{om}$   | factor multiplicativo relativo à temp. para o decaimento de matéria org. |                    |
| $K_{ag}$        | taxa de crescimento algal,   | $s^{-1}$           |
| $K_{ar}$        | taxa de respiração algal,  | $s^{-1}$           |
| $K_a$           | taxa de nitrificação   | $s^{-1}$           |
| $K_{dt}$        | taxa de decaimento de detritos,  | $s^{-1}$           |
| $K_{ldom}$      | taxa de decaimento de DOM lábil,   | $s^{-1}$           |
| $K_{rdom}$      | taxa de decaimento de DOM refractária                                    | $s^{-1}$           |
| $K_s$           | taxa de decaimento nos sedimentos,                                       | $s^{-1}$           |
| $S_{od}$        | "Sediment Oxygen Demand"   | $g\ m^{-2} s^{-1}$ |
| $E_0$           | taxa de transferência de oxigénio na interface                           | $ms^{-1}$          |
| $\Phi_a$        | concentração algal,  | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_{ldom}$   | concentração de DOM lábil,   | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_{rdom}$   | concentração de DOM refractária,   | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_{dt}$     | concentração de detritos,  | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_{NH_4}$   | concentração de amónia   | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_{DO}$     | concentração de oxigénio dissolvido                                      | $g\ m^{-3}$        |
| $\Phi_s$        | massa de sedimentos,   | $g$                |
| $\Phi'_{DO}$    | concentração de saturação para o DO                                      | $g\ m^{-3}$        |

*Sedimentos*

$$\frac{d\phi_s}{dt} = \frac{w_{dt}}{\Delta z} \Phi_{dt} + \frac{w_a}{\Delta z} \Phi_a - \gamma_{om} K_s \Phi_s \quad (17)$$

onde

|               |  |                   |
|---------------|--|-------------------|
| $\Delta z$    | espessura de uma célula do modelo  | m                 |
| $w_{dt}$      | velocidade de deposição de detritos                                      | ms <sup>-1</sup>  |
| $w_a$         | velocidade de deposição de algas   | ms <sup>-1</sup>  |
| $\gamma_{om}$ | factor multiplicativo relativo à temp. para o decaimento de matéria org. |                   |
| $K_s$         | taxa de decaimento nos sedimentos,                                       | s <sup>-1</sup>   |
| $\Phi_a$      | concentração algal   | g m <sup>-3</sup> |
| $\Phi_{dt}$   | concentração de detritos,  | g m <sup>-3</sup> |
| $\Phi_s$      | massa de sedimentos,   | g                 |

### *Carbono Inorgânico Total*

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi_{ic}}{\partial t} = & (K_{ar} - K_{ag}) \delta_c \phi_a + K_{dt} \delta_c \gamma_{om} \phi_{dt} + K_s \gamma_{om} \delta_c \phi_s \\ & + K_{ldom} \gamma_{om} \delta_c \phi_{ldom} + K_{rdom} \gamma_{om} \delta_c \phi_{rdom} \\ & + S_{od} \gamma_{om} \delta_s A_s + A_{kt} E_c (\phi'_{CO_2} - \phi_{CO_2}) \end{aligned} \quad (18)$$

|               |   |                 |
|---------------|---|-----------------|
| $A_s$         | área de sedimento   | m <sup>2</sup>  |
| $A_{kt}$      | área da superfície da célula do modelo mais próxima da superfície livre | m <sup>2</sup>  |
| $\gamma_{ii}$ | factores multiplicativos relativos à temperatura                        |                 |
| $\delta_c$    | coeficiente de estequiometria para o carbono                            |                 |
| $K_{ar}$      | taxa de respiração algal,   | s <sup>-1</sup> |
| $K_{ag}$      | taxa de crescimento algal,  | s <sup>-1</sup> |
| $K_{dt}$      | taxa de decaimento de detritos,   | s <sup>-1</sup> |
| $K_s$         | taxa de decaimento nos sedimentos,                                      | s <sup>-1</sup> |
| $K_{ldom}$    | taxa de decaimento de DOM lábil,  | s <sup>-1</sup> |

|                |  |                   |
|----------------|--|-------------------|
| $K_{rdom}$     | taxa de decaimento de DOM refractária                    | $s^{-1}$          |
| $S_{od}$       | "Sediment Oxygen Demand"                                 | $g\ m^{-2}s^{-1}$ |
| $E_c$          | taxa de transferência de carbono inorgânico na interface | $ms^{-1}$         |
| $\Phi_{ldom}$  | concentração de DOM lábil,                               | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi_{rdom}$  | concentração de DOM refractária,                         | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi_a$       | concentração algal                                       | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi_{dt}$    | concentração de detritos,                                | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi_s$       | massa de sedimentos,                                     | $g$               |
| $\Phi_{tic}$   | concentração de carbono inorgânico                       | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi_{CO_2}$  | concentração de dióxido de carbono                       | $g\ m^{-3}$       |
| $\Phi'_{CO_2}$ | concentração de saturação para o dióxido de carbono,     | $gm^{-3}$         |

#### *Alcalinidade, PH e Carbonatos*

A alcalinidade é definida por,

$$[ALK] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+] \quad (19)$$

A dissolução do ácido carbónico é dada por,

$$[H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] = \text{constant} = C_T \quad (20)$$

A alcalinidade pode ser redefinida a partir da equação anterior e das constantes de equilíbrio para as reacções que formam o sistema carbonato.

$$[ALK] = \frac{C_T [H^+] K_1}{[H^+] K_1 + K_1 K_2 + [H^+]^2} \frac{[H^+] + 2K_2}{[H^+]} + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] \quad (21)$$

o modelo considera a constante  $C_T$  como moles por litro de carbono inorgânico total e assume que a alcalinidade já foi calculada. As constantes  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_w$  são as constantes de equilíbrio que formam o sistema carbonato, dadas por,

$$\begin{aligned}
K_1 &= \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \\
K_2 &= \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \\
K_w &= \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}
\end{aligned}
\tag{22}$$

A equação 21 é resolvida iterativamente para  $[H^+]$ . A partir daí temos,

$$[H_2CO_3] = \frac{C_T}{1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2}}
\tag{23}$$

e

$$[HCO_3^-] = \frac{C_T}{1 + \frac{[H^+]}{K_1} + \frac{K_2}{[H^+]}}
\tag{24}$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{C_T}{1 + \frac{[H^+]^2}{K_1 K_2} + \frac{[H^+]}{K_2}}
\tag{25}$$

### *Ferro Total*

$$\frac{\partial \phi_{FE}}{\partial t} = S_{FE} \gamma_{om} A_s - \frac{w_{FE}}{\Delta z} \phi_{FE}
\tag{26}$$

onde

|               |  |                 |
|---------------|--|-----------------|
| $A_s$         | área de sedimentos   | $m^2$           |
| $\Delta z$    | espessura de uma célula  | m               |
| $\gamma_{om}$ | factor multiplicativo relativo à temp. para o decaimento de matéria org. |                 |
| $w_{FE}$      | velocidade de sedimentação do Ferro                                      | $ms^{-1}$       |
| $S_{FE}$      | taxa de libertação de Ferro dos sedimentos                               | $gm^{-2}s^{-1}$ |
| $\phi_{FE}$   | concentração total de ferro  | $gm^{-3}$       |





## Anexo 2 – Distribuições Longitudinais dos Parâmetros de Qualidade da Água: Estado de Referência.

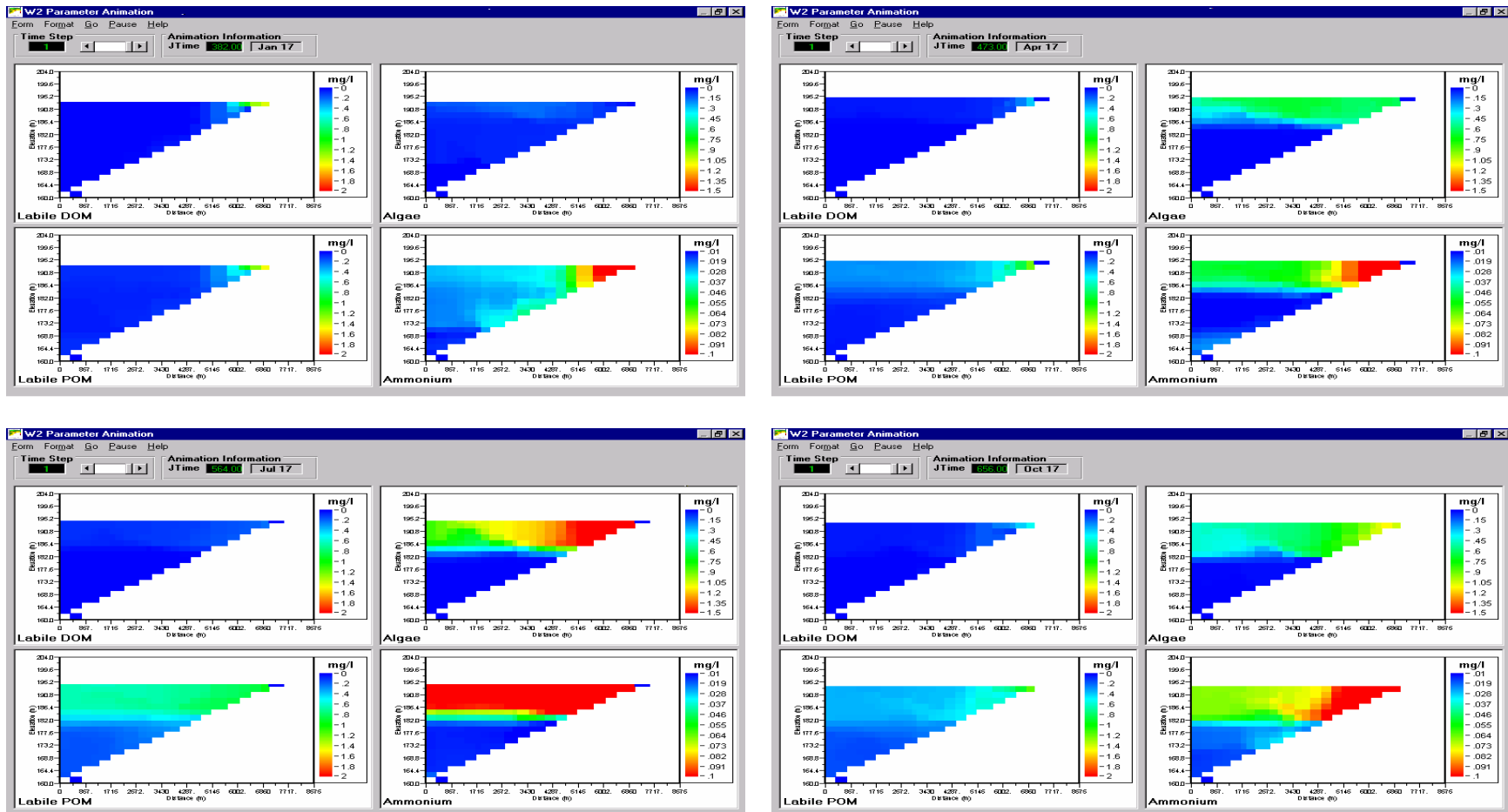


Figura 133: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

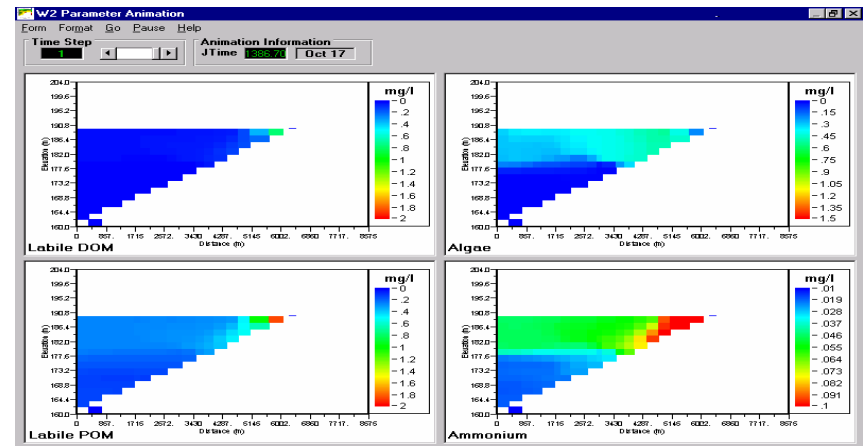
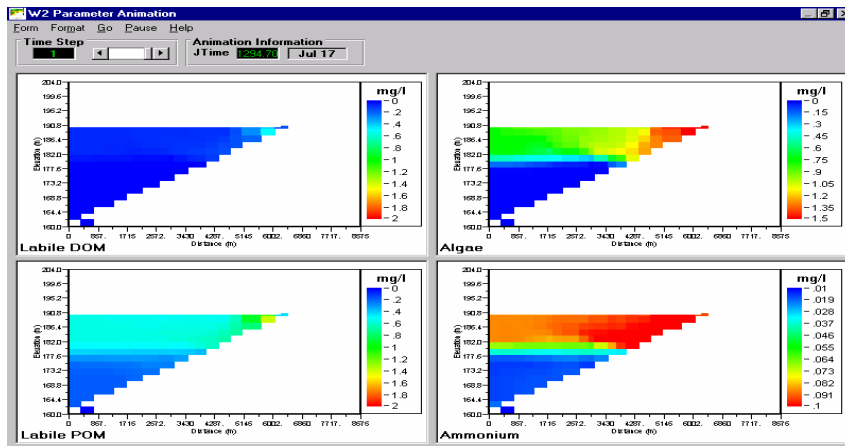
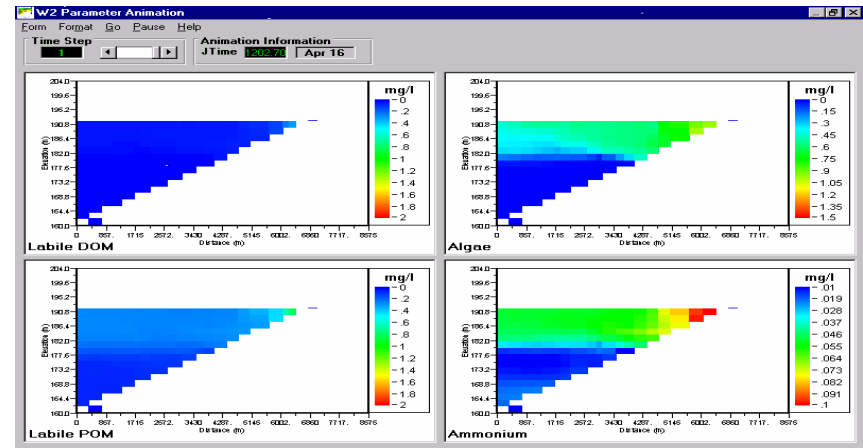
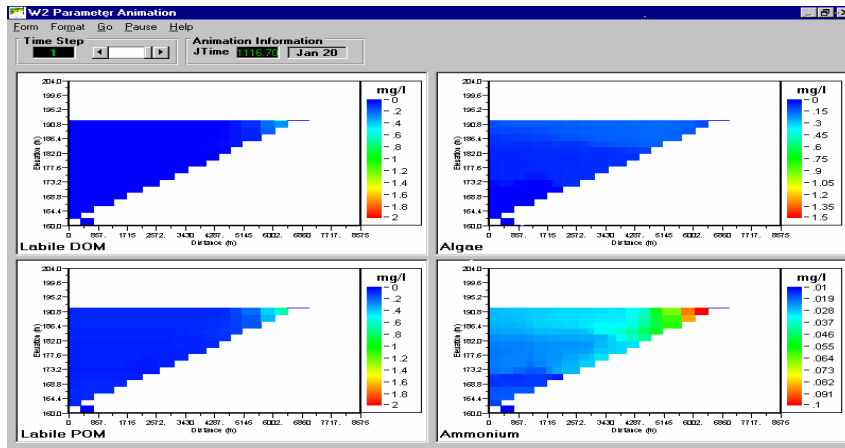


Figura 134: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

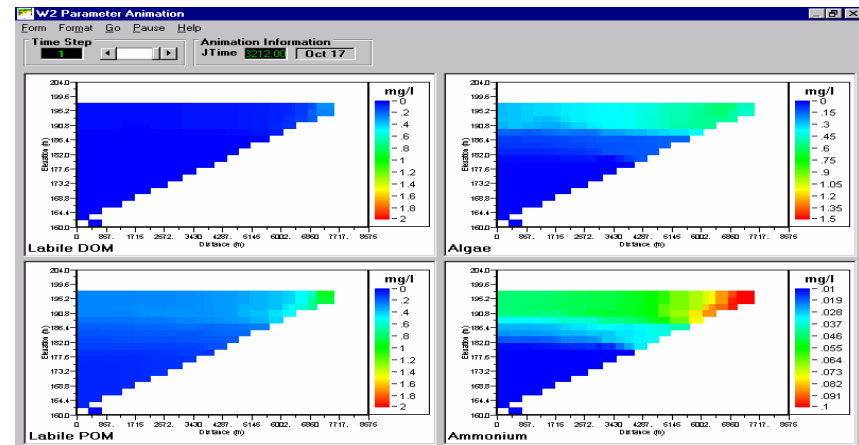
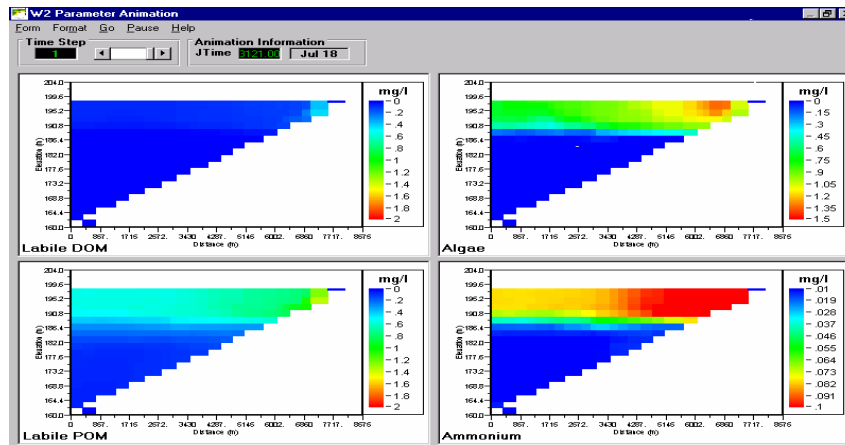
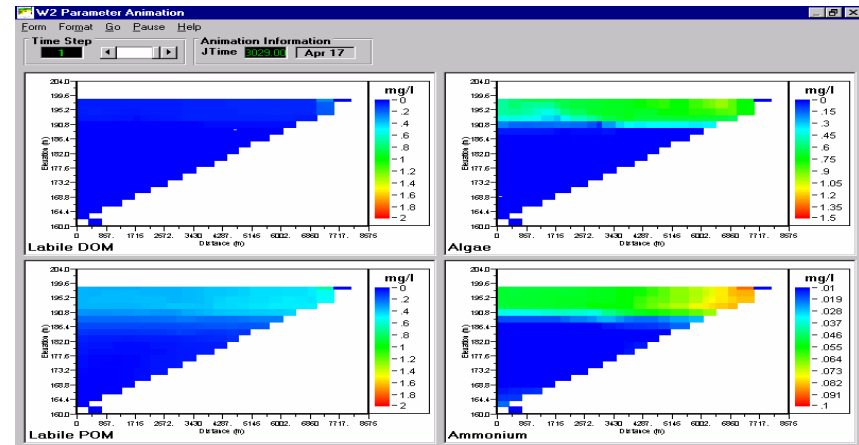
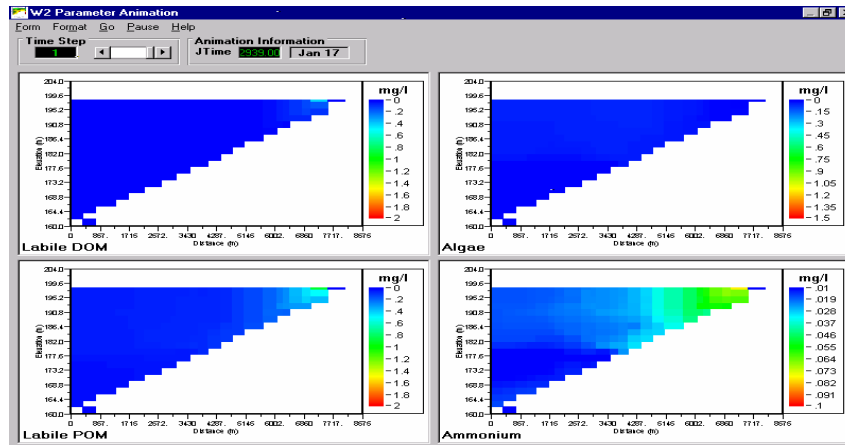


Figura 135: Albufeira do Alvito - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.

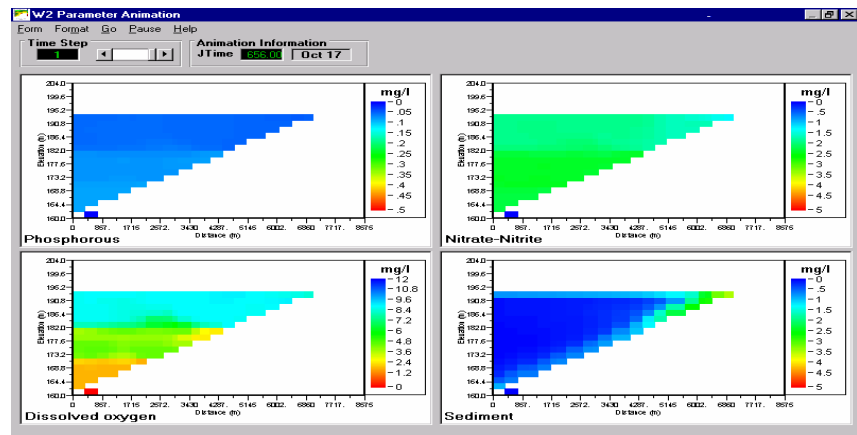
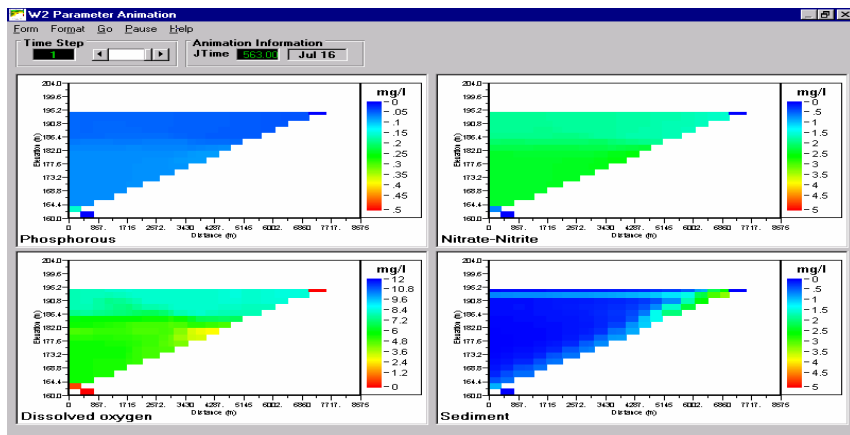
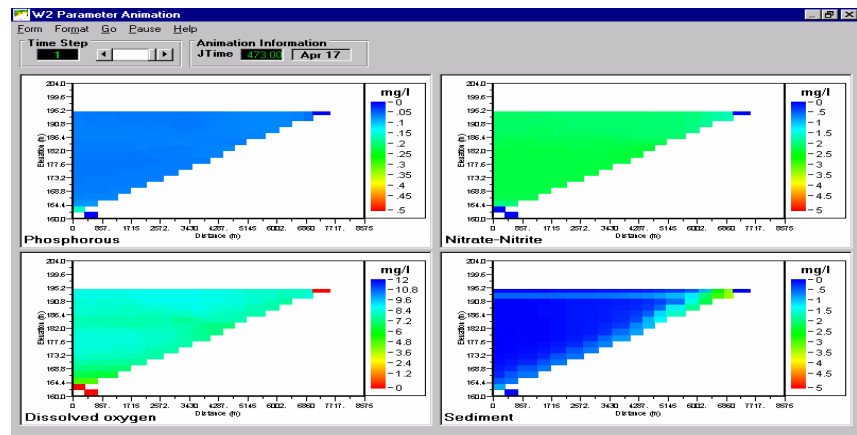
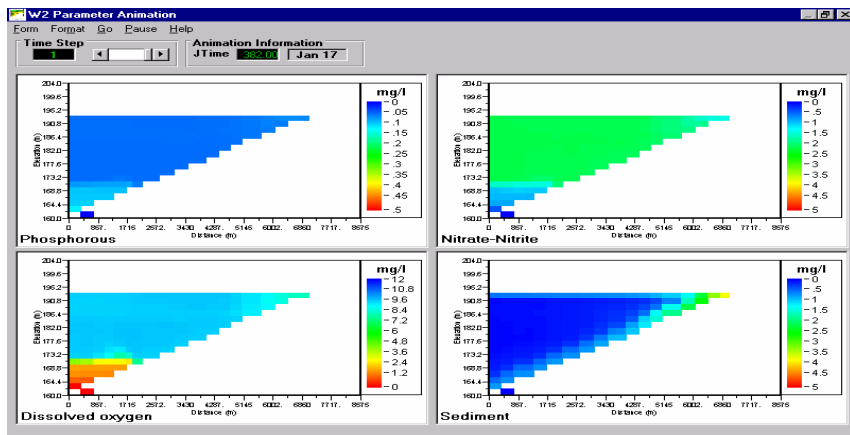


Figura 136: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

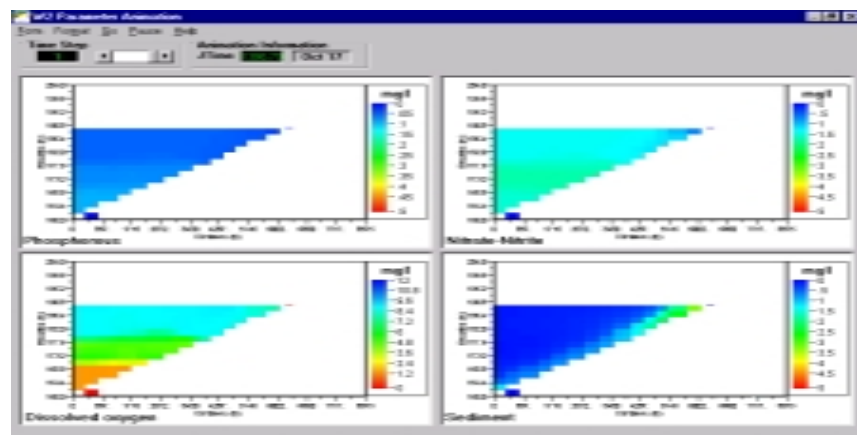
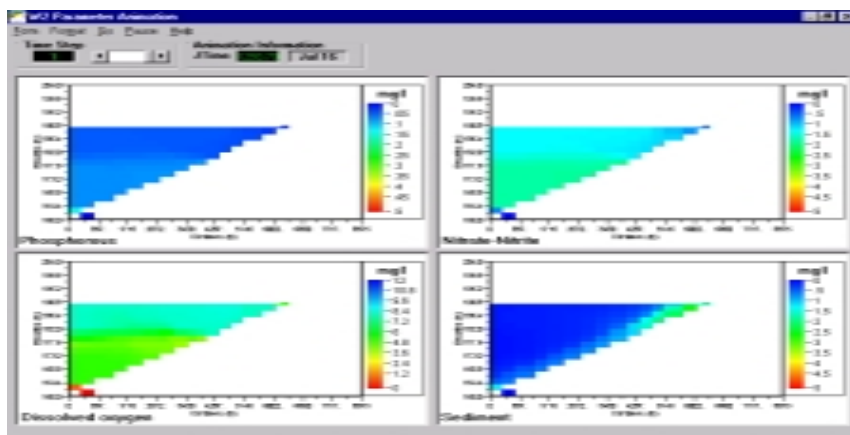
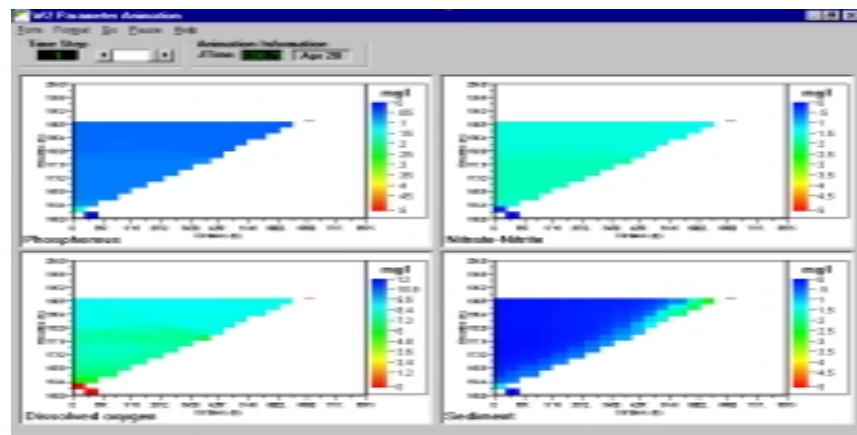
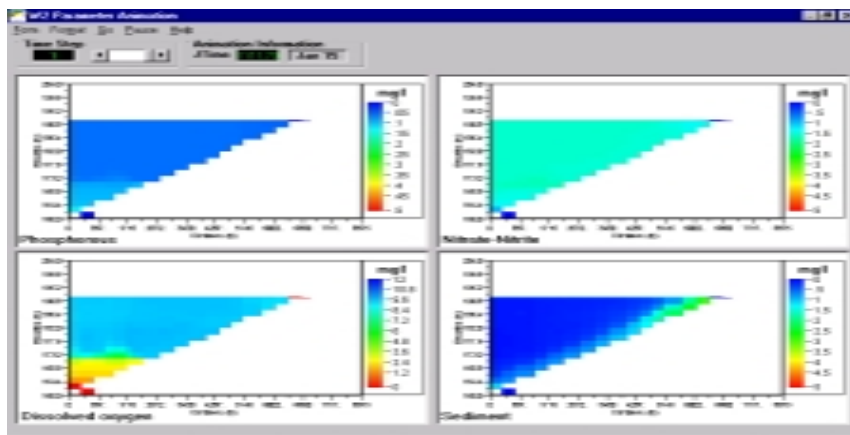


Figura 137: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

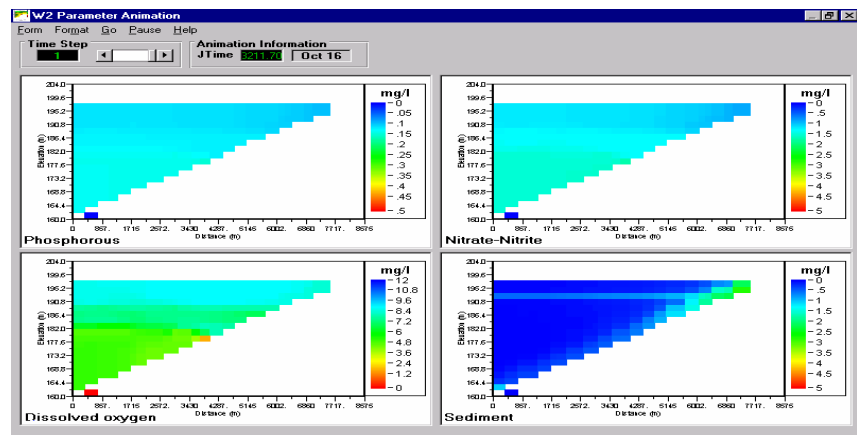
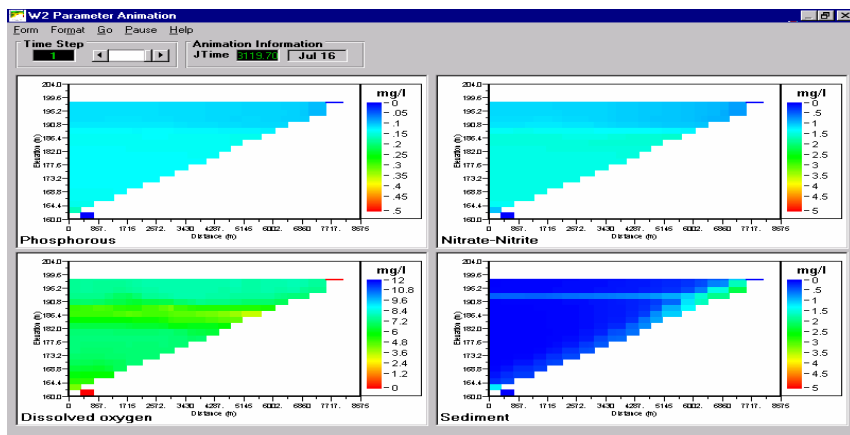
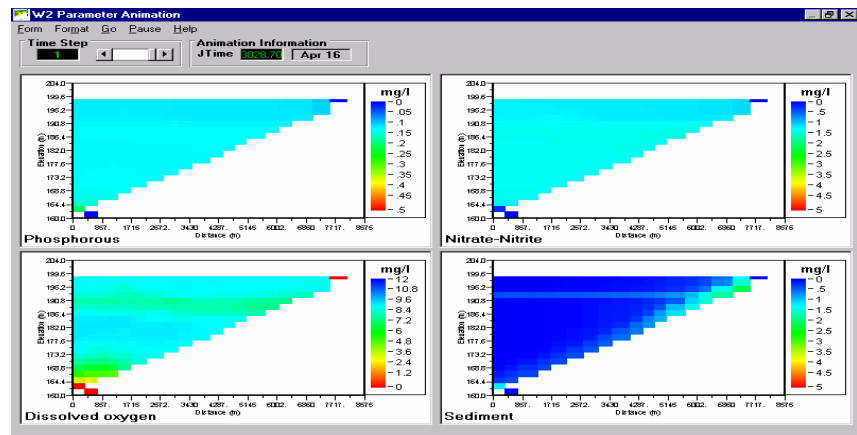
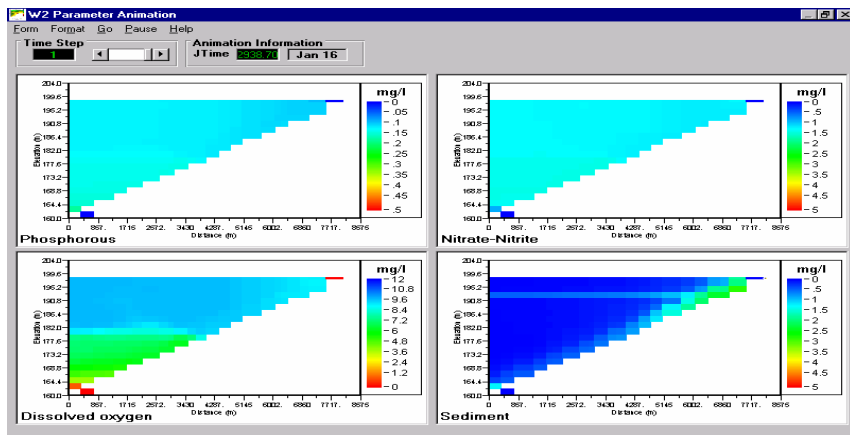


Figura 138: Albufeira do Alvito - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.

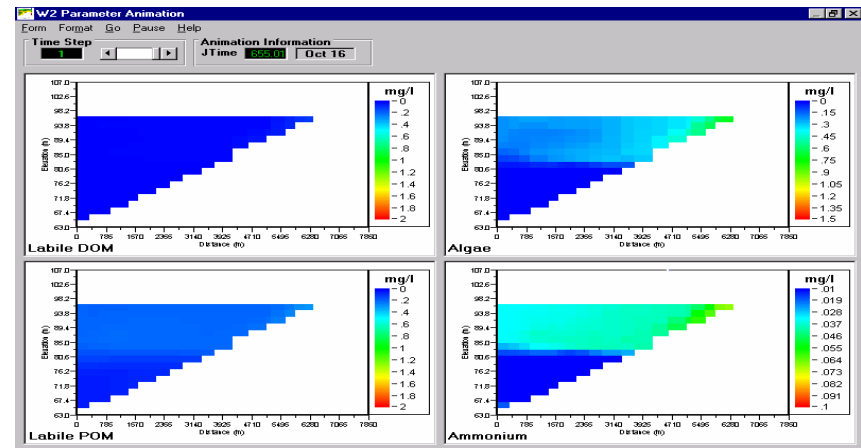
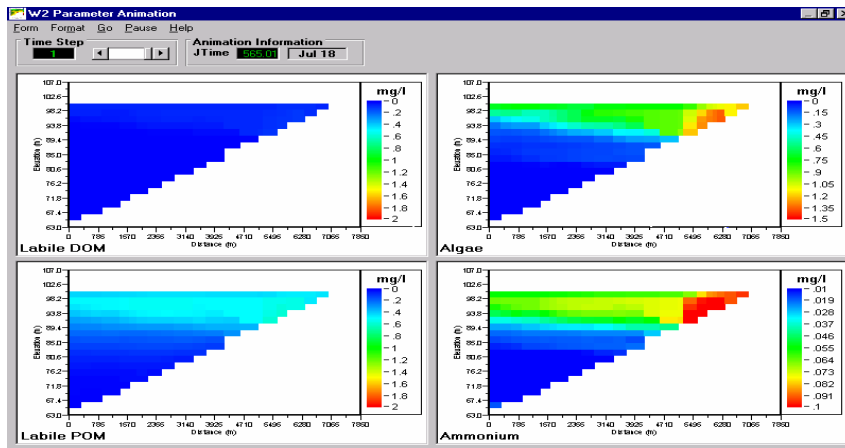
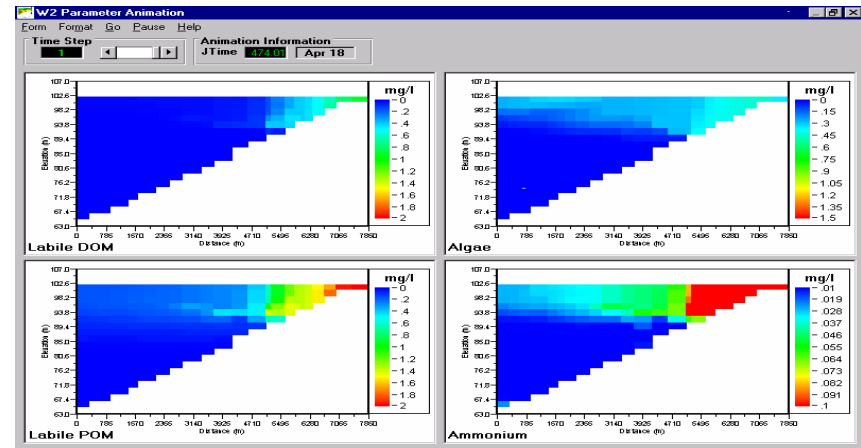
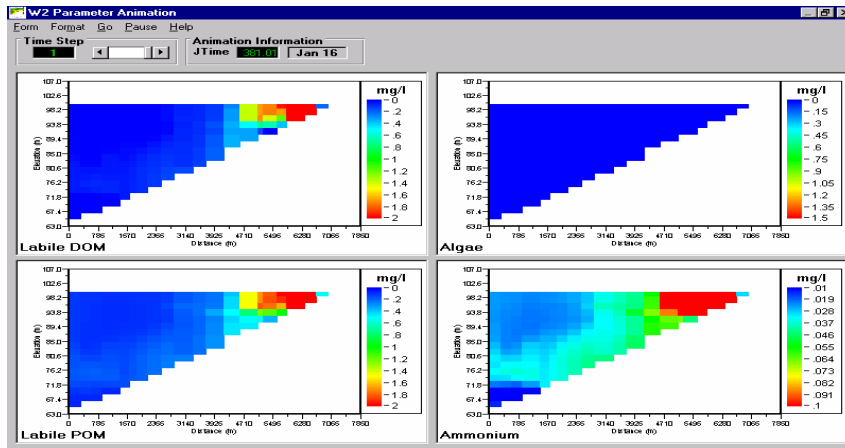


Figura 139: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.



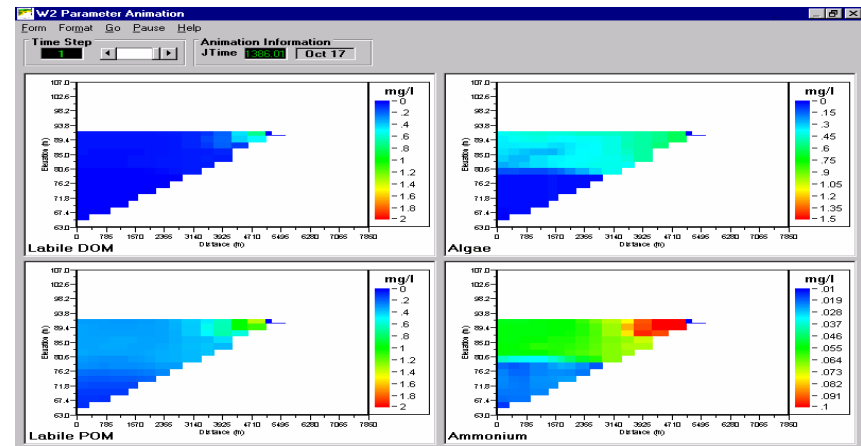
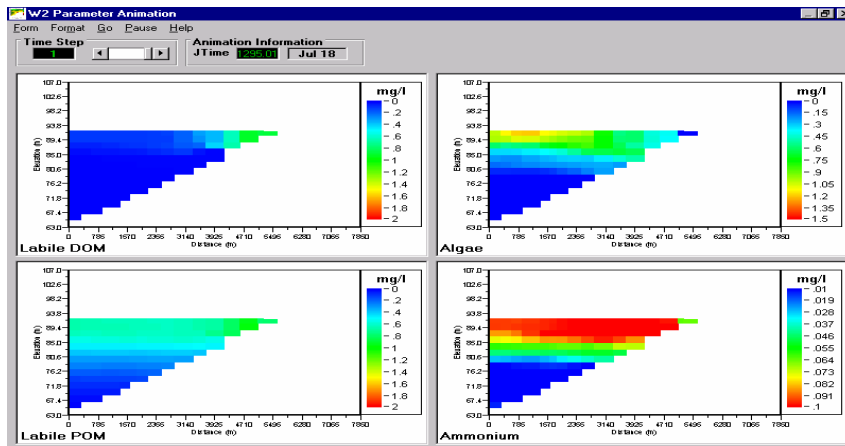
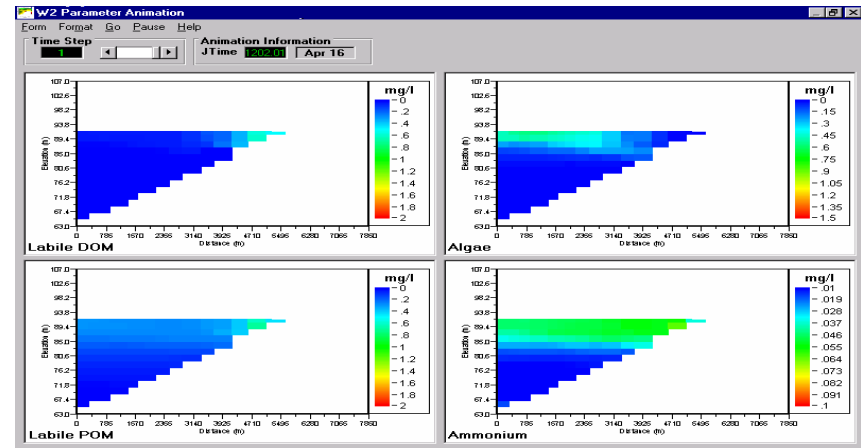
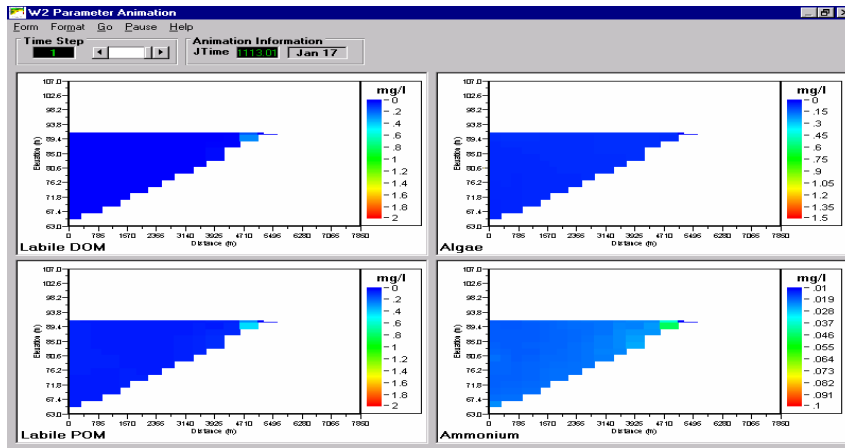


Figura 140: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amónia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

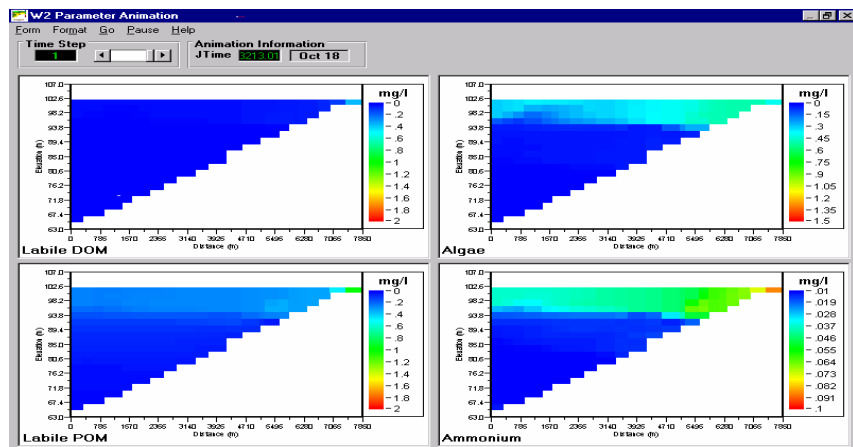
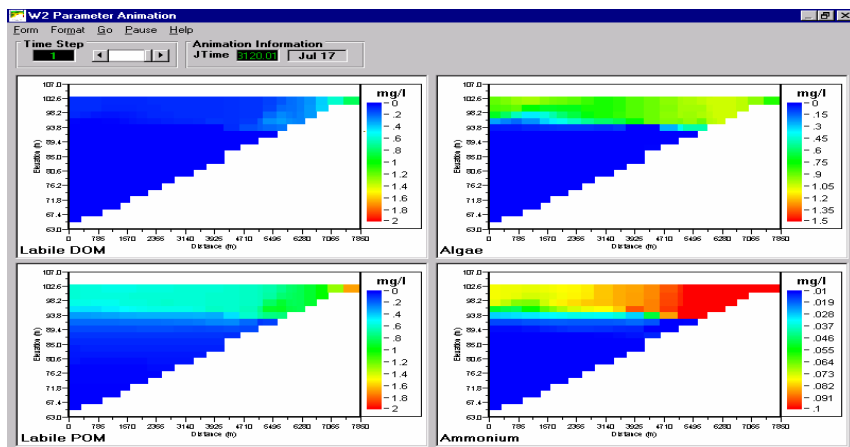
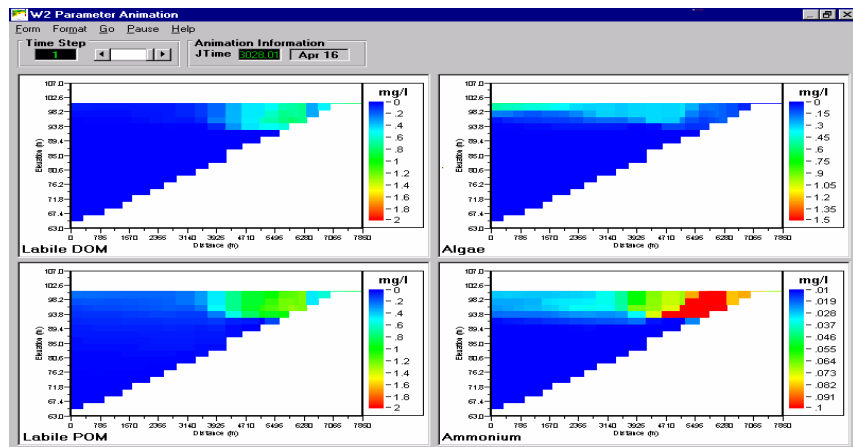
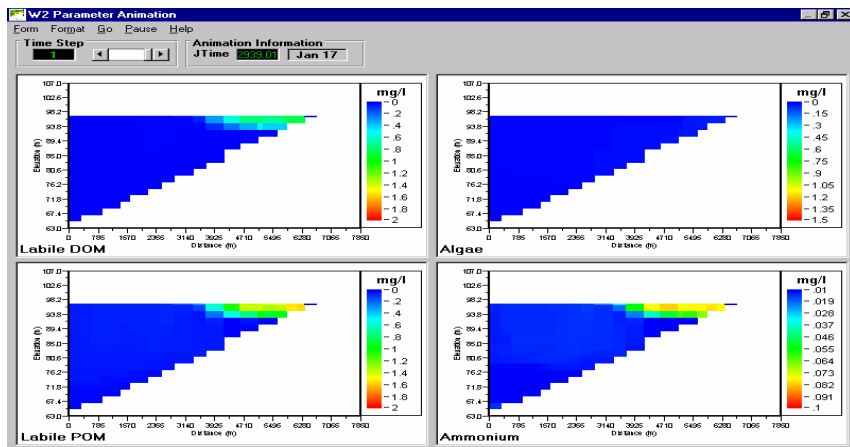


Figura 141: Albufeira de Odivelas - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.

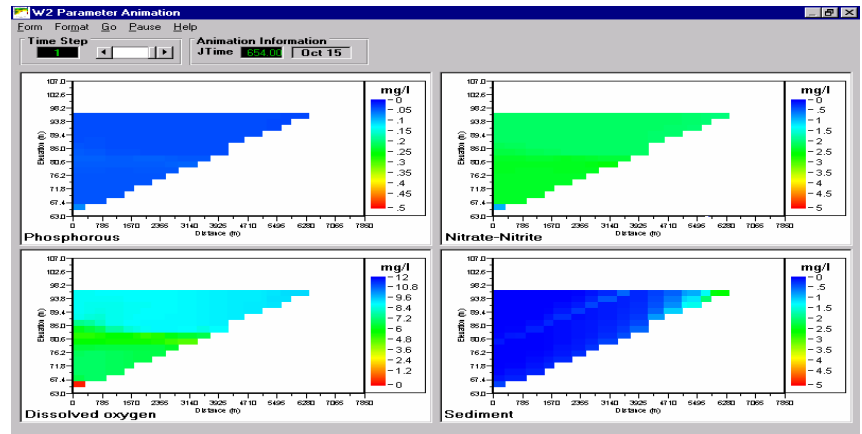
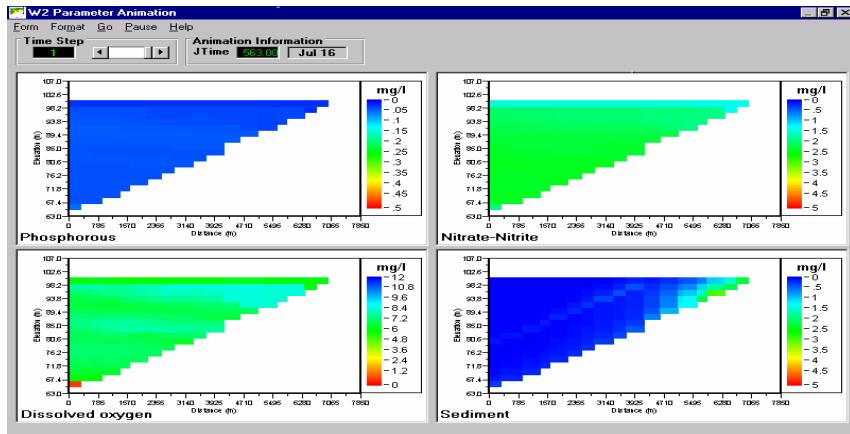
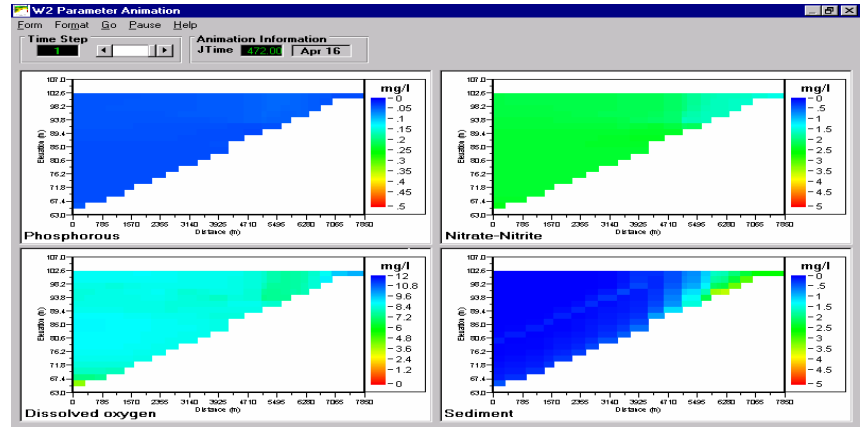
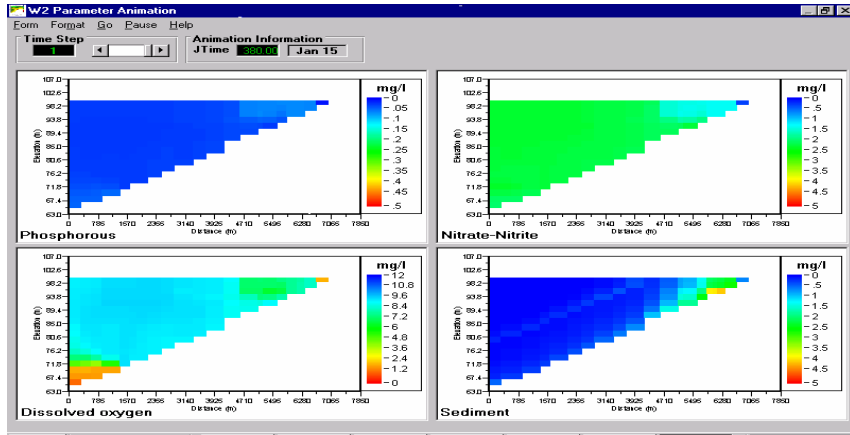


Figura 142: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

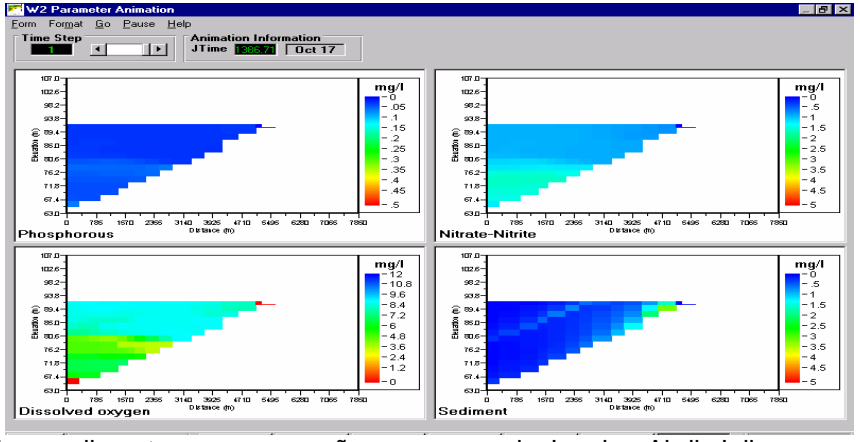
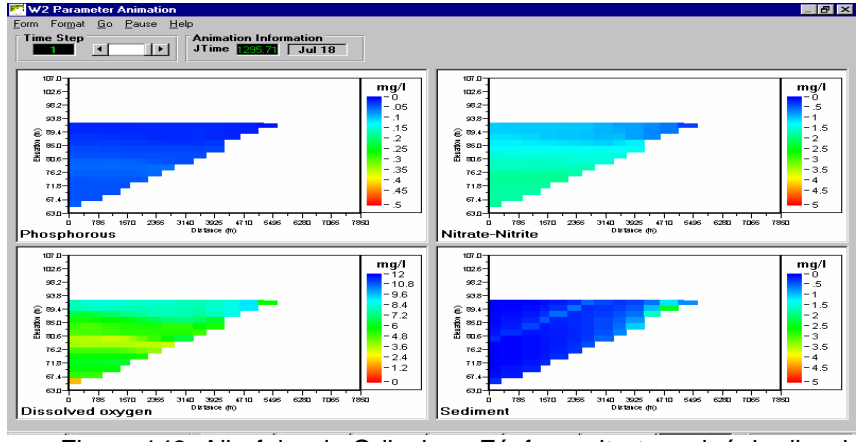
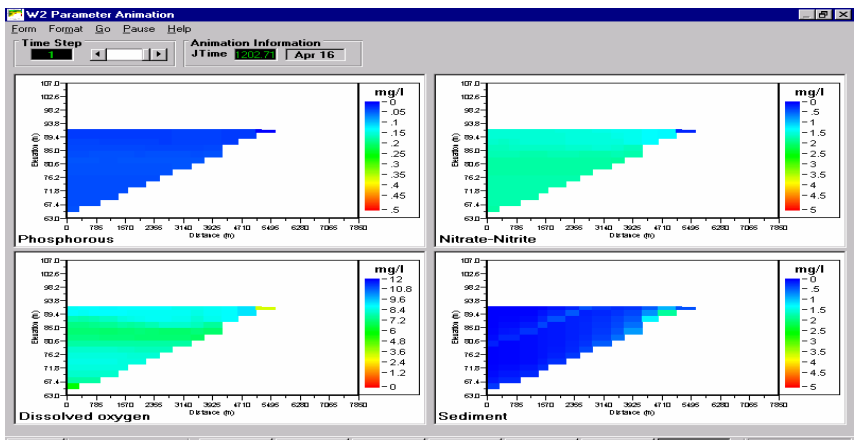
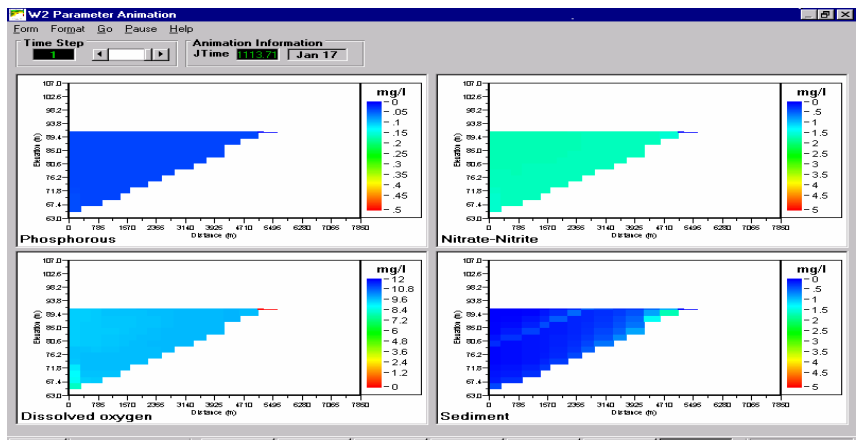


Figura 143: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

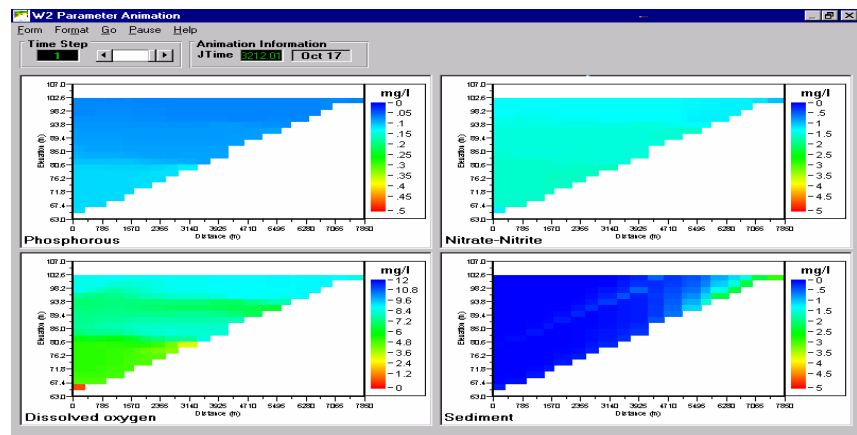
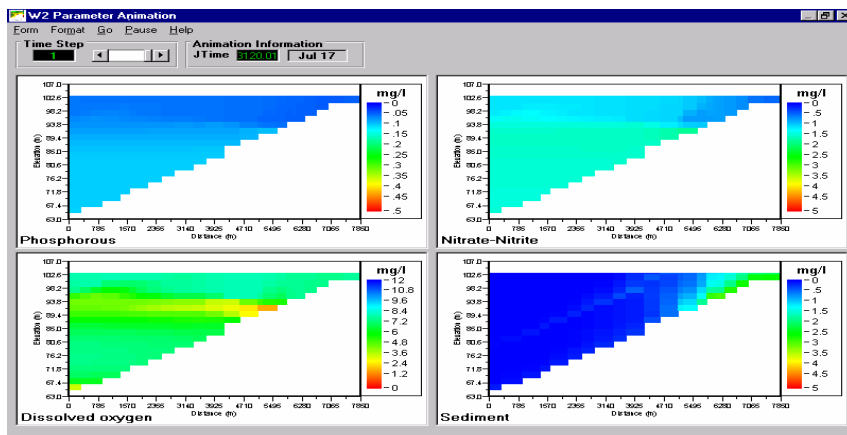
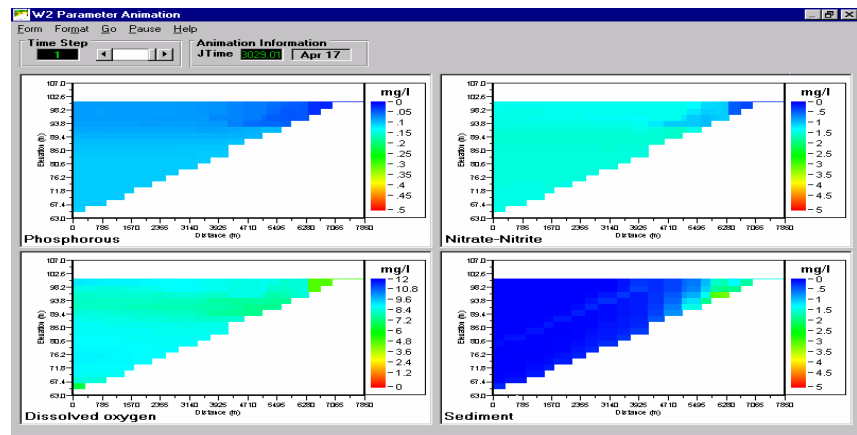
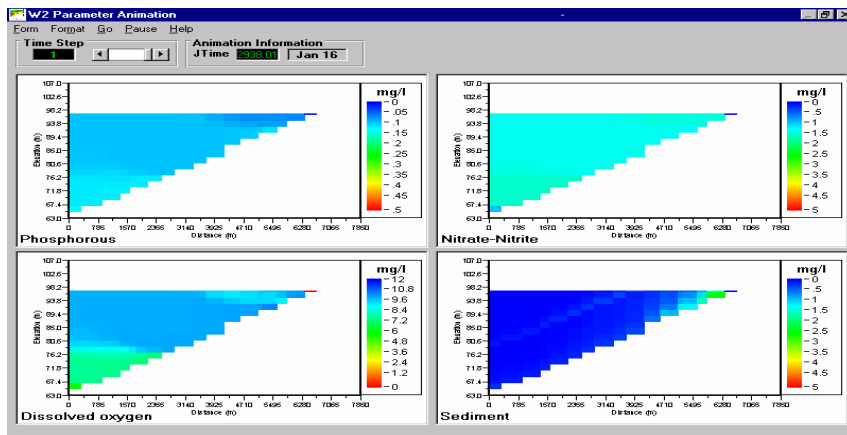


Figura 144: Albufeira de Odivelas - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.

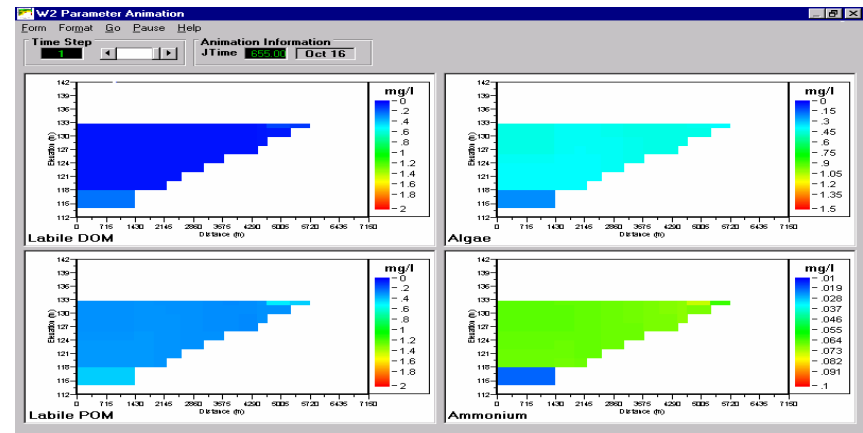
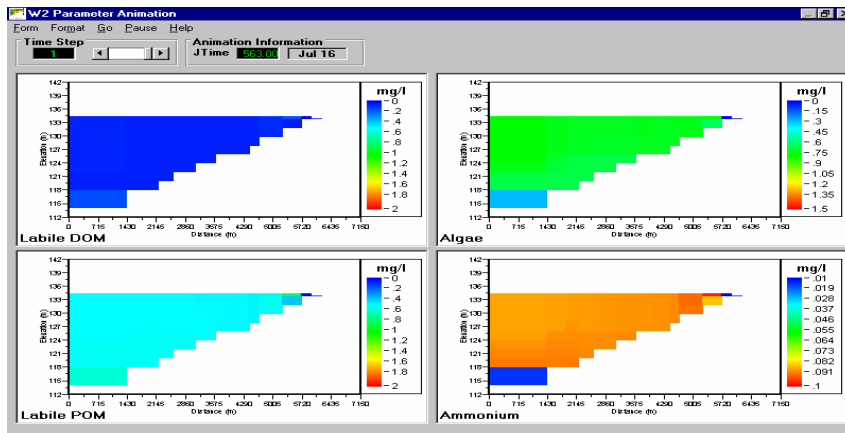
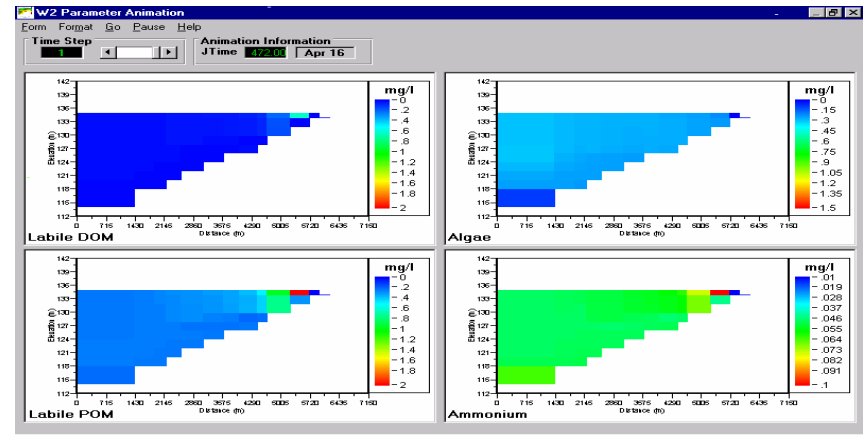
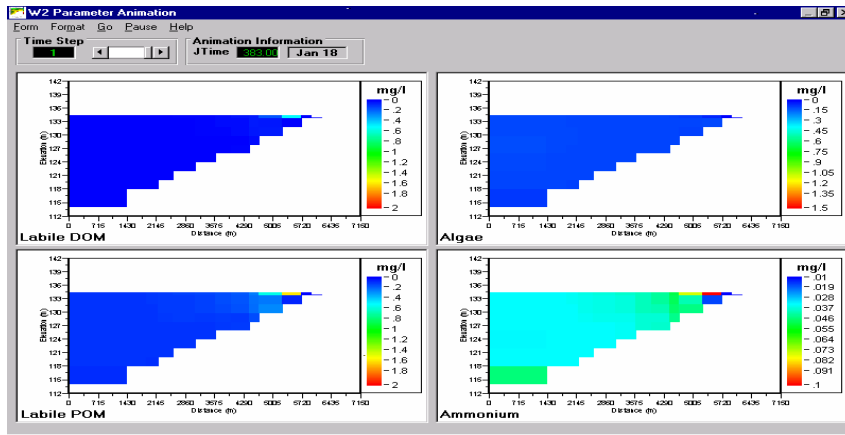


Figura 145: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

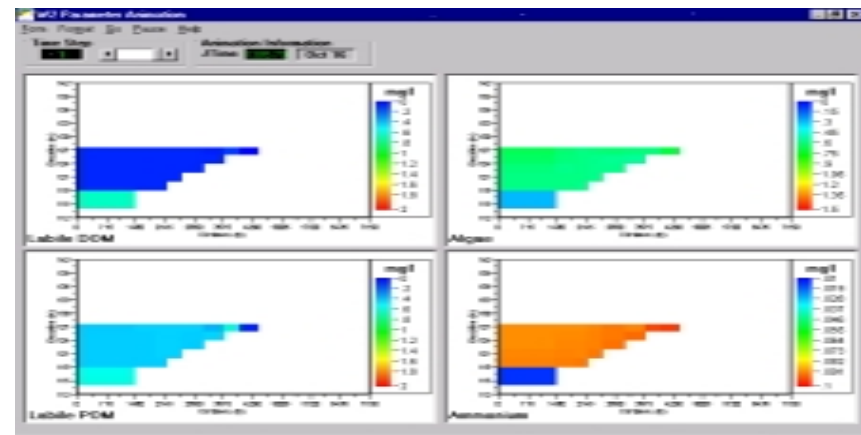
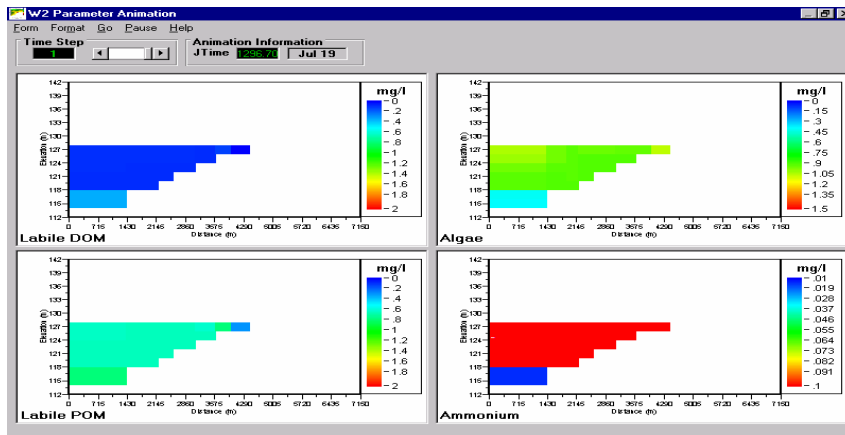
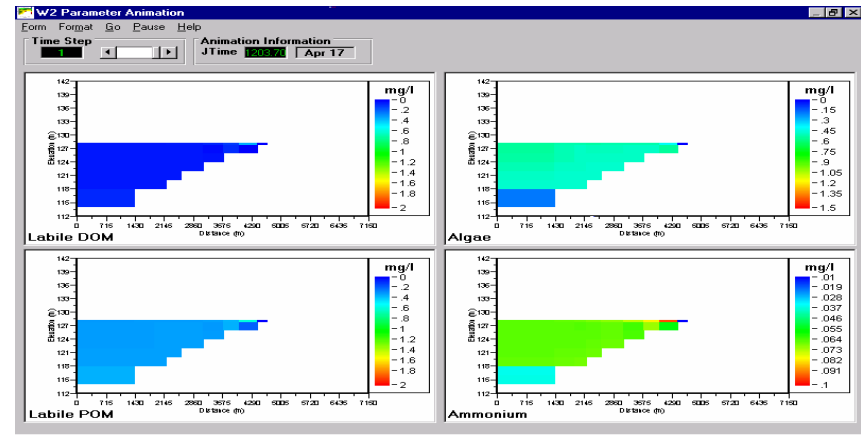
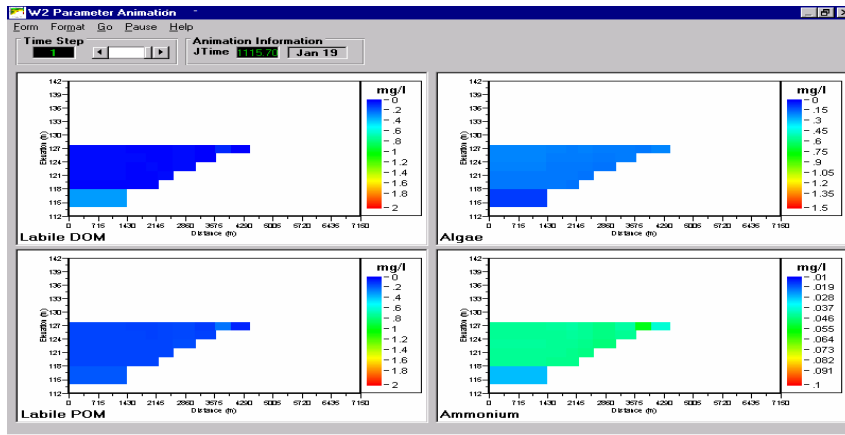


Figura 146: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

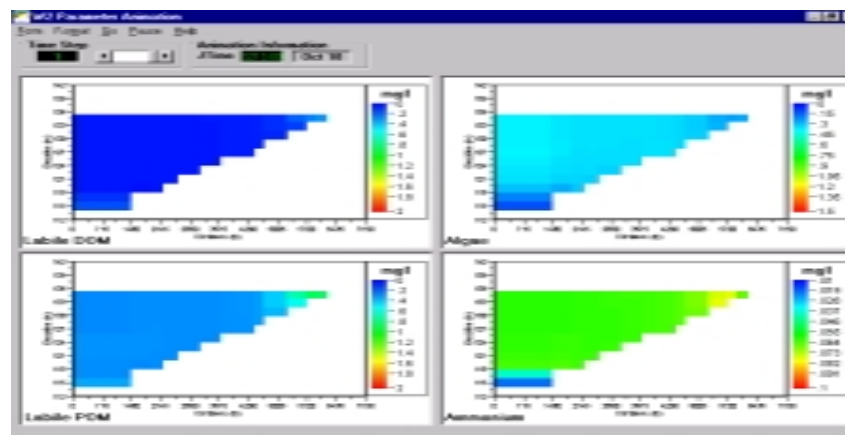
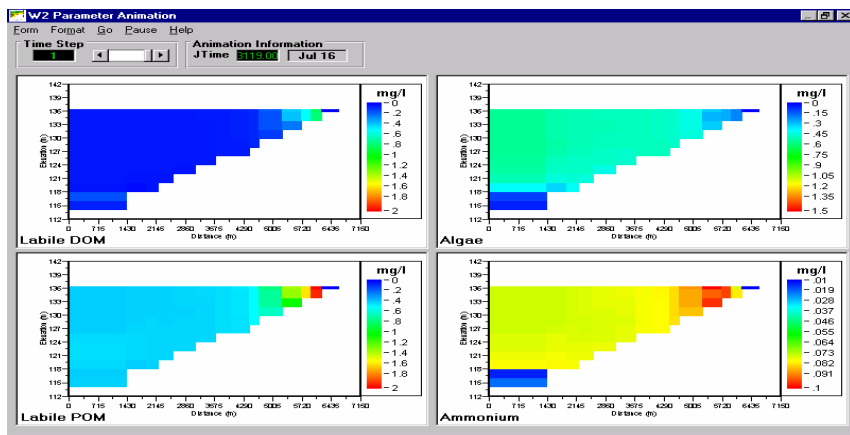
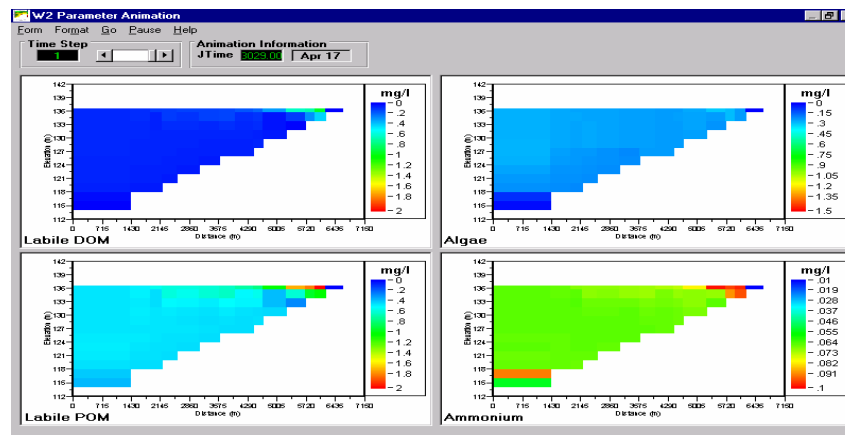
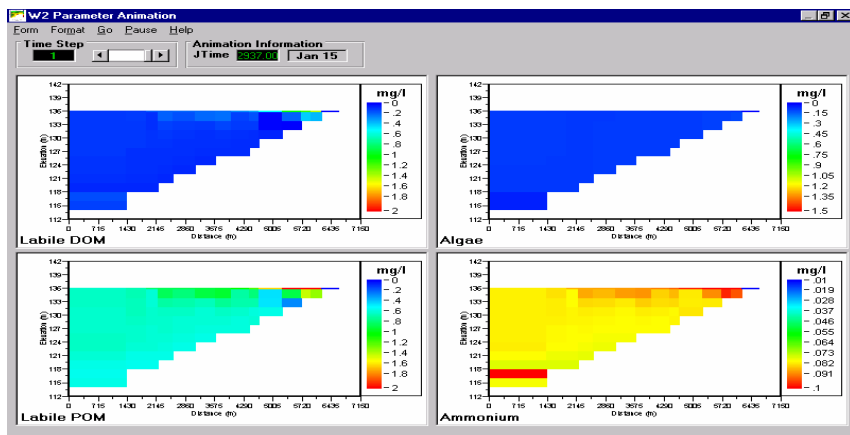


Figura 147: Albufeira do Roxo - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.



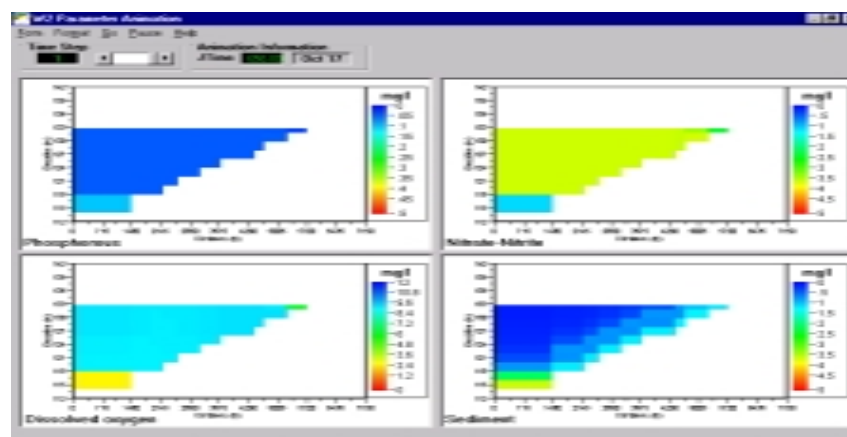
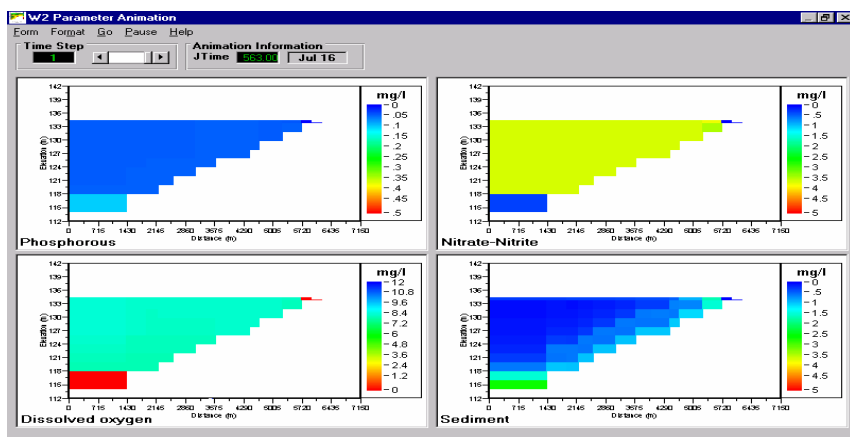
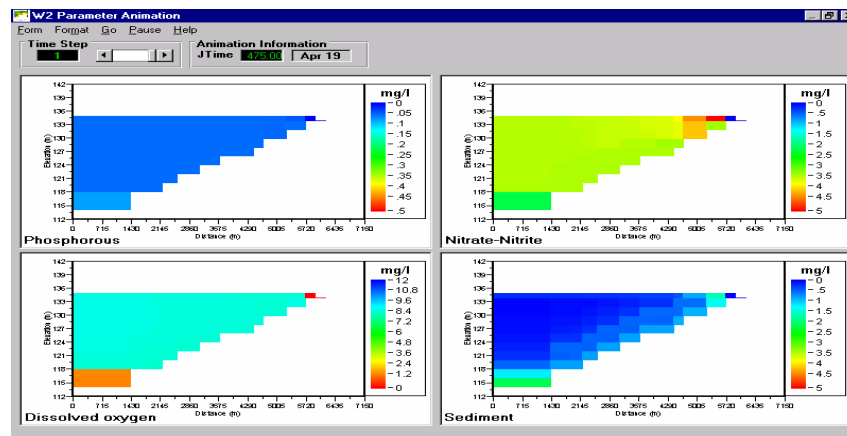
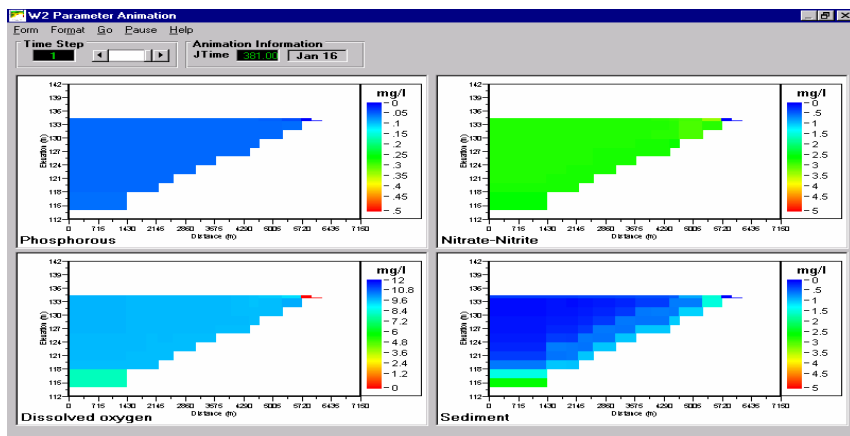


Figura 148: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

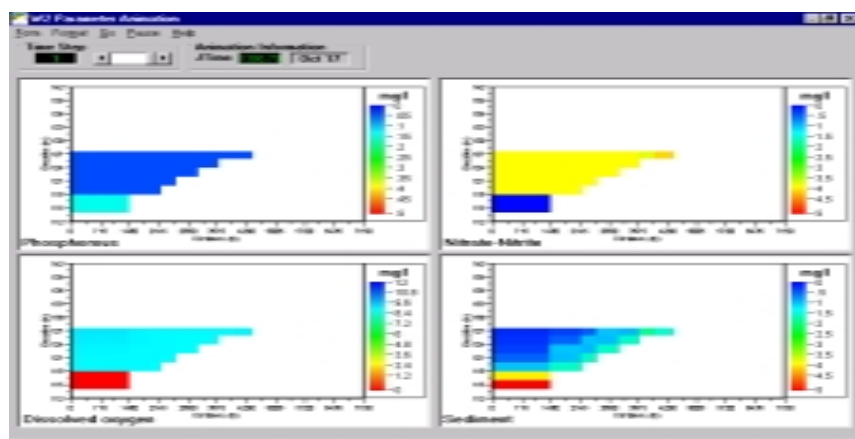
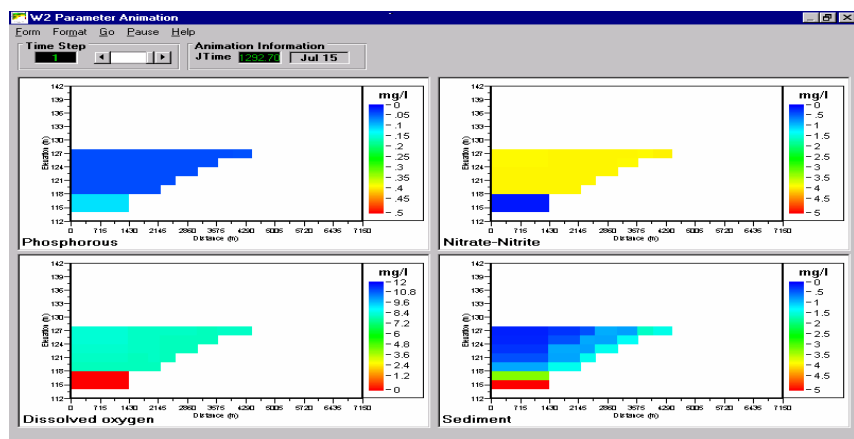
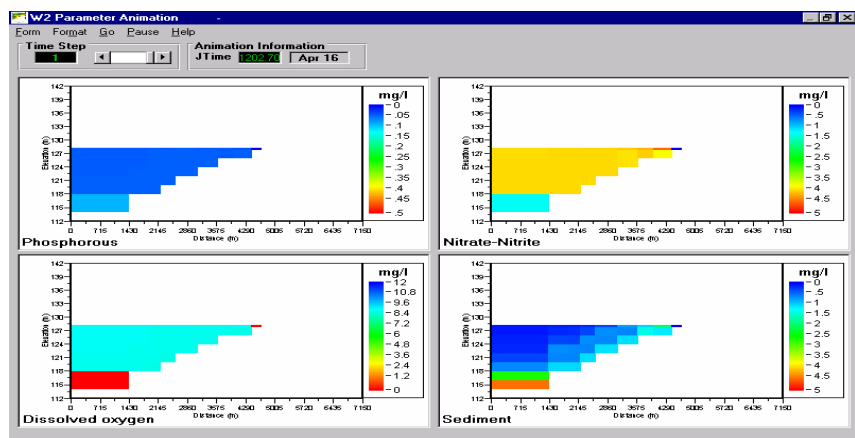
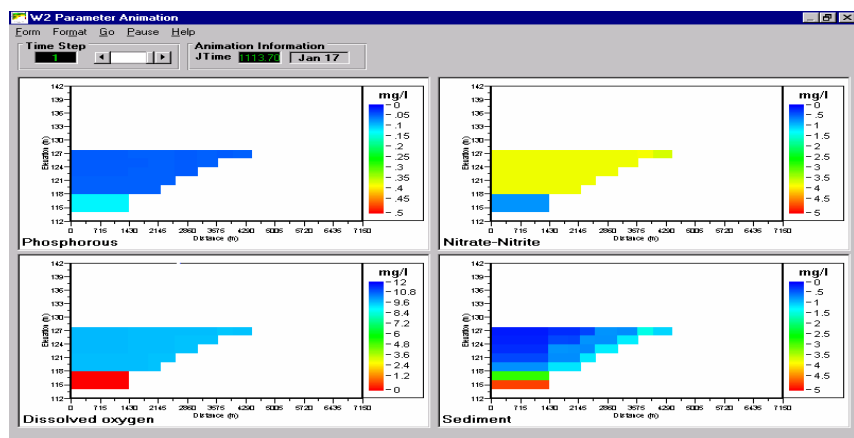


Figura 149: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1993.

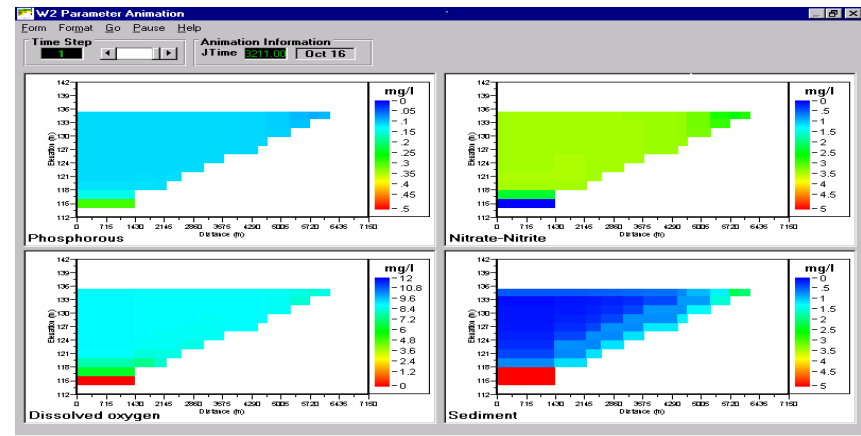
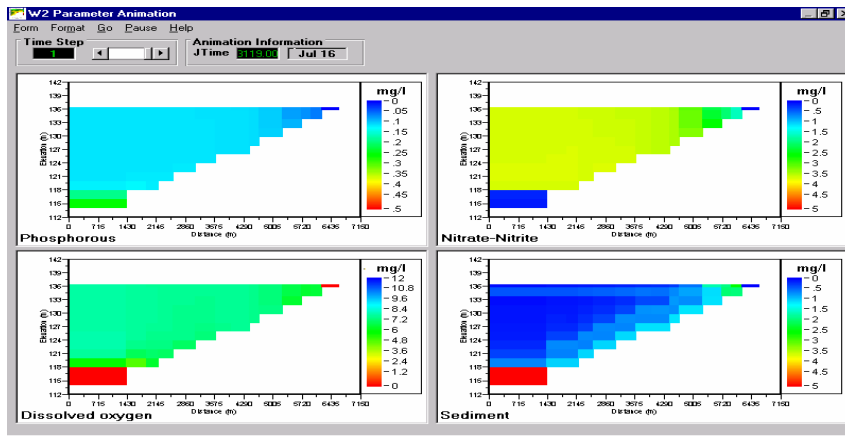
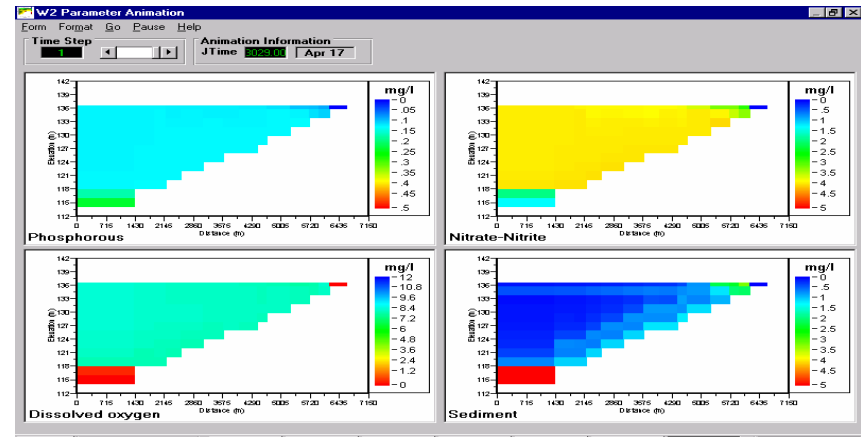
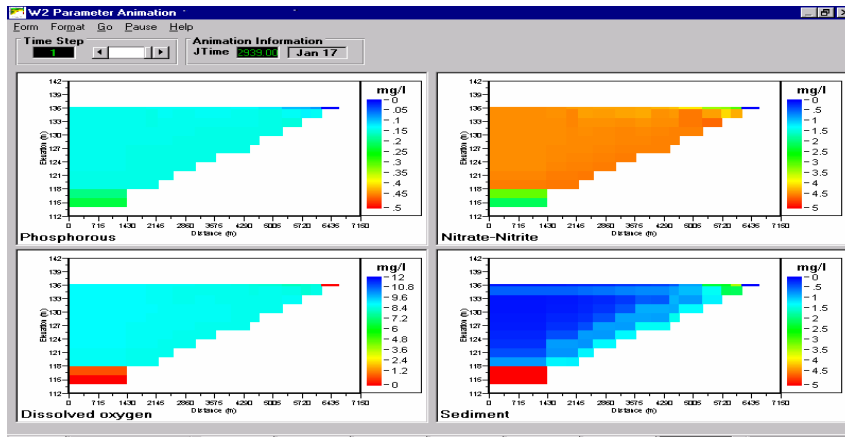


Figura 150: Albufeira do Roxo - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1998.

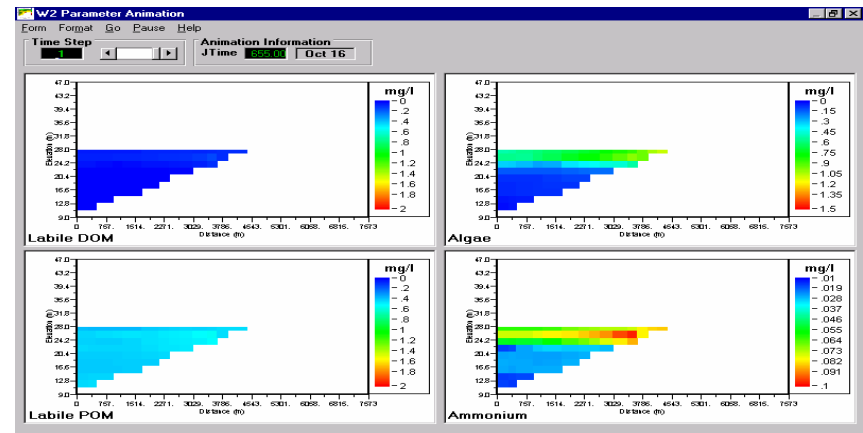
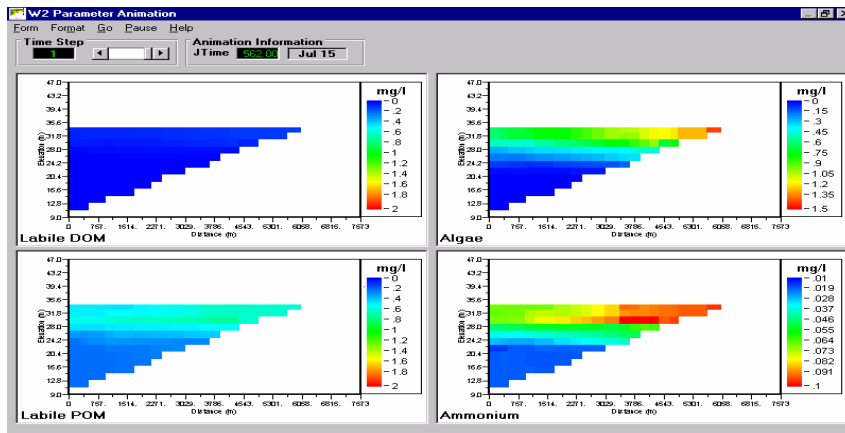
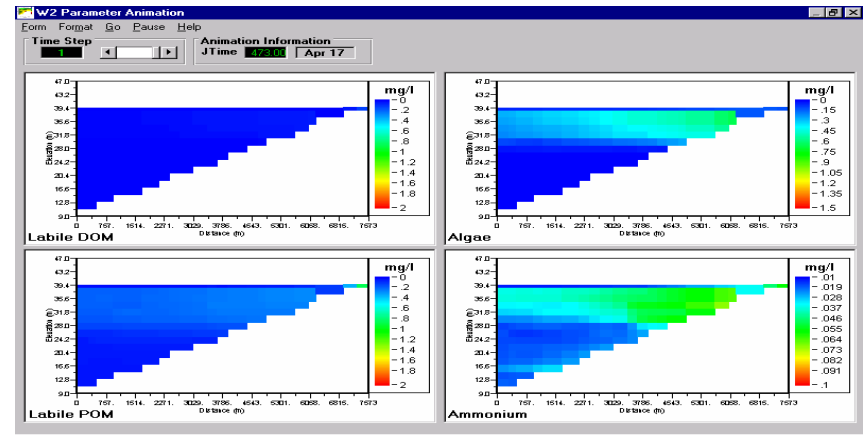
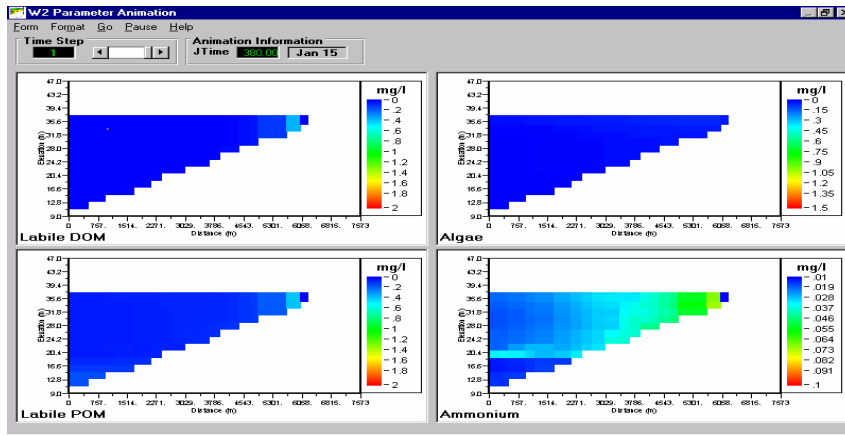


Figura 151: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

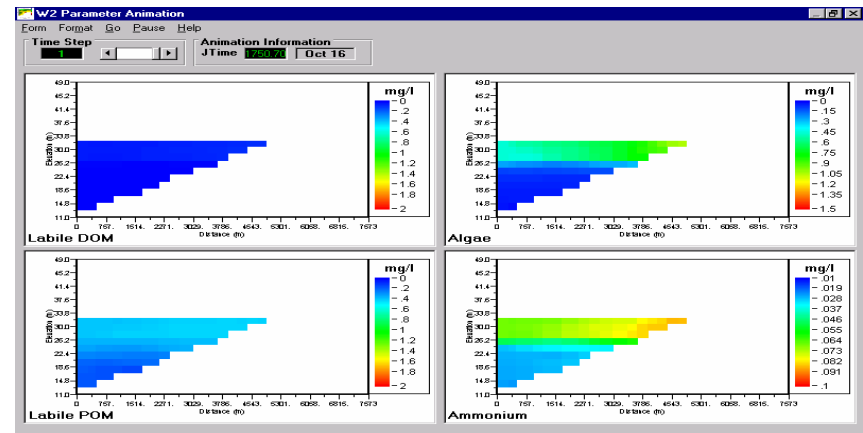
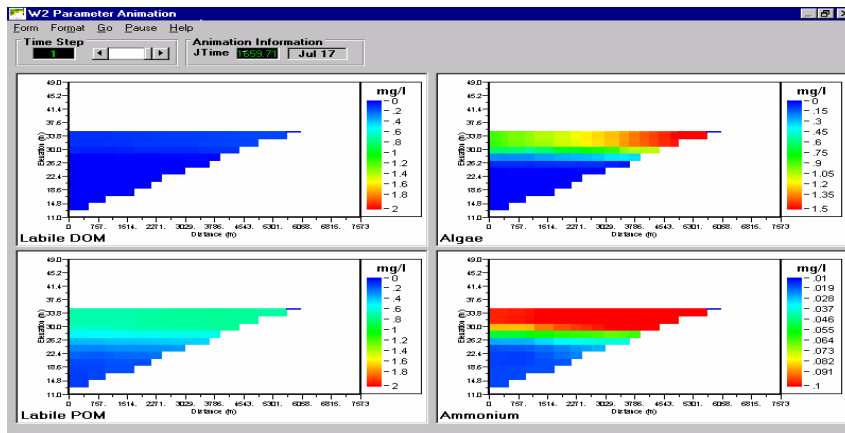
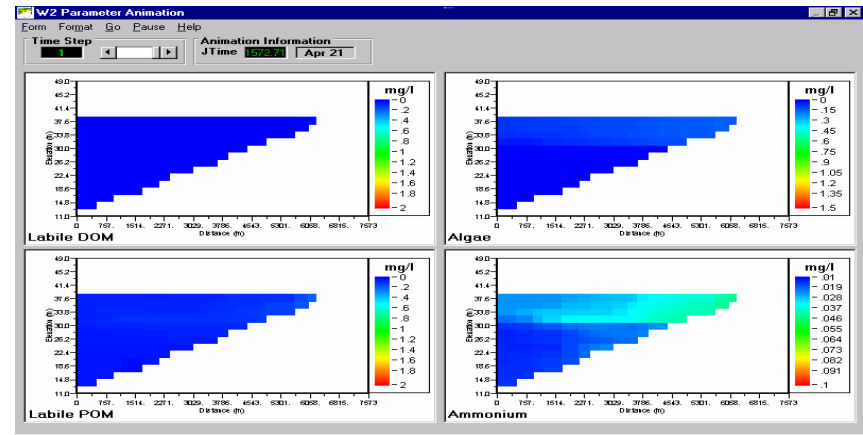
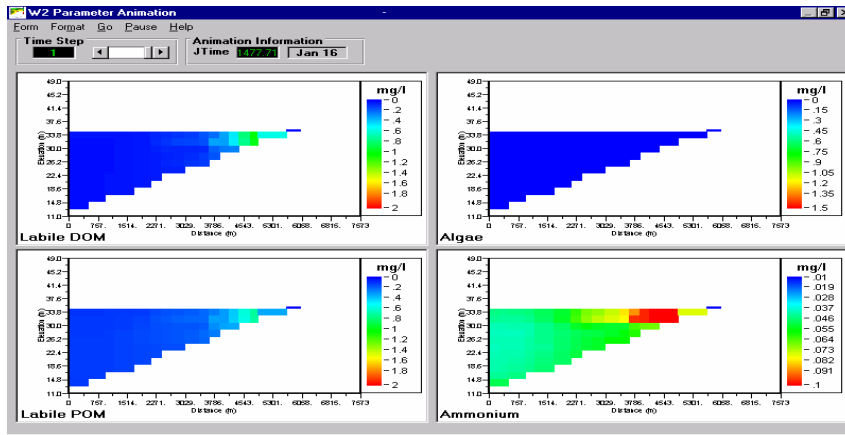


Figura 152: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1994.

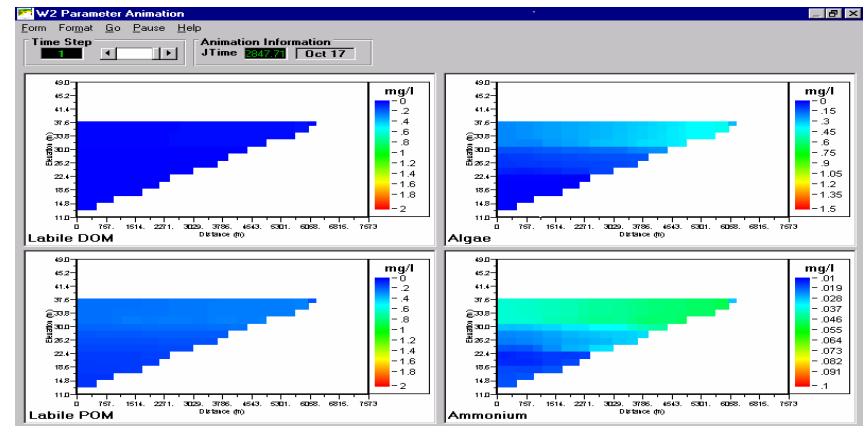
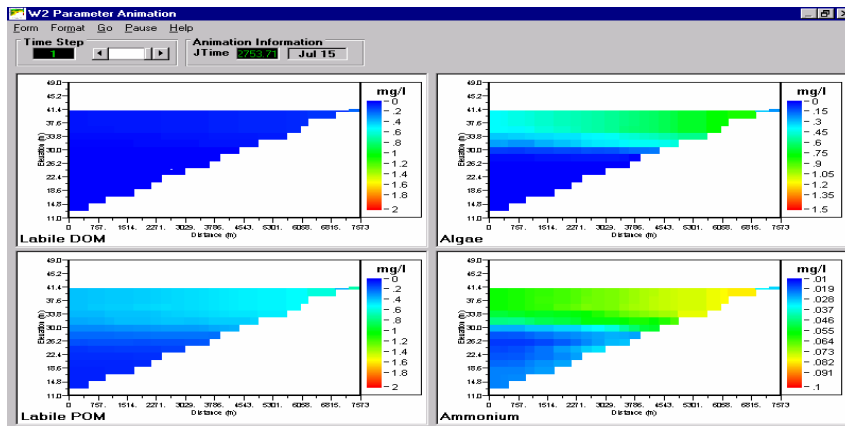
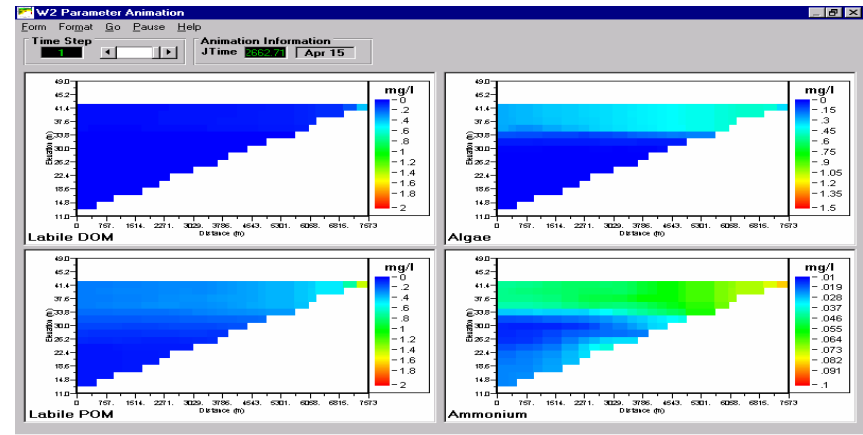
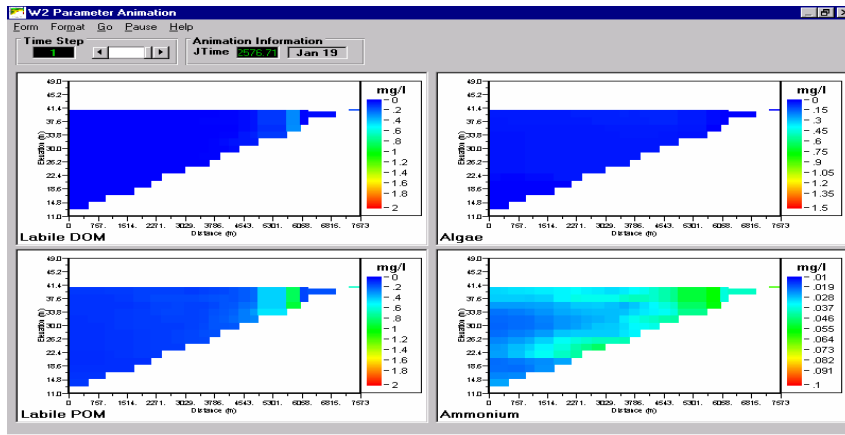


Figura 153: Albufeira do Vale do Gaio - Matéria orgânica dissolvida, matéria orgânica particulada, fitoplâncton e amônia nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1997.

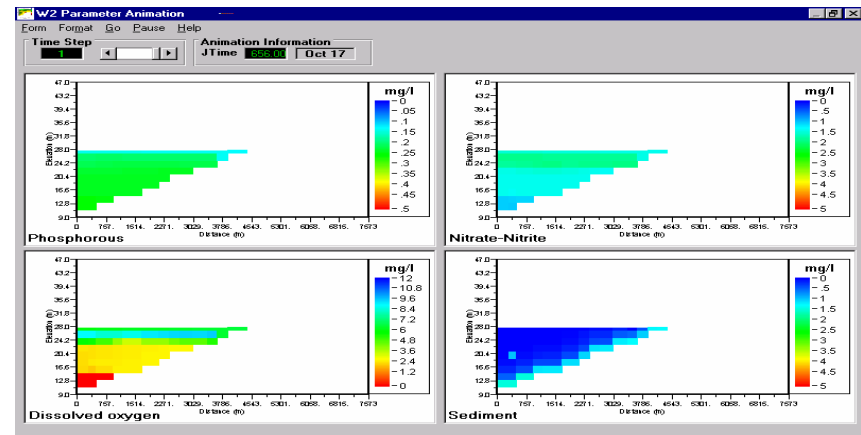
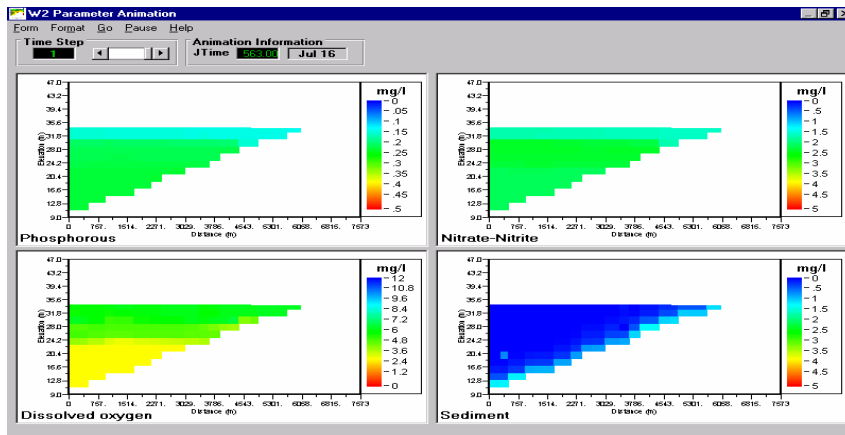
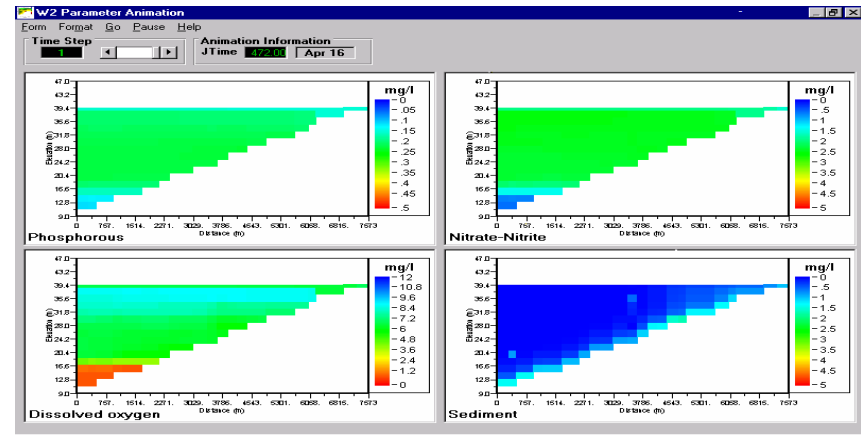
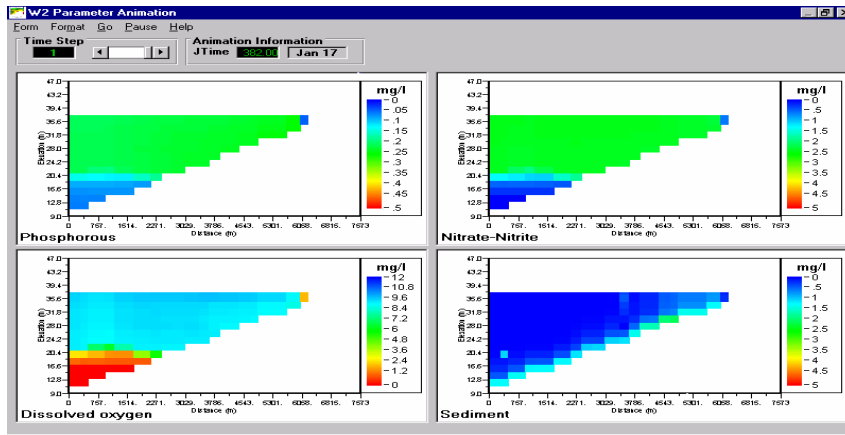


Figura 154: Albufeira do Vale do Gao - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1991.

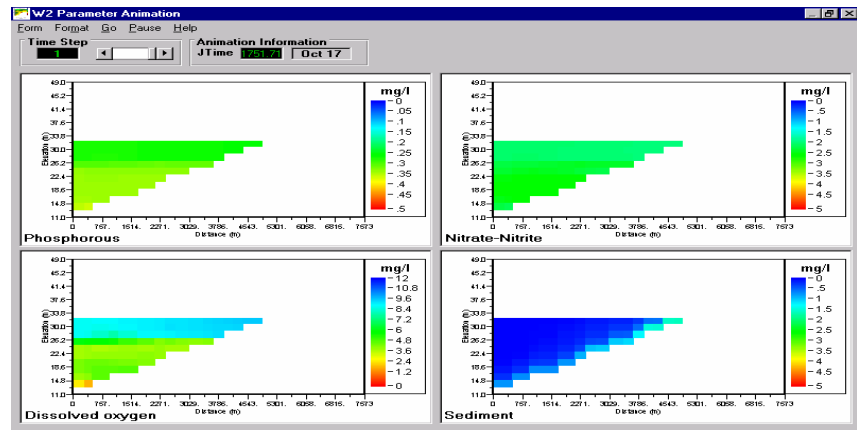
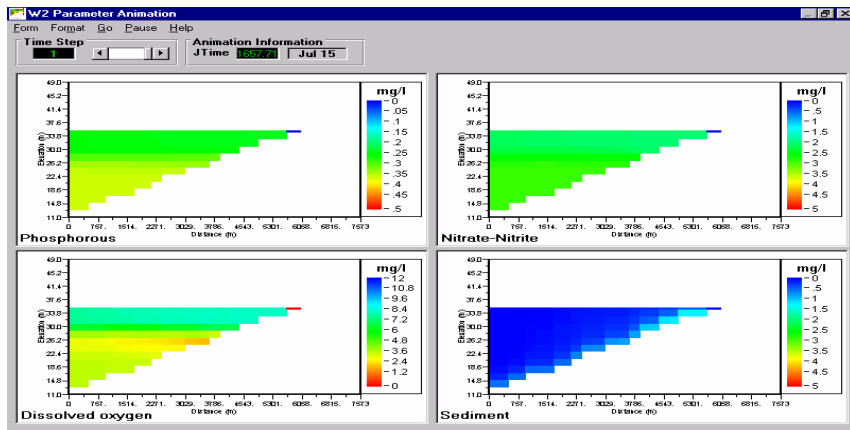
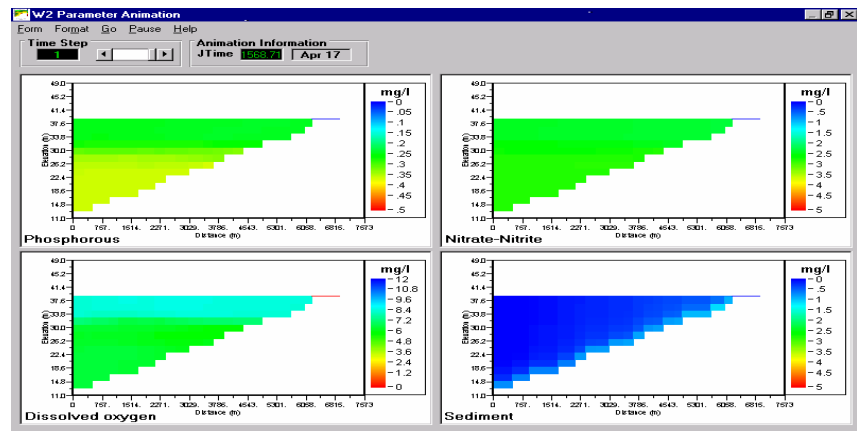
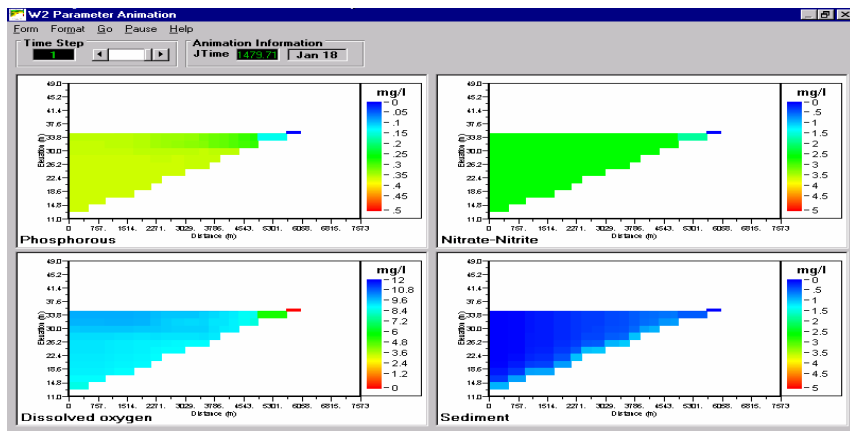


Figura 155: Albufeira do Vale do Gaio - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1994.



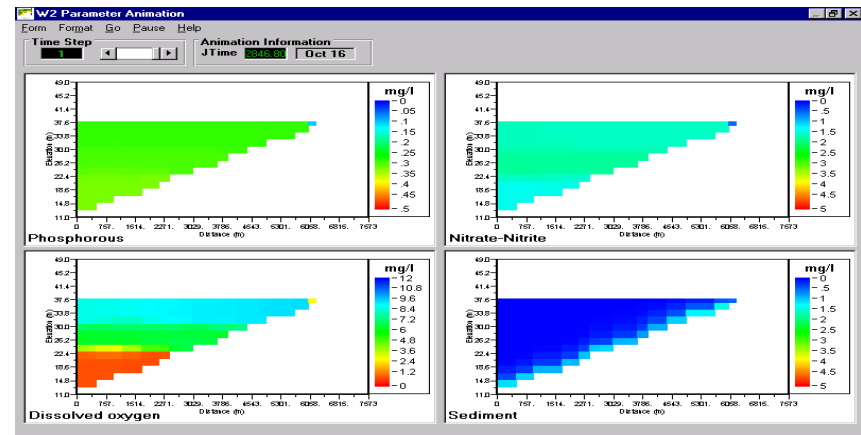
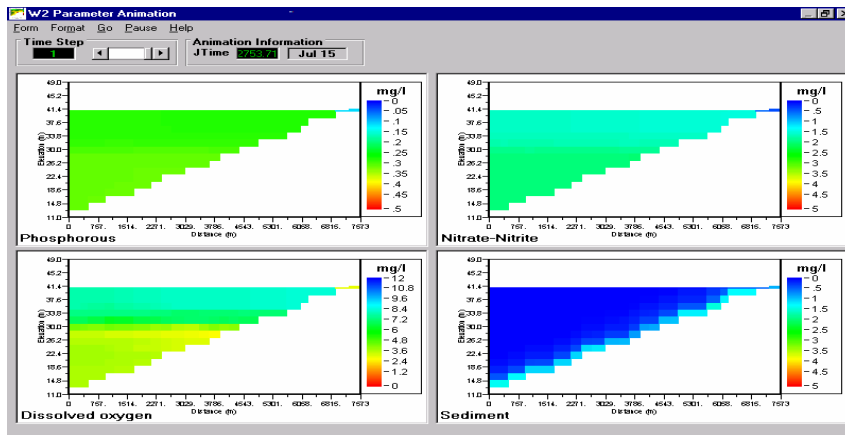
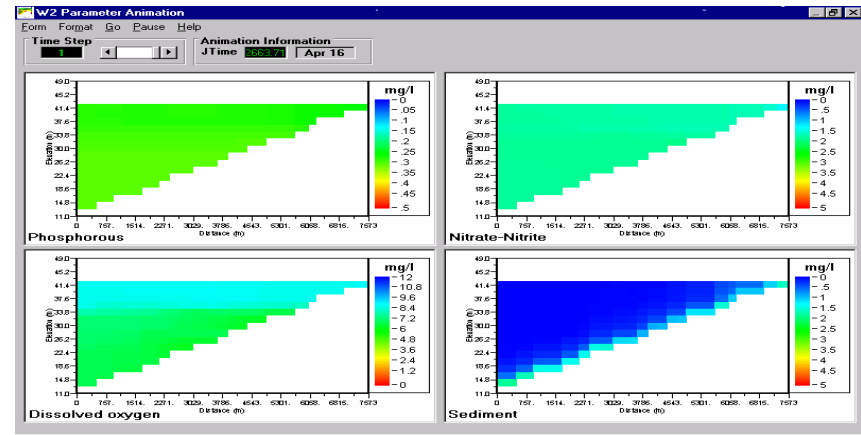
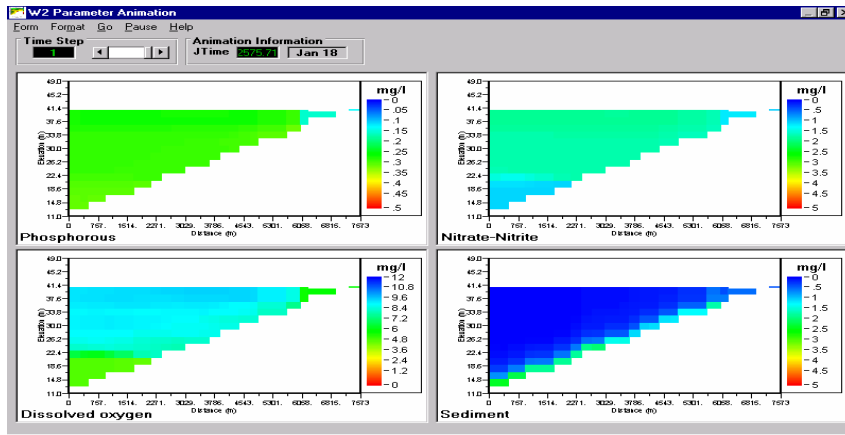


Figura 156: Albufeira do Vale do Gaio - Fósforo, nitrato, oxigénio dissolvido e sedimentos em suspensão nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. Ano 1997.





### **Anexo 3 – Módulo de Qualidade da Água do Sistema MOHID2000**

O módulo de qualidade da água encontra-se implementado numa metodologia a zero dimensões, permitindo assim o seu acoplamento tanto a modelos de qualidade da água (transporte) do tipo Euleriano como Lagrangeano. O modelo ecológico simula o ciclo do Azoto, as concentrações de Oxigénio Dissolvido e CBO e as populações de Fito e Zooplâncton. As espécies do ciclo do Azoto incluem as suas três principais formas inorgânicas - amónia, nitrato e nitrito -, assim como três formas orgânicas de azoto - fracção refractária e não refractária do azoto orgânico dissolvido, e azoto orgânico particulado.

Apresenta-se na Figura 157 um esquema conceptual do modelo utilizado. Os produtores primários – fitoplâncton -, consomem amónia e nitrato, dependendo da disponibilidade destes nutrientes e da radiação solar como fonte(s) de energia para a fotossíntese. O nível trófico seguinte, constituído pelos consumidores primários ou produtores secundários (e.g., Zooplâncton) consomem os compostos orgânicos sintetizados pelos produtores primários, sendo por sua vez consumidos pelos níveis tróficos superiores. As excreções do fitoplâncton incluem amónia, azoto orgânico particulado e azoto orgânico dissolvido lábil. Por sua vez, a decomposição do azoto orgânico particulado produz amónia e azoto orgânico dissolvido refractário ou não lábil. A remineralização do azoto orgânico dissolvido a amónia só é conseguida, no caso refractário, numa escala temporal de anos. O processo da nitrificação é constituído pela transformação da amónia em nitrito, e, posteriormente, em nitrato. Não é considerada no modelo a fixação atmosférica de azoto; a geralmente pequena importância da fixação de  $N_2$  em água salgada justifica a não inclusão deste termo nas equações da amónia.

De acordo com a metodologia a zero dimensões os modelos ecológico e de qualidade da água foram desenvolvidos em termos de fontes/poços calculados para cada propriedade, traduzindo a sua variação devido aos processos biológicos e químicos mais relevantes que ocorrem na coluna de água. Apresentam-se de seguida os termos de fonte/poço para cada propriedade considerada.

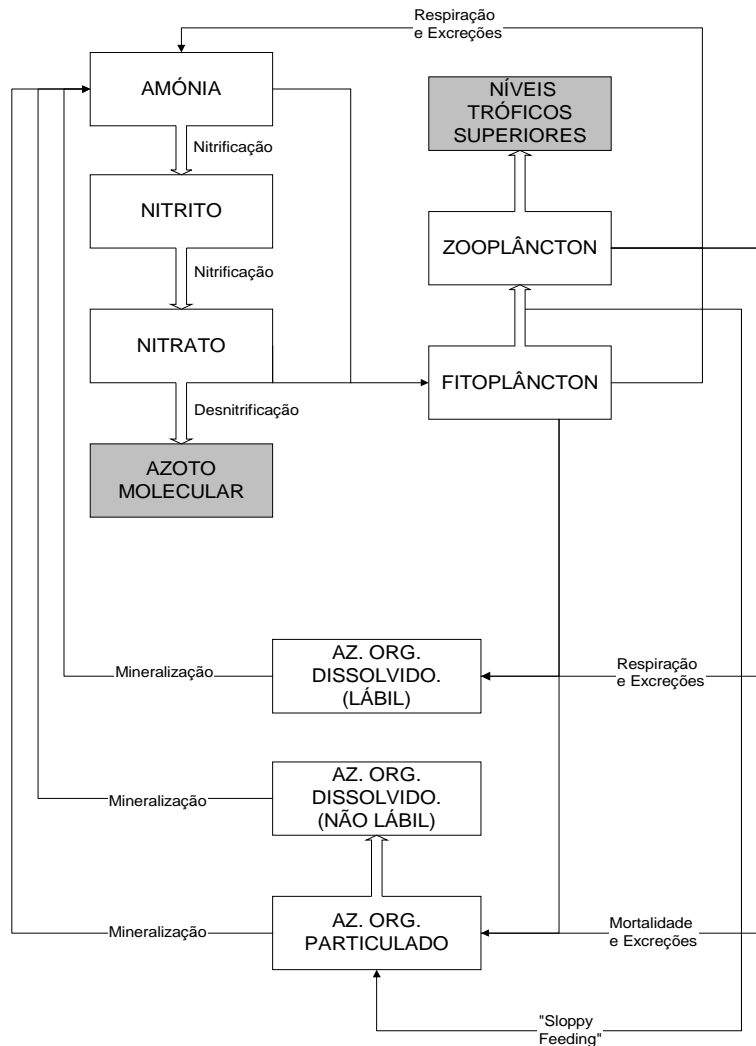


Figura 157 - Esquema do modelo ecológico.

## FITOPLÂNCTON

A única forma de produção primária considerada neste modelo é a fotossíntese fitoplancónica, sendo o termo de fonte/poço para o fitoplâncton dado por:

$$\frac{dF}{dt} = (\mu - r - e_x - s - m)F,$$

onde  $F$  é a concentração de fitoplâncton ( $\text{mg C l}^{-1}$ ),  $\mu$  a taxa bruta de crescimento fitoplanctónico ( $\text{dia}^{-1}$ ),  $r$  a taxa de respiração ( $\text{dia}^{-1}$ ),  $e_x$  a taxa de excreção ( $\text{dia}^{-1}$ ) e  $m$  a mortalidade não predatória ( $\text{dia}^{-1}$ ).

A taxa bruta de crescimento do fitoplâncton é dada por:

$$\mu = \mu_{\max}(T_{\text{ref}}) \Psi(T) \Psi(L) \Psi(N),$$

onde  $\mu_{\max}(T_{\text{ref}})$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) representa a taxa fotossintética ou de crescimento fitoplânctónico máxima a uma dada temperatura de referência (normalmente,  $T_{\text{ref}} = 20^\circ\text{C}$ ) e em condições óptimas de intensidade luminosa e disponibilidade de nutrientes. Valores típicos de  $\mu_{\max}(20^\circ\text{C})$  situam-se entre 1.0 e 2.7  $\text{dia}^{-1}$ .  $\Psi(L)$  é a função que traduz o efeito limitante da intensidade luminosa.  $\Psi(T)$  traduz o efeito da temperatura no crescimento do fitoplâncton e é dado por:

$$\Psi(T) = K_A(T) K_B(T),$$

onde

$$K_A(T) = \frac{k_1 e^{\gamma_1(T - T_{\text{opt}(1)})}}{1 + k_1 \left[ e^{\gamma_1(T - T_{\text{opt}(1)})} \right]} \quad \text{onde} \quad \gamma_1 = \frac{1}{[T_{\text{opt}(1)} - T_{\text{min}}]} \ln \left[ \frac{k}{k} \right]$$

$$K_B(T) = \frac{k_4 e^{\gamma_2(T - T_{\text{max}})}}{1 + k_4 \left[ e^{\gamma_2(T - T_{\text{max}})} \right]} \quad \text{onde} \quad \gamma_2 = \frac{1}{[T_{\text{max}} - T_{\text{opt}(2)}]} \ln \left[ \frac{j}{j} \right]$$

Nas equações acima,  $T_{\text{opt}(1)}$  é o valor mínimo do intervalo óptimo de temperatura para o crescimento do fitoplâncton, sendo  $T_{\text{opt}(2)}$  o máximo.  $T_{\text{min}}$  é a temperatura mínima tolerável pelo fitoplâncton (sendo a sua taxa de crescimento nula a esta temperatura), enquanto que  $T_{\text{max}}$  é a temperatura máxima tolerável. As restantes constantes servem para controlar a forma da curva de resposta.

O efeito limitante do azoto ( $N$ ),  $\Psi(N)$ , é calculado com base na cinética de assimilação de Michaelis-Menten. Considera-se o azoto, na sua forma inorgânica dissolvida (azoto amoniacal e nitratos), como o principal nutriente limitante da produção primária:

$$\Psi(N) = \frac{[NH_4^+ + NO_3^-]}{k_N + [NH_4^+ + NO_3^-]},$$

onde  $k_N$  é a constante de semi-saturação para o azoto, i.e., é a constante que representa a concentração de substrato para a qual  $\Psi(N) = 1/2$ . Um valor típico

é:  $K_N=0.025 \text{ mg N l}^{-1}$ .  $[NH_4^++NO_3^-]$  representa a concentração das formas de azoto inorgânico dissolvido, amónia e nitrato ( $\text{mg N l}^{-1}$ ).

O efeito limitante da intensidade luminosa é modulado de acordo com a formulação de Steele (1962), sendo o seu valor calculado fora do modelo de qualidade da água.

A respiração contribui para a redução da biomassa do fitoplâncton, sendo libertados azoto e fósforo. A respiração  $r$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) é dividida em respiração endógena (ou basal) e fotorrespiração:

$$r = r_e + r_p$$

sendo  $r_e$  a respiração endógena e  $r_p$  a fotorrespiração.

$$r_e = 0,0175e^{0,069T},$$

onde  $K_{er}$  é a constante da respiração endógena do fitoplâncton,  $K_{er} = 0.0175$ , e  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). A fotorrespiração é proporcional à taxa fotossintética:

$$r_p = k_p \mu,$$

sendo  $k_p$  o factor de proporcionalidade.

Em relação à excreção  $e_x$  ( $\text{dia}^{-1}$ ), atendendo a que esta, ao inverso do que se passa com a fotossíntese, é superior quando os níveis de radiação solar são ou muito baixos ou muito altos, a determinação das perdas por excreção faz-se através de:

$$e_x = k_e (1 - \Psi(L)) \mu,$$

onde  $k_e$  é uma constante adimensional.

A mortalidade não predatória  $m$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) do fitoplâncton considera-se directamente proporcional à biomassa de fitoplâncton e inversamente proporcional à taxa de crescimento bruto  $\mu$ :

$$m(T_{ref}) = m_{max}(T_{ref}) \left( \frac{F/\mu}{k_m + F/\mu} \right),$$

onde  $k_m$  é uma constante de semi-saturação para a mortalidade ( $\text{mg C dia}^{-1} \text{ l}^{-1}$ ) e  $m_{max}(T_{ref})$  é a taxa máxima de mortalidade a uma temperatura de referência  $T_{ref}$ . Valores típicos de  $m$  situam-se entre 0.005 e 0.17  $\text{mg C dia}^{-1} \text{ l}^{-1}$ .

## AZOTO

A concentração das várias formas de azoto é simulada pelo modelo através da resolução de um sistema de 6 equações, correspondendo cada equação a cada uma das formas de azoto consideradas: amónia ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), azoto orgânico particulado (PON), azoto orgânico dissolvido

refractário (DONr) e a fracção não-refractária do azoto orgânico dissolvido(DONnr):

$$S_{NH_4^+} = f_{1N} e_{NF} - \Phi_{NH_4^+} - k_{2N} NH_4^+ + k_{1Nr} DONnr + k_{1Nr} DONr + f_2 k_{det} PON$$

$$S_{NO_2^-} = k_{2N} NH_4^+ - k_{2N} NO_2^-$$

$$S_{NO_3^-} = k_{2N} NO_2^- - \Phi_{NO_3^-} - k_{3N} NO_3^-$$

$$S_{PON} = (1 - f_D)(1 - f_{1N})e_{NF} - k_{det} PON + mF\alpha_{N:C}$$

$$S_{DONnr} = f_D(1 - f_{1N})e_{NF} - k_{1Nr} DONnr$$

$$S_{DONr} = k_{det} PON(1 - f_2) - k_{1Nr} DONr$$

onde  $f_{1N}$  é a fracção inorgânica das excreções do plâncton,  $f_D$  é a fracção inorgânica dissolvida das excreções do plâncton.  $e_{NF}$  ( $mg\ N\ l^{-1}\ dia^{-1}$ ) é a taxa de excreção de compostos solúveis de azoto pelo fitoplâncton.  $k_{1N}$  ( $dia^{-1}$ ) é a taxa de hidrólise do DONnr,  $k_{2N}$  ( $dia^{-1}$ ) é a taxa de nitrificação,  $k_{3N}$  ( $dia^{-1}$ ) a taxa de desnitrificação e  $k_{det}$  ( $dia^{-1}$ ) é a taxa de decomposição de compostos orgânicos particulados de azoto.  $\alpha_{N:C}$  ( $mg\ N\ mg\ C^{-1}$ ) representa a razão azoto:carbono na composição elemental do fitoplâncton.  $\Phi_{NH_4^+}$  ( $mg\ N\ l^{-1}\ dia^{-1}$ ) representa a taxa de assimilação fotossintética de amónia.  $\Phi_{NO_3^-}$  ( $mg\ N\ l^{-1}\ dia^{-1}$ ) representa a taxa de assimilação fotossintética de nitrato.

A taxa de hidrólise do DON,  $k_{1N}$ , é dada por:

$$k_{1N} = M_{DON}(T_{ref}) \theta_{DON}^{(T-T_{ref})}$$

onde  $M_{DON}(T_{ref})$  ( $dia^{-1}$ ) é a taxa de decomposição de referência e  $\theta_{DON}$  é o coeficiente da temperatura.

A taxa de nitrificação,  $k_{2N}$ , é dada por:

$$k_{2N} = M_{NH_4^+}(T_{ref}) \theta_{NH_4^+}^{(T-T_{ref})} \left( \frac{O_2}{k_n + O_2} \right)$$

onde  $M_{NH_4^+}(T_{ref})$  ( $dia^{-1}$ ) é a taxa de nitrificação de referência,  $\theta_{NH_4^+}$  é o coeficiente de temperatura,  $k_n$  ( $mg\ O_2\ l^{-1}$ ) é a constante de semi-saturação da nitrificação e  $O_2$  é a concentração de oxigénio ( $mg\ O_2\ l^{-1}$ ). Para a temperatura de referência usual de  $20^\circ C$ ,  $M_{NH_4^+}(20^\circ C) = 0.10\ dia^{-1}$ ,  $\theta_{NH_4^+} = 1.080$  e  $k_n = 2.0\ mg\ O_2\ l^{-1}$  são os valores considerados.

A taxa de desnitrificação,  $k_{3N}$ , é dada por:



$$k_{3N} = M_{NO_3^-}(T_{ref}) \theta_{NO_3^-}^{(T-T_{ref})} \left( \frac{k_d}{k_d + O_2} \right)$$

onde  $M_{NO_3^-}(T_{ref})$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) é a taxa de desnitrificação de referência,  $\theta_{NO_3^-}$  é a temperatura,  $k_d$  ( $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ ) é a constante de semi-saturação da desnitrificação e  $O_2$  é a concentração de oxigénio ( $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ ). Para a temperatura de referência de  $20^\circ\text{C}$  os valores considerados são:  $M_{NO_3^-}(20^\circ\text{C}) = 0.10 \text{ dia}^{-1}$ ,  $\theta_{NO_3^-} = 1.080$  e  $k_d = 0.1 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ .

A taxa de decomposição de compostos orgânicos particulados de azoto,  $k_{det}$ , é dada por:

$$k_{det} = M_{PON}(T_{ref}) \theta_{PON}^{(T-T_{ref})}$$

onde  $M_{PON}(T_{ref})$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) é a taxa de decomposição de referência e  $\theta_{PON}$  é o coeficiente de temperatura.

A taxa de excreção de compostos azotados solúveis pelo fitoplâncton,  $e_{NF}$  ( $\text{mg N l}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) é dada por:

$$e_{NF} = \alpha_{N:C}(r + e_x)F,$$

sendo  $\alpha_{N:C}$  a fracção de azoto contida nas células de fitoplâncton ( $\text{mg N mg C}^{-1}$ ), a taxa de respiração do fitoplâncton ( $\text{dia}^{-1}$ ),  $e_x$  a taxa de excreção do fitoplâncton ( $\text{dia}^{-1}$ ).

O consumo directo dos nutrientes pelo fitoplâncton faz-se apenas quando aqueles se encontram na forma inorgânica dissolvida, ou seja, no caso do azoto sob a forma de amónia ou de nitrato, demonstrando-se preferência pela forma amoniacal, sendo o nitrato consumido apenas na ausência desta. As taxas de assimilação fotossintética de amónia,  $\Phi_{NH_4^+}$  e de nitrato,  $\Phi_{NO_3^-}$ , são dadas respectivamente por:

$$\Phi_{NH_4^+} = \beta_{NH_4^+} \alpha_{N:C} \mu F$$

e

$$\Phi_{NO_3^-} = (1 - \beta_{NH_4^+}) \alpha_{N:C} \mu F$$

onde  $\beta_{NH_4^+}$  é o factor de preferência pelo ião amónio e  $\alpha_{N:C}$  representa a fracção de azoto contida nas células de fitoplâncton ( $\text{mg N/mg C}$ ), sendo:

$$\beta_{NH_4^+} = \frac{NH_4^+ \cdot NO_3^-}{(k_N + NH_4^+)(k_N + NO_3^-)} + \frac{NH_4^+ \cdot k_N}{(NH_4^+ + NO_3^-)(k_N + NO_3^-)}$$

onde  $k_N$  é a já mencionada constante de semi-saturação do azoto, considerando-se um valor de  $k_N = 0.025 \text{ mg N l}^{-1}$ .

O modelo de qualidade calcula sempre a concentração de oxigénio dissolvido; no caso de tal não ser expressamente pedido pelo utilizador, o modelo calcula a concentração de saturação.

A concentração de saturação do oxigênio,  $O_2|_{sat}$  (mg  $O_2$  l<sup>-1</sup>) :

$$O_2|_{sat} = \exp \left\{ -139.344 \ln T(K) + \frac{1.575 \ 701 \times 10^5}{T(K)} - \frac{6.642 \ 308 \times 10^7}{T(K)^2} + \frac{1.243 \ 800 \times 10^{10}}{T(K)^3} - \frac{8.621 \ 949 \times 10^{11}}{T(K)^4} - C_{cl} \left( 3.1929 \times 10^{-2} - \frac{19.428}{T(K)} + \frac{3.8673 \times 10^3}{T(K)^2} \right) \right\}$$

onde  $C_{cl}$  é a clorinidade da água (p.p.t.):

$$C_{cl} = \frac{S}{1.806 \ 55},$$

e S a salinidade (p.p.t.).