



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/15799

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

Relatório final

Referência do projecto n.º POCI/AGR/57719/2004

Estudo realizado para:
FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia
Ciência.Inovação 2010 – Programa Operacional Ciência
e Inovação 2010

Lisboa • Setembro de 2009

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 301/2009 – NAS



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/15799

**METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO
DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE
DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA**

REFERÊNCIA DO PROJECTO N.º POCI/AGR/57719/2004
RELATÓRIO FINAL

Equipas do projecto:



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Lisboa, Setembro de 2009

Estudo realizado para:

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

**Ciência.Inovação
2010**

Programa Operacional Ciência e Inovação 2010
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, INOVAÇÃO E ENSINO SUPERIOR

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

RESUMO

O presente relatório corresponde ao Relatório Final de Execução Material do projecto POCI/AGR/57719/2004 intitulado "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", que decorreu entre Maio de 2005 e Junho de 2009, para a Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

O projecto foi coordenado pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e contou com a participação do ICAM (Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas), do IMAR (Instituto do Mar) e do IST (Instituto Superior Técnico).

O trabalho apresentado corresponde ao objectivo global do projecto, i.e. "Estimular a utilização futura de culturas mais sustentáveis e de melhores práticas agrícolas que possam contribuir para diminuir o risco de degradação da qualidade das águas subterrâneas protegendo-as atendendo, entre outros aspectos, à sua vulnerabilidade". Nesse contexto foram avaliados em dois anos consecutivos, 2006 e 2007, os efeitos de diferentes práticas agrícolas e culturas nos solos e nas águas de jusante (de rega, de escorrência, da zona vadosa e subterrâneas) nas áreas de estudo seleccionadas no início do projecto, localizadas em duas parcelas regadas de Ferreira do Alentejo. Esses dados foram modelados e permitiram definir cenários de optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada com recurso a modelos de apoio à decisão.

Neste relatório apresentam-se os trabalhos desenvolvidos no âmbito do conjunto de tarefas propostas: *Tarefa 1 - Caracterização do sistema agro-hídrico; Tarefa 2: Caracterização de parâmetros do solo e hidrodinâmicos; Tarefa 3: Monitorização e modelação do aquífero e Tarefa 4: Optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada.*

AGRADECIMENTOS

O trabalho que se apresenta foi realizado no âmbito do projecto POCI/AGR/57719/2004, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia a quem se agradece. Foi ainda realizado no âmbito do Plano de Investigação Programada do LNEC para 2005-2008, no Estudo "Protecção dos recursos hídricos subterrâneos da poluição difusa proveniente da actividade agrícola" (Proc. 0607/11/16255).

A realização deste trabalho contou com a colaboração de várias pessoas e entidades, a quem se agradece, e cujo contributo se revelou essencial para o bom desenvolvimento deste estudo. Destacam-se: (1) os agricultores senhores Manuel Duarte e Guiomar pela autorização de utilização das suas parcelas regadas e pelo apoio prestado; (2) os Senhores Custódio Alves e José Lobato Condeças, Técnicos da Universidade de Évora, por todo o apoio prestado recolha de amostras de solos; (3) os técnicos do COTR, Engenheiros Luís Miguel Boteta, Hilário Catronga e Isaurindo Oliveira pelo apoio na instalação dos piezómetros e na cedência de informação sobre as datas, dotações de rega e fertilizações; (4) os técnicos do Laboratório de Solos e Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora (Sr. José Lobato Condeças), pela realização dos ensaios de caracterização textural, de densidades do solo, de porosidade e de teor de humidade; (4) os Engenheiros Casimiro Martins, Arménio Oliveira, Fernando Pereira Pires e Sofia Araújo, todos da Estação Agronómica Nacional, pelo trabalho de caracterização de dois perfis representativos dos solos do Monte da Mancoca e do Monte do Pinheirinho e pela classificação do solo e das características hidrodinâmicas e físicas dos mesmos e (5) os Engenheiros António Toureiro e Célia Toureiro, da Universidade de Évora, pelo apoio e elementos fornecidos sobre a área de estudo.

Um agradecimento é também devido aos colegas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Dr.^a Maria José Henriques, Sr. Acácio Monteiro, Sr. Odair Maurício) pelo seu apoio pontual ao intenso trabalho de campo semanal e, em especial à Lara Espírito-Santo, bolseira de Mestrado Bolonha no Núcleo de Águas Subterrâneas em 2007, por toda a ajuda nas inúmeras deslocações ao campo.

Por último agradece-se ao Dr. Manuel M. Oliveira e à Dr.^a Malva Mancuso, do LNEC, pelo contributo na orientação do trabalho de aplicação do método de avaliação da vulnerabilidade à poluição à área de estudo e de modelação numérica da zona saturada, respectivamente.

ÍNDICE DO TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
2	SELECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
3	DESCRIÇÃO DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS ADOPTADAS	3
3.1	Considerações gerais	3
3.2	Culturas instaladas	4
3.3	Métodos de rega	8
3.4	Modos de fertilização	17
4	METODOLOGIAS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁREAS DE ESTUDO	17
4.1	Solos	17
4.1.1	Critérios para a selecção dos locais de amostragem	17
4.1.2	Textura	18
4.1.3	Densidades aparente e real e porosidade	19
4.1.4	Teor de humidade, armazenamento de água no solo e carga hidráulica	19
4.1.5	Desenvolvimento radical	20
4.1.6	pF	21
4.1.7	Concentração iónica	22
4.1.8	Capacidade de troca catiónica	23
4.1.9	Grau de saturação com bases de Hissink	23
4.2	Águas	24
4.2.1	Critérios para a selecção dos locais e infra-estruturas de amostragem	24
4.2.1.1	Área circundante às parcelas	24
4.2.1.2	Interior das parcelas	25
4.2.2	SAR	31
4.2.3	Concentrações iónicas e condutividade eléctrica	32
5	RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE	33
5.1	Solos	33
5.1.1	Caracterização pedológica	33
5.1.1.1	Classificação	33
5.1.1.2	Textura	33
5.1.1.3	Densidade aparente e real, e porosidade	36
5.1.2	Desenvolvimento radical	39
5.1.3	Caracterização química	41
5.1.3.1	Concentração iónica	41
5.1.3.2	Capacidade de troca catiónica	43
5.2	Águas	44
5.2.1	Água de escorrência	44
5.2.2	Água da zona vadosa	51
5.2.3	Águas subterrâneas	65
5.2.4	Água das valas de drenagem e do canal de rega	81
5.2.5	Água das ribeiras	87

6	DETERMINAÇÃO DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	91
6.1	Introdução	91
6.2	Ocupação agrícola da infra-estrutura 12	91
6.3	Modelação da recarga de águas subterrâneas (2002-2007)	92
6.4	Considerações finais	96
7	CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO	97
7.1	Metodologia utilizada	97
7.2	Descrição dos Parâmetros DRASTIC	97
7.2.1	Parâmetro D - Profundidade do Topo do Aquífero	97
7.2.2	Parâmetro R - Recarga do Aquífero	98
7.2.3	Parâmetro A - Material do Aquífero	98
7.2.4	Parâmetro S - Tipo de Solo	99
7.2.5	Parâmetro T - Topografia	100
7.2.6	Parâmetro I - Influência da Zona Vadosa	100
7.2.7	Parâmetro C - Condutividade Hidráulica do Aquífero	101
7.2.8	Índice DRASTIC	101
7.3	Resultados obtidos	102
8	MODELAÇÃO DA ZONA SATURADA	108
8.1	Escoamento subterrâneo	108
8.1.1	Considerações iniciais	108
8.1.2	Modelo conceptual	109
8.1.3	Resultados obtidos	113
8.2	Modelação do transporte de poluentes	116
8.2.1	Considerações iniciais	116
8.2.2	Condições do modelo – qualidade	118
8.2.3	Resultados obtidos	119
9	OPTIMIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO	121
9.1	Introdução	121
9.2	Modelos de decisão para a definição da melhor utilização do solo agrícola	122
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
	BIBLIOGRAFIA	130
	ANEXO 1 - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DO SOLO DO MONTE DA MANCOCA	135
	ANEXO 2 - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DO SOLO DO MONTE DO PINHEIRINHO	136
	ANEXO 3 - BOLETIM ANALÍTICO DA LQA AMBIENTE	138
	ANEXO 4 - RESULTADOS DO MODELO	139
	ANEXO 5 - FIGURAS DOS CENÁRIOS MODELADOS	148
	ANEXO 6 - CARACTERIZAÇÃO E MODELAÇÃO DA ZONA VADOSA	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Carta Militar com implantação da bacia estudada na parte inferior do perímetro de rega da infra-estrutura 12 (extraído de COTR, 2005)	2
Fig. 2 - Carta de Solos da bacia hidrográfica implantada sobre a Carta Militar, onde se assinalam a vermelho os Montes da Mancoca e do Pinheirinho (extraído de COTR, 2005)	3
Fig. 3 - Área de estudo e respectivas infra-estruturas de monitorização (a vermelho assinalam-se os Montes da Mancoca e do Pinheirinho)	4
Fig. 4 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, 20 dias após a sementeira.....	5
Fig. 5 - Aspecto da sementeira da cultura do milho no Monte do Pinheirinho (mobilização na zona).....	5
Fig. 6 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, cerca de duas semanas após a sementeira, em 2007	6
Fig. 7 - Aspecto da cultura do melão com rega gota-a-gota no ensaio PML1, Monte do Pinheirinho, em 2007.....	7
Fig. 8 - Talhão experimental da cultura do melão no ensaio PML1, Monte do Pinheirinho, em 2007	7
Fig. 9 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2006.....	10
Fig. 10 - Calendário da rega e da adubação no Monte do Pinheirinho, em 2006	12
Fig. 11 - Recolha de monolitos de solo por técnicos da Universidade de Évora.....	18
Fig. 12 - Aspecto da medição da humidade do solo	20
Fig. 13 - Aspecto da medição da tensão do solo	20
Fig. 14 - Tubo de acesso para o minirizotróo, em acrílico.....	21
Fig. 15 - Endoscópio BTC Minirizotron Camera Systems e respectivo sistema de leitura	21
Fig. 16 - Pontos de recolha de amostras na área de estudo.....	25
Fig. 17 - Anel de escorrência para amostragem de água superficial no Monte da Mancoca	27
Fig. 18 - Instalação das cápsulas de Teflon® no Monte da Mancoca	27
Fig. 19 - Instalação dos piezómetros	28
Fig. 20 - Instalação dos piezómetros em 2007 pela firma SulAqua, L. ^{da}	29
Fig. 21 - Vista do piezómetro 3 (P3) instalado no Monte do Pinheirinho (cultura de melão, 2007)	30
Fig. 22 - Vista do piezómetro 5 (P5) instalado no Monte da Mancoca (cultura de milho, 2007).....	30
Fig. 23 - Talhão de escorrência no Monte da Mancoca em 2007	30
Fig. 24 - Dispositivos de medição de parâmetros na zona vadosa do solo em 2007	30
Fig. 25 - Aspecto da recolha de águas subterrâneas no Monte do Pinheirinho em 2007	30
Fig. 26 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola (Riverside), segundo o U. S. Salinity Laboratory (1954)	32
Fig. 27 - Percentagem granulométrica de amostras de solo colhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho.....	34
Fig. 28 - Granulometria das amostras de solo colhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e do Pinheirinho	35
Fig. 29 - Densidade real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho (uso do solo: restolho do milho).....	38
Fig. 30 - Desenvolvimento radical observado no dia 22 de Agosto de 2006.....	40
Fig. 31 - Resultados da qualidade dos solos para os catiões maiores e nitrato, nas três áreas de estudo, antes da sementeira.....	42

Fig. 32 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo	47
Fig. 33 - Resultados da variação do teor em nitratos nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo.....	48
Fig. 34 - Curva de correlação entre as concentrações em nitratos obtidas com a sonda GLP22 CRISON de nitratos e as resultantes de análise química laboratorial na LQA, Ambiente	50
Fig. 35 - Resultados da variação da condutividade eléctrica e nitratos no talhão de escorrência da Mancoca, ao longo período de ensaio, em 2007	50
Fig. 36 - Variação da condutividade eléctrica na zona vadosa para as três parcelas de ensaio, em 2006	55
Fig. 37 - Projecção dos valores do índice SAR das águas da zona vadosa num diagrama de aptidão das águas para uso agrícola.....	56
Fig. 38 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios de 2006, para o ensaio da Mancoca (milho) e do Pinheirinho (girassol).....	58
Fig. 39 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios de 2006, para o ensaio da Pinheirinho (milho).....	59
Fig. 40 - Resultados da variação da condutividade eléctrica na zona vadosa, a três profundidades, ao longo do período dos ensaios de 2007, para a Mancoca (milho) e o Pinheirinho (melão).....	63
Fig. 41 - Resultados da variação da concentração em nitratos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo do período dos ensaios de 2007, para a Mancoca (milho) e o Pinheirinho (melão).....	63
Fig. 42 - Precipitação (Herdade do Outeiro) e dotação de rega do melão no Pinheirinho, em 2007	64
Fig. 43 - Precipitação (Herdade do Outeiro) e dotação de rega do milho na Mancoca, em 2007	65
Fig. 44 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas das duas parcelas de ensaio, na Mancoca (triângulos) e no Pinheirinho (circunferências).....	66
Fig. 45 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006.....	68
Fig. 46 - Resultados da variação das concentrações em iões maiores nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006.....	69
Fig. 47 - Resultados da variação das concentrações em nitrato nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006.....	69
Fig. 48 - Variação da concentração em zinco nas águas subterrâneas do Pinheirinho, em 2006	70
Fig. 49 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas da área circundante das parcelas nos piezómetros (círculos) e nos poços (triângulos)	71
Fig. 50 - Resultados da qualidade das águas subterrâneas para os catiões maiores e nitrato, na área envolvente das parcelas, em 2006	73
Fig. 51 - Variação da profundidade ao nível piezométrico em 2007	78
Fig. 52 - Variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas em 2007	78
Fig. 53 - Variação da concentração em nitratos nas águas subterrâneas em 2007.....	78
Fig. 54 - Variação da condutividade eléctrica nos poços e piezómetros, em 2007	80
Fig. 55 - Variação da concentração em nitratos nos poços e piezómetros, em 2007	80
Fig. 56 - Variação da concentração em sulfatos nos poços e piezómetros, em 2007.....	81
Fig. 57 - Resultados da qualidade das águas do canal de rega e da vala de drenagem, para o nitrato e a condutividade eléctrica	82
Fig. 58 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola: água de rega.....	83
Fig. 59 - Resultados da qualidade da água do canal de rega e das valas de drenagem, para o nitrato (NO_3^-) e a condutividade eléctrica (CE), no ano 2007	87
Fig. 60 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras, para o nitrato e a condutividade eléctrica, na área envolvente às parcelas, no ano 2006	88

Fig. 61 - Resultados da qualidade da água das ribeiras envolventes às parcelas estudadas, para o nitrato e a condutividade eléctrica, no ano 2007.....	89
Fig. 62 - Variação da qualidade da água da ribeira de Canhestros durante o período de ensaios de 2007.....	90
Fig. 63 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH (cf. Van der Lee e Gehrels, 1990).....	93
Fig. 64 - Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 5 piezómetros (2002-2007).	95
Fig. 65 - Caracterização do parâmetro D na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda).....	103
Fig. 66 - Mapa geológico da área em estudo (obtido pelo software ARCGIS).....	104
Fig. 67 - Caracterização do parâmetro A na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda).....	104
Fig. 68 - Caracterização do parâmetro S na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda).....	105
Fig. 69 - Caracterização do parâmetro T na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda).....	105
Fig. 70 - Caracterização do parâmetro I na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda).....	106
Fig. 71 - Resultado da aplicação do método DRASTIC para poluente conservativos (ver Quadro 58 para interpretação da legenda).....	107
Fig. 72 - Resultado da aplicação do método DRASTIC para pesticidas (ver Quadro 58 para interpretação da legenda).....	107
Fig. 73 - Interface GMS 6.5 (Groundwater Modeling System).....	109
Fig. 74 - Área modelada (3 camadas, 67 linhas e 192 colunas).....	109
Fig. 75 - Linhas de drenagem.....	112
Fig. 76 - Recarga natural. Fonte: Plano de Bacia Hidrográfica do rio Sado.....	111
Fig. 77 - Altimetria da área de estudo.....	112
Fig. 78 - Altimetria da área de estudo. Vista oblíqua com exagero vertical de 20 vezes.....	112
Fig. 79 - Carta geológica da área de estudo.....	110
Fig. 80 - Níveis piezométricos da área de estudo regional.....	113
Fig. 81 - Pormenor da piezometria na área de estudo.....	114
Fig. 82 - Direcção e intensidade do fluxo regional das águas subterrâneas.....	114
Fig. 83 - Direcção e intensidade do fluxo das águas subterrâneas na área de estudo.....	115
Fig. 84 - Movimento das partículas de águas subterrâneas.....	115
Fig. 85 - Localização dos pontos de medição em cada parcela.....	118
Fig. 86 - Esquema base do modelo de apoio à decisão.....	122

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Modalidades ensaiadas nas parcelas experimentais em 2006	5
Quadro 2 - Modalidades ensaiadas nas parcelas experimentais em 2007	6
Quadro 3 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte da Mancoca.....	9
Quadro 4 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte do Pinheirinho	11
Quadro 5 - Datas e dotações de rega na cultura do girassol em 2006, Monte do Pinheirinho	13
Quadro 6 - Datas e dotações de rega (aspersão) na cultura do milho em 2007, Monte da Mancoca....	13
Quadro 7 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2007.....	15
Quadro 8 - Datas e dotações de rega (gota-a-gota) na cultura do melão em 2007, Monte do Pinheirinho	15
Quadro 9 - Calendário da rega no Monte do Pinheirinho, em 2007	16
Quadro 10 - Escala de Atterberg (Costa, 1999).....	18
Quadro 11 - Plano de amostragem de solos para determinação de parâmetros químicos nas três modalidades, antes e depois dos ensaios (2006).....	22
Quadro 12 - Locais de amostragem de águas na área circundante às parcelas experimentais e anos de amostragem.....	24
Quadro 13 - Listagem dos locais de amostragem de águas no interior das parcelas experimentais e respectivos instrumentos de monitorização (2006).....	25
Quadro 14 - Listagem dos locais de amostragem de águas no interior das parcelas experimentais e respectivos instrumentos de monitorização (2007).....	26
Quadro 15 - Características principais dos piezómetros instalados em 2007 pela firma SulAqua, L. ^{da} .	29
Quadro 16 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte da Mancoca), em 2006	34
Quadro 17 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte do Pinheirinho), em 2006	34
Quadro 18 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte da Mancoca), em 2007	35
Quadro 19 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte do Pinheirinho), em 2007	35
Quadro 20 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca	36
Quadro 21 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho (milho).....	36
Quadro 22 - Densidade aparente e real do solo em amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca em 2007	37
Quadro 23 - Densidade aparente e real do solo em amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho em 2007	37
Quadro 24 - Parâmetros do modelo Mualem-van Genuchten para as propriedades hidráulicas dos solos em estudo (resultados cedidos pelo Departamento de Ciências do Solo da EAN).....	39
Quadro 25 - Parâmetros do modelo Mualem-van Genuchten para as propriedades hidráulicas dos solos em estudo (resultados cedidos pelo Departamento de Ciências do Solo da EAN).....	39
Quadro 26 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas antes dos ensaios de 2006.....	41
Quadro 27 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas.....	43

Quadro 28 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Mancoca milho).....	43
Quadro 29 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho milho).....	44
Quadro 30 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho girassol).	44
Quadro 31 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca - Milho	45
Quadro 32 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho	46
Quadro 33 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Girassol	47
Quadro 34 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca – Milho.....	49
Quadro 35 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca – Milho, em 2006.....	52
Quadro 36 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Milho, em 2006	53
Quadro 37 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Girassol, em 2006.....	54
Quadro 38 - Classificação de um solo quanto à sua sodicidade (Richards, 1954)	57
Quadro 39 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca – Milho em 2007.....	60
Quadro 40 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Melão 1 (PML1), em 2007.....	61
Quadro 41 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Melão 2 (PML2), em 2007.....	62
Quadro 42 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte da Mancoca, em 2006	67
Quadro 43 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte do Pinheirinho, em 2006.....	67
Quadro 44 - Resultados das análises efectuadas pelo INETI às águas subterrâneas da área circundante às parcelas, em 2006	72
Quadro 45 - Resultados das análises efectuadas nas águas das ribeiras presentes na área circundante às parcelas, em 2006	72
Quadro 46 - Resultados das análises de águas subterrâneas efectuadas em 2007	74
Quadro 47 - Resultados das análises químicas efectuadas pelo INETI nos novos piezómetros instalados em 2007.....	76
Quadro 48 - Resultados das análises químicas efectuadas pelo INETI em águas de poços e de piezómetros, em 2007	77
Quadro 49 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem	82
Quadro 50 - Tolerância das plantas do milho e do girassol à salinidade da água de rega e do solo (Ayers e Westcot, 1985)	84
Quadro 51 - Normas gerais para a classificação da qualidade da água de rega utilizada pela FAO (Ayers e Westcot, 1985)	84
Quadro 52 - Qualidade da água de rega do Monte da Mancoca e Pinheirinho (Barragem do Monte Branco).....	85
Quadro 53 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem	86
Quadro 54 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras da área envolvente às parcelas, em 2007	88

Quadro 55 - Resultados da qualidade da água da ribeira de Canhestros efectuada pelo INETI em 2007	90
Quadro 56 - Parâmetros de calibração do modelo EARTH (2002-2007)	94
Quadro 57 - Resultados do modelo EARTH (2002-2007)	94
Quadro 58 - Relação qualitativa e quantitativa de vulnerabilidade.....	102
Quadro 59 - Piezometria dos seis pontos usados na calibração do modelo.....	111
Quadro 60 - Coluna litológica simplificada do furo AC2	110
Quadro 61 - Coluna litológica simplificada do furo S6.....	110
Quadro 62 - Coluna litológica simplificada do furo S1.....	110
Quadro 63 - Caracterização hidrogeológica da área de estudo	111
Quadro 64 - Situação base, correspondente ao ano de 2007.....	116
Quadro 65 - Culturas consideradas para cada cenário durante o período simulado	117
Quadro 66 - Volume de rega e quantidade de azoto aplicado na área de estudo	119
Quadro 67 - Diferença de valores de nitrato no final do ano de 2015 em relação ao cenário base	120

METODOLOGIAS PARA UM MELHOR PLANEAMENTO E GESTÃO DO USO DO SOLO AGRÍCOLA ATENDENDO À VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS À POLUIÇÃO DIFUSA

Relatório Final

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve as actividades desenvolvidas no âmbito do projecto POCI/AGR/57719/2004 intitulado "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", relativamente às: *Tarefa 1 - Caracterização do sistema agro-hídrico; Tarefa 2: Caracterização de parâmetros do solo e hidrodinâmicos; Tarefa 3: Monitorização e modelação do aquífero e Tarefa 4: Optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada.*

O projecto foi coordenado pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e contou com a participação do ICAM (Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrânicas), do IMAR (Instituto do Mar) e do IST (Instituto Superior Técnico).

Os trabalhos específicos realizados são apresentados nos capítulos deste Relatório Final e correspondem ao desenvolvimento das seguintes tarefas:

- Caracterização dos locais de estudo e instalação de ensaios de campo em 3 parcelas agrícolas e respectiva monitorização da evolução da qualidade dos solos e das águas resultante da actividade agrícola, para a cultura do milho, do melão e do girassol.
- Descrição das práticas agrícolas adoptadas, nomeadamente as culturas instaladas, os processos de rega e os modos de fertilização utilizados.
- Descrição das metodologias para a caracterização físico-química das parcelas em termos de solos e de águas.
- Descrição do esquema experimental de colheita de dados de qualidade dos solos e das águas, tanto na área circundante às parcelas como no interior das mesmas, relativamente a águas de rega, das valas de drenagem, de escorrência, da zona vadosa e subterrâneas.
- Análise dos resultados obtidos e sua interpretação.
- Caracterização da vulnerabilidade à poluição da área de estudo utilizando a metodologia DRASTIC.

- Modelação do escoamento e transporte na zona saturada e vadosa.
- Caracterização da função objectivo e das restrições a considerar para o processo de optimização da ocupação do solo em curso. Proposta optimizada da ocupação do solo agrícola.

A finalidade do trabalho experimental desenvolvido é analisar os efeitos de diferentes práticas agrícolas nos processos que interferem na migração dos poluentes de origem agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios (solos, zona vadosa e águas subterrâneas), com ensaios onde se analisam diversas culturas (milho, girassol, melão) e dois solos com características diferentes.

A modelação do escoamento e do transporte de solutos permitiu analisar diferentes cenários de ocupação do solo e seus efeitos nos recursos hídricos subterrâneos de jusante. O modelo de optimização da ocupação do solo permitiu apresentar as melhores soluções de ocupação, tendo em vista um bom rendimento agrícola simultâneo à protecção dos recursos hídricos de jusante.

2 SELECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na sequência dos resultados dos trabalhos desenvolvidos nos primeiros meses do projecto no sentido de analisar duas áreas de estudo adequadas aos objectivos do estudo (cf. 1.º Relatório de Progresso, Leitão *et al.*, 2006), seleccionaram-se as parcelas agrícolas dos Montes da Mancoca e Pinheirinho (cf. Fig. 2). Os trabalhos desenvolveram-se em duas parcelas regadas por aspersão com "center pivot" na área de estudo comum ao projecto RECOQUAR "Rede de Controlo da Qualidade da Água de Rega", que decorreu no COTR entre Fevereiro de 2005 e 2007, numa bacia hidrográfica situada na "Infra-estrutura 12" do perímetro de rega do Alqueva (Ferreira do Alentejo), denominada por aquele projecto como Bacia A, na Fig. 1.

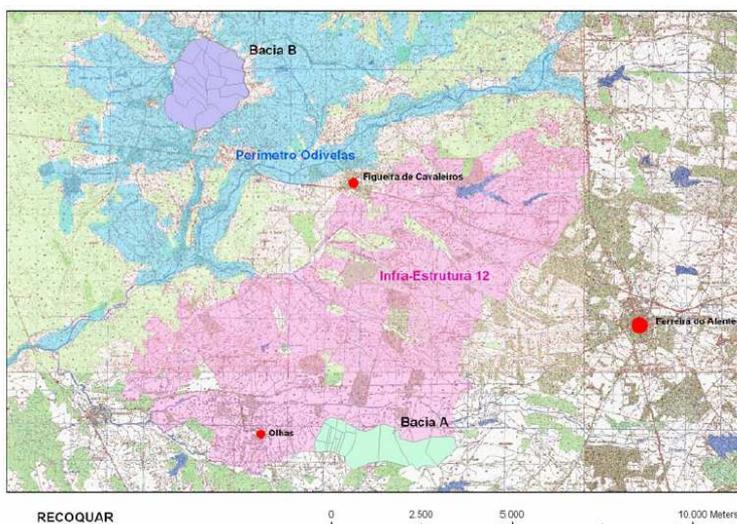


Fig. 1 - Carta Militar com implantação da bacia estudada na parte inferior do perímetro de rega da infra-estrutura 12 (extraído de COTR, 2005)

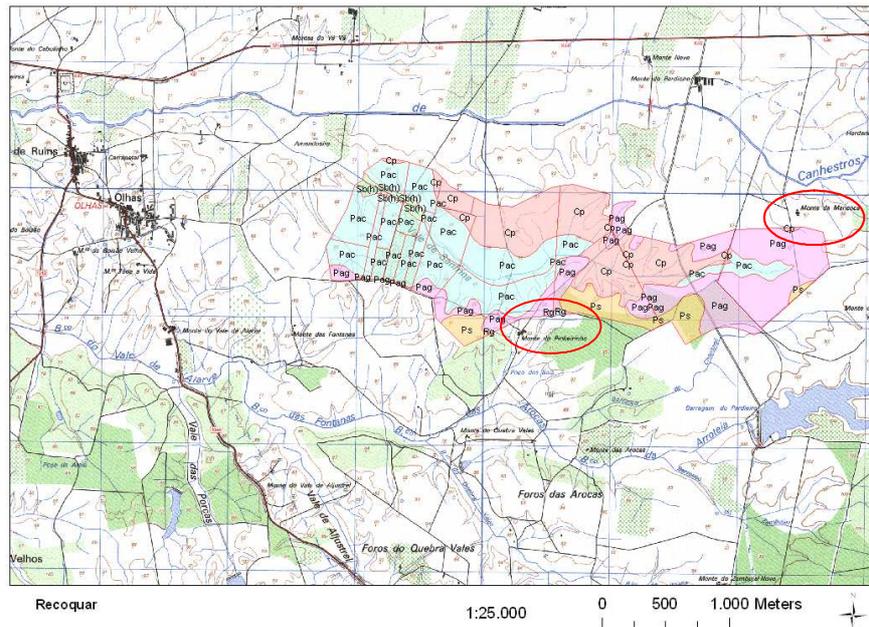


Fig. 2 - Carta de Solos da bacia hidrográfica implantada sobre a Carta Militar, onde se assinalam a vermelho os Montes da Mancoca e do Pinheiro (extraído de COTR, 2005)

Estas duas áreas foram seleccionadas atendendo a que têm as características necessárias para a realização dos ensaios, designadamente:

- Condições de campo em termos de culturas previstas e de apoio logístico possível.
- Inserção na área de regadio do perímetro de rega de Alqueva.
- Inserção numa pequena bacia hidrográfica, com possibilidade de acesso a registos dos caudais de jusante da bacia (estação hidrométrica), com infra-estruturas de monitorização de águas subterrâneas (furos e poços) e onde é possível ter acesso aos caudais de rega e fertilizantes aplicados.
- Solos com características de permeabilidade interessantes para o estudo da migração de iões em profundidade.
- Possibilidade de acesso aos registos da precipitação e da evapotranspiração na Estação Meteorológica do Outeiro, pelo COTR, a dotações de rega e a quantidade de fertilizantes aplicados.

3 Descrição das práticas agrícolas adoptadas

3.1 Considerações gerais

Os trabalhos de monitorização foram desenvolvidos em 2006 (cf. Leitão *et al.*, 2007) e, na sequência dos resultados obtidos, procedeu-se a novos trabalhos em 2007 (cf. Leitão *et al.*, 2008). Os ensaios de campo decorreram nas áreas seleccionadas dos Montes da Mancoca e do Pinheiro, assinalados a vermelho na Fig. 3.

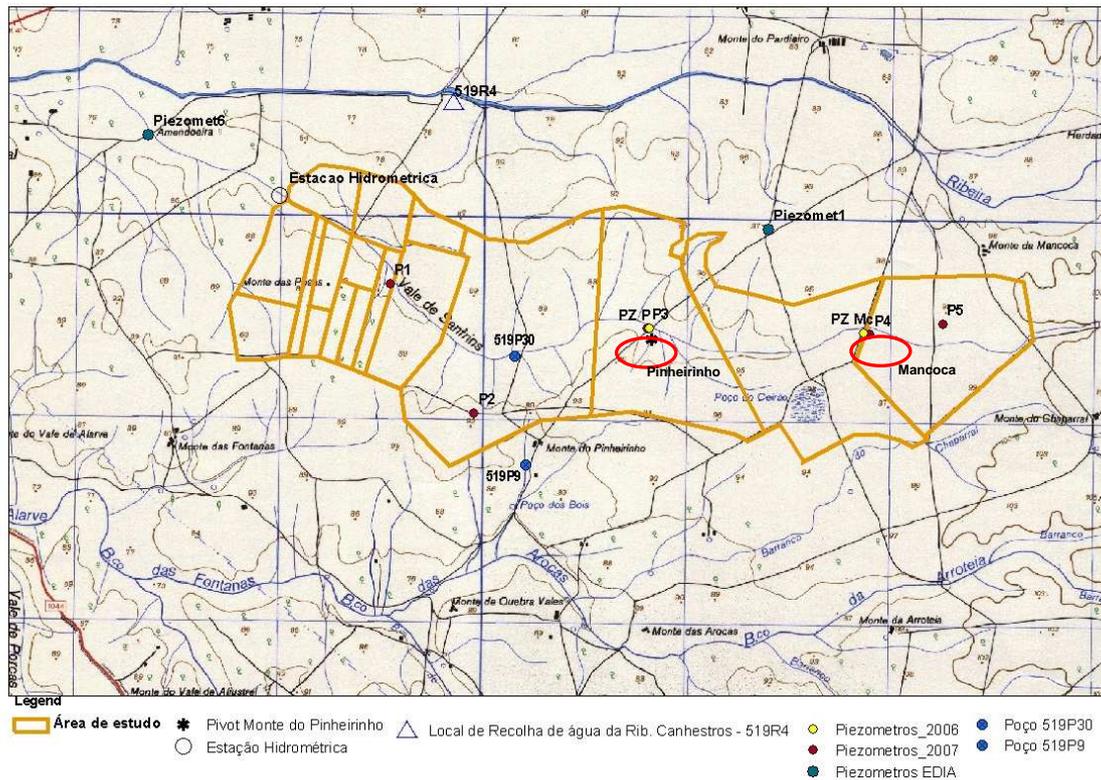


Fig. 3 - Área de estudo e respectivas infra-estruturas de monitorização (a vermelho assinalam-se os Montes da Mancoca e do Pinheirinho)

Tendo em atenção que o objectivo deste estudo é a análise do movimento de água e solutos de acordo com as práticas de gestão agrícola praticadas pelos agricultores, não foi feita qualquer interferência na condução das regas realizadas nas três parcelas.

As modalidades ensaiadas, as culturas instaladas e os métodos de rega e de fertilização são seguidamente apresentados.

3.2 Culturas instaladas

2006

A cultura instalada no Monte da Mancoca foi milho para grão, em 29 de Abril, segundo práticas culturais adoptadas pelo agricultor (Fig. 4 e Quadro 1). Para a preparação da cama da semente, o agricultor efectuou uma lavoura de duas gradagens. A cultura previamente instalada no terreno no Inverno anterior havia sido o algodão.

Quadro 1 - Modalidades ensaiadas nas parcelas experimentais em 2006

Localização	Modalidades	Descrição da modalidade
Monte da Mancoca	MMAFC	Milho, com adubação de fundo e cobertura (fertirrigação)
Monte do Pinheirinho	PMAFLC	Milho, com adubação de fundo localizada e cobertura (fertirrigação)
	PGSAFC	Girassol, sem adubação de fundo e sem cobertura



Fig. 4 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, 20 dias após a sementeira

Na parcela localizada no Monte do Pinheirinho foram instaladas duas culturas na área regada pela rampa: girassol, com sementeira em 6 de Maio, e milho para silagem com mobilização na zona (Fig. 5), em 24 de Maio. A sementeira do milho foi efectuada sobre o restolho da aveia x vicia (cultura instalada no local durante o Inverno).



Fig. 5 - Aspecto da sementeira da cultura do milho no Monte do Pinheirinho (mobilização na zona)

A sementeira directa caracteriza-se por não haver qualquer tipo de mobilização do solo antes da sementeira. A mobilização que existe é apenas a necessária para a introdução e enterramento da semente, sendo efectuada por um subsolador-adubador. Para além da operação de subsolagem e adubação de fundo (com adubos líquidos ou sólidos), a alfaia

permite fazer, simultaneamente, a preparação da cama de sementeira, tudo numa única passagem (Chia *et al.*, 2002).

2007

Em 2007, a escolha das modalidades e das culturas instaladas teve em conta as indicações de gestão da rega dadas pelos proprietários das parcelas para a campanha de rega desse mesmo ano.

Foram estabelecidas três modalidades nas parcelas experimentais (Quadro 2).

Quadro 2 - Modalidades ensaiadas nas parcelas experimentais em 2007

Localização	Modalidades	Descrição da modalidade	Solos
Monte da Mancoca	MM	Milho para grão, adubação de fundo e cobertura (fertirrigação)	<i>Pagc</i>
Monte do Pinheirinho	PML1	Melão, rega gota-a-gota (fertirrigação)	<i>Bpc</i>
	PML2	Melão, rega gota-a-gota (fertirrigação)	<i>Pagc</i>

O esquema experimental montado nas três áreas regadas teve como objectivo base a colheita de amostras de solo e de águas para análise química ao longo do período de ensaio e em vários locais, dentro e fora das parcelas.

A cultura de milho para grão instalada no Monte da Mancoca foi efectuada em finais de Abril, segundo práticas culturais adoptadas pelo agricultor (Fig. 6). Para a preparação da cama da semente, o agricultor efectuou uma lavoura de duas gradagens. A cultura previamente instalada no terreno havia sido o milho para grão.



Fig. 6 - Aspecto da cultura do milho no Monte da Mancoca, cerca de duas semanas após a sementeira, em 2007

Nos dois talhões experimentais localizados no Monte do Pinheirinho (PML1 e PML2) foi instalada a cultura do melão com sementeira em finais de Maio (Fig. 7). No ensaio PML1 a cultura de Verão anteriormente instalada havia sido o girassol e no ensaio PML2 o milho.



Fig. 7 - Aspecto da cultura do melão com rega gota-a-gota no ensaio PML1, Monte do Pinheirinho, em 2007

A 9 de Julho de 2007, no ensaio PML1 foi retirada a cultura do melão tendo sido substituída por melancia, embora o talhão de ensaio tenha sido mantido com o melão (Fig. 8). Este facto poderá perturbar as conclusões sobre as práticas agrícolas utilizadas para o ensaio PML1 com melão na medida em que, de facto, a meio do ensaio as necessidades de rega e de fertilização foram satisfeitas atendendo à cultura da melancia entretanto instalada.



Fig. 8 - Talhão experimental da cultura do melão no ensaio PML1, Monte do Pinheirinho, em 2007

A produção obtida para o milho no monte da Mancoca foi de 15 toneladas/ha.

3.3 Métodos de rega

2006

O método de rega utilizado nas duas parcelas foi a aspersão com rampas rotativas (center-pivot). A área regada em cada "pivot" é de cerca de 23 hectares.

A água de rega tem origem na barragem de Monte Branco. Em cada uma das parcelas foi respeitada a gestão da rega efectuada tradicionalmente pelo agricultor.

No Monte da Mancoca foram realizadas, entre 24 de Maio e 11 de Setembro de 2006, 62 regas, num total de 574 mm. No Pinheirinho foram realizadas 77 regas no milho até 4 de Setembro, tendo sido aplicados um total de 630 mm. No girassol, a dotação aplicada foi de 109 mm em 12 regas efectuadas. As datas de rega bem com as dotações aplicadas nas culturas são apresentadas nos Quadro 3 a Quadro 5 e nas Fig. 9 e Fig. 10.

Quadro 3 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte da Mancoca

Data	Dotação l/m ²	Operação	Produto	Aplicação
24-05-2006	9	Fundo	HUMIFOSFATO 15	600/ha
25-05-2006	10			
26-05-2006	10			
30-05-2006	10			
03-06-2006	10			
06-06-2006	11			
08-06-2006	5	Cobertura	HUMIFOSFATO 15	100 l/ha
09-06-2006	10			
11-06-2006	10			
20-06-2006	10			
21-06-2006	10			
22-06-2006	10			
23-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
26-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
28-06-2006	10			
29-06-2006	9			
30-06-2006	5	Cobertura	NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
02-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	70 l/ha
04-07-2006	10			
07-07-2006	10			
08-07-2006	10			
10-07-2006	5		LEDER MAIS	3 l/ha
12-07-2006	10			
14-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
15-07-2006	10			
16-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
18-07-2006	10			
22-07-2006	5		NITROMAIS Zn 30%	100 l/ha
23-07-2006	10			
25-07-2006	10			
26-07-2006	10			
28-07-2006	10			
30-07-2006	10			
31-07-2006	10			
02-08-2006	10			
03-08-2006	10			
05-08-2006	10			
07-08-2006	10			
11-08-2006	10			
13-08-2006	10			
14-08-2006	10			
17-08-2006	10			
18-08-2006	10			
19-08-2006	10			
21-08-2006	10			
22-08-2006	10			
23-08-2006	10			
24-08-2006	10			
25-08-2006	10			
27-08-2006	10			
28-08-2006	10			
29-08-2006	10			
30-08-2006	10			
01-09-2006	10			
02-09-2006	10			
04-09-2006	10			
05-09-2006	10			
06-09-2006	10			
07-09-2006	10			
08-09-2006	10			
10-09-2006	10			
11-09-2006	10			
Dotação total	574			

2006

MONTE DA MANCOCA - Cultura do milho

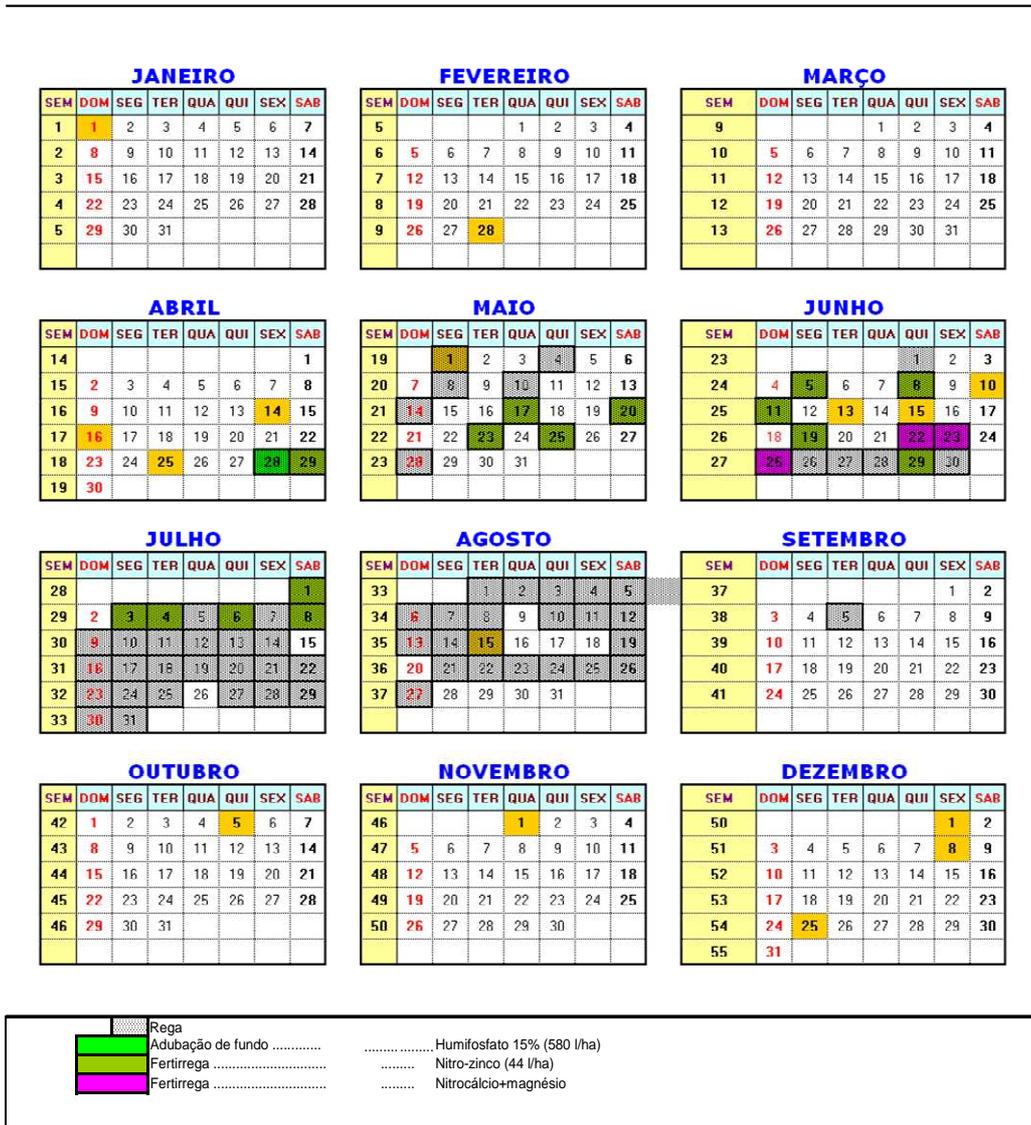


Fig. 9 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2006

Quadro 4 - Datas e dotações de rega na cultura do milho em 2006, Monte do Pinheirinho

Data	Dotação l/m2	Operação	Produto	Aplicação
28-04-2006	12.0	Fundo	humifosfato 15%	580 l/ha
29-04-2007	8.5			
01-05-2006	12.0			
03-05-2006				
04-05-2007	12.0			
08-05-2006	12.0			
10-05-2006	12.0			
14-05-2006	12			
17-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
20-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
23-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
25-05-2006	5.5	Cobertura	nitro-zinco	44 l/ha
28-05-2006	11			
01-06-2006	11			
05-06-2006	11			
08-06-2006	12.5			
11-06-2006	12.5			
19-06-2006	11			
22-06-2006	12.5		nitrocálcio+magnésio	
23-06-2006	5.5		nitrocálcio+magnésio	
25-06-2006	5.5		nitrocálcio+magnésio	
26-06-2006	5.5			
27-06-2006	7.0			
28-06-2006	7.0			
29-06-2007	7.0		nitro-zinco	
30-06-2008	7.0		nitro-zinco	
01-07-2006	7.0		nitro-zinco	
03-07-2006	7.0		nitro-zinco	
04-07-2007	7.0		nitro-zinco	
05-07-2008	7.0			
06-07-2009	7.0		nitro-zinco	
07-07-2010	11.0			
08-07-2011	7.0		nitro-zinco	
09-07-2012	8.5			
10-07-2013	10.5			
11-07-2014	10.5			
12-07-2015	9.0			
13-07-2016	10.5			
14-07-2017	10.5			
16-07-2006	9.0			
17-07-2006	10.5			
18-07-2006	10.5			
19-07-2006	10.5			
20-07-2006	8.5			
21-07-2006	10.5			
22-07-2006	10.5			
23-07-2006	10.5			
24-07-2006	10.5			
25-07-2006	5.5			
27-07-2006	10.5			
28-07-2006	10.5			
29-07-2006	10.5			
30-07-2006	10.5			
31-07-2006	10.5			
01-08-2006	10.5			
02-08-2006	10.5			
03-08-2006	10.5			
04-08-2006	10.5			
05-08-2006	10.5			
06-08-2006	10.5			
07-08-2006	10.5			
08-08-2006	7.0			
10-08-2006	7.0			
11-08-2006	9.0			
12-08-2006	9.0			
13-08-2006	7.0			
14-08-2006	9.0			
15-08-2006	5.0			
20-08-2006	5.5			
21-08-2006	5.5			
22-08-2006	5			
23-08-2006	5			
24-08-2006	5			
25-08-2006	5			
26-08-2006	5			
27-08-2006	5			
04-09-2006	5			
Dotação total	630			

2006

PINHEIRINHO MILHO

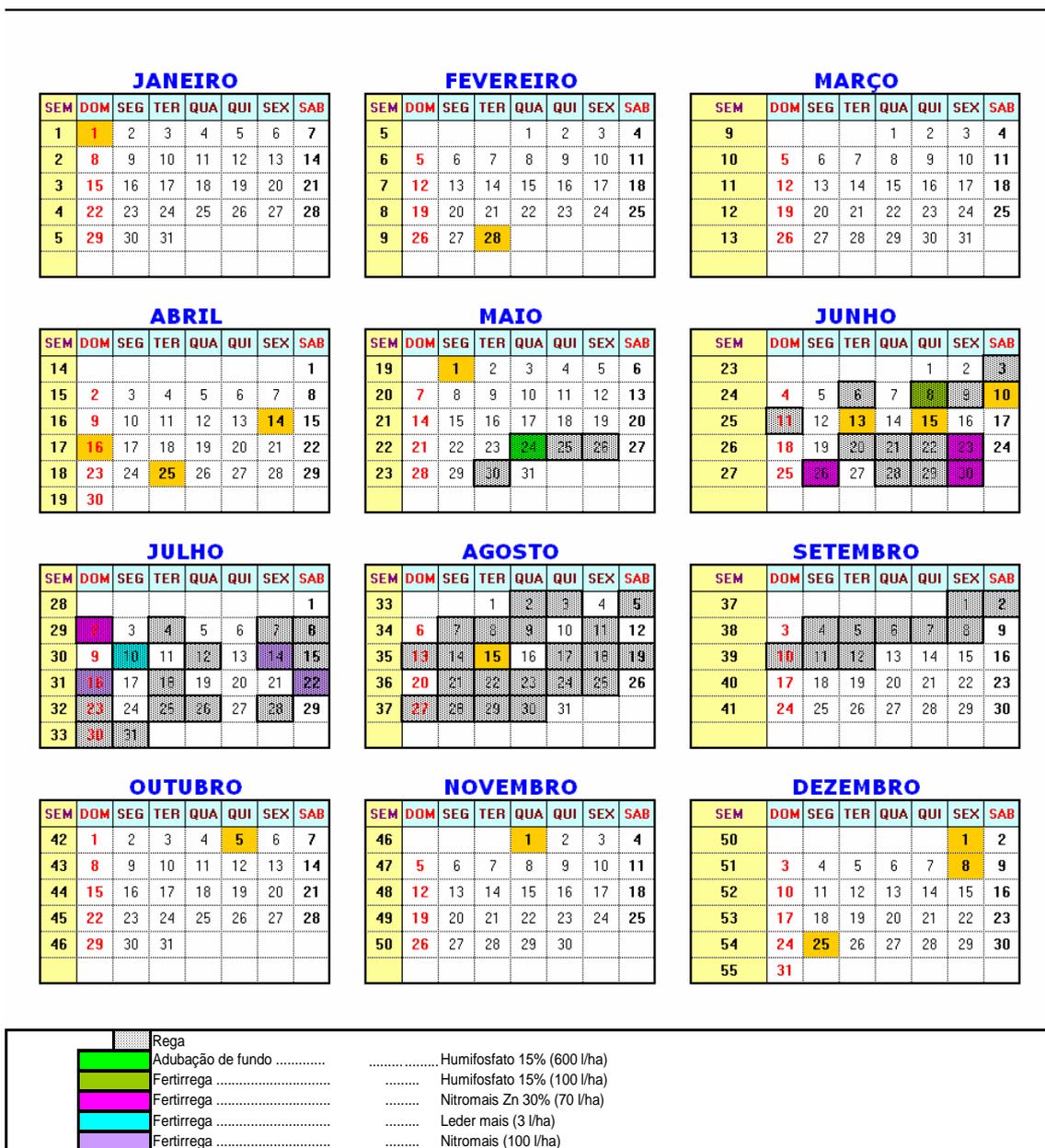


Fig. 10 - Calendário da rega e da adubação no Monte do Pinheiro, em 2006

No Monte do Pinheiro, a área cultivada com milho foi regada e fertilizada independentemente do resto da parcela.

Salienta-se que não foram aplicados directamente quaisquer produtos fertilizantes ou pesticidas à água de rega do Pinheiro, girassol, embora tenha havido escorrência superficial da água da cultura do milho, localizada a montante em cotas mais elevadas.

Quadro 5 - Datas e dotações de rega na cultura do girassol em 2006, Monte do Pinheirinho

Data	Dotação l/m ²
09-05-2006	8
11-05-2006	8
24-05-2006	9
26-05-2006	5
09-06-2006	10
11-06-2006	10
22-06-2006	10
24-06-2006	10
29-06-2006	9
07-07-2006	10
14-07-2006	10
25-07-2006	10
Dotação total	109

2007

O método de rega utilizado na parcela da Mancoca foi a aspersão com rampa rotativa (Fig. 6) (center-pivot). A área regada pelo "pivot" é de cerca de 23 hectares.

O método de rega utilizado nas parcelas do Pinheirinho foi a rega localizada "gota-a-gota".

A água de rega tem origem na barragem de Monte Branco. Em cada uma das parcelas foi respeitada a gestão da rega efectuada tradicionalmente pelo agricultor.

No Monte da Mancoca foram realizadas, entre 28 de Abril e 8 de Setembro de 2007, 87 regas do milho, num total de 672 mm. No Pinheirinho foram aplicadas 65 regas no melão entre 8 de Junho e 5 de Setembro, tendo sido aplicados um total de 213 mm. As datas de rega bem com as dotações aplicadas nas culturas (dados fornecidos pelo COTR, a quem se agradece) são apresentadas nos Quadro 6 a Quadro 9.

Quadro 6 - Datas e dotações de rega (aspersão) na cultura do milho em 2007, Monte da Mancoca

Data	Dotação l/m ²	Produto	Aplicação	N	P	K	Mat. Org.	Zn	SO ₄ +Zn
				l/ha					
2007-04-28	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-04-29	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-04-30	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-05-01	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-05-07	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-05-08	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	
2007-05-09	4	Humifosfato 15%	fundo	600	6	15	10	22	

Data	Dotação	Produto	Aplicação	N	P	K	Mat. Org.	Zn	SO ₄ +Zn
	l/m ²		l/ha						
2007-05-13	6								
2007-05-15	6								
2007-05-17	7								
2007-05-19	7								
2007-05-21	9								
2007-05-28	7								
2007-06-01	12	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-03	7								
2007-06-04	7								
2007-06-05	7								
2007-06-06	7	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-07	7								
2007-06-08	7								
2007-06-10	7								
2007-06-12	7	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-20	7	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-23	7	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-24	7								
2007-06-25	7								
2007-06-26	7	Cálcio+Magnésio	cobertura	146					
2007-06-27	7	Cálcio+Magnésio	cobertura	146					
2007-06-28	7								
2007-06-29	7	Nitro-zinco	cobertura	608				0,5	2
2007-06-30	7								
2007-07-01	7								
2007-07-02	7								
2007-07-03	7								
2007-07-04	7								
2007-07-05	8								
2007-07-06	7								
2007-07-07	8								
2007-07-08	8								
2007-07-09	8								
2007-07-10	10								
2007-07-11	10								
2007-07-12 a	8								
2007-07-24	4								
2007-07-25 a	10 l/m ² por dia								
2007-08-01 a	10 l/m ² por dia								
2007-08-28 a	7 l/m ² por dia								
TOTAL	672 l/m²								

Quadro 7 - Calendário da rega e da adubação no Monte da Mancoca, em 2007

ABRIL							MAIO							JUNHO									
SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
14			1	2	3	4	5	18					1	2	3	22	1	2	3	4	5	6	7
15	6	7	8	9	10	11	12	19	4	5	6	7	8	9	10	23	8	9	10	11	12	13	14
16	13	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	24	15	16	17	18	19	20	21
17	20	21	22	23	24	25	26	21	18	19	20	21	22	23	24	25	22	23	24	25	26	27	28
18	27	28	29	30				22	25	26	27	28	29	30	31	26	29	30					

JULHO							AGOSTO							SETEMBRO									
SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
29			1	2	3	4	5	35					1	2	3	40		1	2	3	4	5	6
30	6	7	8	9	10	11	12	36	4	5	6	7	8	9	10	41	7	8	9	10	11	12	13
31	13	14	15	16	17	18	19	37	11	12	13	14	15	16	17	42	14	15	16	17	18	19	20
32	20	21	22	23	24	25	26	38	18	19	20	21	22	23	24	43	21	22	23	24	25	26	27
33	27	28	29	30	31			39	25	26	27	28	29	30	31	44	28	29	30				
34								40															

	Rega
	humifosfato 15% (Adubação de fundo)
	nitro-zinco (Adubação de cobertura)
	cálcio+magnésio (Adubação de coberturacobertura)

Quadro 8 - Datas e dotações de rega (gota-a-gota) na cultura do melão em 2007, Monte do Pinheirinho

Data	Dotação
	l/m ²
2007-06-08	1,8
2007-06-09	0,9
2007-06-10	1,8
2007-06-11	1,1
2007-06-22	4,8
2007-06-23	2,0
2007-06-25	1,8
2007-06-28	5,6
2007-06-29	1,4
2007-07-01	1,9
2007-07-03	0,4
2007-07-05	4,3
2007-07-06	2,6
2007-07-07	2,7
2007-07-08	8,1
2007-07-10	5,0
2007-07-11	2,6
2007-07-12	4,3
2007-07-13	4,3
2007-07-14	2,6
2007-07-15	3,2
2007-07-16	3,7
2007-07-17	1,4
2007-07-18	2,6
2007-07-19	4,8
2007-07-21	4,1
2007-07-22	6,1
2007-07-23	1,3
2007-07-24	0,3
2007-07-25	7,6
2007-07-26	2,3
2007-07-27	7,9

Data	Dotação
	l/m ²
2007-07-28	5,0
2007-07-29	0,7
2007-07-30	2,7
2007-07-31	4,1
2007-08-01	3,6
2007-08-02	2,3
2007-08-03	4,4
2007-08-04	3,3
2007-08-06	2,1
2007-08-07	2,8
2007-08-08	1,4
2007-08-09	2,6
2007-08-10	4,1
2007-08-11	4,6
2007-08-12	0,1
2007-08-13	4,4
2007-08-15	3,0
2007-08-16	0,4
2007-08-17	6,8
2007-08-18	2,6
2007-08-19	4,0
2007-08-20	5,2
2007-08-21	2,3
2007-08-23	4,6
2007-08-24	5,6
2007-08-27	1,9
2007-08-28	0,9
2007-08-30	5,2
2007-08-31	5,7
2007-09-01	0,9
2007-09-02	1,4
2007-09-04	4,9
2007-09-05	4,2
TOTAL	213 l/m²

Quadro 9 - Calendário da rega no Monte do Pinheirinho, em 2007

ABRIL								MAIO								JUNHO							
SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
14			1	2	3	4	5	18					1	2	3	22	1	2	3	4	5	6	7
15	6	7	8	9	10	11	12	19	4	5	6	7	8	9	10	23	8	9	10	11	12	13	14
16	13	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	24	15	16	17	18	19	20	21
17	20	21	22	23	24	25	26	21	18	19	20	21	22	23	24	25	22	23	24	25	26	27	28
18	27	28	29	30				22	25	26	27	28	29	30	31	26	29	30					
JULHO								AGOSTO								SETEMBRO							
SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	SEM	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
29			1	2	3	4	5	35					1	2	3	40		1	2	3	4	5	6
30	6	7	8	9	10	11	12	36	4	5	6	7	8	9	10	41	7	8	9	10	11	12	13
31	13	14	15	16	17	18	19	37	11	12	13	14	15	16	17	42	14	15	16	17	18	19	20
32	20	21	22	23	24	25	26	38	18	19	20	21	22	23	24	43	21	22	23	24	25	26	27
33	27	28	29	30	31			39	25	26	27	28	29	30	31	44	28	29	30				
34								40															

Rega

3.4 Modos de fertilização

2006

No Monte da Mancoca foi realizada adubação de fundo aquando da sementeira. A fertilização de cobertura consistiu em várias fertirregas ao longo da campanha de rega com adubo líquido Humifosfato 15 que doseia 30% de azoto (cf. Fig. 9).

No Monte do Pinheirinho, na cultura do girassol, não foi realizada adubação de fundo nem de cobertura. Na cultura do milho foi realizada uma adubação localizada aquando da sementeira (24 de Maio) com adubo líquido Humifosfato 15, que consistiu na aplicação de 600 l/ha e diversas adubações de cobertura de adubo líquido, conforme se pode verificar da análise da Fig. 10.

2007

No Monte da Mancoca a fertilização de fundo consistiu em 7 aplicações de Humifosfato 15%. A fertilização de cobertura consistiu em várias fertirregas ao longo da campanha de rega com nitro-zinco e cálcio+magnésio (cf. Quadro 7).

Não foi possível obter informação acerca da fertilização no monte do Pinheirinho.

4 Metodologias para a caracterização físico-química das áreas de estudo

4.1 Solos

4.1.1 Critérios para a selecção dos locais de amostragem

A amostragem de solos antes do início dos ensaios de campo de 2006 teve como objectivo recolher amostras não perturbadas para a determinação das curvas de tensão-humidade e de densidade aparente solo, e amostras de solo perturbadas para análise textural das parcelas a estudar. Colaboraram no processo de amostragem do solo e sua análise técnicos da Universidade de Évora (UE) e do LNEC. Este procedimento foi repetido em 2007, altura em que o COTR e a Estação Agronómica Nacional fizeram uma caracterização detalhada de dois perfis de solos na área de estudo, conforme apresentado nos Anexos 1 e 2.

Foram seleccionados dois locais em cada parcela de ensaio (Montes da Mancoca e Pinheirinho) para a recolha das amostras. A selecção dos locais de amostragem foi efectuada com base nos seguintes critérios: (1) respeitar o interesse de obtenção de informação nas manchas de solo mais representativas localizadas na área regada pelo "pivot", dada a heterogeneidade de solos nessas áreas (2) ser, à partida, o local onde previsivelmente se iriam instalar os ensaios experimentais durante a campanha de rega.

Assim, em cada um desses locais e com recurso a um martelo pneumático (Fig. 11), colheram-se duas repetições em cilindros de 99,2 cm³, R1 (dap) e R2 (pF), em patamares, correspondentes a níveis representativos das camadas do perfil, localizados à profundidade de 0 - 15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 45 cm, 45 - 60 cm e 60 - 75 cm.



Fig. 11 - Recolha de monolitos de solo por técnicos da Universidade de Évora

4.1.2 Textura

Nos mesmos locais - Montes da Mancoca e Pinheirinho, para a determinação das classes texturais do solo (areia grossa, areia fina, limo e argila) no Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, procedeu-se à recolha de amostras de solo perturbadas nas diferentes camadas do solo, em tarolos de 15 cm até à profundidade de 90 cm, também com martelo pneumático.

As várias classes texturais são definidas segundo a escala de Atterberg (1911), recomendada pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo. Esta escala divide as partículas de solo de diâmetro inferior a 2 mm em quatro lotes, como se apresenta no Quadro 10.

Quadro 10 - Escala de Atterberg (Costa, 1999)

Designação dos lotes	Diâmetro das partículas (mm)
Areia grossa	2 - 0,2
Areia fina	0,2 - 0,02
Limo	0,02 - 0,002
Argila	< 0,002

A determinação dos lotes de areia grossa e fina é feita por análise mecânica. Para determinação dos lotes de limo e argila, recorreu-se a um sedimentógrafo de raios X (sedigraph 5100).

4.1.3 Densidades aparente e real e porosidade

A densidade aparente pode ser definida como a relação entre o peso de uma amostra de solo seco e o volume total ocupado pela amostra (copo cilíndrico) incluindo os vazios.

$$\rho_b = W_d / V_r$$

onde:

ρ_b - densidade aparente (g/cm³)

W_d - peso da amostra de solo seca (g)

V_r - volume total ocupado pela amostra (cm³)

A densidade aparente geralmente aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade aparente dessas camadas.

A densidade real, medida em vácuo, foi calculada pelo Laboratório de Solos da Universidade de Évora através do uso de um picnómetro. Mais informação sobre o funcionamento detalhado deste aparelho, bem como os processos de cálculo associados pode ser encontrada em <http://www.micronal.com.br/artigostecnicos/densidade.htm>, entre outros.

A porosidade de um solo pode definir-se como a relação entre o volume de interstícios numa dada amostra de um meio poroso e o volume total do meio poroso, incluindo os espaços vazios. No caso dos solos estudados, a porosidade (n) foi calculada com base na diferença entre as duas densidades, determinadas através da seguinte fórmula:

$$n = [(\rho_r - \rho_b) / \rho_r] * 100$$

onde: ρ_r - densidade real (g/cm³) e ρ_b - densidade aparente (g/cm³)

4.1.4 Teor de humidade, armazenamento de água no solo e carga hidráulica

Para acompanhar a variação do teor de humidade, do armazenamento de água no solo e da carga hidráulica em profundidade e ao longo do tempo, nas diferentes modalidades, foram instalados os seguintes equipamentos:

- um tubo PVC instalado a 70 cm de profundidade, colocado na entre-linha da cultura, para medição da humidade do solo com o sistema TRIME (TDR), (Fig. 12);
- 2 baterias de tensiómetros, constituídas por 3 tensiómetros instalados na entre-linha às profundidades de 20, 40 e 60 cm (Fig. 13).



Fig. 12 - Aspecto da medição da humidade do solo



Fig. 13 - Aspecto da medição da tensão do solo

4.1.5 Desenvolvimento radical

Para observar e quantificar o desenvolvimento radical da cultura do milho, nas diferentes unidades pedológicas, comparando com a técnica de sementeira e disponibilidade de água no solo, utilizou-se o método do minirizotróo (cf. Fig. 14) nas modalidades MMAFC e PMALC (cf. Quadro 1), com o qual é possível acompanhar as variações temporais e espaciais do desenvolvimento da cultura.

O método do minirizotróo necessita de um tubo de acesso em acrílico (cf. Fig. 14) que é instalado no solo com uma inclinação de 30°, na linha de cultura. Este tubo permite a observação visual das raízes que o intersectam, recorrendo a um endoscópio (Toureiro, 2003). Este está equipado com uma câmara de vídeo (*BTC Minirhizotron Camera Systems*) (cf. Fig. 15) que permite a visualização da imagem das raízes que intersectam a parede do tubo, permitindo registar essa observação numa base de dados de imagens (em formato *jpg*) para posterior análise de parâmetros fisiológicos: comprimento, área e diâmetro, recorrendo a um software específico – *RooTracker Digital Image* (*Ducke University*). O equipamento utilizado pertence à Universidade de Évora.



Fig. 14 - Tubo de acesso para o minirizotrão, em acrílico

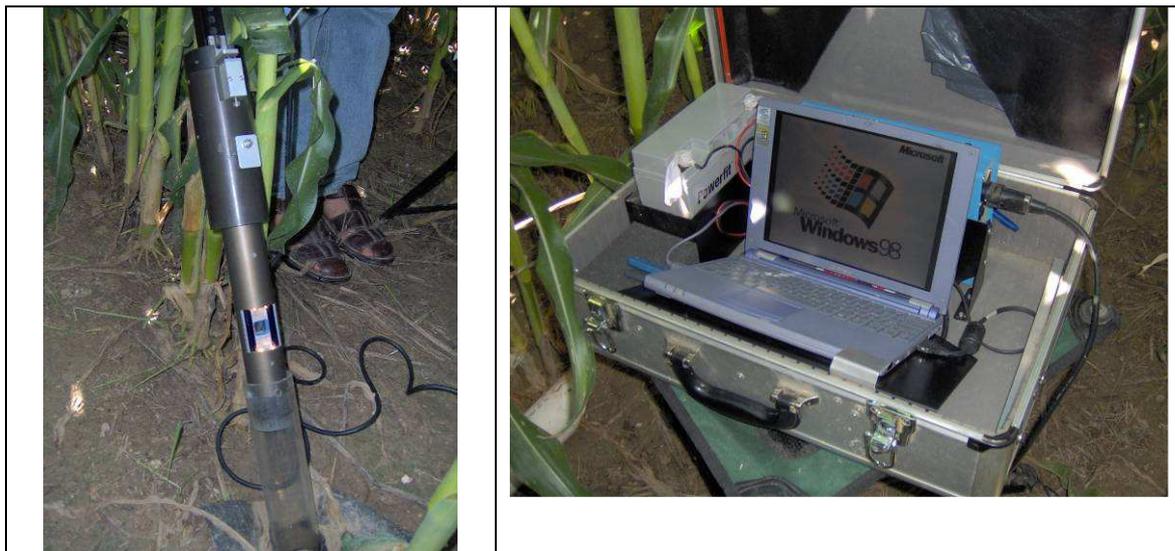


Fig. 15 - Endoscópio BTC Minirhizotron Camera Systems e respectivo sistema de leitura

4.1.6 pF

A obtenção dos pontos da curva pF foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade de Évora, tendo-se determinado o teor de humidade retido nas amostras em equilíbrio com pressões conhecidas. Foi utilizado o método combinado da caixa de areia para valores de pF < 2,0, o método da placa para valores de pF compreendidos entre 2,54 e 3,0, e o aparelho de membrana de pressão para valores de pF entre 3,5 e 4,2.

Em 2007, técnicos da Estação Agronómica Nacional (Engenheiros Casimiro Martins, Arménio Oliveira, Fernando Pereira Pires e Sofia Araújo), com trabalhos experimentais em curso naqueles locais, caracterizaram dois perfis representativos dos solos do Monte da Mancoca e do Monte do Pinheirinho. Esses perfis, realizados até à profundidade máxima de cerca de 2 m, permitiram classificar o solo e determinar as características hidrodinâmicas e físicas dos mesmos (textura, porosidade, teor em água, densidade aparente, permeabilidade, entre outros). Os resultados obtidos pelos autores referidos são apresentados nos Anexos 1 e 2.

4.1.7 Concentração iónica

Os solos foram, também, recolhidos a diversas profundidades e locais, antes e depois dos ensaios e, em alguns casos durante os ensaios em áreas contíguas aos locais instrumentados. Cada amostra de solo era formada por 3 sub-amostras, recolhidas em 3 locais próximos e à mesma profundidade.

A análise da qualidade química dos solos das três parcelas experimentais visou, em primeiro lugar, avaliar as suas características antes e depois das campanhas de rega e, assim, complementar o estudo da qualidade das águas da zona vadosa e das águas subterrâneas. A análise global da qualidade química dos solos e águas foi orientada de acordo com os elementos potencialmente poluentes provenientes da aplicação de fertilizantes e de água de rega.

Em 2006, face aos objectivos propostos no Plano de Trabalhos de Campo e Laboratório apresentado no 1.º Relatório, a amostragem de solos dividiu-se em duas campanhas distintas (Quadro 11): 1) a primeira onde foram recolhidos solos nas três parcelas de estudo, realizou-se no dia 18 de Maio de 2006, com a colaboração de técnicos da Universidade de Évora e do LNEC, às profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e de 40 – 60 cm; 2) a segunda realizou-se nos mesmos locais e às mesmas profundidades, no dia 10 de Outubro de 2006, após a colheita.

Quadro 11 - Plano de amostragem de solos para determinação de parâmetros químicos nas três modalidades, antes e depois dos ensaios (2006)

Data da recolha	Local de amostragem	Prof.	Parâmetros químicos a analisar									
			NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl
2006-05-18 1.ª campanha	Mancoca Pinheirinho (Milho) Pinheirinho (Girassol)	0 - 20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		20 - 40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		40 - 60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Após a colheita 2.ª campanha	Mancoca Pinheirinho (Milho) Pinheirinho (Girassol)	0 - 20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		20 - 40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		40 - 60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Em 2007, a amostragem de solos dividiu-se em duas campanhas distintas: 1) a primeira onde foram recolhidos solos nas três parcelas de estudo, realizou-se no dia 10 de Maio de 2007, com a colaboração de técnicos da Universidade de Évora e do LNEC, às profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e de 40 – 60 cm; 2) a segunda realizou-se nos mesmos locais e às mesmas profundidades, no dia 24 de Setembro de 2007, após a colheita. As amostras de solos destinaram-se à análise de um conjunto de elementos químicos (iões maiores, fosfatos e nitratos), pH, condutividade eléctrica, entre outros, para estudo da migração dos mesmos em profundidade.

As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico e colocadas em malas térmicas para minimizar as trocas de azoto durante a permanência no campo e o transporte para o laboratório responsável pelas análises químicas (LQA, Ambiente, Lda.).

4.1.8 Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC), expressa a quantidade máxima de catiões que podem ser retidos pelos minerais de argila para neutralizar as cargas negativas de uma quantidade unitária de solo, em determinadas condições, e é calculada pela seguinte expressão (Costa, 1999):

$$CTC = S + H^+$$

onde:

CTC - Capacidade de Troca Catiónica (meq/l) = CTC total do solo (pH 7)

S - Soma das bases de troca (meq/l)

H⁺ - Acidez de troca

A soma das bases de troca (*S*) é a soma dos valores em meq/l dos vários catiões de troca (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; Na^+) que expressa quantitativamente as bases de troca. Na prática, a soma das bases de troca revela se a CTC será elevada ou baixa.

4.1.9 Grau de saturação com bases de Hissink

O grau de saturação (*V*), traduz a percentagem de capacidade de troca que é satisfeita pelas bases de troca catiónicas e é dada pela seguinte expressão:

$$V = \frac{S}{T} \times 100$$

onde:

V - Grau de saturação (%)

S - Soma das bases de troca (meq/l)

T - Troca catiónica (meq/l)

4.2 Águas

4.2.1 Critérios para a selecção dos locais e infra-estruturas de amostragem

Os locais e infra-estruturas para a amostragem de águas foram seleccionados tendo em vista a análise dos efeitos dos processos culturais na evolução da qualidade das águas subterrâneas ao longo dos ensaios. Esta análise foi efectuada à macro escala, na área circundante às parcelas e à escala local, no interior das parcelas, de forma a permitir observar a evolução da qualidade das águas em termos da pequena bacia hidrográfica onde se insere (cf. Fig. 3). Foram instalados cinco novos piezómetros em 2007.

4.2.1.1 Área circundante às parcelas

A primeira escala referida, área circundante às parcelas, dificilmente consegue reproduzir em tempo real os efeitos específicos das culturas em análise na qualidade das águas, uma vez que haverá uma defasagem no tempo e porque a sua qualidade também reproduz os efeitos de outras actividades agrícolas em curso naquela bacia hidrográfica. Contudo, os seus valores permitiram auxiliar na interpretação global da evolução da qualidade das águas na bacia.

Os locais seleccionados são apresentados no Quadro 12 e na Fig. 16.

Quadro 12 - Locais de amostragem de águas na área circundante às parcelas experimentais e anos de amostragem

Meio	Designação	Ano de amostragem
Águas subterrâneas	Poço 519/P9	2006/07
	Poço 519/P30	
	Piezómetro M. ^{te} do Pardieiro - EDIA (Piezómetro 1)	
	Piezómetro M. ^{te} da Amendoeira - EDIA (Piezómetro 6)	
	Piezómetro Mancoca (PzMc) Piezómetro Pinheirinho (PzP)	
Águas superficiais	Piezómetro 1 - Monte das Posas (P1)	2007
	Piezómetro 2 - Monte do Pinheirinho (P2)	
	Piezómetro 3 - Monte do Pinheirinho (P3)	
	Piezómetro 4 - Monte da Mancoca (P4)	
	Piezómetro 5 - Monte da Mancoca (P5)	
Canal de Rega	Estação Hidrométrica	2006
	Ribeira de Canhestros	2006/07
Vala de drenagem	Ribeira de Sanfrins	
Canal de Rega	Canal de Rega	2006/07
Vala de drenagem	Vala de drenagem	

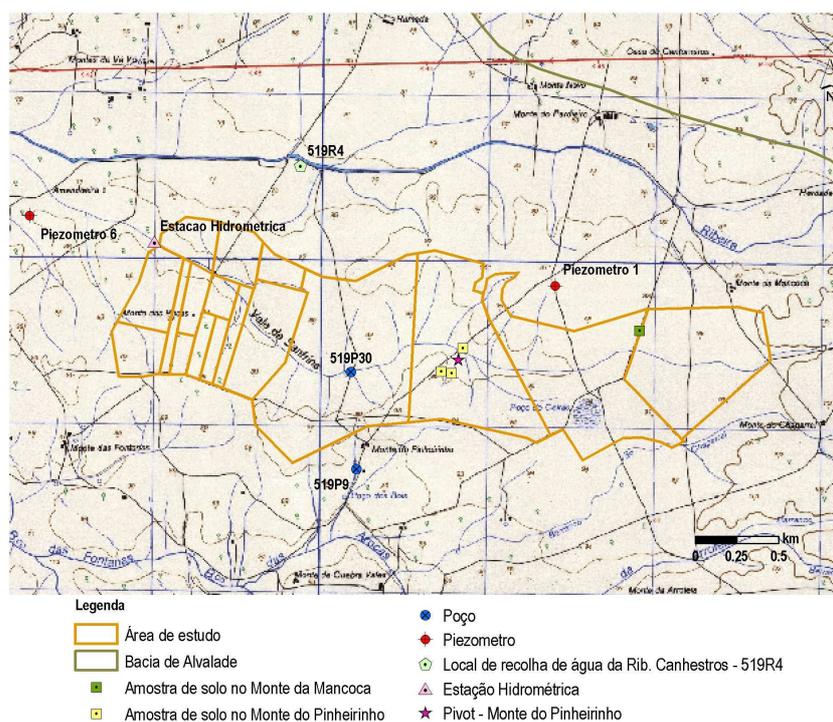


Fig. 16 - Pontos de recolha de amostras na área de estudo

4.2.1.2 Interior das parcelas

Relativamente à qualidade das águas no interior das duas parcelas foram analisados em 2006, em cada caso de estudo, os valores de (Quadro 13): água de escorrência à superfície do solo (em dois anéis ou talhões de escorrência); água da zona vadosa a três profundidades diferentes (através de seis cápsulas de Teflon®, duas a cada profundidade) e na zona saturada, em dois piezómetros localizados a jusante dos ensaios instalados para este estudo em cada uma.

Quadro 13 - Listagem dos locais de amostragem de águas no interior das parcelas experimentais e respectivos instrumentos de monitorização (2006)

LOCAL	MEIO ANALISADO	INSTRUMENTO DE MONITORIZAÇÃO
Mancoca (milho)	Água de escorrência	Anel escorrência 1 Anel escorrência 2 Anel escorrência 3
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água subterrânea	Piezómetro
Pinheirinho (milho)	Água de escorrência	Talhão escorrência 1 Talhão escorrência 2
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Pinheirinho (girassol)	Água de escorrência

LOCAL	MEIO ANALISADO	INSTRUMENTO DE MONITORIZAÇÃO
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água subterrânea	Piezómetro

Em 2007 analisou-se (Quadro 14): água de escorrência superficial (num talhão de escorrência apenas instalado no caso da Mancoca pois no Pinheirinho o sistema de rega foi gota-a-gota); água da zona vadosa a três profundidades diferentes (através de seis cápsulas de Teflon®, duas a cada profundidade) e na zona saturada, nos piezómetros representados na Fig. 3.

Quadro 14 - Listagem dos locais de amostragem de águas no interior das parcelas experimentais e respectivos instrumentos de monitorização (2007)

LOCAL	MEIO ANALISADO	INSTRUMENTO DE MONITORIZAÇÃO
Mancoca (milho)	Água de escorrência	Talhão de escorrência 1 (Fig. 23)
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 (Fig. 24) Cápsula 40 x 2 (Fig. 24) Cápsula 60 x 2 (Fig. 24)
	Água subterrânea	Piezómetro 4 e 5 (Fig. 22) e PzMc
Pinheirinho nascente (melão)	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água da zona vadosa	Cápsula 20 x 2 Cápsula 40 x 2 Cápsula 60 x 2
	Água subterrânea	Piezómetro 3 (Fig. 21 e Fig. 25)

A análise da água de escorrência foi efectuada através de dois tipos de instrumentos: anéis e talhões de escorrência (cf. Fig. 17). Em ambos os casos, estes instrumentos servem para canalizar a água de escorrência de uma determinada área com vista a analisar o seu volume e qualidade. Tanto os anéis como os talhões estão ligados por um tubo a um depósito de 10 l, colocados em posição inferior ao nível do solo, de modo a que a água escoe para o seu interior. Os anéis de escorrência têm uma área de 0,64 m² (diâmetro interno de aproximadamente de 45 cm) e os talhões de escorrência têm uma área maior e mais representativa de cerca de 1,65 m² (1,5 x 1,1 m).



Fig. 17 - Anel de escorrência para amostragem de água superficial no Monte da Mancoca

A análise dos processos de migração da água e a evolução da sua qualidade em profundidade, através da zona vadosa, foi efectuada com recurso à instalação de cápsulas de Teflon® a diversas profundidades nas áreas de ensaio. O princípio de recolha de águas intersticiais através destas cápsulas porosas (cf. Fig. 18) é a aplicação de uma tensão negativa à cápsula capaz de induzir a entrada da água do solo na sua vizinhança para dentro da garrafa isolante de amostragem. Esta água é posteriormente amostrada para medições no local e para análise laboratorial.



Fig. 18 - Instalação das cápsulas de Teflon® no Monte da Mancoca

Em cada uma das parcelas foram instaladas seis cápsulas de Teflon®, duas em cada uma das profundidades de 20, 40 e 60 cm, onde foram recolhidas, semanalmente e ao longo da campanha de rega, amostras da solução do solo. Foram registados no local, pelo LNEC, os valores da condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura. Os parâmetros NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- e COT foram analisados mensalmente através de análises químicas laboratoriais efectuadas pela EGI, Ambiente.

Com o objectivo de criar infra-estruturas capazes de proporcionar a recolha de amostras representativas das águas subterrâneas dentro das parcelas regadas foram construídos, em 2006, 2 piezómetros de monitorização (Fig. 19) às profundidades de 2,38 m no Monte do Pinheirinho, no dia 11 de Abril de 2006, e de 1,30 m no Monte da Mancoca, no dia 3 de Maio de 2006, próximo das respectivas valas de drenagem. A instalação dos piezómetros foi efectuada com o equipamento amavelmente disponibilizado pelo Centro Operativo de Técnicas de Regadio (COTR), e contou com a participação de três equipas: Universidade de Évora, COTR e LNEC.



Fig. 19 - Instalação dos piezómetros

Aos locais para a amostragem de águas subterrâneas utilizados em 2006, juntaram-se cinco novos piezómetros instalados no âmbito deste projecto. Estas novas infra-estruturas tiveram o objectivo de proporcionar a recolha de amostras representativas das águas subterrâneas e dos níveis piezométricos, não só dentro das parcelas regadas mas também na área envolvente, permitindo obter a informação regional necessária à corrida dos modelos numéricos de escoamento e de transporte de águas subterrâneas em curso. A instalação dos piezómetros foi efectuada pela firma SulAqua - Sondagens e Captações de Água do Sul, L.da, de Beja, na primeira semana de Junho de 2007 (Fig. 20).



Fig. 20 - Instalação dos piezómetros em 2007 pela firma SulAqua, L.^{da}

O Quadro 15 apresenta uma súmula das características dos novos piezómetros. Os vários tipos de equipamentos e procedimentos utilizados em 2007 são idênticos aos referidos para o ano de 2006.

Quadro 15 - Características principais dos piezómetros instalados em 2007 pela firma SulAqua, L.^{da}

Designação	n.º	Meridiano	Paralelo	Profundidade	Altura da boca
Piezómetro 1	P1	193331,70	118153,14	7,33	0,55
Piezómetro 2	P2	193744,89	117514,04	10,80	0,50
Piezómetro 3	P3	194598,13	117933,24	9,15	0,50
Piezómetro 4	P4	195687,25	117903,06	8,00	1,20
Piezómetro 5	P5	196046,87	117954,73	11,12	0,44

As amostragens de águas subterrâneas e de águas superficiais foram realizadas com uma periodicidade aproximadamente semanal, durante o período de rega, para medição dos parâmetros físico-químicos de campo (condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura). Mensalmente foram recolhidas amostras para análise química dos parâmetros: NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} e Cl^- . Numa das amostragens foi realizada análise de: NO_3^- , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} e Cl^- para caracterização da fácies hidroquímica das águas subterrâneas. Foram, ainda, medidos os níveis piezométricos.

As medições nos restantes meios acima referidos (Quadro 14) foram semanais e visaram o acompanhamento das variações nos parâmetros químicos de forma a analisar as correlações rega/recarga e fertilizações/concentrações na água subterrânea. As análises físico-químicas

foram realizadas no laboratório da LQA Ambiente e, para o caso dos piezómetros, no Departamento de Hidrogeologia do INETI-DH. No Anexo 3 apresenta-se um exemplo de um boletim de ensaios onde se poderá verificar os métodos analíticos utilizados.



Fig. 21 - Vista do piezómetro 3 (P3) instalado no Monte do Pinheirinho (cultura de melão, 2007)



Fig. 22 - Vista do piezómetro 5 (P5) instalado no Monte da Mancoca (cultura de milho, 2007)



Fig. 23 - Talhão de escorrência no Monte da Mancoca em 2007



Fig. 24 - Dispositivos de medição de parâmetros na zona vadosa do solo em 2007



Fig. 25 - Aspecto da recolha de águas subterrâneas no Monte do Pinheirinho em 2007

4.2.2 SAR

A aptidão das águas para uso agrícola foi efectuada através da classificação das águas para rega, baseada nos valores de condutividade e índice de adsorção de sódio - SAR (Custódio e Llamas, 1976). De acordo com Custódio e Llamas (1976) este índice traduz o efeito da concentração relativa de catiões na acumulação de sódio no solo e é calculado pela seguinte fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

sendo as concentrações expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

Projectando os valores num diagrama de Riverside como o da Fig. 26, onde a condutividade eléctrica se representa no eixo dos xx e o SAR no eixo dos yy, estabelece-se uma das 16 possíveis categorias de água. Estas categorias são uma combinação das diferentes classes de perigo de salinização de solo (C) e perigo de alcalização do solo (S). Segue-se uma sumária descrição de cada uma destas classes.

Perigo de salinização:

C1 – águas de baixa salinidade que podem ser usadas para irrigação na maior parte das culturas em quase todos os solos sem que haja perigo de salinização;

C2 – águas de salinidade média que podem ser usadas em solos com um grau de lixiviação moderado e culturas com alguma tolerância aos sais;

C3 – águas muito salinas que não devem ser usados em solos com drenagem deficiente;

C4 – águas que apresentam um perigo de salinização muito alto e que em condições normais não devem ser usadas para rega.

Perigo de alcalização:

S1 – águas com baixo teor de sódio que podem ser usadas em quase todos os solos sem dar origem a níveis perigosos deste elemento;

S2 – água que apresentam um teor médio de sódio que pode causar problemas de alcalização em solos de textura fina com baixa lixiviação;

S3 – águas com um teor elevado de sódio podendo causar problemas de alcalização. O seu uso requer condições especiais como boa drenagem, lixiviação intensa e adição de matéria orgânica;

S4 – águas com um teor muito alto em sódio e que não devem ser usadas para rega.

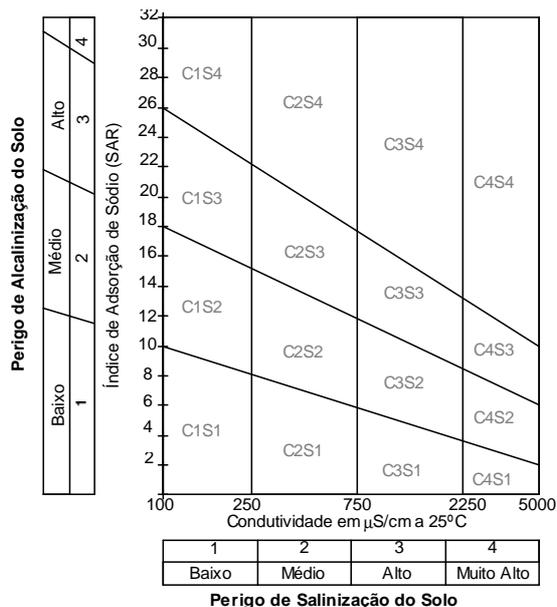


Fig. 26 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola (Riverside), segundo o U. S. Salinity Laboratory (1954)

4.2.3 Concentrações iónicas e condutividade eléctrica

Foram efectuados dois tipos de medições nas águas recolhidas nas diversas campanhas realizadas: medições de parâmetros físico-químicos gerais, no local, e análise químicas diversas, posteriormente em laboratório.

As medições no campo incluíram: volume e/ou nível piezométrico; condutividade eléctrica; pH; Eh e temperatura. As análises em laboratório incidiram sobre os seguintes parâmetros, nem sempre analisados, não só como consequência de não haver volume de amostra disponível, mas também por não se justificar para todos os meios e ensaios: nitratos; nitritos; amónio; flúor, cálcio, magnésio; sódio; potássio; bicarbonato; sulfato; cloreto; matéria orgânica, sílica e zinco.

As análises físico-químicas foram realizadas no laboratório da EGI Ambiente (<http://www.egi.pt/index.php>) e, para o caso dos piezómetros, no Departamento de Hidrogeologia do INETI-DH.

5 Resultados obtidos e sua análise

5.1 Solos

5.1.1 Caracterização pedológica

5.1.1.1 Classificação

Na sequência dos trabalhos experimentais desenvolvidos pelo Departamento de Ciências do Solo da Estação Agronómica Nacional (EAN) no âmbito do Projecto RECOQUAR "Rede de Controlo da Qualidade da Água de Rega" no COTR, técnicos da mesma estação estudaram e classificaram no Monte da Mancoca, dois perfis de solo, em locais diferentes, dentro da área regada pelo "center-pivot". A abertura de um dos perfis coincidiu com o local onde se encontram os ensaios de campo, pelo que foi assim possível atribuir uma classificação ao solo onde decorre o trabalho experimental (MM). O solo foi classificado pelos técnicos da EAN, como pertencente ao grupo dos Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários Para-Hidromórficos - *Pagc* (Cardoso, 1974) e segundo a classificação da FAO como um Luvissole Gleizado. No Anexo 1 é apresentada a descrição do perfil de solo, descrição essa gentilmente cedida pelo Departamento de Ciências do Solo da EAN.

No âmbito do Projecto RECOQUAR, no Monte do Pinheirinho foram também abertos dois perfis para a classificação do solo dos locais de ensaios (comuns aos dois projectos) em 30 de Março de 2007, por técnicos da Estação Agronómica Nacional do Departamento de Ciências do Solo: (1) Perfil 126, local onde se situa o ensaio PML2 e (2) Perfil 127 no local do ensaio PML1. O solo do Perfil 127 foi classificado pelos técnicos da EAN como um solo de Barro Preto Calcário Muito Descarboxinado - *Bpc* (Cardoso, 1974) e Calcic Vertisol (Eutric, Pellic) (FAO, 2006). O Perfil 126 (PML1) foi classificado como um solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Calcários Para-Hidromórfico - *Pagc* (Cardoso, 1974) e Calcic Gleyic Luvisol (Manganiferric, Abruptic) (FAO, 2006). No Anexo 2 apresenta-se a descrição dos dois perfis cedida pelo Departamento de Ciências do Solo da Estação Agronómica Nacional.

5.1.1.2 Textura

2006

Os resultados da análise textural dos solos da modalidade MMAFC (Monte da Mancoca) e PMALC (Monte do Pinheirinho), recolhidos em 20 de Fevereiro de 2006, e analisados pelo Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora são apresentados nos Quadros 16 e 17, e na Fig. 27.

Quadro 16 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte da Mancoca), em 2006

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila	
0-15	66	13,36	2,84	18,22	Franco-arenoso
15-30	68	14,99	2,92	14,51	Franco-arenoso
30-45	74	11,43	3,73	10,63	Arenoso-franco
45-60	54	11,81	3,00	31,20	Franco-argilo-arenoso
60-75	45	11,11	6,80	37,21	Argilo-arenoso

Quadro 17 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte do Pinheirinho), em 2006

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila	
0-15	58,4	8,9	3,9	28,8	Franco-argilo-arenoso
15-30	55,5	11,8	2,7	30,1	Franco-argilo-arenoso
30-45	63,7	11,1	1,5	23,8	Franco-argilo-arenoso
45-60	63,1	13,7	1,2	22,1	Franco-argilo-arenoso
60-75	43,3	12,1	6,5	38,1	Argilo-arenoso

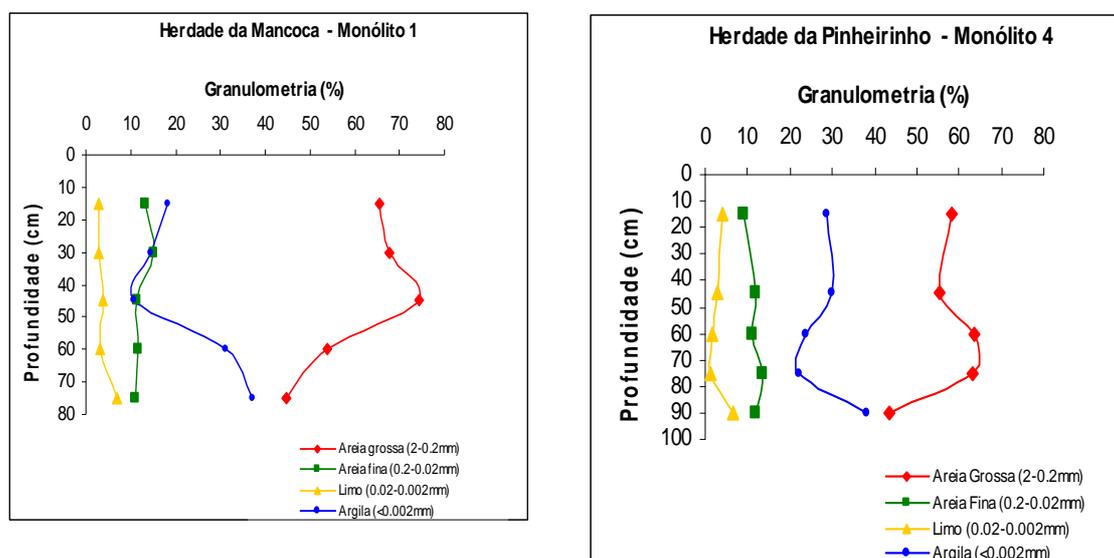


Fig. 27 - Percentagem granulométrica de amostras de solo colhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho

A observação dos quadros e da figura permite verificar que o solo da Mancoca apresenta uma textura essencialmente franco-arenosa nos primeiros 45 cm do horizonte do solo, profundidade a partir da qual surge uma camada mais impermeável de textura franco-argilo-arenosa que passa depois a argilo-arenosa.

Em relação ao solo do Pinheirinho, regista-se estarmos em presença de uma textura franco-argilo-arenoso que passa a argilo-arenoso dos 60 a 75 cm. Em termos gerais, a permeabilidade destes solos é claramente inferior aos da Mancoca, aspecto que dificulta a infiltração das águas e favorece a escorrência superficial.

2007

Os resultados da análise textural dos solos do Monte da Mancoca e do Monte do Pinheirinho, recolhidos em 30 de Março, e analisados pelo Laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora são apresentados nos Quadro 18 e Quadro 19, e na Fig. 28.

Quadro 18 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte da Mancoca), em 2007

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia Grossa (2-0,2 mm)	Areia Fina (0,2-0,02 mm)	Limo (0,02-0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)	
0 - 15	67,46	10,35	3,46	18,73	Franco arenoso
15 - 30	60,45	12,31	3,73	23,52	Franco-argilo-arenoso
30 - 45	57,71	11,16	3,83	27,30	Franco-argilo-arenoso
45 - 60	40,84	9,97	5,91	43,28	Argilo-arenoso
60 - 75	45,30	11,11	6,74	36,85	Argilo-arenoso

Quadro 19 - Análise granulométrica e classificação textural das amostras de solo recolhidas a diversas profundidades (Monte do Pinheirinho), em 2007

Profundidade (cm)	CLASSES TEXTURAIIS				CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Areia Grossa (2-0,2 mm)	Areia Fina (0,2-0,02 mm)	Limo (0,02-0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)	
0 - 15	63,9	15,3	7,2	13,6	Franco arenoso
15 - 45	63,5	14,9	7,3	14,3	Franco arenoso
45 - 60	53,4	17,8	12,2	16,6	Franco arenoso
60 - 75	53,3	16,9	16,9	16,3	Franco arenoso

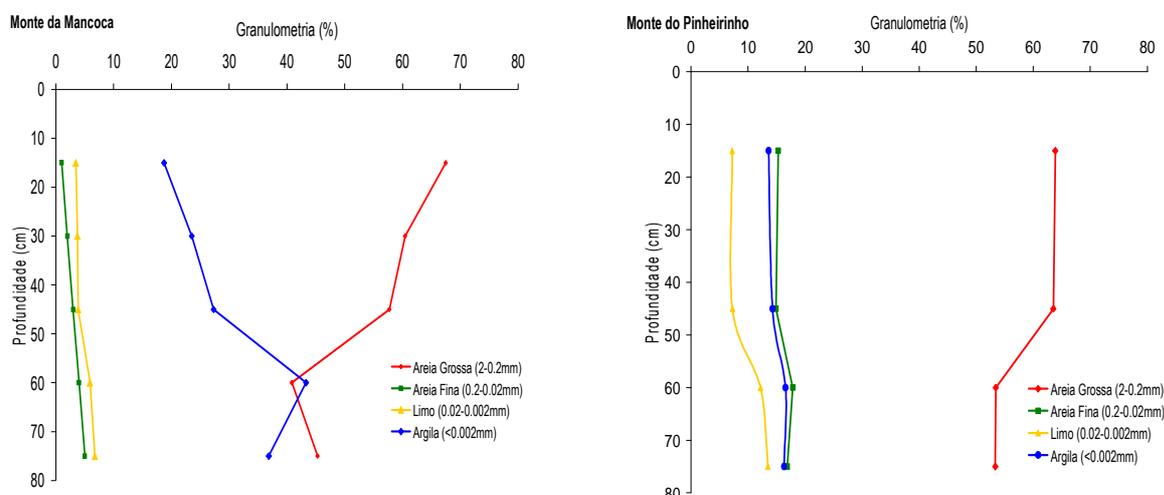


Fig. 28 - Granulometria das amostras de solo nos Montes da Mancoca e do Pinheirinho

A observação dos quadros e da figura permite verificar, à semelhança dos solos recolhidos em 2006, que os solos da Mancoca apresentam uma textura essencialmente franco-arenosa e franco-argilo-arenosa nos primeiros 45 cm do horizonte do solo, profundidade a partir da qual surge uma camada mais impermeável de textura argilo-arenosa. Esta variação tem como consequência a formação de um nível de água localmente muito elevado onde são retidas as águas de rega, com consequências importantes ao nível da concentração de sais.

Em relação ao solo do Pinheirinho observa-se uma textura franco-arenosa em todos os horizontes, até à profundidade de 75 cm. O teor em argila varia entre 13,6% a 16,6% na espessura de 0 – 60 cm. A percentagem de argila para a profundidade desde 60 cm a 75 cm é de 16,3%. Estes solos foram recolhidos numa área diferente da do ano 2006, correspondente à parcela designada por PML1. Estes solos apresentam uma permeabilidade local superior aos solos da Mancoca e aos solos da parcela designada por PML2, aspecto que favorece a infiltração da água em profundidade.

5.1.1.3 Densidade aparente e real, e porosidade

2006

Os resultados da densidade aparente dos solos do Monte da Mancoca e Monte do Pinheirinho, recolhidos a 20 de Fevereiro de 2006, e analisados pelo Laboratório de Solos da Universidade de Évora, são apresentados nos Quadro 20 e Quadro 21. Os resultados foram determinados através das fórmulas apresentadas na secção 4.1.3, atendendo a que o volume total ocupado pelos cilindros das amostras (cf. Fig. 11) é 99,2 cm³.

Quadro 20 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca

Profundidade	Peso seco total (g)	Tara (g)	Peso seco (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	324,576	144,188	180,388	1,82	2,49	29,76
15-30	322,573	143,981	178,592	1,80	2,51	20,34
30-45	322,629	143,658	178,971	1,80	2,58	22,24
45-60	321,21	144,288	176,922	1,78	2,32	26,00
60-75	318,909	142,449	176,46	1,78	2,42	28,85

Quadro 21 - Densidade aparente e real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho (milho)

	Peso seco total (g)	Tara (g)	Peso seco (g)	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	322,247	144,441	177,806	1,79	2,59	30,80
15-30	322,74	144,172	178,568	1,80	2,26	20,35
30-45	-	-	-	-	-	-
45-60	317,276	144,653	172,623	1,74	2,41	27,79
60-75	328,743	144,629	184,114	1,86	2,50	25,76
75-90	335,321	145,989	189,332	1,91	-	-

2007

Os resultados da densidade aparente e real dos solos do Monte da Mancoca e do Pinheirinho, recolhidos a 10 de Maio de 2007, e analisados pelo Laboratório de Solos da Universidade de Évora, são apresentados nos Quadro 22 e Quadro 23, e na Fig. 29. Os resultados foram determinados através das fórmulas apresentadas em Leitão *et al.* (2007).

Quadro 22 - Densidade aparente e real do solo em amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte da Mancoca em 2007

Profundidade (cm)	Peso seco (g)	Tara (g)	Massa seca (g)	Dap (g/cm ³)	Dreal (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	318,444	144,427	174,017	1,75	2,55	31,2
15-30	311,63	143,442	168,188	1,70	2,40	29,4
30-45	317,271	142,994	174,277	1,76	2,38	26,2
45-60	305,268	145,805	159,463	1,61	2,32	30,7
60-75	280,338	142,383	137,955	1,39	2,10	33,8

Quadro 23 - Densidade aparente e real do solo em amostras recolhidas a diferentes profundidades no Monte do Pinheirinho em 2007

Profundidade (cm)	Peso seco (g)	Tara (g)	Massa seca (g)	Dap (g/cm ³)	Dreal (g/cm ³)	Porosidade (%)
0-15	301,024	144,166	156,858	1,58	2,59	38,9
15-30	320,039	142,682	177,357	1,79	2,56	30,2
30-45	326,964	143,934			2,54	
45-60	334,708	144,349	190,359	1,92	2,47	22,3
60-75					2,40	
75-90						

Os valores de densidade aparente do perfil do solo do Monte da Mancoca, avaliadas a partir de amostras não perturbadas, são elevados, apresentando um valor médio de 1,74 g/cm³ até à profundidade de 45 cm e de 1,61 g/cm³ e 1,39 g/cm³ para camadas subjacentes. Costa (1973) indica valores de 1,30 g/cm³ para a camada superficial (franco-arenoso) e de 1,25 g/cm³ para as camadas franco-argilo-arenosas, situando-se os valores encontrados de densidade aparente acima dos valores indicados por aquele autor.

As densidades aparentes do solo do Monte do Pinheirinho, obtidas a partir de amostras não perturbadas, variam entre 1,58 g/cm³ na camada superficial (0 – 15 cm) e 1,79 g/cm³ dos 15 – 30 cm, valores esses considerados elevados. Costa (1973) indica valores de 1,46 g/cm³ para texturas franco-arenosas. Os valores encontrados para as densidades reais dos dois solos encontram-se dentro da gama de 2,65 g/cm³ referida em Costa (1973).

A porosidade total do solo do Monte da Mancoca é de cerca de 31,2% para a camada superficial, decrescendo em profundidade entre 29,4% e 26,2%, a qual associada aos elevados valores de densidade aparente, indicam uma grande compactação do solo. Nas camadas mais profundas do perfil, a porosidade aumenta para valores entre 30,7 e 33,8%. Assim, para o

horizonte superficial, o valor obtido situa-se dentro do intervalo indicado por Costa (2003) como típico de solos de textura grosseira (30 a 50%). Já as camadas subjacentes apresentam valores ligeiramente inferiores. Para as camadas mais profundas os valores de porosidade situam-se dentro dos valores indicados por Costa (2003) para solos de textura grosseira (30 a 50%).

A porosidade total do solo do Monte do Pinheirinho é de cerca de 38,9% para a camada superficial e de 30,2% na camada subjacente, diminuindo em profundidade para valores de 22,3%. Os valores obtidos para as camadas superficiais (0 – 30 cm) correspondem aos valores indicados por Costa (2003) para solos de textura grosseira (30 a 50%). Este mesmo autor refere que, em igualdade de textura, a porosidade é em geral menor em níveis subsuperficiais e certos horizontes B podem ter porosidade inferior a 30%. Devido ao menor teor de matéria orgânica, às piores condições de estrutura e ao peso dos níveis superiores, o decréscimo da porosidade com a profundidade é normal, mesmo quando a textura é mais fina do que a parte superior do solo, o que acontece no perfil do solo do Monte do Pinheirinho.

A Fig. 29 permite observar que, à semelhança das amostras recolhidas em 2006, os solos do Monte do Pinheirinho apresentam-se mais densos em relação aos da Mancoca. Salienta-se que os valores mais elevados de porosidade para as amostras recolhidas em 2007 se deve atribuir ao facto destas terem sido recolhidas no restolho do milho e, como tal, também com mais matéria orgânica.

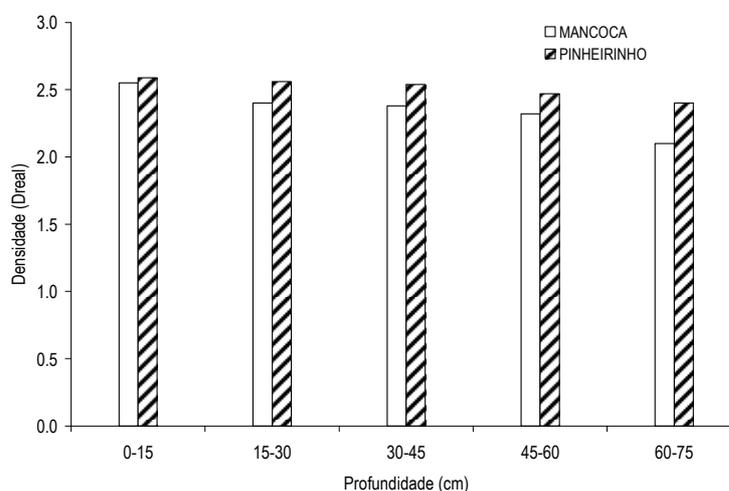


Fig. 29 - Densidade real do solo de amostras recolhidas a diferentes profundidades nos Montes da Mancoca e Pinheirinho (uso do solo: restolho do milho)

A determinação dos restantes parâmetros pedológicos decorreu na Universidade de Évora. Dada a sua relevância para a modelação do escoamento, designadamente através do programa Hydrus, e atendendo a que foram amavelmente disponibilizados pela Estação Agronómica Nacional (parceira do projecto RECOQUAR) apresenta-se nos Quadro 24 e Quadro 25 uma súmula dos dados principais (ver informação completa nos Anexos 1 e 2).

Quadro 24 - Parâmetros do modelo Mualem-van Genuchten para as propriedades hidráulicas dos solos em estudo (resultados cedidos pelo Departamento de Ciências do Solo da EAN)

Perfil	P102 - Monte da Mancoca			P106 - Monte da Mancoca	
	0-40	40-53	53-93	0-20	20-44
Prof. (cm)					
θ_r	0,0000	0,0528	0,0000	0,0000	0,0000
θ_s	0,3452	0,2924	0,3300	0,4008	0,3904
α	0,0315	0,0295	0,0270	0,0615	0,0200
η	1,262	1,285	1,141	1,103	1,104
l	0,000	...	-7,363	-9,255	-9,578
K_{sat}	91,7	...	15,8	94,8	37,6
R^2	0,990	0,996	0,999		

Legenda: θ_r e θ_s teores de água residual e na saturação, α , η e l parâmetros de ajustamento da forma das curvas e K_{sat} condutividade hidráulica em solo saturado

Quadro 25 - Parâmetros do modelo Mualem-van Genuchten para as propriedades hidráulicas dos solos em estudo (resultados cedidos pelo Departamento de Ciências do Solo da EAN)

Perfil	P126 - Monte do Pinheirinho		P127 - Monte do Pinheirinho	
	0-40	40-75	0-42	42-100
Prof. (cm)				
θ_r	0,000	0,000	0,000	0,000
θ_s	0,406	0,430	0,378	0,385
α	0,236	0,029	0,164	0,032
η	1,104	1,090	1,252	1,072
l	-11,323	-10,823	-1,59	-14,364
K_{sat}	24,3	8,6	227,6	8,6
R^2	0,998	0,996	0,992	0,998

Legenda: θ_r e θ_s teores de água residual e na saturação, α , n e l parâmetros de ajustamento da forma das curvas e K_{sat} condutividade hidráulica em solo saturado

5.1.2 Desenvolvimento radical

Na Fig. 30 são apresentadas imagens das raízes da cultura do milho, captadas através da câmara digital de vídeo *BTC Minirhizotron Camera Systems* (cf. secção 4.1.5) a 22 de Agosto, até à profundidade de 30 cm nas modalidades MMAFC (Mancoca, milho, adubação de fundo e cobertura) e PMAFLC (Pinheirinho, milho, adubação de fundo localizada e cobertura), cf. Quadro 1.

O estágio de desenvolvimento da cultura, tanto para a modalidade MMAFC, como para a modalidade PMAFLC, verifica-se 90 dias após a sementeira (formação do grão). Em ambos os casos já tinham passado 90 dias, na medida em que a data de sementeira da Mancoca foi a 29 de Abril de 2006 e do Pinheirinho foi a 29 de Maio de 2006.

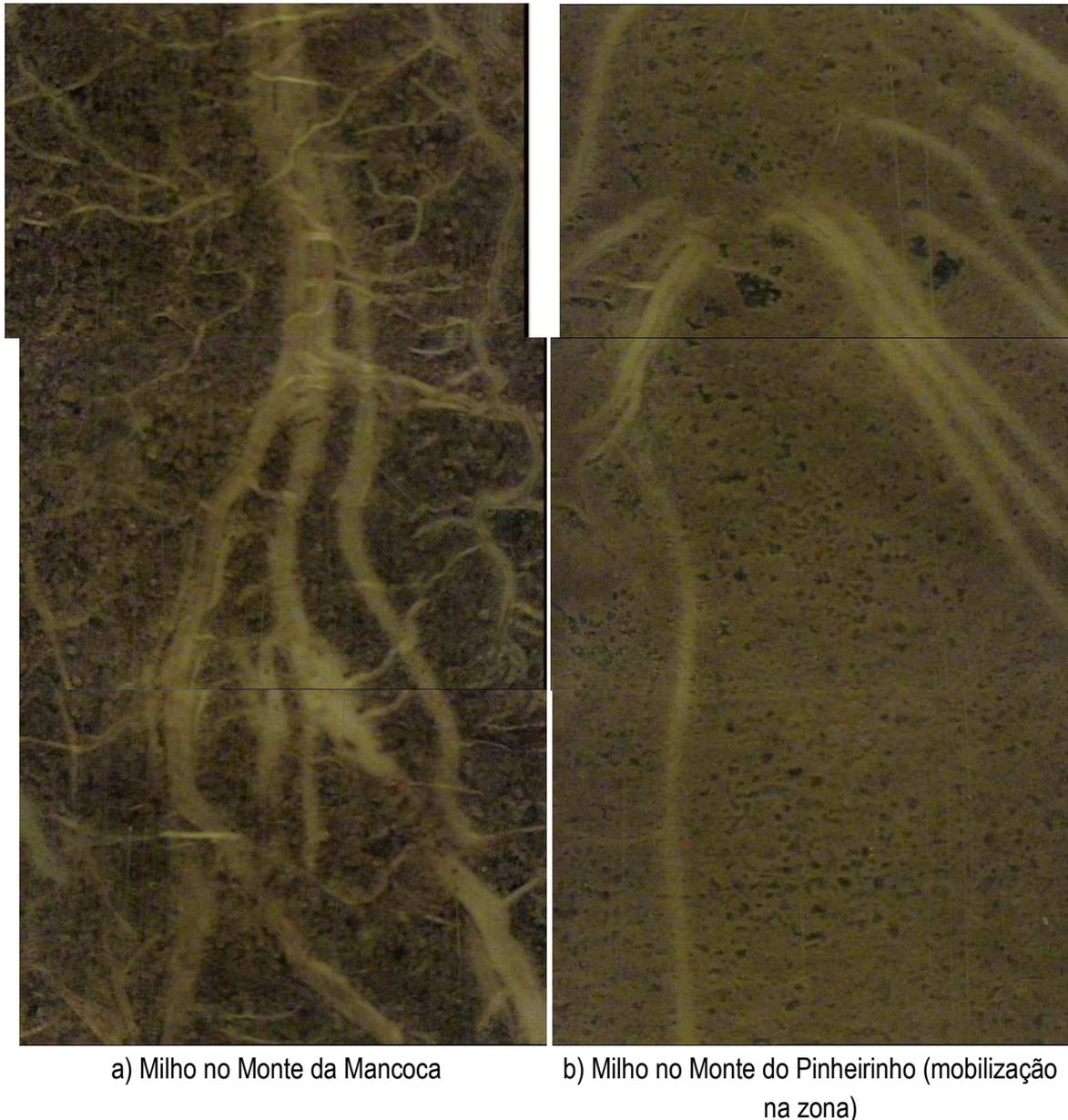


Fig. 30 - Desenvolvimento radical observado no dia 22 de Agosto de 2006

Os resultados apresentados na Fig. 30 para a cultura do milho, mostram que a densidade radical verificada aos 30 cm do perfil do solo (horizonte A), se destacou na modalidade MMAFC, face à modalidade PMAFLC, onde se praticou a sementeira com mobilização na zona. A dificuldade de penetração das raízes no perfil do argiloso do solo nesta modalidade fez com que o sistema radical das plantas se desenvolvesse sobretudo na camada superficial, não havendo desta forma uma exploração adequada da água em profundidade.

Abaixo desta camada de solo, a densidade radical diminui substancialmente nas duas modalidades, sendo mais notória na modalidade PMAFLC. No entanto, o aprofundamento radical verificado na cultura do milho no Monte do Pinheirinho está directamente relacionado com a prática da mobilização na zona nesta modalidade, induzindo as culturas a desenvolver o sistema radical de forma a poder atingir camadas inferiores, satisfazendo as suas necessidades hídricas.

5.1.3 Caracterização química

5.1.3.1 Concentração iónica

2006

No Quadro 26 apresentam-se os resultados obtidos para a qualidade dos solos em 2006, antes do início dos ensaios nos três locais de estudo.

Quadro 26 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas antes dos ensaios de 2006

Data da recolha	UTM	Prof.	Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente										
			mg/Kg										%
Mancoca (milho)													
18 Maio		cm	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃	COT
	571864	0 - 20	0,24	50	<5,0	1200	760	120	190	140	<100	0,35	1,0
	4209406	20 - 40	0,28	20	<5,0	1700	1200	160	230	280	<100	0,35	0,63
		40 - 60	0,22	17,2	<5,0	1900	1500	220	210	120	<100	0,35	0,4
Pinheirinho (milho)													
		0 - 20	0,2	80	<5,0	992	490	87	230	120	<100	0,53	0,84
		20 - 40	0,2	42	<5,0	520	360	74	160	184	<100	0,7	0,6
		40 - 60	0,2	24	<5,0	2200	1900	150	430	158	<100	1,2	0,48
Pinheirinho (girassol)													
	570801	0 - 20	0,2	36	<5,0	390	270	87	110	120	<100	0,7	0,79
	4209458	20 - 40	0,2	26	<5,0	510	320	74	110	120	<100	0,53	0,64
		40 - 60	0,2	22	<5,0	750	510	150	140	176	<100	0,35	0,39

A Fig. 31 apresenta um gráfico com a variação da qualidade dos solos nas três parcelas para os diferentes elementos referidos no Quadro 26. Para cada elemento é apresentada a concentração a 0 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 60 cm.

Os dois solos do Pinheirinho apresentam características diferentes dentro de uma mesma mancha de solo (cf. Fig. 31). São notórias as maiores concentrações em catiões e um brusco aumento dos mesmos na camada mais profunda, possivelmente resultante do aumento do teor em argilas com a passagem de um solo franco-argilo-arenoso para um solo argilo-arenoso (cf. Quadro 17). É natural que as maiores concentrações nestes elementos se devam também a excedentes de fertilizações anteriores.

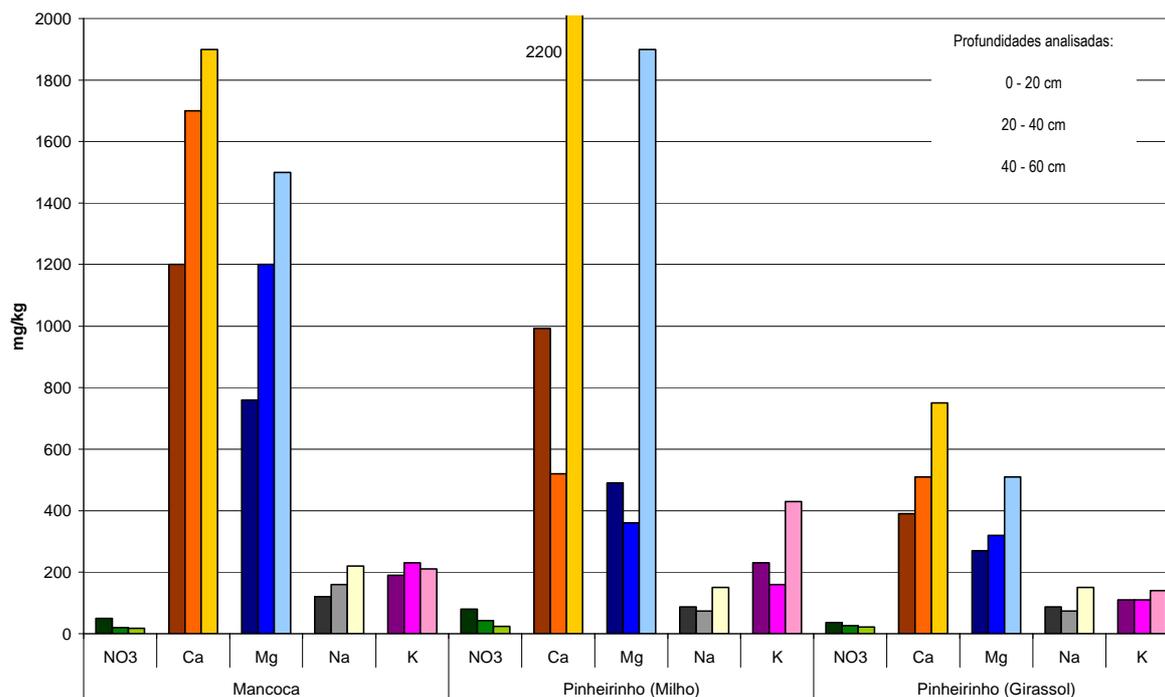


Fig. 31 - Resultados da qualidade dos solos para os catiões maiores e nitrato, nas três áreas de estudo, antes da sementeira

De facto, os locais de estudo da Mancoca e do Pinheirinho (milho) têm sido habitualmente utilizados para fins agrícolas, pelo que as análises dos solos antes da sementeira contêm já elementos resultantes de culturas anteriores.

Um outro aspecto que ressalta da análise da Fig. 31 é o maior teor em nitratos no primeiro horizonte do solo, decrescendo depois em profundidade. As concentrações antes da sementeira revelam-se já bastante elevadas com teores que oscilam entre 17 e 80 mg/kg.

O solo da Mancoca apresenta-se com teores mais elevados de cálcio e magnésio que os solos do Pinheirinho, possivelmente devido ao tipo de solo argiloso original. Contudo, neste estudo não foram feitas análises do tipo de argilas em presença, uma vez que o principal objectivo destas análises prende-se com o estudo da sua evolução antes e depois da cultura.

2007

No Quadro 27 apresentam-se os resultados obtidos para a qualidade dos solos antes do início dos ensaios, nos locais de estudo ensaiados em 2007.

Quadro 27 - Resultados da qualidade das amostras de solos das três parcelas

Data da recolha	UTM	Prof. mg/kg	Análises químicas efectuadas pela LQA, Ambiente				
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Mancoca (milho)							
10 Maio		cm	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Cl	COT
	571864	0 - 20	205	107	33	96	0,54
	4209406	20 - 40	161	78	23	49	0,34
		40 - 60	138	246	56	65	<0,21
Pinheirinho (melão)							
10 Maio		cm	NO ₃	PO ₄	SO ₄	Cl	COT
		0 - 20	119	224	17	19	0,29
		20 - 40	101	<4,0	29	16	0,39
		40 - 60	79	<4,0	21	16	0,26

Os locais de estudo da Mancoca e do Pinheirinho são utilizados para fins agrícolas, pelo que as análises dos solos antes da sementeira contêm já elementos resultantes de culturas anteriores que importa considerar como valores de qualidade inicial. É possível verificar pela análise do Quadro 27 que o primeiro horizonte do solo do Pinheirinho apresenta-se com um valor mais elevado de PO₄ (224 mg/kg) relativamente ao solo da Mancoca que apresenta um valor mais baixo de 107 mg/kg. Este valor tende a diminuir para os horizontes inferiores dos solos, embora ocorra em elevadas concentrações no horizonte inferior da Mancoca. Relativamente ao NO₃, o solo do Monte da Mancoca apresenta teores superiores (205 mg/kg) ao solo do Pinheirinho (119 mg/kg). Contudo essas variações não são possíveis de atribuir a um ou a mais factores, dado que se trata de uma região de intensa actividade agrícola, em que a utilização de adubos condicionam quase totalmente os teores destes nutrientes no solo, pouco podendo ser explicado por causas naturais.

5.1.3.2 Capacidade de troca catiónica

O cálculo da capacidade de troca catiónica (CTC) foi efectuado de acordo com a formulação apresentada na secção 4.1.8. Os Quadros 28 a 30 apresentam os resultados obtidos para os solos das três parcelas.

Quadro 28 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Mancoca milho)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	13,24	20,24	65,41	45,33	47,06	3,94	6,08
20 - 40	19,62	26,22	74,83	43,32	50,13	3,55	4,99
40 - 60	23,29	30,09	77,40	40,79	52,79	4,11	3,86

Quadro 29 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho milho)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	9,94	17,34	59,64	49,83	40,44	3,81	5,92
20 - 40	6,28	13,17	49,88	41,39	46,97	5,12	6,51
40 - 60	28,33	35,90	81,06	38,83	54,98	2,30	3,88

Quadro 30 - Valores de soma de bases de troca, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em bases e proporção relativa de bases de troca às diferentes profundidades (Pinheirinho girassol)

Profundidade (cm)	S meq/100 g	CTC meq/100 g	V (%)	Proporção relativa de bases de troca (%)			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0 - 20	4,75	11,74	40,40	41,10	46,65	6,32	5,93
20 - 40	5,68	12,28	46,26	44,89	46,18	3,98	4,95
40 - 60	8,63	15,43	55,92	43,47	48,45	3,93	4,15

A base de troca que existe em maior quantidade neste solo é o magnésio, em todos os horizontes, sendo o catião que mais contribui para a soma das bases de troca e para o aumento do valor de CTC.

Os valores de CTC aumentam para os três solos à profundidade de 40 – 60 cm. Este facto atribui-se geralmente ao aumento do teor de argila nessas camadas subsuperficiais, uma vez que a CTC tende a aumentar com a proporção de argila. No entanto, nestes casos específicos, os solos contam com a presença destes catiões não só provenientes dos solos propriamente ditos, mas também dos fertilizantes utilizados, pelo que não se encontra uma relação directa entre solos mais arenosos e menor presença de catiões ou menor CTC, muito pelo contrário, pois o solo da Mancoca, embora mais arenoso, apresenta as maiores CTC.

5.2 Águas

5.2.1 Água de escorrência

2006

Os Quadro 31 a Quadro 33 apresentam os resultados obtidos para as águas de escorrência ao longo dos três ensaios efectuados em 2006. Importa, desde já, assinalar diversos hiatos de informação resultantes da ausência de água nas garrafas ligadas aos anéis de escorrência, aspecto que, em especial para o caso da Mancoca, dificulta a sua interpretação. Em muitos dos casos a ausência de água deveu-se à falta de rega, em especial para o Pinheirinho (girassol), e à rápida infiltração, mas também houve diversos casos em que a ligação entre os anéis e o recipiente para recolha das amostras apresentou problemas não permitindo a recolha de água.

Quadro 31 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca - Milho

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	380	0,378	9,61	271	24,6	3,17
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	60	0,653	8,92	260	25,9	29,82
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 3						
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	520	0,466	8,29	313	31,9	61,13
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	960	0,106	9,19	208	31,8	
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 3	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	0					
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 3	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	102	0,668	7,95	236	30,4	194,09
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 3						
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0					
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0					
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	0	0,526	8,46	130	23,8	4,92
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	110	0,499	8,35	163	24,0	6,7
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 3	0					
1 de Agosto a 16 de Novembro	Anéis escoamento	0					

Quadro 32 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Milho

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				T °C	Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV			
30 de Junho de 2006	Talhão escoamento 1	290	1,767	8,66	209	34,8	241,27	
30 de Junho de 2006	Talhão escoamento 2	50	3,92	8,3	237	32,5	220,47	
4 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	0						
4 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	3,66	0,83	7,75	253	25,2	95,98	
12 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	0						
12 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	15000	0,816	7,44	298	29,8	79,57	
18 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	478	1,375	7,48	293	27,8	4,93	
18 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	12000	0,28	7,12	312	27,2	126,59	
28 de Julho de 2006	Talhão escoamento 1	3650	0,691	6,94	339	22,1	24,98	
28 de Julho de 2006	Talhão escoamento 2	12000	0,72	6,82	336	22,1	52,11	
7 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	1003	0,618	7,15	338	29,0	9,37	
7 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,668	6,87	355	27,5	19,51	
18 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	1550	0,542	6,7	361	19,7	13,76	
18 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,643	7,14	356	19,8	44,51	
22 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	70	0,584	7,75	328	26,6	40,61	
22 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	2084	0,673	7,34	296	26,4	197,38	
30 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 1	800	0,572	7,12	282	22,5	18,8	
30 de Agosto de 2006	Talhão escoamento 2	Cheio	0,698	7,06	274	22,5	45,44	
7 de Setembro de 2006	Talhão escoamento 1	230	0,59	7,78	252	26,4	15,23	
7 de Setembro de 2006	Talhão escoamento 2	cheio	0,782	8,06	245	25,5	17,12	
1 de Agosto a 10 de Outubro	Talhões escoamento	0						

Quadro 33 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte do Pinheirinho - Girassol

Data da recolha	Designação	Vol./np ml/m	Medições no campo				Sonda NO3 mg/l
			CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	
8 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	0	-	-	-	-	-
8 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	0	-	-	-	-	-
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	-	-	-	-	-	-
16 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	-	-	-	-	-	-
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	1420	0,467	8,43	185	39,8	8,31
22 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	1060	0,75	9,18	140	-	-
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 1	732	0,572	8,18	231	37,4	3,82
30 de Junho de 2006	Anel escoamento 2	268	0,487	9,92	228	34,0	3,65
4 de Julho de 2006	Escoamento 1*	-	1,066	-	223	26,7	162,95
4 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0	-	-	-	-	-
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	73	0,505	8,18	202	39,2	5,56
12 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	90	0,418	9,3	262	40,0	5,65
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 1	134	0,562	8,07	216	35,4	6,0
18 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0	-	-	-	-	-
28 de Julho de 2006	Escoamento 1*	-	1,064	7,64	348	22,8	106,41
28 de Julho de 2006	Anel escoamento 2	0	-	-	-	-	-
1 de Agosto a 16 de Novembro	Anéis escoamento	0	-	-	-	-	-

* água de escoamento recolhida na depressão deixada pelo rodado do pivot de rega

As águas são maioritariamente básicas. Em relação aos valores de condutividade eléctrica e de concentração em nitratos, apresenta-se a sua evolução ao longo do período de rega para os três casos de estudo: Mancoca - milho e Pinheirinho milho e girassol. Por forma a ter um termo de comparação, projectou-se no gráfico os valores destes dois parâmetros na água de rega sem adição de fertilizantes à água.

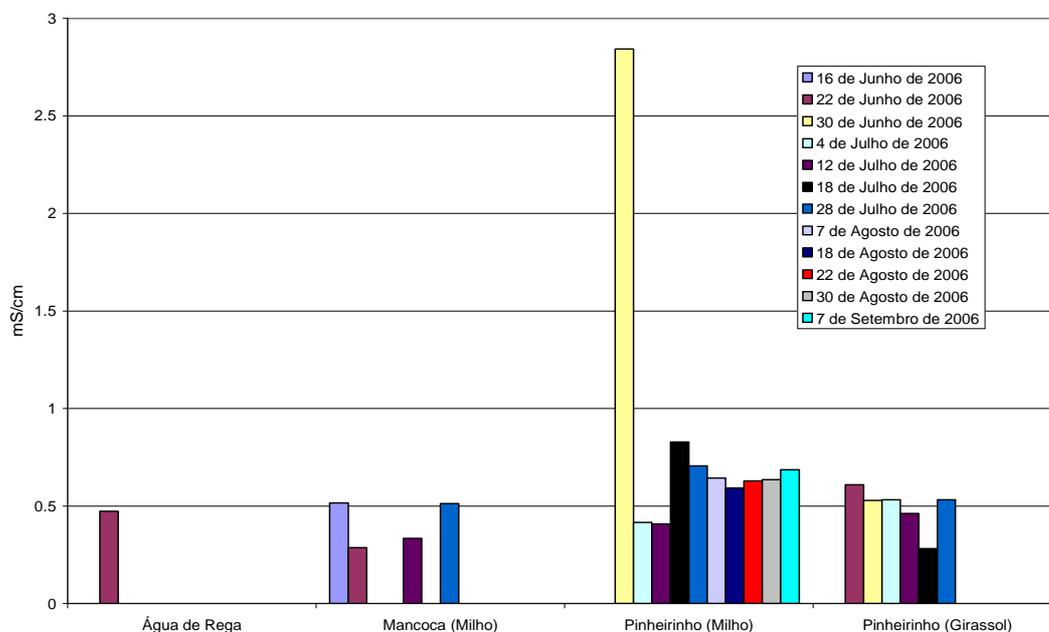


Fig. 32 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo

As Fig. 32 e Fig. 33 apresentam os resultados das médias dos dois anéis ou talhões de ensaio dentro de um mesmo local. Os resultados não são muito explícitos para o caso da Mancoca, dada a falta de amostras. Contudo, para o caso do Pinheirinho é possível observar os efeitos da fertilização no aumento da condutividade eléctrica das águas de escorrência e o efeito da fertirrega aplicada na semana anterior à recolha de 30 de Junho (cf. Fig. 10). O caso do Pinheirinho – girassol, não houve fertilização. Contudo, observa-se, e verificou-se no terreno, haver escorrência superficial de uma parcela para a outra, registando-se alguma subida nos valores da condutividade (cf. Fig. 32).

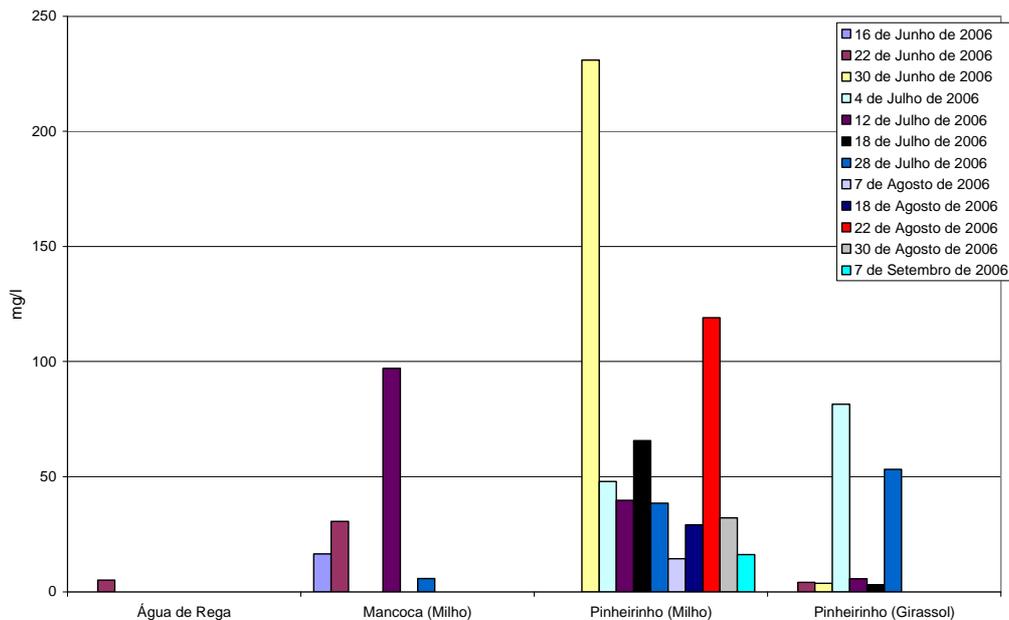


Fig. 33 - Resultados da variação do teor em nitratos nos anéis e talhões de escorrência, ao longo período dos ensaios, nos três casos de estudo

Para o caso dos nitratos, a Fig. 33 apresenta os resultados obtidos dentro de um mesmo ensaio, também em termos dos valores médios entre os dois anéis ou parcelas. Aqui é evidente o aumento da concentração de nitratos causado pela fertilização, embora nem sempre os aumentos estejam directamente relacionados com a informação recolhida sobre os períodos de fertilização, como é o caso das amostras recolhidas a 22 de Agosto com as águas da semana anterior. De referir que as águas do Pinheirinho (girassol) que apresentam valores mais elevados em nitratos são águas que foram recolhidas nas depressões deixadas pelos rodados do pivot, e não nos anéis de escorrência, pelo que as suas concentrações elevadas se podem dever a uma elevada evaporação da água com conseqüente concentração de sais.

2007

O Quadro 34 apresenta os resultados obtidos para as águas recolhidas no talhão de escorrência (Fig. 23) ao longo dos ensaios efectuados em 2007 para a Mancoca. Nos outros dois locais de estudo (PML1 e PML2) não houve águas de escorrência uma vez que o processo utilizado para a rega foi a gota-a-gota. Os resultados apresentados referem-se a

análises efectuadas *in situ*, com recurso a sondas multiparamétricas, e as duas últimas colunas do Quadro 34 referem-se a análises laboratoriais efectuadas pela empresa LQA Ambiente, Lda. Estas análises foram realizadas com o intuito de avaliar a precisão dos resultados obtidos para a concentração em nitratos medidos com a sonda GLP22 CRISON do LNEC quando comparados com uma análise química padrão em laboratório, e ainda avaliar a concentração em cloretos.

Quadro 34 - Resultados das análises efectuadas nas águas de escorrência da parcela do Monte da Mancoca – Milho

Data da recolha	Designação	Vol. ml	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO3	NO3	Cl
25 de Maio de 2007	Talhão escorrência	-	0,531	7,14	216	21,3	64,08		
31 de Maio de 2007	Talhão escorrência	-	0,539	7,31	307	22,7	72,68		
11 de Junho de 2007	Talhão escorrência	4300	1,430	7,74	282	21,9	112,67	196	225
12 de Junho de 2007	Talhão escorrência								
18 de Junho de 2007	Talhão escorrência		0,710	6,23	221	23,4	9,60	16,4	7,8
25 de Junho de 2007	Talhão escorrência		1,438	7,66	367	20,6	318,38		
02 de Julho de 2007	Talhão escorrência	10000							
09 de Julho de 2007	Talhão escorrência	11000	1,223	7,31	324	22,5	286,01		
16 de Julho de 2007	Talhão escorrência	<10000	0,900	7,19	184	26,2	26,55		
23 de Julho de 2007	Talhão escorrência	≈10000	0,122	7,53	222	21,4	8,87		
06 de Agosto de 2007	Talhão escorrência		0,580	7,50	191	21,7	7,19		
13 de Agosto de 2007	Talhão escorrência	20	0,577	7,58	365	20,1	7,41		
20 de Agosto de 2007	Talhão escorrência	14500	0,583	7,52	257	28,2	2,04		
27 de Agosto de 2007	Talhão escorrência		0,583	7,50	205	22,3	5,05		
3 de Setembro de 2007	Talhão escorrência	7000	0,632	7,44	227	28,1	7,44		
10 de Setembro de 2007	Talhão escorrência	7000	0,620	7,62	266	18,3	86,91		

Note-se que os valores de concentração em nitratos obtidos com a sonda GLP22 CRISON do LNEC não são iguais aos resultados das análises químicas efectuadas em laboratório (Quadro 34). Esta constatação poder-se-á dever ao facto de as análises efectuadas com a sonda terem sido realizadas no próprio dia de amostragem, enquanto que as amostras enviadas para o laboratório só foram analisadas em datas bastante posteriores, embora tenham sido preservadas de acordo com as especificações de conservação. Apesar de se registar uma fraca correlação entre as duas amostras duplicadas apresentadas no Quadro 34, salienta-se que os resultados das várias amostras em duplicado, efectuadas não apenas para as amostras de águas de escorrência mas também de outras águas analisadas (e.g. Quadro 39 a Quadro 41), apresentam a mesma ordem de grandeza e têm um grau de correlação aceitável, da ordem de 0,8 (Fig. 34).

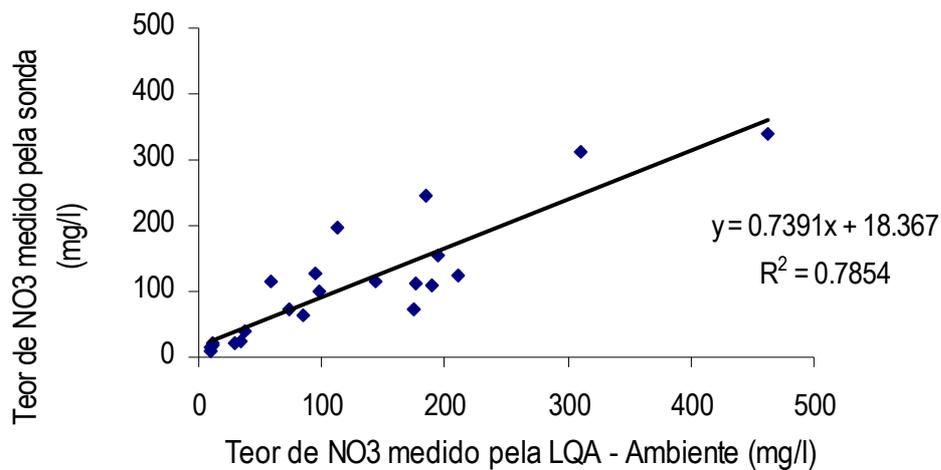


Fig. 34 - Curva de correlação entre as concentrações em nitratos obtidas com a sonda GLP22 CRISON de nitratos e as resultantes de análise química laboratorial na LQA, Ambiente

Em relação aos resultados obtidos, as águas analisadas apresentam características básicas. Em relação aos valores de condutividade eléctrica e de concentração em nitratos, apresenta-se na Fig. 35 a sua evolução ao longo do período de rega.

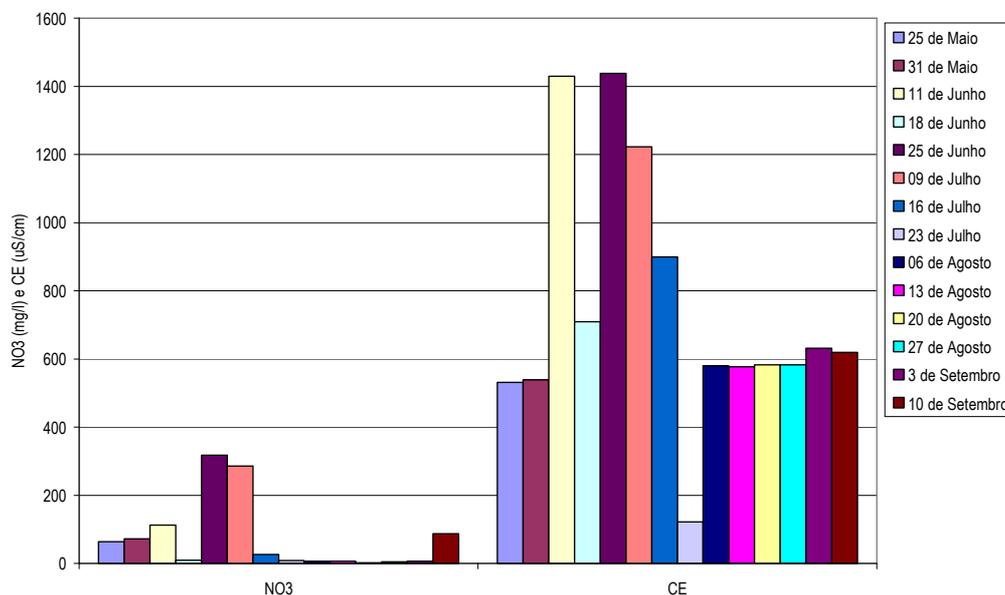


Fig. 35 - Resultados da variação da condutividade eléctrica e nitratos no talhão de escorrência da Mancoca, ao longo período de ensaio, em 2007

É evidenciado o aumento da concentração de nitratos e nos valores da condutividade eléctrica causado pela fertilização. Em relação aos valores de 2006, as águas de escorrência da Mancoca em 2007 parecem apresentar valores mais elevados, embora a ausência de

amostragem durante diversas semanas impeça confirmar esta ideia. Estas concentrações na água de escorrência repercutem-se na qualidade das águas da zona vadosa, das valas de drenagem e das ribeiras, bem como de alguns piezómetros localizados mais próximos das parcelas, como se verá nas secções seguintes.

5.2.2 Água da zona vadosa

2006

Os Quadro 35 a Quadro 37 apresentam os resultados das análises efectuadas semanalmente na água recolhida nas cápsulas instaladas na zona vadosa para os três ensaios. A água foi recolhida a três profundidades, 20, 40 e 60 cm, de acordo com o procedimento referido na secção 4.2.1.

Quadro 35 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca – Milho, em 2006

Designação	Medições no campo					Sonda NO3	Análises químicas efectuadas no IGM										Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente											
	Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4 mg/l	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl	Carb	Alcal
Cápsula 20	-	1,239	6,3	341	24,2										0,15	10	0,25	67,4	34,6	103	2,7	310	121	x				
Cápsula 40	-	0,675	5,92	315	22,8										0,48	<10	0,09	35,8	14,8	75,1	2,2	150	92	78,8				
Cápsula 60	-	4,9	6,34	225	23,1										0,41	103	0,06	215	207	409	128	1386	310	1230	<0,1	106	7,0	
Cápsula 20	-	1,822	6,58	339	17,4	75,86																						
Cápsula 40	-	1,07	6,51	386	16,4	6,5																						
Cápsula 60	-	1,184	6,46	418	15,0	8,54																						
Cápsula 20	-																											
Cápsula 40	-																											
Cápsula 60	-																											
Cápsula 20	-																											
Cápsula 40	-	0,719	6,35	326	22,2										<0,03	14												
Cápsula 60	-	1,837	6,28	323	21,6										0,42	283		124	56,0	148	<1,0	540						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	277	0,626	5,85	277	29,0										0,041	17		34,3	11,6	74,7	<1,0	133						
Cápsula 60	928	3,05	6,07	291	28,6										0,74	269		219	105	240	<1,0	976						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	260	0,807	6,32	-27	24,0	4,81																						
Cápsula 60	846	6,62	6,28	-16	23,7	234,37																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	168	1,041	5,83	366	22,0	6,09																						
Cápsula 60	716	7,52	6,26	385	21,6	207,41																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	250	1,384	5,93	241	28,4																							
Cápsula 60	874	8,75	6,2	269	26,9																							
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	196	2,14	6,4	215	29,5	52,24																						
Cápsula 60	792	9,84	6,4	315	27,7	421,76																						
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	302	2,92	5,8	204	24,3	81,73									0,098	17		230	83,2	250	<1,0							
Cápsula 60	844	10,43	6,02	218	23,7	470,65									32,5	269		724	434	704	1							
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	392	3,27	6,3	352	28,2										0,25	259		245	83,2	293	<1,0							
Cápsula 60	786	10,79	6,73	342,5	27,7	580,46									32,5	1,3		744	456	920	<1,0							
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	432	3,76	6,44	369	20,6	85,58									0,18	21,8	0,09	297,0	77,3	317,0	1,3	3726,0	147,0	1060,0	<0,1	74,2	6,4	
Cápsula 60	727	10,12	7,02	347	20,8	437,55									2,4	200,0	0,36	687,0	426,0	846,0	<1,0	1060,0	474,0	3100,0	0,2	200	7,2	
Cápsula 20	36	2,96	7,46	319	29,1	34,64																						
Cápsula 40	180	3,91	6,33	329	27,4	188,36																						
Cápsula 60	500	9,74	6,86	385	27,4	318,78																						
Cápsula 20	44	3,26	7,23	297	25,8	35,6																						
Cápsula 40	374	3,82	6,54	305	23,7	86,52									0,078	18,2	0,07	301,0	184,0	382,0	<1,0	3726,0	140,0	1120,0	<0,1	82,6	6,6	
Cápsula 60	822	9,8	6,81	307	23,1	407,62									0,072	125,0	0,06	694,0	804,0	897,0	<1,0	1060,0	557,0	964,0	<0,1	191	6,8	
Cápsula 20	0																											
Cápsula 40	0																											
Cápsula 60	352	9,85	7,12	222	23,9	290,31	1,39	0,1	0,08	743	677	920	1,9	3514	490	718												
Cápsula 20	57	3,54	8,08	290	14,7																							
Cápsula 40	190	4,13	6,62	305	13,9										0,034	40,4	0,08	361,0	256,0	359,0	<1,0	1411,0	173,0	1460,0				
Cápsula 60	685	9,56	7,26	301	12,6										0,18	175,0	0,07	724,0	668,0	868,0	<1,0	3460,0	659,0	214,0	<0,1	180	6,8	

Quadro 36 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Milho, em 2006

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda NO3	Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente														
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3	SO4	Cl	COT	Alcal	pH	Carb.o	
16 de Junho de 2006	Cápsula 20	0																				
16 de Junho de 2006	Cápsula 40	0																				
16 de Junho de 2006	Cápsula 60	0																				
22 de Junho de 2006	Cápsula 20	65	1,193	6,21	279	31,5		0,033	144													
22 de Junho de 2006	Cápsula 40	18																				
22 de Junho de 2006	Cápsula 60	1																				
30 de Junho de 2006	Cápsula 20	24	1,654	7,1	299	30,7	154,61															
30 de Junho de 2006	Cápsula 40	12																				
30 de Junho de 2006	Cápsula 60	0																				
4 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																				
4 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																				
4 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																				
12 de Julho de 2006	Cápsula 20	22					224,12															
12 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																				
12 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																				
18 de Julho de 2006	Cápsula 20	15					124,9															
18 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																				
18 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																				
28 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																				
28 de Julho de 2006	Cápsula 40	10	1,303	6,21	367	24,0	82,47															
28 de Julho de 2006	Cápsula 60	0																				
7 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																				
7 de Agosto de 2006	Cápsula 40	28	1,377	7,96	258	30,2	331,13															
7 de Agosto de 2006	Cápsula 60	24	0,88	8,23	270	30,0	52,24															
18 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																				
18 de Agosto de 2006	Cápsula 40	44	1,163	7,8	330	20,7	368,5															
18 de Agosto de 2006	Cápsula 60	44	0,88	7,99	348	20,1	10,89															
22 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																				
22 de Agosto de 2006	Cápsula 40	0																				
22 de Agosto de 2006	Cápsula 60	28	0,887	8,28	298	28,5	8,51															
30 de Agosto de 2006	Cápsula 20	0																				
30 de Agosto de 2006	Cápsula 40	62	1,258	7,82	228	24,7	417,45															
30 de Agosto de 2006	Cápsula 60	46	0,92	8,07	242	24,6	9,72															
7 de Setembro de 2006	Cápsula 20	558	1,2	7,54	246		64,1	0,42	23,9	0,24	126,00	58,9	81,2	2,00	0,22	118,00	237,00		229	7,2	10,5	
7 de Setembro de 2006	Cápsula 40	50	1,39	7,94	250	28,0	268,31															
7 de Setembro de 2006	Cápsula 60	50	0,99	8,16	245	28,5	5,05															
13 de Setembro de 2006	Cápsula 20	526	1,36	7,64	297	13,7																
13 de Setembro de 2006	Cápsula 40	0																				
13 de Setembro de 2006	Cápsula 60	0						0,037	<10	0,18	148	71	92,1	1,7	0,17	106	652		297	7	10,5	
18 de Setembro de 2006	Cápsula 20	-																				
18 de Setembro de 2006	Cápsula 40	-																				
18 de Setembro de 2006	Cápsula 60	-						0,67	21,3		69,8	24	102	<1								
10 de Outubro de 2006	Cápsula 20	0																				
10 de Outubro de 2006	Cápsula 40	0																				
10 de Outubro de 2006	Cápsula 60	0																				

Quadro 37 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Girassol, em 2006

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda NO3	efectuadas na EGI, Ambiente													
		Vol./np ml/m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na mg/l	K	CO3	SO4	Cl	COT	Alcal	pH	
25 de Maio de 2006	Cápsula 20	-	0,89	6,52	318	25,2		0,36	29	0,08	82,3	3,5	62,1	4,4	220	63					
25 de Maio de 2006	Cápsula 40	-	0,557	6,13	314	24,9		0,48	15,0	0,07	42,8	7,7	59,0	2,2	138	82,0	55,5	0,12	73,4	7,4	
25 de Maio de 2006	Cápsula 60	-	0,715	5,74	322	27,2		0,91	12	0,07	40,1	14,7	73,7	<1,0	161	116	56,2	<0,1	57,2	6,8	
31 de Maio de 2006	Cápsula 20	-	0,872	7,2	342	17,8	18,15														
31 de Maio de 2006	Cápsula 40	-	0,519	6,36	349	17,6	24,37														
31 de Maio de 2006	Cápsula 60	-	0,704	7,1	339	17,3															
8 de Junho de 2006	Cápsula 20	-	1,027	7,69	259	29,1	93,25														
8 de Junho de 2006	Cápsula 40	0	-	-	-	-															
8 de Junho de 2006	Cápsula 60	0	-	-	-	-															
16 de Junho de 2006	Cápsula 20	-	0,962	7,35	278	25,1	75,62														
16 de Junho de 2006	Cápsula 40	-	0,541	5,23	305	23,5		<0,03	40		31,5	11,6	74,7	2,3	126						
16 de Junho de 2006	Cápsula 60	-	0,727	5,94	257	23,5		0,76	274				572,6	<1,0							
22 de Junho de 2006	Cápsula 20	222	1,258	7,06	345	34,0		0,74	89		59,9	46,1	87,3	3,8	339						
22 de Junho de 2006	Cápsula 40	500	0,598	5,63	354	30,6		0,066	44		32,7	12,5	78,4	4,1	133	97					
22 de Junho de 2006	Cápsula 60	382	0,749	5,97	335	30,9		0,074	30		39,6	15,5	88,2	<1,0	163						
30 de Junho de 2006	Cápsula 20	72	1,225	7,38	249	30,1	34,67														
30 de Junho de 2006	Cápsula 40	388	0,62	5,57	259	27,8	44,34														
30 de Junho de 2006	Cápsula 60	382	0,776	6,08	270	27,3	32,25														
4 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
4 de Julho de 2006	Cápsula 60	283	0,765	5,85	364	25,3	29,64														
12 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
12 de Julho de 2006	Cápsula 60	490	0,853	6,35	245	35,0															
18 de Julho de 2006	Cápsula 20	10					9,7														
18 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
18 de Julho de 2006	Cápsula 60	200	0,778	7,16	231	32,9	41,48														
28 de Julho de 2006	Cápsula 20	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 40	0																			
28 de Julho de 2006	Cápsula 60	20	0,742	7,22	380	25,4	44,04														

As amostras foram recolhidas semanalmente durante todo o ciclo das culturas, estando a presença de água nas cápsulas condicionada pela existência ou não de rega e pela capacidade de infiltração da água no solo. Como consequência, nem em todas as semanas houve água nas diversas cápsulas.

Na água recolhida foram efectuadas medições de campo para aferição dos valores de condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura e foram, também, enviadas amostras para análise química laboratorial. Foram, igualmente, efectuadas medições no laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas à concentração em nitratos através de uma sonda.

Em termos da qualidade global das águas, e em relação à condutividade eléctrica da água, verifica-se que na modalidade MM (Mancoca milho) os valores de CE foram os mais elevados e aumentaram ao longo do período de rega em todas as camadas do perfil do solo, atingindo o maior valor (10,79 mS/cm) no caso da amostragem realizada a 7 de Agosto, à profundidade de 60 cm. É, aliás, na camada situada a maior profundidade (60 cm) onde se verificam os valores mais elevados de CE, o que se explica pelo facto dos sais terem sido arrastados para a camada subjacente até atingirem o nível mais impermeável localizado a cerca de 60 cm (cf. Quadro 17 e Fig. 27). É, ainda, possível observar aos 60 cm uma tendência para a diminuição da condutividade eléctrica depois de 7 de Agosto, numa fase em que ainda havia rega mas já sem quaisquer fertilizações.

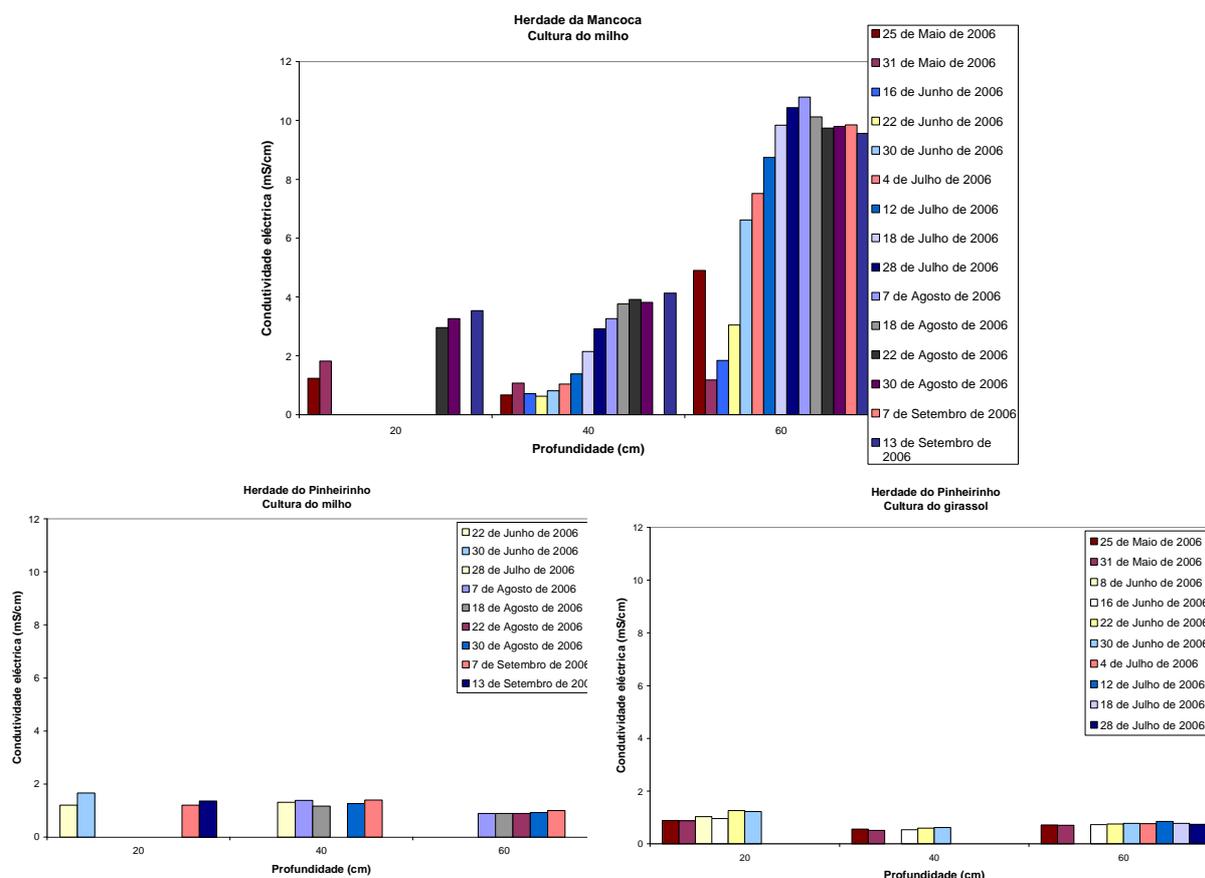


Fig. 36 - Variação da condutividade eléctrica na zona vadosa para as três parcelas de ensaio, em 2006

Para as parcelas do Pinheirinho, os valores máximos registados para a condutividade eléctrica foram bastante mais baixos, oscilando entre 0,88 e 1,65 mS/cm, para a parcela do milho, e entre 0,54 e 1,26 mS/cm, para a parcela do girassol. Nesta última não houve aplicação directa de fertilizantes e/ou de rega, mas apenas as escorrências superficiais da parcela do milho localizada a montante. Observa-se que os valores de CE nestas duas parcelas são, geralmente, mais elevados nos primeiros centímetros do solo, possivelmente devido à sua menor capacidade de infiltração em comparação com os solos da Mancoca, permitindo maior disponibilidade para a evapotranspiração da água, com conseqüente acumulação de sais.

Em relação à variação de SAR (razão adsorção sódio) na Mancoca (milho), os valores obtidos variaram entre 2,54 e 6,55 meq/l. Estes valores oscilaram entre 1,50 e 2,89 meq/l e 1,82 e 3,01 meq/l para o caso do Pinheirinho milho e girassol, respectivamente. A Fig. 37 apresenta uma projecção dos valores do índice SAR para todas as águas da zona vadosa.

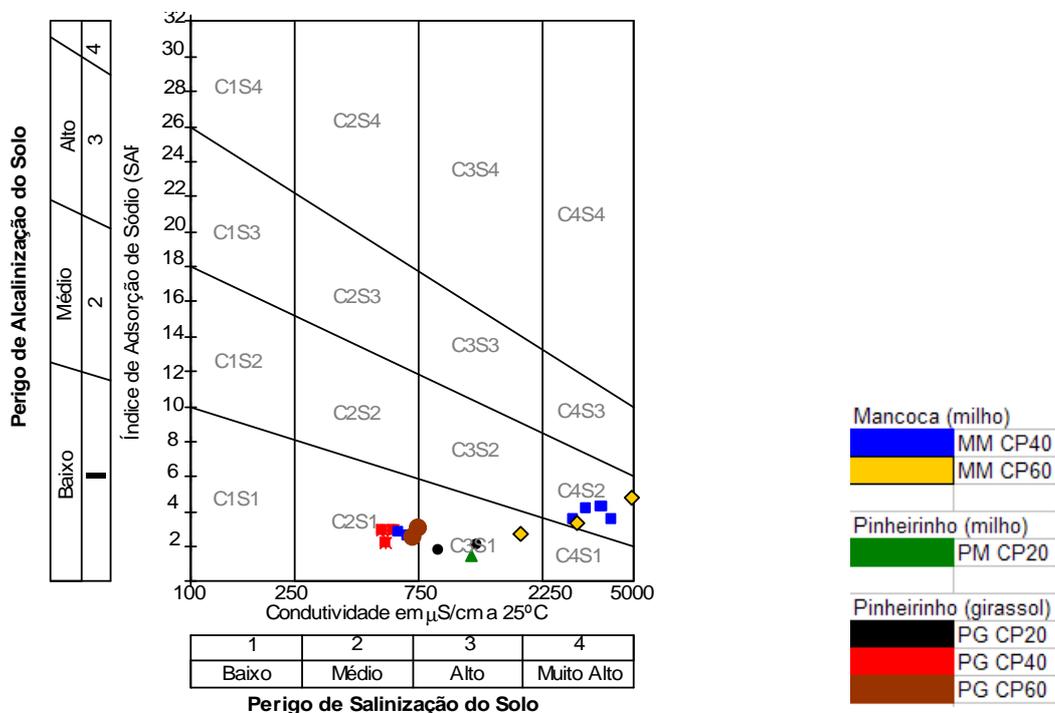


Fig. 37 - Projecção dos valores do índice SAR das águas da zona vadosa num diagrama de aptidão das águas para uso agrícola

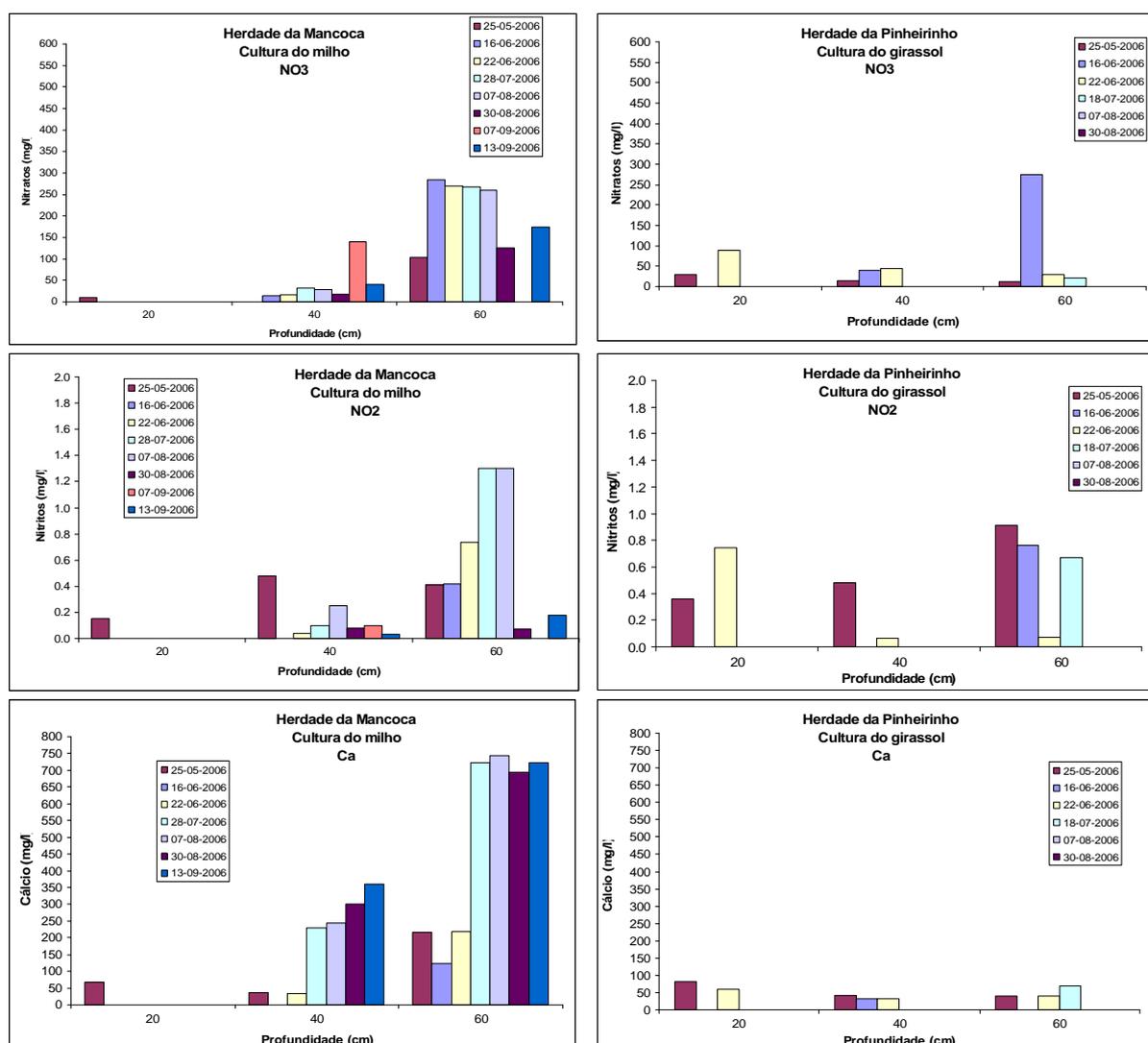
Da análise da Fig. 37 é possível observar que as águas da zona vadosa da Mancoca são as menos adequadas quando comparadas com as características desejáveis para a água de rega. Obviamente estas águas apresentam estas concentrações em catiões por se encontrarem logo abaixo da área de rega. Nesse mesmo contexto, as águas mais adequadas à rega são as do Pinheirinho girassol, onde não foi efectuada nenhuma fertilização.

Para termo de comparação e melhor análise da Fig. 37, refere-se a classificação de um solo quanto à sua sodicidade, de acordo com Richards (1954) (cf. Quadro 38).

Quadro 38 - Classificação de um solo quanto à sua sodicidade (Richards, 1954)

Denominação	CE (dS/m)	ESP	pH
Normais	< 4	< 15	4 a 8,5
Salino	> 4	< 15	≤ 8,5
Salino-alcálico ou Salino-sódico	> 4	> 15	Próximo de 8,5
Alcalino ou Sódico	< 4	> 15	Em geral de 8,5 a 10

Em relação aos restantes parâmetros medidos na água da zona vadosa, as Fig. 38 a Fig. 39 apresentam os resultados obtidos. A comparação da qualidade das águas dos três locais nem sempre é fácil devido à falta de amostras em diversas datas. O Monte da Mancoca, devido à presença de um estrato menos permeável a cerca de 60 cm de profundidade é que facilitou a amostragem por ter permitido a acumulação de água.



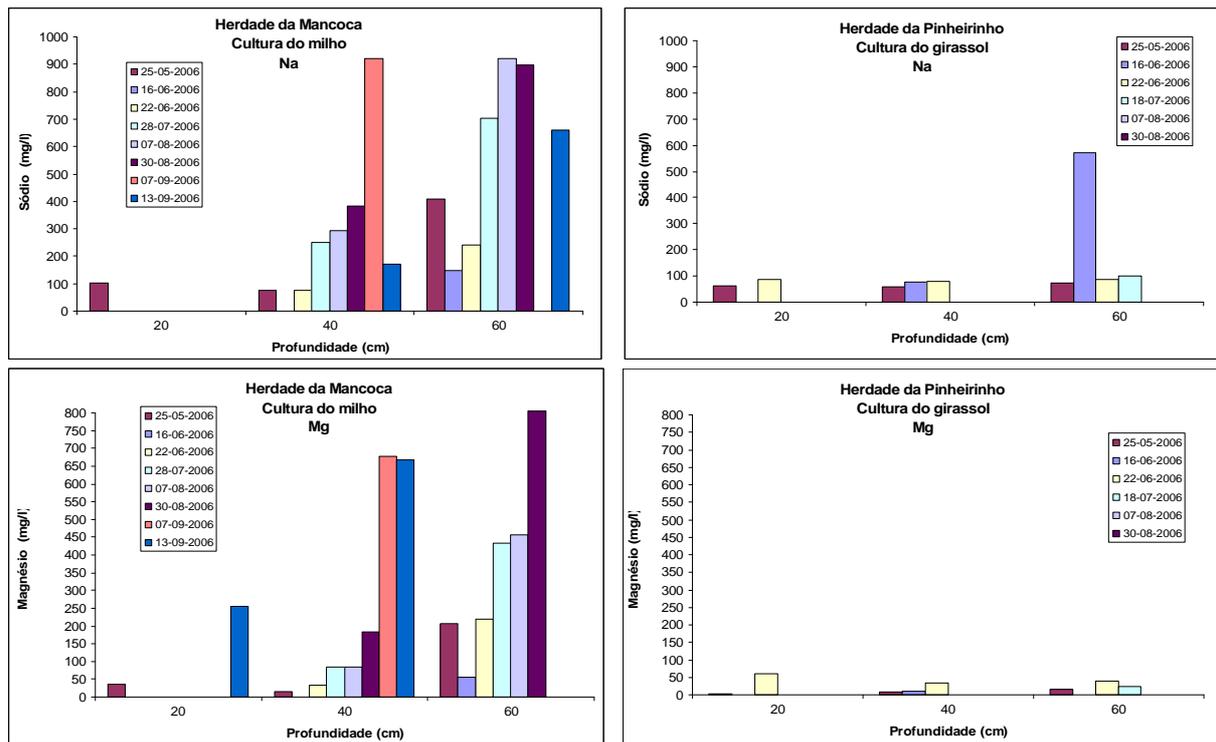
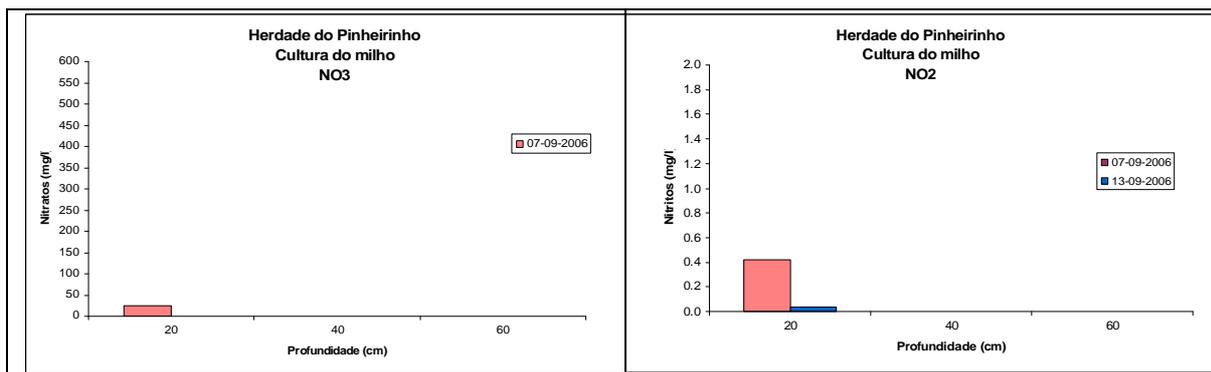


Fig. 38 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios de 2006, para o ensaio da Mancoca (milho) e do Pinheirinho (girassol)

Dos resultados disponíveis pode dizer-se que é na cultura do milho da Mancoca que se observam maiores concentrações para as águas da zona vadosa, quer em catiões quer em aniões. É, também, notório o aumento dessas concentrações ao longo do ciclo da cultura, aspecto que não é observado nos ensaios do Pinheirinho, com base nas amostras que foi possível recolher.



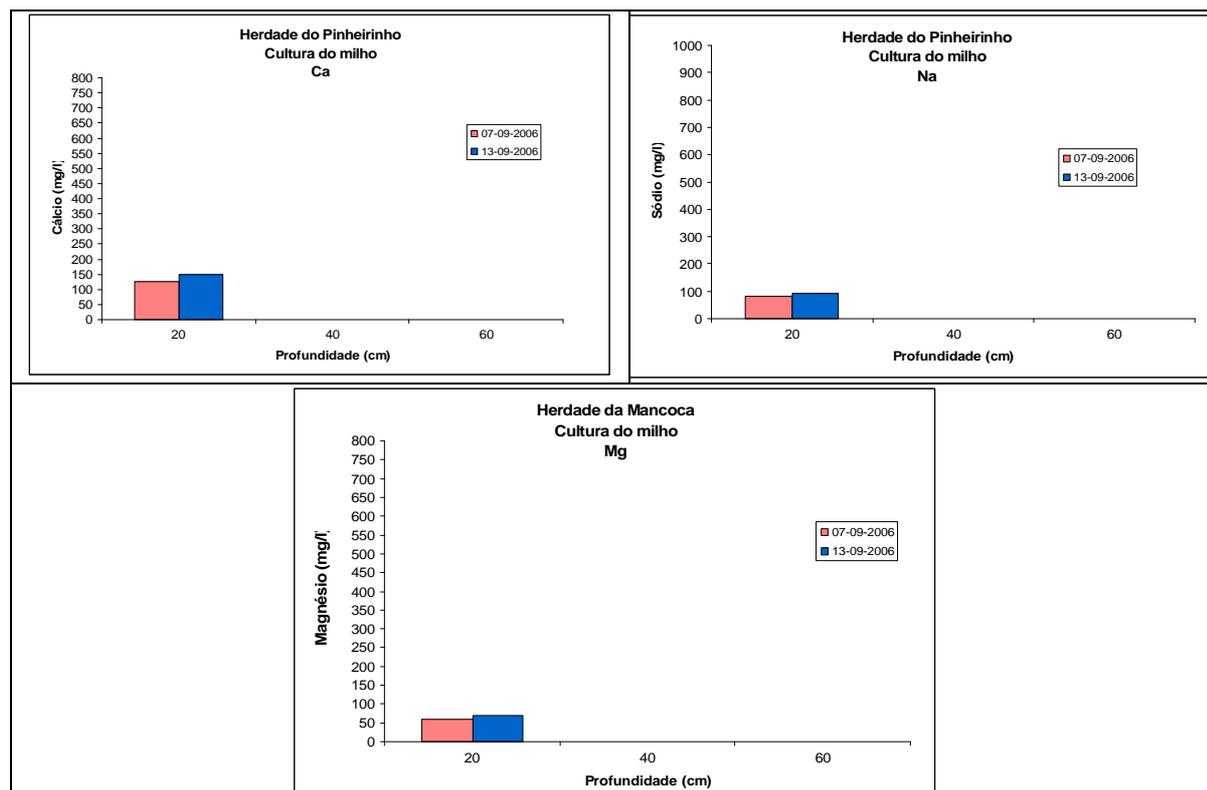


Fig. 39 - Resultados da variação das concentrações em diversos elementos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo período dos ensaios de 2006, para o ensaio da Pinheirinho (milho)

Nas águas da Mancoca, as maiores concentrações observam-se aos 60 cm, facto que não se observa para os ensaios do Pinheirinho (girassol) de uma forma tão clara, embora tenha sido a essa profundidade que foram registados os valores mais elevados.

No ensaio da cultura do Pinheirinho, milho, apenas foi possível recolher água no final do ciclo da cultura e aos 20 cm e os resultados obtidos denotam concentrações relativamente baixas para a maioria dos iões analisados.

2007

Os Quadro 39 a Quadro 41 apresentam os resultados das análises efectuadas semanalmente na água recolhida nas cápsulas instaladas na zona vadosa para os três ensaios, estando a presença de água nas cápsulas condicionada pela existência ou não de rega e pela capacidade de infiltração da água no solo. A água foi recolhida às profundidades de 20, 40 e 60 cm, de acordo com o procedimento referido na secção 4.2.

Na água recolhida foram efectuadas medições de campo para aferição dos valores de condutividade eléctrica, pH, Eh e temperatura e foram, também, enviadas amostras para análise química laboratorial na empresa LQA Ambiente, L.^{da} Foram, igualmente, efectuadas medições, no laboratório do Núcleo de Águas Subterrâneas, à concentração em nitratos através de uma sonda.

Quadro 39 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte da Mancoca – Milho em 2007

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda NO3 mg/l	Análises químicas efectuadas na LQA, Ambiente													
		Vol.	CE	pH	Eh	T		NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3 DzT	CaCO3	SO4	Cl	COT	CO3	pH
		ml	mS/cm		mV	°C									mg/l						
25 de Maio de 2007	Cápsula 20	396	1,186	6,80	274	22,3	9,93	0,07	<10	0,22	81	22	127	5	295			263	14		7,1
25 de Maio de 2007	Cápsula 40	880	1,915	6,72	242	21,9	85,45	0,12	63	0,21	167	33	145	1	552	89,9	73	423	7	<0,1	7
31 de Maio de 2007	Cápsula 20	98	1,988	7,12	458	23,0	5,95														
31 de Maio de 2007	Cápsula 40	168	1,235	7,45	347	22,3	28,84														
11 de Junho de 2007	Cápsula 20	162	1,280	7,05	278	24,1			30,1									274			
11 de Junho de 2007	Cápsula 40	500	1,940	6,67	274	23,0			63									494			
11 de Junho de 2007	Cápsula 60	36	2,670	7,76	358	24,4			19,7									714			
18 de Junho de 2007	Cápsula 40	131	2,200	6,07	437	24,9	58,09		115									572			
25 de Junho de 2007	Cápsula 40	140	2,420	6,84	333	21,6			98									657			
25 de Junho de 2007	Cápsula 60		2,540	8,47	174	20,8	29,88														
02 de Julho de 2007	Cápsula 40	78	2,420	6,55	396	26,6	70,18														
09 de Julho de 2007	Cápsula 40	32	2,400	6,8	357	27,8			63												
20 de Agosto de 2007	Cápsula 60								21,30									216			
27 de Agosto de 2007	Cápsula 60	30	0,811	7,40	205	26,7															
3 de Setembro de 2007	Cápsula 20	14	1,658	8,05	147	25,9															

Data da recolha	Designação cm	Medições no campo					Sonda NO3 mg/l	Análises químicas efectuadas na LQA, Ambiente													
		Vol.	CE	pH	Eh	T		NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3 DzT	CaCO3	SO4	Cl	COT	CO3	pH
		ml	mS/cm		mV	°C		mg/l	mg/l												
27 de Agosto de 2007	Cápsula 60	270	0,512	6,70	239	25,3	29,97		20,2												123
3 de Setembro de 2007	Cápsula 20	50	0,713	5,79	247	26,8															
3 de Setembro de 2007	Cápsula 40	154	0,640	5,88	279	27,2															
3 de Setembro de 2007	Cápsula 60	692	0,925	5,86	296	26,5	55,57														
10 de Setembro de 2007	Cápsula 20	34	0,652	5,31	388	19,9															
10 de Setembro de 2007	Cápsula 40	72	0,642	5,10	397	18,2	148,42														
10 de Setembro de 2007	Cápsula 60	54	0,608	5,47	402	17,7	38,79														
17 de Setembro de 2007	Cápsula 60	15	0,655	6,77	195	15,6															

Quadro 41 - Resultados das análises efectuadas nas águas da zona vadosa da parcela do Monte do Pinheirinho – Melão 2 (PML2), em 2007

Data da recolha	Designação cm	Medições no campo					Sonda NO3 mg/l	Análise química efectuada pela LQA	
		Vol. ml	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C		NO3	Cl
25 de Junho de 2007	Cápsula 20	104	0,713	6,51	351	24,5		79	139
25 de Junho de 2007	Cápsula 40	216	1,236	6,96	352	24,1	98,30	99	286
25 de Junho de 2007	Cápsula 60	74	0,768	7,20	338	25,7		52	163
02 de Julho de 2007	Cápsula 20	44	1,160	6,42	280	22,9	195,11		
02 de Julho de 2007	Cápsula 40	618	1,266	6,87	297	24,0	175,70	113	283
02 de Julho de 2007	Cápsula 60	84	0,886	6,64	293	25,8	90,99		
09 de Julho de 2007	Cápsula 40	0						87	199
09 de Julho de 2007	Cápsula 60	58	0,890	7,47	233	23,4			
16 de Julho de 2007	Cápsula 40	70	1,290	6,80	185	26,6		42,2	330
23 de Julho de 2007	Cápsula 60	30	0,602	6,55	265	22,4		79	248
06 de Agosto de 2007	Cápsula 20	< 10							
06 de Agosto de 2007	Cápsula 40	44	1,422	7,86	245	23,7	23,20		
06 de Agosto de 2007	Cápsula 60	16	1,254	7,59	256	23,8			
13 de Agosto de 2007	Cápsula 40	100	1,385	7,55	348	23,2		137	352
20 de Agosto de 2007	Cápsula 40	46	1,493	7,52	280	27,5		32,8	412

As Fig. 40 e Fig. 41 apresentam os resultados de qualidade das águas ao longo dos ensaios para a condutividade eléctrica e para a concentração em nitratos, respectivamente.

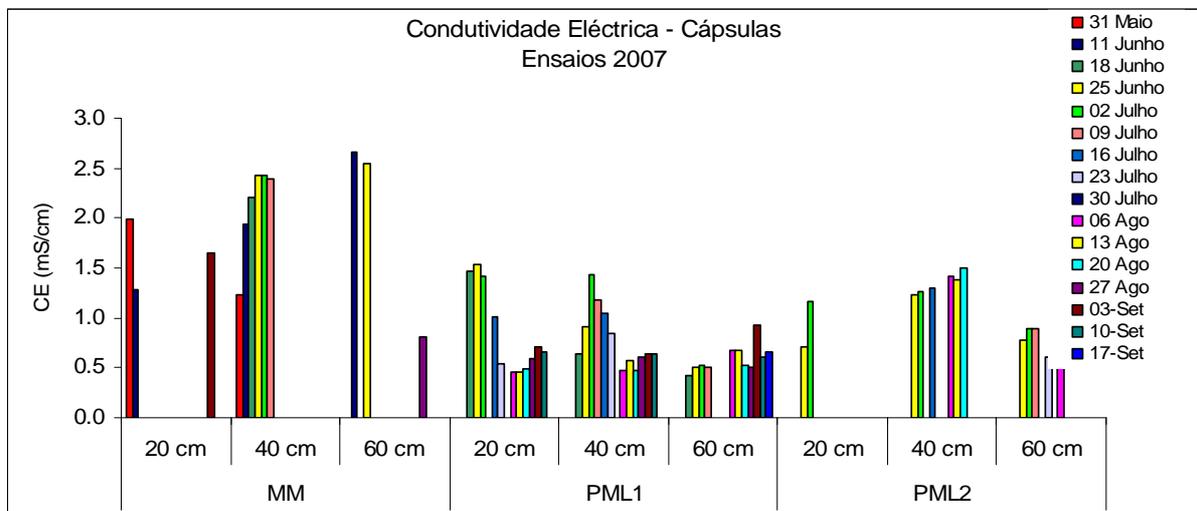


Fig. 40 - Resultados da variação da condutividade eléctrica na zona vadosa, a três profundidades, ao longo do período dos ensaios de 2007, para a Mancoca (milho) e o Pinheirinho (melão)

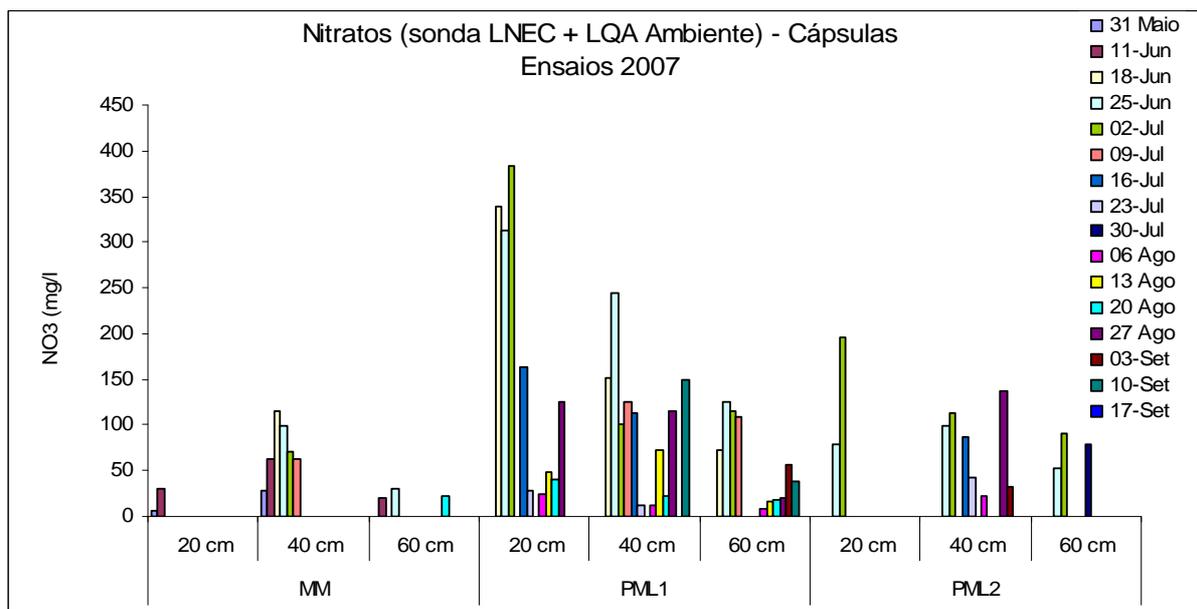


Fig. 41 - Resultados da variação da concentração em nitratos na zona vadosa, a três profundidades, ao longo do período dos ensaios de 2007, para a Mancoca (milho) e o Pinheirinho (melão)

Para o caso da Mancoca as amostras que foi possível recolher foram muito limitadas aos primeiros períodos de rega, uma vez que o equipamento de recolha foi por diversas vezes danificado inviabilizando a amostragem regular. Não obstante, as amostras recolhidas até à data de 9 de Julho, essencialmente para as cápsulas localizadas a 40 cm de profundidade, permitiram observar um aumento das concentrações em nitrato e na condutividade eléctrica resultantes da rega.

Nos ensaios da cultura de melão do Pinheirinho, os resultados obtidos denotam aumentos muito acentuados de concentração em nitratos e na condutividade eléctrica resultantes da fertirrigação inicial possivelmente aplicada na última quinzena de Junho, com valores de concentração em nitratos que atingem os 383 mg NO₃/l. Durante o final do mês de Julho e parte do mês de Agosto observa-se uma diminuição destas concentrações (*cf.* Fig. 41) devido à sua diluição com a água de rega. As concentrações voltam posteriormente a aumentar como resultado da lavagem dos solos induzida pela precipitação ocorrida nos dias 25 de Agosto (7,5 mm) e 10 a 13 de Setembro (0,9; 1,1; 6,9 e 0,6 mm, respectivamente) (Fig. 42).

Um outro aspecto que é possível observar nas amostras recolhidas no Pinheirinho é a presença de concentrações mais elevadas nas cápsulas localizadas a menor profundidade, relativamente às mais profundas.

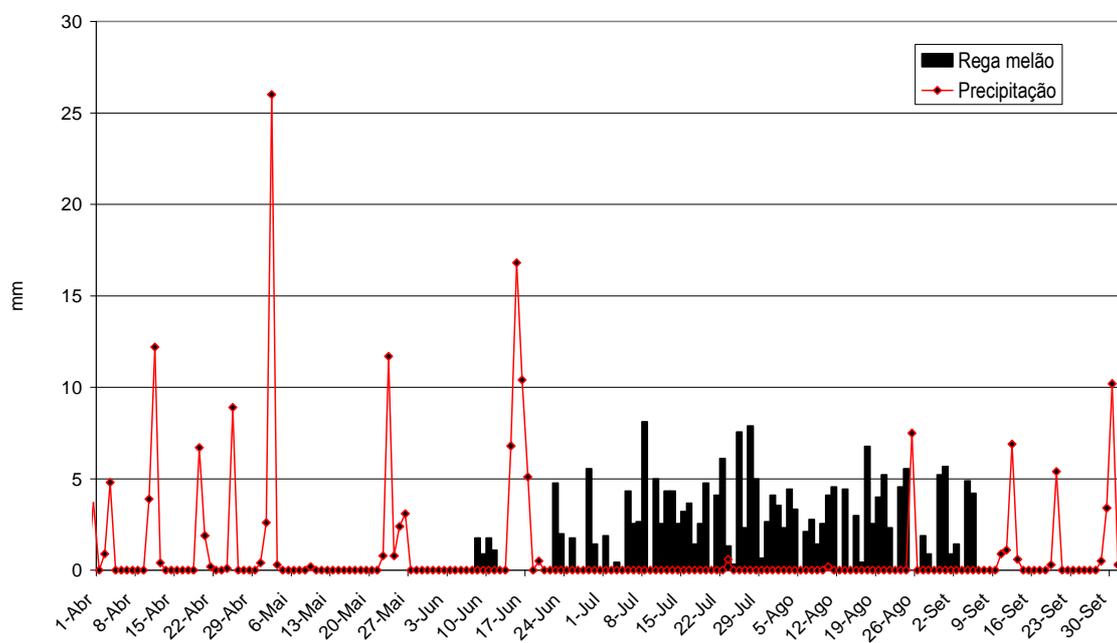


Fig. 42 - Precipitação (Herdade do Outeiro) e dotação de rega do melão no Pinheirinho, em 2007

Como resultado do menor número de dados para o monte da Mancoca, estas correlações entre as regas, a precipitação (Fig. 43) e a qualidade das águas na zona vadosa, e outras águas de jusante, não é tão evidenciada.

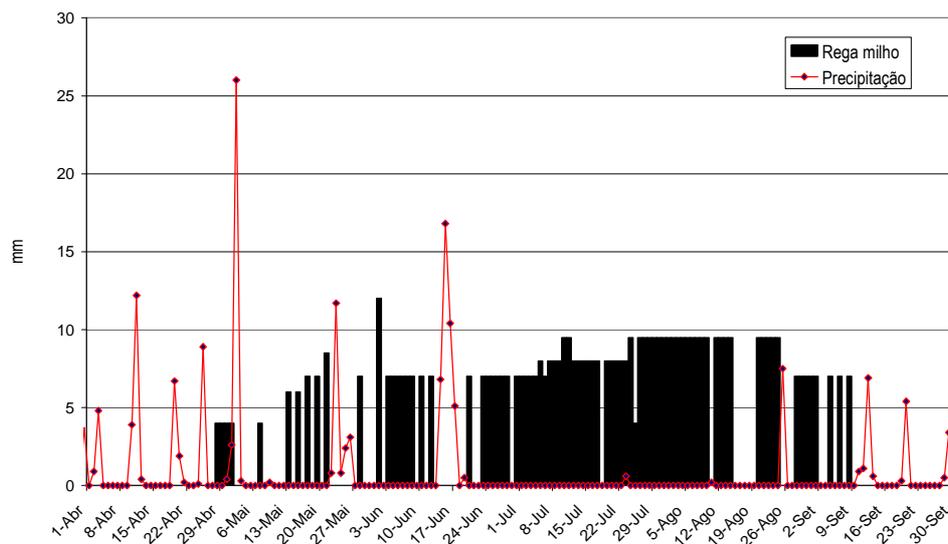


Fig. 43 - Precipitação (Herdade do Outeiro) e dotação de rega do milho na Mancoca, em 2007

5.2.3 Águas subterrâneas

2006

Os Quadro 42 e Quadro 43 apresentam a síntese dos resultados obtidos para a qualidade das águas subterrâneas nos dois piezómetros instalados a jusante das parcelas de ensaio na Mancoca e no Pinheirinho. A maioria das análises foi efectuada pelo INETI, embora se tivessem feito algumas análises extra na EGI, Ambiente, laboratório encarregue de realizar as análises nas cápsulas. Registam-se algumas diferenças significativas nas concentrações em nitratos das águas subterrâneas analisadas por este último laboratório, possivelmente devido ao lapso de tempo desde a colheita até à sua análise.

A Fig. 44 apresenta uma projecção dos seus iões maiores num diagrama de Piper. É possível observar que se tratam de águas com fácies cloretada sódica, mas também cálcica e magnésiana.

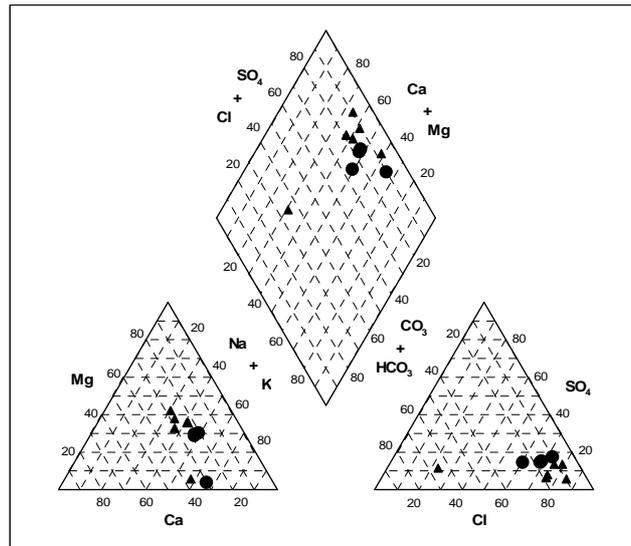


Fig. 44 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas das duas parcelas de ensaio, na Mancoca (triângulos) e no Pinheirinho (circunferências)

Quadro 42 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte da Mancoca, em 2006

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM														Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente												
		Vol./np	CE	pH	Eh	T		NO3	Ref ^a	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	NO2	NO3	PO4	Ca	Mg	Na	K	CO3 DzT	SO4	Cl
		ml/m	mS/cm		mV	°C		mg/l						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l													
25 de Maio de 2006	Pz MM	1,42	3,43	6,25	327	23,5																												
28 de Maio de 2006	Pz MM							095/06	18,57	Vestigios	Positivo	0,87	136,27	129,87	282,50	1,00	209,84	210,76	847,92	5,36	6,76	6,34	2,800											
31 de Maio de 2006	Pz MM	1,42	3,46	6,28	139	24,0	8,7																											
6 de Junho de 2006	Pz MM	-	-	-	-	-	12,38																											
8 de Junho de 2006	Pz MM	-	-	-	-	-																												
16 de Junho de 2006	Pz MM	1,44	3,58	6,53	97	22,3		115/06	18,47	Positivo	Positivo	1,55	158,72	15,56	290,00	0,50	145,18	198,91	877,35	4,72	6,86	7,39	2,780											
22 de Junho de 2006	Pz MM	1,44	3,9	6,35	184	30,3																												
30 de Junho de 2006	Pz MM	1,43	3,6	6,36	42	27,9																												
4 de Julho de 2006	Pz MM	1,47	3,28	-	-	23,4																												
12 de Julho de 2006	Pz MM	1,41	4,02	6,09	120	29,4	24,42																											
18 de Julho de 2006	Pz MM	1,4	6,09	6,23	124	30,2	32,45																											
28 de Julho de 2006	Pz MM	1,39	5,9	8,44	114	24,1	33,64	142/06	20,89	Vestigios	Vestigios	3,90	290,34	240,64	405,00	0,70	305,61	141,26	1619,86	4,08	6,54	8,96	5,440											
1 de Agosto de 2006	Pz MM																																	
7 de Agosto de 2006	Pz MM	1,34	4,55	6,62	111	28,9	46,61																											
18 de Agosto de 2006	Pz MM	1,39	4,12	6,55	94	22,8	34,49																											
22 de Agosto de 2006	Pz MM	1,44	3,38	6,76	180	29,4	42,15	135/06	32,32	Positivo	Positivo	0,04	149,10	136,68	300,00	0,50	344,65	132,73	894,60	5,76	6,62	8,15	3,520											
30 de Agosto de 2006	Pz MM	-	3,95	6,39	150	28,6	40,12																											
7 de Setembro de 2006	Pz MM	1,52	3,43	6,27	151	25,7	20,2																											
13 de Setembro de 2006	Pz MM	-	3,46	6,86	305	13,8																												
10 de Outubro de 2006	Pz MM	0																																
16 de Novembro de 2006	Pz MM	0						174/06	6,92	positivo	positivo	2,58	128,26	84,88	179,0	1,0	244,0	66,36	568,71	6,56	7,08	7,18	1,191											
17 de Novembro de 2006	Pz MM	0						174/06	6,92	positivo	positivo	2,58	128,26	84,88	179,0	1,0	244,0	66,36	568,71	6,56	7,08	7,18	1,191	0,1	139	0,08	743	677	920	1,9	3514	490	718	

Quadro 43 - Resultados das análises efectuadas nas águas subterrâneas da parcela do Monte do Pinheirinho, em 2006

Data da recolha	Designação	Medições no campo					Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM														Análises químicas efectuadas na EGI, Ambiente											
		Vol./np	CE	pH	Eh	T		NO3	Ref ^a	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	NO2	NO3	Ca	Mg	Na	K	Zn	Dureza tot	
		ml/m	mS/cm		mV	°C		mg/l						mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l												
03 de Maio de 2006	Pz PG							067/06	14,59	Negativo	Positivo	6,40	195,59	153,70	470,00	0,90	500,20	330,46	1156,15	4,00	6,96	11,88	3,530										
25 de Maio de 2006	Pz PG	1,21	5,43	7,05	355	22,8																											
28 de Maio de 2006	Pz PG							094/06	35,03	Positivo	Positivo	3,61	240,48	180,94	565,00	1,00	512,40	393,01	1309,95	3,84	6,97	10,97	4,480										
31 de Maio de 2006	Pz PG	1,19	4,99	6,8	350	20,2	43,41																										
8 de Junho de 2006	Pz PG	-	-	-	-	-																											
16 de Junho de 2006	Pz PG	1,13	5,09	7,38	249	21,5		114/06		Positivo	Positivo	3,03	216,43	16,29	540,00	0,50	279,38	380,71	1182,15	2,08	7,38	13,16	4,020										
22 de Junho de 2006	Pz PG	1,13	4,78	7,1	354	26,6	36,43																										
30 de Junho de 2006	Pz PG	1,29	4,66	7,26	215	26,7	57,81																										
4 de Julho de 2006	Pz PG	1,36	4,54	-	-	21,9																											
12 de Julho de 2006	Pz PG	1,47	4,26	6,86	313	26,0	77,18																										
18 de Julho de 2006	Pz PG	1,57	4,16	7,06	226	28,8	98,12																										
28 de Julho de 2006	Pz PG		4,19	7,05	348	22,0		143/06	72,07	Positivo	Vestigios	3,20	149,09	127,80	402,50	0,40	597,80	271,91	853,07	2,08	7,24	13,73	3,840										
1 de Agosto de 2006	Pz PG																																
7 de Agosto de 2006	Pz PG	1,85	3,96	7,1	250	27,8	220,45																										
18 de Agosto de 2006	Pz PG	1,85	3,11	8,45	308	21,7	138,22																										
22 de Agosto de 2006	Pz PG	1,86	3,54	7,54	284	36,5	130,15																										
30 de Agosto de 2006	Pz PG	1,82	3,39	8,49	290	28,7	106,89																										
7 de Setembro de 2006	Pz PG	1,8	3,15	7,91	226	31,07	36,03																										
13 de Setembro de 2006	Pz PG	-	3,4	7,43	285	13,8																											
10 de Outubro de 2006	Pz PG	1,62	3,33	7,45	319	23,2																											

Como se pode verificar da análise da Fig. 45, são águas com condutividades eléctricas extremamente elevadas, denotando-se uma variação dos seus valores durante o período de ensaio no caso da Mancoca e um decréscimo dos mesmos para o Pinheirinho.

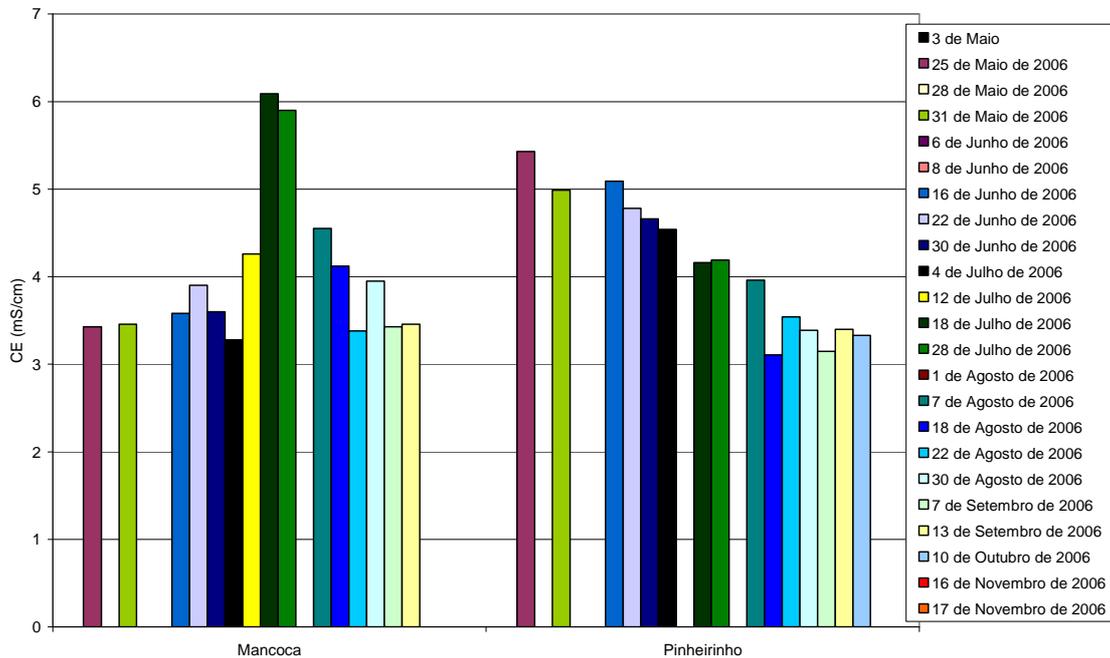


Fig. 45 - Resultados da variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006

A variação mensal na concentração dos seus principais catiões ao longo dos ensaios (de 3 de Maio a 17 de Novembro) é apresentada na Fig. 46. Para as águas da Mancoca não se registam variações assinaláveis das concentrações, com excepção para as águas recolhidas a 28 de Julho, onde se observa um aumento dos catiões e dos cloretos. No Pinheirinho, as maiores concentrações registam-se antes daquela data.

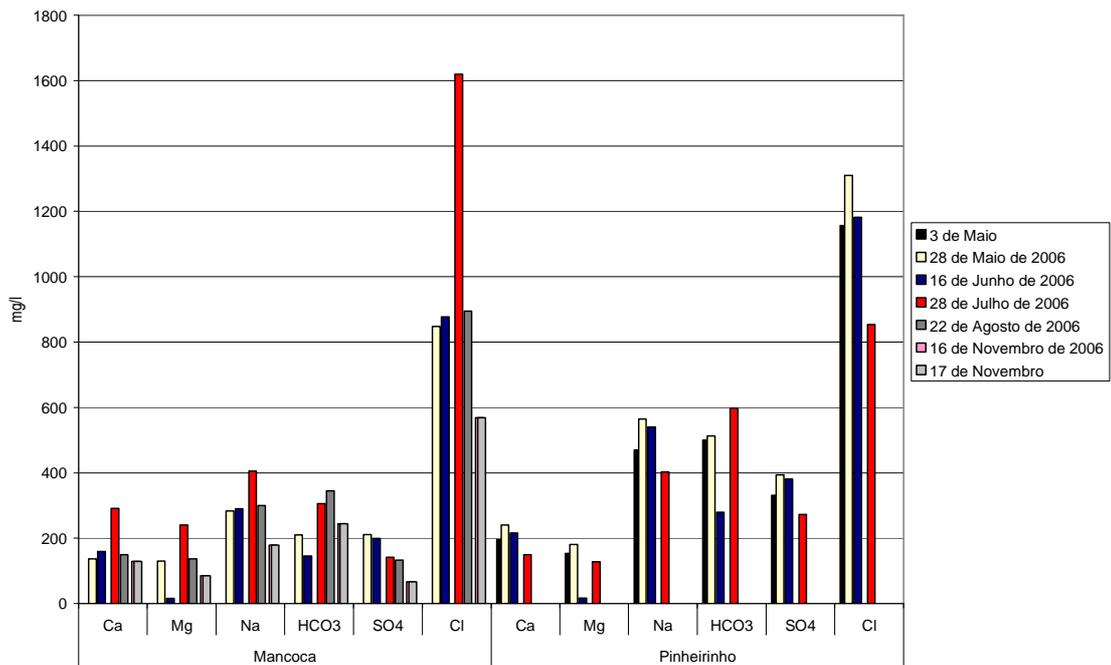


Fig. 46 - Resultados da variação das concentrações em iões maiores nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006

A Fig. 47 apresenta a variação do ião nitrato ao longo dos ensaios. São claros os efeitos da variação da concentração dos nitratos por aplicação de fertilizantes, com cerca de 1 a 2 meses de tempo de chegada aos piezómetros desde a data da sua aplicação (cf. Fig. 9 e Fig. 10).

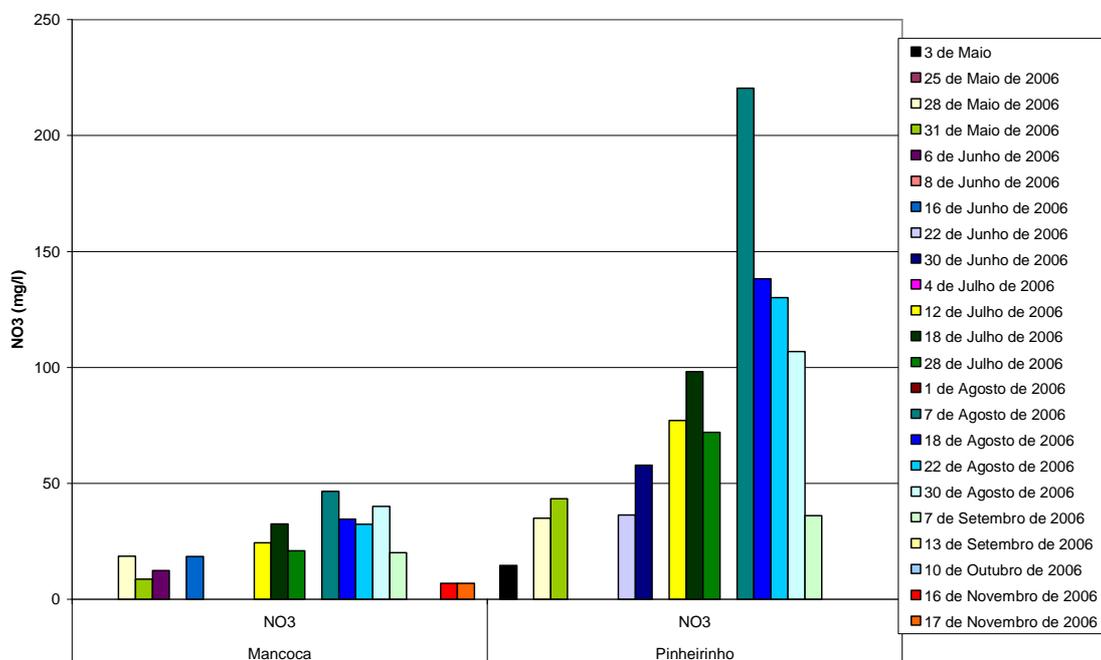


Fig. 47 - Resultados da variação das concentrações em nitrato nas águas subterrâneas ao longo do período dos ensaios de 2006

Um outro aspecto que se procurou analisar nas águas subterrâneas do Pinheirinho foi a variação da concentração em zinco, já que alguns dos fertilizantes utilizados continham este elemento (cf. Fig. 10). A Fig. 48 apresenta os resultados das três análises efectuadas.

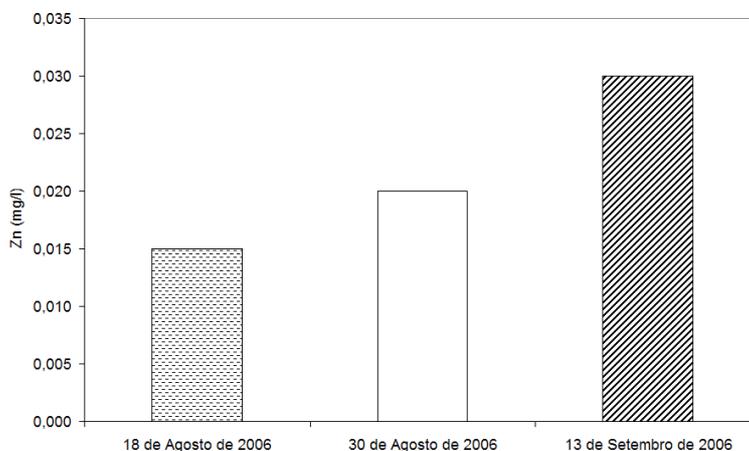


Fig. 48 - Variação da concentração em zinco nas águas subterrâneas do Pinheirinho, em 2006

Efectivamente, os valores são bastante baixos, inferiores ao VMR de 0,5 mg/L da água destinada à produção de água para consumo humano, embora se observe uma subida clara entre as amostras sucessivamente recolhidas.

No Quadro 44 são apresentados os resultados das análises químicas das amostras de águas subterrâneas, valores obtidos pelo Laboratório de Análise Físico-Química do Departamento de Hidrogeologia - INETI Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação. Os locais de amostragem referidos (dois poços e dois piezómetros na área circundante às parcelas) estão representados na Fig. 16.

A Fig. 49 apresenta uma projecção dos iões maiores num diagrama de Piper permitindo verificar tratarem-se de águas com uma fácies maioritariamente cloretada e/ou bicarbonatada cálcica e/ou magnésiana.

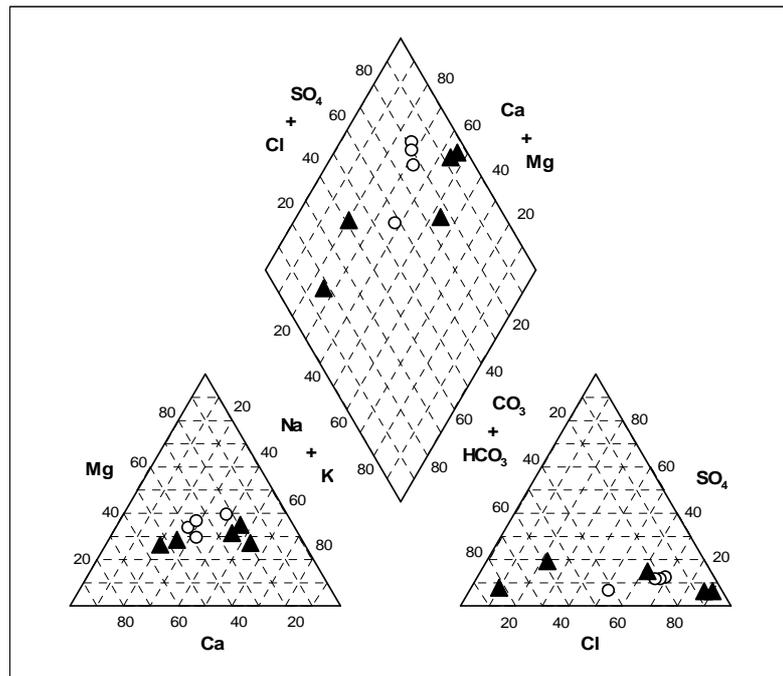


Fig. 49 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas da área circundante das parcelas nos piezômetros (círculos) e nos poços (triângulos)

A Fig. 50 apresenta os resultados obtidos para os cátions maiores e para o ião nitrato, seguindo de perto a análise realizada para os solos.

Quadro 44 - Resultados das análises efectuadas pelo INETI às águas subterrâneas da área circundante às parcelas, em 2006

Data da recolha	Designação	Refª	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2	CE	
		mg/l																
		-																
		mS/cm																
3 de Maio de 2006	Poço 30	P30	063/06	20,51	Vestígios	Positivo	13,27	280,56	301,69	740,0	2,80	181,78	270,99	2650,18	4,4	7,20	0,10	6,02
3 de Maio de 2006	Poço 9	P9	064/06	12,99	Vestígios	Positivo	0,22	22,03	8,39	10,7	5,8	101,26	7,9	6,90	8,32	6,88	15,7	0,176
3 de Maio de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	068/06	13,69	Positivo	Positivo	4,6	198,00	101,41	155,00	0,4	319,64	163,84	714,08	0,56	6,94	31,59	2,17
16 de Maio de 2006	Piezómetro1 (Mte. do Pardieiro-EDIA)	Pz1	092/06	9,49	Negativo	Vestígios	0,85	76,15	83,42	152,00	1,70	497,76	60,39	360,36	0,48	6,99	32,28	1,588
16 de Maio de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	093/06	19,87	Negativo	Vestígios	1,47	168,34	105,34	158,00	0,50	326,96	148,10	645,39	0,88	6,96	18,50	2,170
16 de Novembro de 2006	Poço 30	P30	175/06	29,58	Negativo	Positivo	3,18	135,31	116,61	430,0	0,2	549,0	273,65	830,25	1,12	7,4	15,09	3,04
17 de Novembro de 2006	Piezómetro6 (Mte. da Amendoeira-EDIA)	Pz6	166/06	29,58	Negativo	Vestígios	0,6	187,57	87,07	182,5	1,7	366,0	143,83	633,04	3,36	7,24	26,49	2,26
17 de Novembro de 2006	Poço 9	P9	167/06	93,14	Negativo	Positivo	0,28	62,36	18,48	22,2	8,4	145,18	37,9	32,02	6,72	6,74	26,49	0,505
17 de Novembro de 2006	Poço 30	P30	168/06	15,44	Positivo	Positivo	0,5	229,26	180,94	480,0	3,1	210,45	153,44	1570,0	8,32	8,28	11,74	4,85

Quadro 45 - Resultados das análises efectuadas nas águas das ribeiras presentes na área circundante às parcelas, em 2006

Data da recolha	Designação	Medições no campo				Sonda	Análises químicas efectuadas no IGM															
		CE	pH	Eh	T		NO3	Refª	NO3	NO2	Amónio	F	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	MO	pH	SiO2
		mS/cm				mg/l																
		-				-																
		mS/cm																				
3 Maio de 2006	Rib. de Canhestros						066/06	15,92	Vestígios	Positivo	4,40	108,22	127,19	117,00	1,30	176,29	87,01	533,15	2,72	7,12	26,73	1,675
03 Maio de 2006	Est. Hidrométrica						069/06	16,72	Positivo	Positivo	6,57	261,16	134,73	355,00	5,20	541,68	170,32	1129,46	14,40	6,90	12,67	3,260
31 Maio de 2006	Rib. de Canhestros	2,63	7,23	298	20,8	16,4																
31 Maio de 2006	Rib. de Sanfrins	3,6	8,48	307	19,1	10,59																
16 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,56	8,01	267	20,4																	
22 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,55	8,18	191	-																	
22 Junho de 2006	Rib. de Sanfrins	-	-	-	-	5,47																
30 Junho de 2006	Rib. de Canhestros	2,6	8,01	307	19,2																	
30 Junho de 2006	Rib. de Sanfrins	4,04	8,72	177	32,4	15,79																
4 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	2,24	7,84	312	19,4																	
12 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	1,566	7,38	337	22,6	14,83																
18 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	1,246	8,29	220	26,6	11,05																
28 Julho de 2006	Rib. de Canhestros	0,973	7,35	342	19,3																	
7 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	0,893	8,00	296	30,0	11,27																
18 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	2,52	8,02	275	20,1	18,69																
22 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	1,942	8,17	271	29,6	25,26																
22 Agosto de 2006	Rib. de Sanfrins	1,78	9,08	289	34,8	24,3	134/06	7,10	Vestígios	Positivo	0,30	70,86	71,26	128,00	4,00	134,20	59,80	420,21	8,72	8,60	1,99	1,690
30 Agosto de 2006	Rib. de Canhestros	2,5	7,88	228	23,0	28,33																
7 Setembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,54	7,57	346	21,1	16,93																
13 Setembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,48	8,13	319	15,0																	
10 Outubro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7																	
16 Novembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7																	
17 Novembro de 2006	Rib. de Canhestros	2,53	8,16	312	19,7		169/06	30,34	Positivo	Positivo	1,15	129,86	102,78	120,0	5,0	433,1	103,9	412,99	5,44	7,1	22,34	1,763

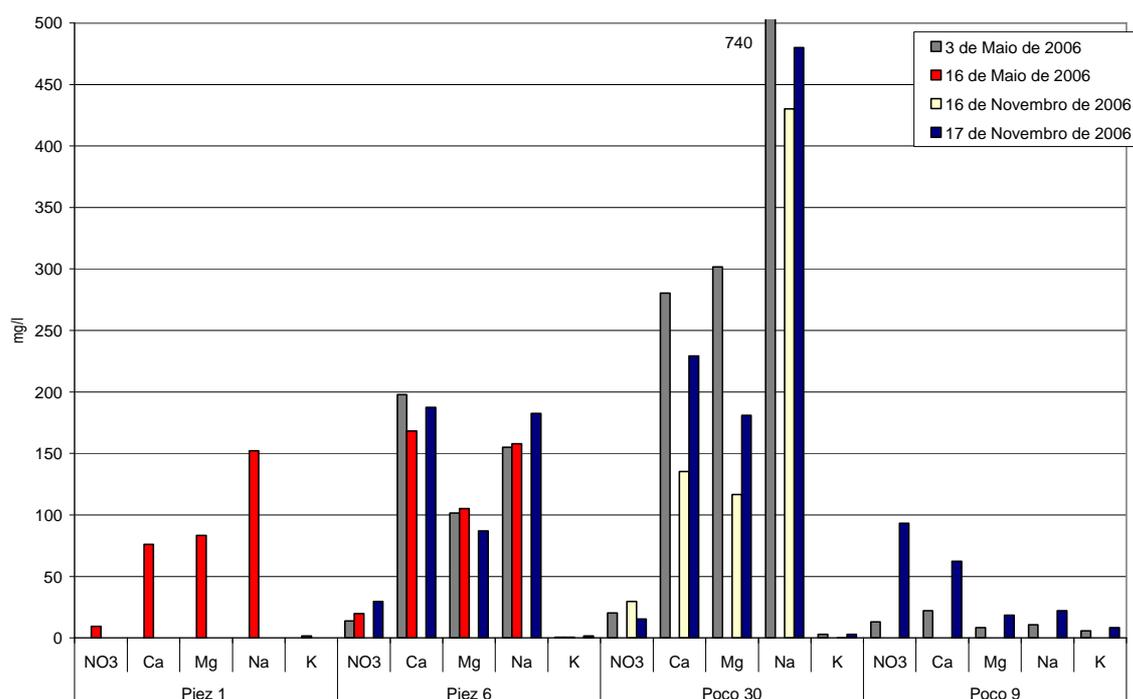


Fig. 50 - Resultados da qualidade das águas subterrâneas para os catiões maiores e nitrato, na área envolvente das parcelas, em 2006

A análise do Quadro 44 e da Fig. 50 permite observar a presença de concentrações em nitratos com alguma expressão regional, possivelmente resultante da actividade agrícola da região e da presença de um nível piezométrico pouco profundo. No poço 30 registam-se assinaláveis variações na concentração de catiões ao longo do período em análise.

Observam-se, também, concentrações muito maiores nas águas do poço 30, com assinaláveis oscilações entre campanhas, factos que se poderão dever ao uso impróprio do local e do próprio poço.

2007

O Quadro 46 apresenta a síntese dos resultados obtidos para a qualidade das águas subterrâneas medida semanalmente, *in situ* e com a sonda de nitratos do LNEC, nos cinco novos piezómetros instalados em 2007 e no piezómetro da Mancoca (PzMc) utilizado em 2006. No piezómetro 4 nunca houve água em quantidade suficiente para se proceder à sua amostragem pelo que não há informação da sua qualidade.

Quadro 46 - Resultados das análises de águas subterrâneas efectuadas em 2007

Data da recolha	Designação		np m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO ₃
25-Mai	Piezómetro	PzMc	1,27	1,20	6,59	54	21,6	28,6
31-Mai	Piezómetro	PzMc		2,15	6,60	153	22,9	8,7
11-Jun	Piezómetro	PzMc		3,30	6,62	113	22,7	8,7
18-Jun	Piezómetro	PzMc	1,34	3,35	6,41	247	24,5	11,0
25-Jun	Piezómetro	PzMc		3,68	6,79	209	21,9	29,5
2-Jul	Piezómetro	PzMc	1,67	4,04	6,43	199	24,2	25,1
9-Jul	Piezómetro	PzMc	1,56	4,07	6,6	206	26,1	39,0
16-Jul	Piezómetro	PzMc	1,48	4,32	7,09	313	27,1	19,7
23-Jul	Piezómetro	PzMc	1,5	4,62	6,54	194	20,5	28,3
30-Jul	Piezómetro	PzMc		5,26	6,62	362	28,6	17,8
6-Ago	Piezómetro	PzMc		4,84	6,86	199	22,4	19,8
13-Ago	Piezómetro	PzMc	1,46	3,87	6,86	89	23,4	44,5
20-Ago	Piezómetro	PzMc	1,52	3,47	6,90	290	23,5	10,8
27-Ago	Piezómetro	PzMc	1,43	3,51	6,35	188	25,7	25,7
3-Set	Piezómetro	PzMc	1,48	3,81	6,73	63	28,0	32,8
10-Set	Piezómetro	PzMc	1,50	3,63	6,76	271	19,1	37,2
17-Set	Piezómetro	PzMc	1,65	3,94	6,50	277	12,7	33,2
24-Set	Piezómetro	PzMc	1,69	3,86	7,35	340	14,2	27,0
25-Jun	P1	P1	1,37	3,46	7,43		20,4	40,4
2-Jul	P1	P1	1,36	3,40	7,34		22,2	19,8
9-Jul	P1	P1	1,35	3,18	7,41	31	23,6	38,0
16-Jul	P1	P1	1,24	3,21	7,13	335	25,2	17,6
23-Jul	P1	P1	1,36	2,65	7,39	184	19,7	34,5
30-Jul	P1	P1						14,4
6-Ago	P1	P1	1,34	2,67	7,25	312	23,3	31,3
13-Ago	P1	P1	1,36	3,24	7,75	342	22,3	59,2
20-Ago	P1	P1	1,47	3,13	7,56	287	23,8	18,6
27-Ago	P1	P1	1,48	3,15	7,36	246	25,3	40,1
3-Set	P1	P1	1,52	3,22	7,69	237	23,1	36,8
10-Set	P1	P1	1,62	2,64	7,57	261	17,2	48,8
17-Set	P1	P1		2,62	7,52	195	10,0	60,2
29-Set	P1	P1	1,65	3,10	7,40	330	24,9	60,2
25-Jun	P2	P2	6,17	2,05	7,61	288	19,3	141,6
2-Jul	P2	P2	6,1	2,09	7,48		19,9	108,1
9-Jul	P2	P2	6,2	2,04	7,70	173	23,8	172,0
16-Jul	P2	P2	4,2	2,07	7,36	353	23,1	48,9
23-Jul	P2	P2	5,79	2,02	7,56	154	17,5	142,9
30-Jul	P2	P2						64,2
6-Ago	P2	P2	5,81	2,09	7,47	321	22,9	149,8
13-Ago	P2	P2	5,83	2,23	7,66	270	20,5	219,0
20-Ago	P2	P2	6,44	2,16	7,45	288	23,7	99,3
27-Ago	P2	P2	6,09	2,11	7,69	229	24,1	217,3
3-Set	P2	P2	6	2,21	7,89	187	20,4	147,7
10-Set	P2	P2	6,55	1,98	7,75	247	18,4	250,9
17-Set	P2	P2		1,79	7,80	175	9,4	298,3
29-Set	P2	P2	6,12	2,03	7,70	338	21,3	298,3
25-Jun	P3	P3	1,37	10,64	7,28	366	19,3	69,5
2-Jul	P3	P3	1,68	9,30	7,22		19,9	43,5
9-Jul	P3	P3	1,76	10,33	7,14	170	22,8	81,5
16-Jul	P3	P3	1,6	6,61	7,06	201	26,2	59,8
23-Jul	P3	P3	1,61	6,17	7,34	243	19,3	70,4
30-Jul	P3	P3						28,6
6-Ago	P3	P3	1,50	6,50	7,05	325	22,5	68,2
13-Ago	P3	P3	1,55	7,40	8,83	305	20,8	96,4
20-Ago	P3	P3	2,12	7,49	7,12	309	25,5	34,2
27-Ago	P3	P3	2,1	5,73	7,30	257	24,2	74,8
3-Set	P3	P3	2,13	7,09	7,54	234	21,9	73,3

Data da recolha	Designação		np m	CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO ₃
10-Set	P3	P3	2,75	4,84	7,33	225	20,3	101,1
17-Set	P3	P3		4,17	7,62	226	14,9	145,8
29-Set	P3	P3	2,76	4,74	7,25	338	25,3	145,8
25-Jun	P4	P4	7,8					
2-Jul	P4	P4	6,9					
9-Jul	P4	P4	5,96					
25-Jun	P5	P5	2,78	4,42	7,42	354	19,2	55,6
2-Jul	P5	P5	2,73	4,35	7,71		19,6	32,1
9-Jul	P5	P5	3,02	5,84	7,29	265	22,9	65,7
16-Jul	P5	P5	2,23	5,24	7,20	195	22,9	32,2
23-Jul	P5	P5	2	5,54	7,33	217	22,5	57,7
30-Jul	P5	P5						23,0
6-Ago	P5	P5	2,55	5,71	7,21	320	22,8	55,5
13-Ago	P5	P5	2,87	6,08	7,53	240	21,1	98,0
20-Ago	P5	P5	2,94	5,51	7,20	271	28,3	67,9
27-Ago	P5	P5	2,96	5,34	7,38	228	24,2	185,2
3-Set	P5	P5	3,01	6,60	7,60	210	21,6	104,8
10-Set	P5	P5	3,06	3,72	7,50	265	21,7	227,0
17-Set	P5	P5		3,19	7,97	203	17,6	150,1
29-Set	P5	P5	3,14	3,68	7,44	321	22,7	150,1

Além destas medições semanais de campo, foram ainda efectuadas análises químicas das amostras de águas subterrâneas no Laboratório de Análise Físico-Química do Departamento de Hidrogeologia - INETI Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação. Estas análises contemplaram não apenas os piezómetros localizados na área de estudo (Quadro 47), mas ainda dois poços e dois piezómetros localizados na área envolvente (Quadro 48).

Os valores referidos no Quadro 46 foram projectados nas Fig. 51 a Fig. 53 para a profundidade ao nível piezométrico, condutividade eléctrica e concentração em nitratos, respectivamente.

Quadro 47 - Resultados das análises químicas efectuadas pelo INETI nos novos piezómetros instalados em 2007

Parâmetro	Unidade	P1 (Piezómetro - Sanfrins)		P2 (Piezómetro - Monte do Pinheirinho)		P3 (Piezómetro- Monte do Pinheirinho)		Piez MM (Piezómetro- Monte da Mancoca)		P5 (Piezómetro- Monte da Mancoca)	
		P1	P2	P3	Pieze MM	P5					
Análises efectuadas pelo INETI		02-07-2007	13-08-2007	02-07-2007	13-08-2007	02-07-2007	13-08-2007	02-07-2007	13-08-2007	02-07-2007	13-08-2007
pH, a 25°C		7,66	8	8,17	7,92	7,46	7,44	7,1	7,1	7,84	7,54
CE, a 25°C	mS/cm	3,23	2,97	1,925	1,986	8,71	7,97	3,85	3,59	4,12	5,72
Cloretos Cl ⁻	mg/l	809,4	742,29	370	384,45	3758,2	2603,27	1148,7	1025,14	1183,8	1793,87
Sulfatos SO ₄ ⁻	mg/l	148,3	97,63	130,2	103,83	369	378,92	148,6	44,24	145,7	165,95
Bicarbonato HCO ₃ ⁻	mg/l		474,58		429,44		423,95		479,46		431,88
Nitrato NO ₃ ⁻	mg/l	22,5	2,84	21,6	2,65	27	6,74	37	5,65	42,6	6,05
Fluoreto F ⁻	mg/l		3,62		1,27		6,27		1,1		3,32
Cálcio Ca ²⁺	mg/l		118,64		56,91		408,82		176,35		204,41
Magnésio	mg/l		117,71		44,99		406,14		144,46		282,6
Sódio	mg/l		302,5		265		665		325		642
Potássio	mg/l		1,4		5,5		2		1		2,7
Resíduo seco a 180°C	mg/l		2253		1506		6046		2723		4339
Dureza (graus franceses)			78		32,7		269		103,4		167,2
Alcalinidade			77,8		70,4		69,5		78,6		70,8
Matéria orgânica			0,32		2,8		1,92		5,92		1,2
Sílica (SiO ₂)			18,76		19,4		18,3		10,25		22,36
Anidrido carbónico livre			9,51		10,49		23,8		65,14		20,33
Mineralização			1879,97		1313,44		4919,41		2212,65		3555,14

Quadro 48 - Resultados das análises químicas efectuadas pelo INETI em águas de poços e de piezómetros, em 2007

Parâmetro	Unidade	519P9 (Poço - Monte do Pinheirinho)						519P30 (Poço - Monte do Pinheirinho)							
		15-03-2007	26-04-2007	31-05-2007	29-06-2007	24-07-2007	14-08-2007	10-10-2007	15-03-2007	26-04-2007	31-05-2007	29-06-2007	24-07-2007	14-08-2007	10-10-2007
Análises efectuadas pelo INETI															
pH, a 25°C				7,26	6,82	6,7	7,1	7,07			8,04	8,49	8,2	8,2	8,15
CE, a 25°C	mS/cm	0,323	0,3	0,335	0,324	0,293	0,296	0,354	7,28	7,06	7,92	8,27	7,94		7,78
Cloretos Cl ⁻	mg/l	35,1	22,5	24,1	34,2	29	30,2	47,2	2470	2608	2543,2	2725	2701,7	2765,3	2757,4
Sulfatos SO ₄ ²⁻	mg/l	32,1	24,7	24,6	28,3	28,8	30,6	35,6	266,2	266	254,8	373,2	279,3	278,2	269,9
Nitrato NO ₃ ⁻	mg/l	65,3	49,4	39,6	49,7	49,0	50,4	45,0	16,9	20,2	8,6	30,1	13,1	32,2	18,7
P1 (Piezómetro- Monte do Pardieiro)								P6 (Piezómetro - Carrapetal)							
pH, a 25°C				7,58	7,69	7,6	7,6	8,15			7,48	7,61	7,6	7,5	7,64
CE, a 25°C	mS/cm	1,642	1,641	1,772	1,835	1,735	1,77	2,06	2,52	0,975	2,45	2,43	2,3	2,4	2,22
Cloretos Cl ⁻	mg/l	347	359,7	364,8	364,9	350,7	353,3	547,7	718,9	243,6	690,9	614,7	612,3	626,5	580,1
Sulfatos SO ₄ ²⁻	mg/l	69,1	74,1	37,1	83,1	86,4	87,3	87,8	166,6	68	119,6	153,6	153,4	154,7	136,3
Nitrato NO ₃ ⁻	mg/l	12,4	4,3	4,4	26,1			0,00	13,5	8,5	6,9	23,3	28,2		

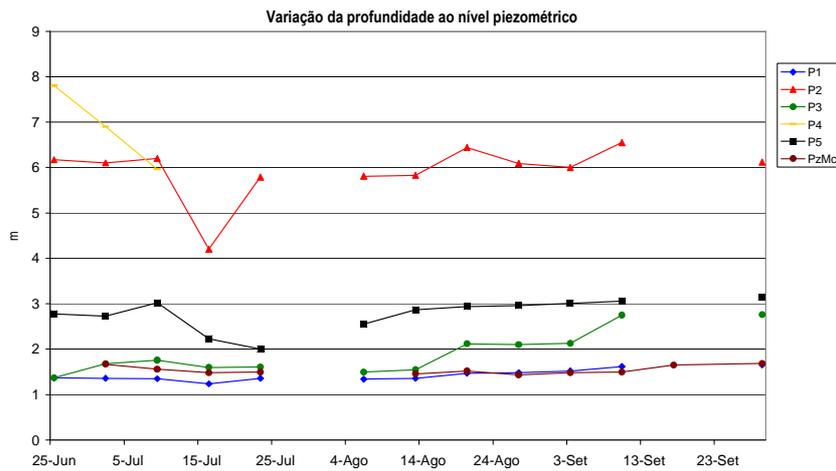


Fig. 51 - Variação da profundidade ao nível piezométrico em 2007

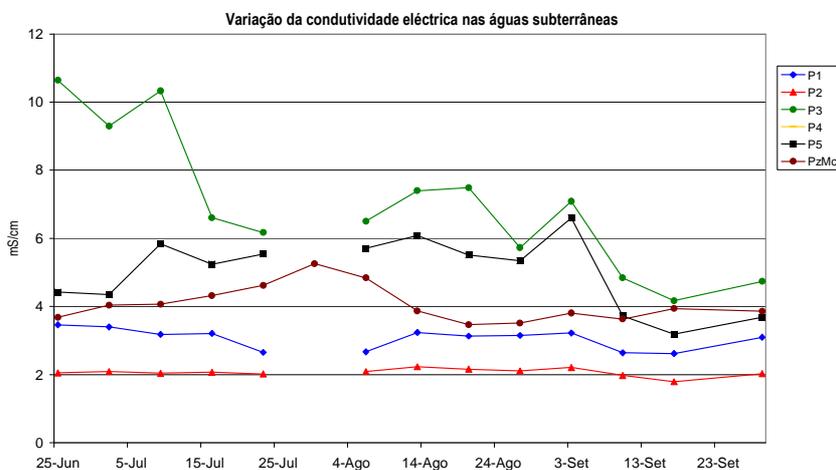


Fig. 52 - Variação da condutividade eléctrica nas águas subterrâneas em 2007

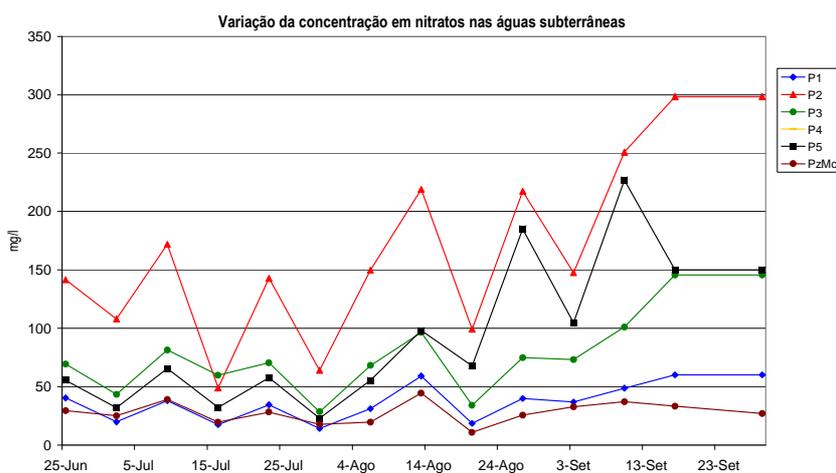


Fig. 53 - Variação da concentração em nitratos nas águas subterrâneas em 2007

Uma primeira análise da Fig. 51 parece não haver alterações significativas das profundidades ao nível piezométrico ao longo do período de medição. Contudo, observa-se uma ligeira mas consistente diminuição da profundidade ao nível piezométrico nos meses de Julho e de Agosto, em especial nos piezómetros P3 e P5, em relação a outros períodos de medição, facto que poderá estar relacionado com a recarga artificial induzida pela água de rega. Nesse sentido seria de esperar observar nestes piezómetros uma alteração da sua qualidade por influência da água de rega, facto que se vem confirmar, tal como adiante referido neste relatório. Ainda de referir que o P2 apresenta uma medição anómala em 16 de Junho e o P4 foi um piezómetro que apresentou problemas de execução pelo que estas leituras efectuadas são pouco significativas.

Os valores de condutividade eléctrica (cf. Fig. 52) apresentam-se relativamente estáveis ao longo dos meses quando comparados com os registados nos piezómetros de profundidade inferior a 2 m localizados no seio das parcelas. Apenas no P3 e P5 parece haver aumento da CE durante os meses de irrigação. Esta observação terá por base o maior tempo de percolação dos fertilizantes até aos piezómetros mais profundos.

A Fig. 53 apresenta a variação do ião nitrato ao longo dos ensaios. As concentrações registadas são muito elevadas (atendendo ao valor máximo de 50 mgNO₃/l) e não se observa qualquer correlação com os valores de condutividade eléctrica (cf. Fig. 52). Esta observação dever-se-á ao facto de os valores extremamente elevados de condutividade resultarem não apenas da presença de nitrato na água mas também de muitos outros elementos dissolvidos, aspecto. Por outro lado a Fig. 53 permite registar que, a partir do final do mês de Agosto, há um claro aumento da concentração dos nitratos, especialmente notório para os piezómetros P2, P3, e P5, possivelmente resultante da aplicação de fertilizantes, com cerca de 2 meses de tempo de chegada aos piezómetros desde a data da sua aplicação. Este processo já havia sido registado nos dados recolhidos nos trabalhos experimentais levados a cabo em 2006.

Além do conjunto de observações que foi possível retirar com os resultados das medições de campo foram ainda efectuadas análises químicas pelo INETI (Quadro 47). Os resultados obtidos apresentam divergências significativas de medições (cf. Quadro 46) cuja origem se poderá dever à deficiente conservação das amostras recolhidas dos novos piezómetros, às técnicas laboratoriais utilizadas, entre outros. Regista-se também uma grande diferença de balanço de cargas pelo que a informação não foi utilizada neste relatório.

As Fig. 54 a Fig. 56 apresentam os resultados obtidos para a condutividade eléctrica, concentração em nitratos e em sulfatos, respectivamente, para os poços e piezómetros localizados na envolvente da área de estudo.

Os valores de condutividade eléctrica (Fig. 54) apresentam-se bastante mais estáveis que os registados para os piezómetros localizados na área de estudo. O poço 519P30 apresenta um comportamento semelhante às restantes águas subterrâneas da área de estudo, o que é lícito uma vez que se encontra no centro desta.

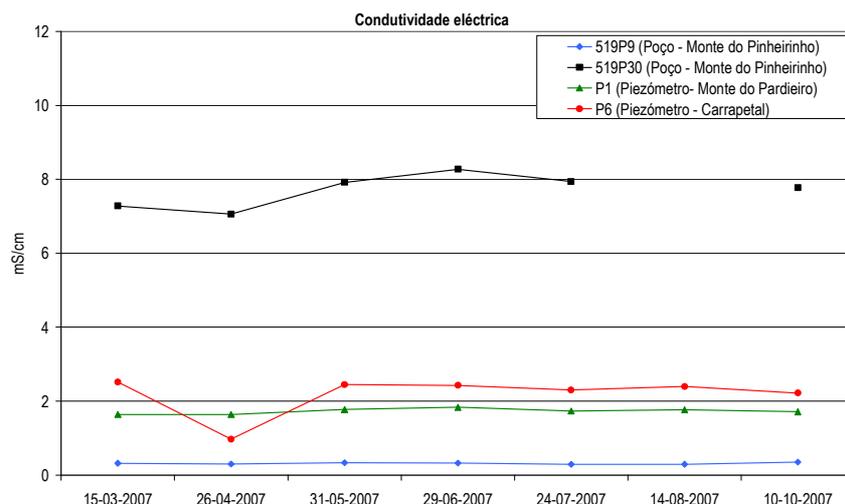


Fig. 54 - Variação da condutividade eléctrica nos poços e piezómetros, em 2007

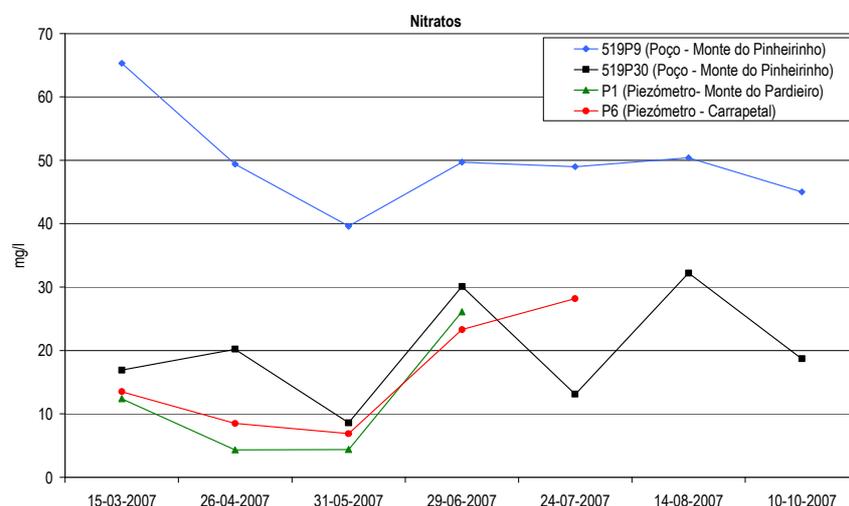


Fig. 55 - Variação da concentração em nitratos nos poços e piezómetros, em 2007

A análise da Fig. 55 permite observar a presença de concentrações em nitratos com alguma expressão regional, embora muito inferiores aos registados no interior da bacia hidrográfica em análise, possivelmente resultante da actividade agrícola da região e da presença de níveis piezométricos pouco profundos. Observam-se, tal como em 2006 e para os novos piezómetros em 2007, assinaláveis oscilações entre campanhas.

A concentração em sulfatos apresentada na Fig. 56 é relativamente estável ao longo do período de análise.

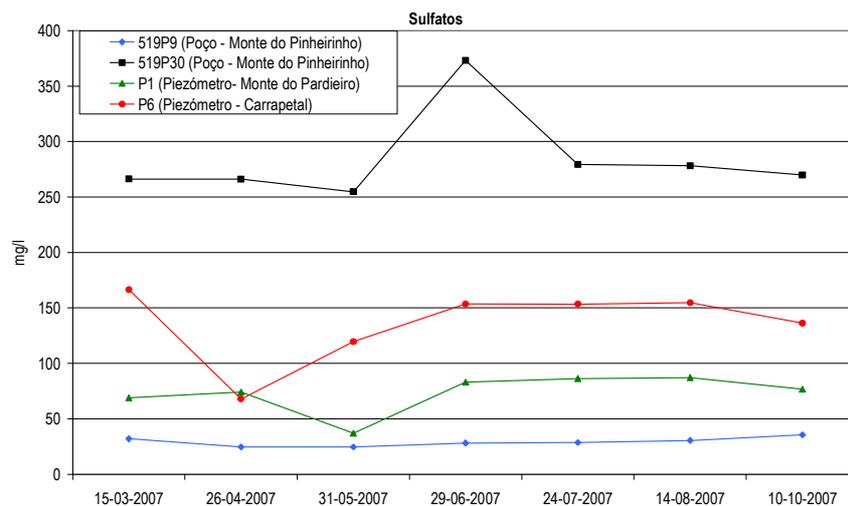


Fig. 56 - Variação da concentração em sulfatos nos poços e piezómetros, em 2007

5.2.4 Água das valas de drenagem e do canal de rega

2006

Neste ponto são apresentados vários parâmetros da qualidade da água nas parcelas experimentais amostradas entre Maio e Novembro de 2006, no canal de rega (Barragem de Monte Branco), na vala de drenagem que atravessa a área de estudo e na água efectivamente utilizada para a rega.

No Quadro 49 apresentam-se os resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem. Observa-se que as águas do canal de rega apresentam valores de condutividade eléctrica bastante estáveis ao longo do ano, aspecto que não é válido para as águas da vala de drenagem. A Fig. 57 permite analisar a evolução dos valores de condutividade eléctrica bem como dos nitratos nestes dois domínios. Verifica-se que a concentração em nitratos é baixa nas águas do canal, apresentando valores mais elevados na vala de drenagem, embora abaixo dos 25 mg/l, no período em que se efectuou a amostragem. Ambas as águas têm características básicas.

Quadro 49 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem

Data da recolha	Designação	CE	pH	Eh	T	NO3
		mS/cm		mV	°C	mg/l
25 de Maio de 2006	Canal de Rega	0,437	8,68	329	20,8	
31 de Maio de 2006	Canal de Rega	0,493	8,1	304	21,4	
8 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,51	7,95	197	25,3	
8 de Junho de 2006	Vala de drenagem	6,56	7,75	340	22,0	
16 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,464	8,55	269	20,4	
16 de Junho de 2006	Vala de drenagem	8,45	8,3	236	20,9	
22 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,426	8,83	245	30,2	1,89
30 de Junho de 2006	Canal de Rega	0,441	7,61	308	20,5	
4 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,451	7,81	258	20,9	
12 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,451	7,76	368	21,6	3,47
12 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,897	4,95	380	24,5	22,95
18 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,454	7,74	349	24,7	3,43
18 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,713	7,43	298	27,0	10,72
28 de Julho de 2006	Canal de Rega	0,463	7,63	347	21,9	
28 de Julho de 2006	Vala de drenagem	0,649	7,8	380	24,5	4,69
7 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,482	8,16	298	25,0	7,45
7 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	0,656	7,45	332	28,3	14,53
18 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,473	8,3	292	22,1	6,93
18 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	1,44	7,31	165	19,6	9,87
22 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,475	8,6	272	29,1	4,67
22 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	0,829	7,55	183	24,5	16,4
30 de Agosto de 2006	Canal de Rega	0,487	8,22	323	24,9	8,15
30 de Agosto de 2006	Vala de drenagem	1,469	7,77	187	23,0	19,37
7 de Setembro de 2006	Canal de Rega	0,482	8,08	335	25,0	5,59
7 de Setembro de 2006	Vala de drenagem	2,13	7,33	164	21,5	14,92
13 de Setembro de 2006	Canal de Rega	0,475	8,45	370	13,1	
13 de Setembro de 2006	Vala de drenagem	2,38	7,35	293	14,1	
10 de Outubro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	
16 de Novembro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	
17 de Novembro de 2006	Canal de Rega	0,513	8,62	239	21,6	

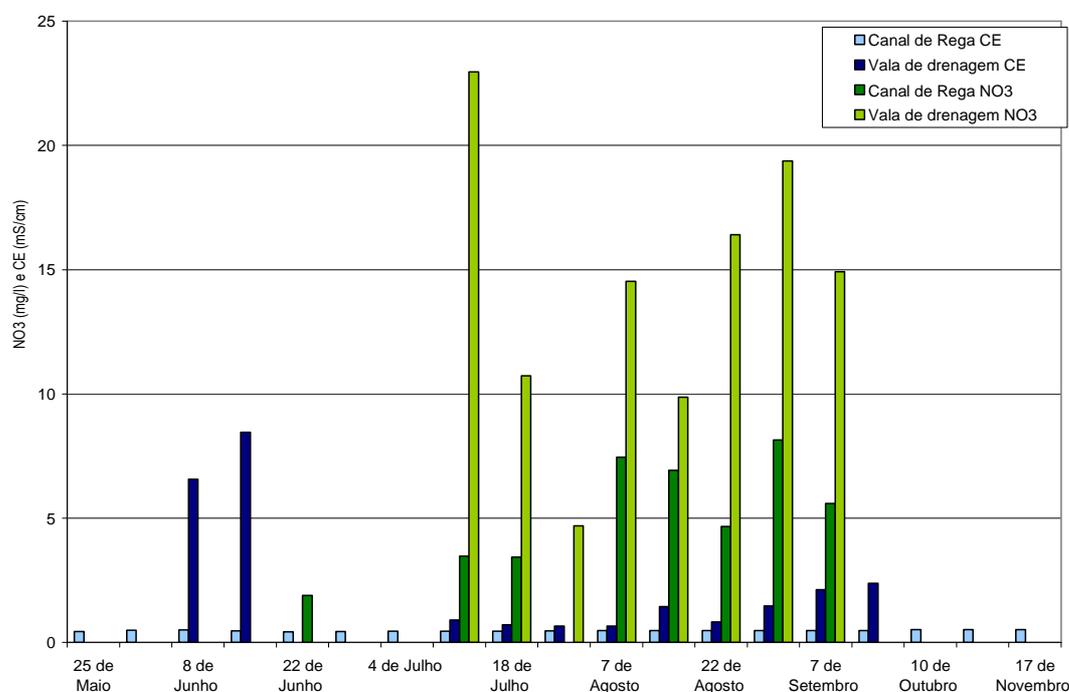


Fig. 57 - Resultados da qualidade das águas do canal de rega e da vala de drenagem, para o nitrato e a condutividade eléctrica

Dos resultados obtidos podemos verificar que a condutividade eléctrica da água de rega é praticamente constante ao longo da campanha de rega, verificando-se uma tendência para um ligeiro aumento dos seus valores apresentando uma condutividade média de 0,474 mS/cm, ou seja, de perigo de salinização do solo médio (C2) e perigo de alcalização baixo (S1), segundo a classificação da USSL (Richards, 1954).

Com base na legislação portuguesa (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas destinadas à rega o VMR da condutividade eléctrica é de 1 mS/cm. O valor da razão adsorção sódio (SAR) de 4,5 meq/l relativo à amostra de água recolhida na vala revela-se pouco elevado (a legislação portuguesa estabelece para a SAR o valor de 8 meq/l como VMR).

Com base no diagrama classificativo da água de rega do U.S. Salinity Laboratory e analisando a Fig. 58 podemos verificar que a qualidade da água da ribeira, expressa como combinação de CE e SAR, pode ser usada para irrigação apenas em solos com boa drenagem, com aplicação de volumes de água em excesso para que a lixiviação dos sais ocorra e nos casos de plantas tolerantes à salinidade.

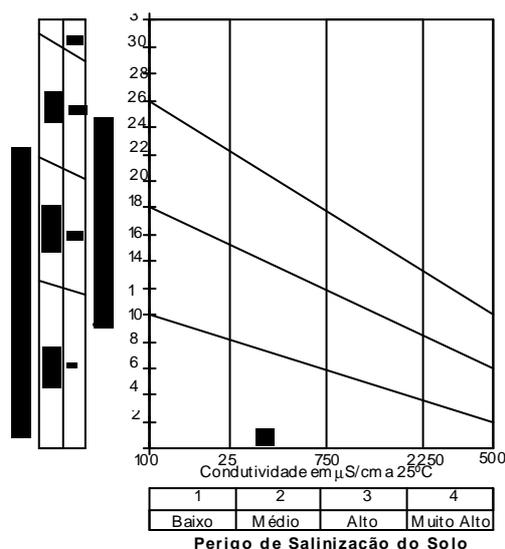


Fig. 58 - Diagrama de aptidão das águas para uso agrícola: água de rega

No caso do milho, o limite de tolerância de sais na água de rega indicado por Ayers e Westcot (1985) é de 1,1 mS/cm, classificando-se como uma planta sensível à salinidade (cf. Quadro 50). Para o milho, a percentagem de redução do rendimento por unidade de condutividade eléctrica (mS/cm) é de 75% quando a condutividade eléctrica da água de rega é de 2,5 mS/cm, e de 50% quando a condutividade é de 3,9 mS/cm. Gonçalves *et al.* (2005) apresentam alguns resultados de ensaios realizados em Alvalade do Alentejo onde se analisa a produtividade do milho em função de diferentes salinidades da água de rega, num projecto de demonstração financiado pelo programa AGRO.

Quadro 50 - Tolerância das plantas do milho e do girassol à salinidade da água de rega e do solo (Ayers e Westcot, 1985)

Cultura	100%		0%	
	EC _w	EC _{es}	EC _w	EC _{es}
	mS/cm			
Milho grão	1,1	1,7	6,7	10
Milho forragem	1,2	1,8	10	15
Girassol	3,5			

EC_{es} = condutividade do estrato de saturação do solo

EC_w = condutividade eléctrica da água de rega

Ayers e Westcot (1985) referem que, para a cultura do girassol, o valor da condutividade eléctrica da água de rega para o qual o rendimento da planta é na ordem dos 100% (salinidade limiar) é de 3,5 mS/cm (planta moderadamente sensível), sendo a produção afectada apenas em 75% no caso da condutividade eléctrica da água de rega ser igual a 5 mS/cm.

A legislação em vigor definida pela FAO (1985) para a classificação da qualidade da água de rega determina um conjunto de valores-limites atendendo ao grau de restrição no uso da água: nenhum, ligeiro a moderado e severo (cf. Quadro 51).

Quadro 51 - Normas gerais para a classificação da qualidade da água de rega utilizada pela FAO (Ayers e Westcot, 1985)

Principais problemas na rega	Unidade	Grau de restrição no uso			
		Nenhum	Ligeiro a Moderado	Severo	
Salinidade					
EC _w ou	mS/cm	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0	
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000	
Sodicidade					
SAR e CE					
	0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2	
	3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3	
	6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5	
	12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3	
	20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9	
Toxicidade de iões específicos					
Sódio (Na ⁺)	Rega de superfície	SAR	< 3	3 - 9	> 9
	Rega por aspersão	meq/l	< 3	> 3	
Cloreto (Cl ⁻)	Rega de superfície	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
	Rega por aspersão	meq/l	< 3	> 3	
Boro (B ⁻)		mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3
Azoto (NO ₃)		mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)		meq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	< 8,5
pH				6,5 - 8,4	

De acordo com a legislação americana (FAO), a água do canal de rega não apresenta qualquer risco de salinização para os solos. A condutividade da água de rega é de 0,373 mS/cm, encontrando-se dentro dos valores normais determinados pela FAO.

Quanto ao risco de sodicidade a água de rega apresenta um grau de restrição ao seu uso de ligeiro a moderado.

O valor de cloretos na água de rega da ordem de 60 mg/l revela-se no limite do valor recomendado pela legislação portuguesa. O VMR para cloretos, apresentado na legislação portuguesa (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas destinadas à rega é de 70 mg/l, verificando que a água do canal de rega apresenta restrições em termos de uso. No entanto, de acordo com a FAO, o teor em cloretos encontrado para a água de rega do canal, 1,71 meq/l, não implica qualquer restrição ao seu uso, já que o valor é inferior a 3 meq/l.

Quanto ao teor em nitratos, a água do canal de rega contém níveis abaixo dos legislados, todos inferiores a 9 mg/l (cf. Quadro 49). O VMR (Dec. Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) para águas de rega é de 50 mg/l.

Em relação à qualidade físico-química da água efectivamente utilizada para rega, efectuou-se uma amostragem para análise dos seus iões maiores. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 52 e referem-se à condutividade eléctrica (CE), aos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), e a sua interpretação em função dos valores de razão adsorção sódio (SAR) bem como a sua classificação quanto ao risco de salinidade e de alcalinidade com base no diagrama do U.S. Salinity Laboratory (USSL).

Quadro 52 - Qualidade da água de rega do Monte da Mancoca e Pinheirinho (Barragem do Monte Branco)

Data	pH	HCO ₃ meq/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	CE (mS/cm)	Ca	Mg meq/l	Na	SAR meq/l	Class. USSL
03-05-2006	7,08	2,50	60,70	0,63	0,373	33,49	18,36	27,50	4,5	C2-S1

As águas apresentam perigo de salinização do solo médio (C2) e perigo de alcalização baixo (S1), segundo a classificação da USSL (Richards, 1954), tal como vem explicitado em maior pormenor na secção 4.2.2.

2007

A qualidade da água das valas de drenagem localizadas a jusante das parcelas experimentais, bem como a água do canal de rega (Barragem de Monte Branco), foi analisada para amostras recolhidas entre Maio e Setembro de 2007. Os resultados obtidos para as medições *in situ* e com a sonda de nitratos do LNEC são apresentados no Quadro 53.

Quadro 53 - Resultados das análises efectuadas nas águas do canal de rega e na vala de drenagem

Data da recolha	Designação cm		CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO3
25 de Maio de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,560	8,3	346	21,9	22,9
31 de Maio de 2007	Vala de drenagem P	VdP	4,570	8,9	233	22,5	13,4
11 de Junho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,450	7,9	240	21,3	1,4
11 de Junho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,210	8,6	323	28,4	15,3
25 de Junho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,316	9,2	328	22,1	7,3
25 de Junho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,260	8,7	314	26,4	38,5
18 de Junho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,316	9,1	266	27,1	2,3
18 de Junho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	4,650	8,4	240	2,78	34,4
02 de Julho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,454	8,0	270	20,6	4,3
02 de Julho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,080	8,9	342	30,7	79,9
09 de Julho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,443	8,0	245	22,3	9,0
09 de Julho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	1,668	8,8	250	28,7	60,4
16 de Julho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,453	8,3	271	26,0	4,7
16 de Julho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	1,320	8,6	306	28,1	10,2
23 de Julho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,449	8,0	170	22,3	4,7
23 de Julho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	1,154	8,0	218	21,5	15,5
30 de Julho de 2007	Água de rega pivot		0,568	7,5	206	26,6	2,2
30 de Julho de 2007	Canal de Rega	Crega	0,439	8,3	207	27,7	2,0
30 de Julho de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	0,742	8,0	236	27,8	2,3
30 de Julho de 2007	Vala de drenagem P	VdP	1,013	9,2	227	23,9	3,7
06 de Agosto de 2007	Canal de Rega	Crega	0,450	8,3	154	23,4	5,0
06 de Agosto de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	0,658	8,1	151	22,2	6,2
06 de Agosto de 2007	Vala de drenagem P	VdP	0,903	8,7	290	24,0	8,3
13 de Agosto de 2007	Canal de Rega	Crega	0,468	8,6	122	20,8	8,0
20 de Agosto de 2007	Canal de Rega	Crega	0,476	8,2	263	28,1	1,7
20 de Agosto de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	1,953	7,8	351	28,4	7,4
20 de Agosto de 2007	Vala de drenagem P	VdP	3,29	8,2	279	25	7,6
27 de Agosto de 2007	Canal de Rega	Crega	0,477	7,8	240	25,2	5,6
27 de Agosto de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	1,565	7,8	116	26,1	12,7
27 de Agosto de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,430	8,3	238	26,3	28,5
3 de Setembro de 2007	Canal de Rega	Crega	0,474	9,1	229	27,5	5,4
3 de Setembro de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	1,750	8,5	271	27,5	17,1
3 de Setembro de 2007	Vala de drenagem P	VdP	1,527	8,6	172	27,1	19,0
10 de Setembro de 2007	Canal de Rega	Crega	0,471	8,4	227	19,9	7,8
10 de Setembro de 2007	Vala de drenagem MM	Vd	2,170	7,8	361	20,4	25,9
10 de Setembro de 2007	Vala de drenagem P	VdP	3,370	8,6	247	19,8	55,3
17 de Setembro de 2007	Canal de Rega	Crega	0,451	8,3	209	19,5	9,3
17 de Setembro de 2007	Vala de drenagem P	VdP	3,160	8,3	234	15,0	50,8
24 de Setembro de 2007	Canal de Rega	Crega	0,408	9,2	329	20,8	21,3
24 de Setembro de 2007	Vala de drenagem P	VdP	2,310	8,3	332	22,4	39,9

A Fig. 59 permite analisar a evolução dos valores de condutividade eléctrica bem como dos nitratos. À semelhança do ano de 2006, também em 2007 se observa que as águas do canal de rega apresentam valores de condutividade eléctrica bastante estáveis ao longo do ano, aspecto que não é válido para as águas das valas de drenagem. Verifica-se que os valores de condutividade eléctrica podem apresentar-se bastante elevados nas valas de drenagem, chegando a atingir os 4,6 mS/cm.

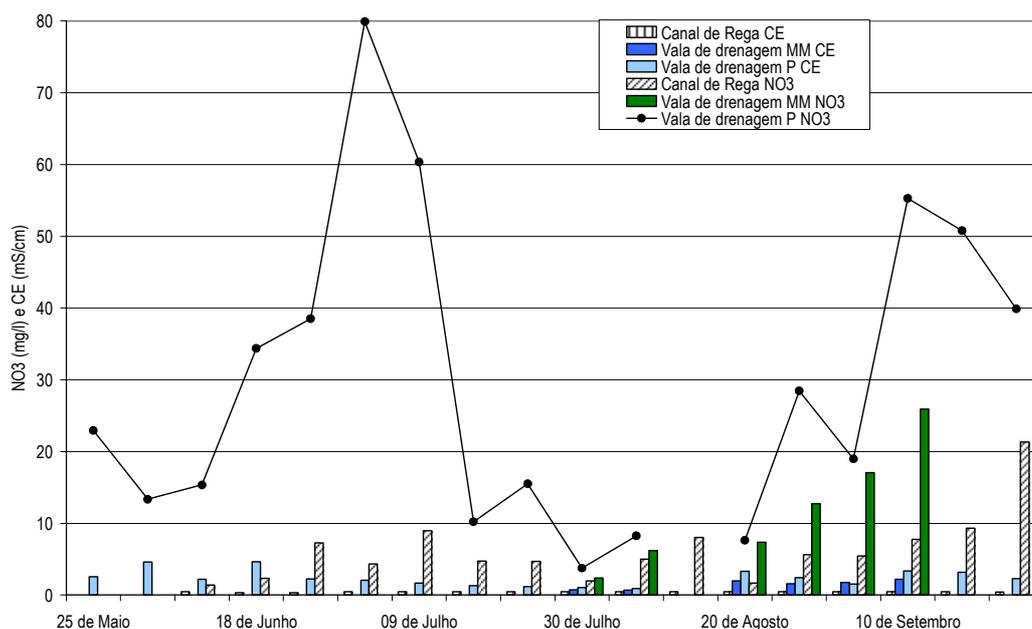


Fig. 59 - Resultados da qualidade da água do canal de rega e das valas de drenagem, para o nitrato (NO_3^-) e a condutividade eléctrica (CE), no ano 2007

Nas valas de drenagem, em especial na vala do Pinheirinho (onde há mais registos de amostragem devido à presença de escoamento significativo) observam-se grandes oscilações de concentração em nitratos, com aumento durante os períodos de fertirrega ou após períodos de precipitação. De facto observa-se uma primeira fase, até ao final do mês de Julho, elevadas concentrações em nitratos como resultado das fertirregas. Por outro lado, para o final do mês de Agosto, verifica-se a ocorrência de dois picos de concentração em nitratos nos dias 27 de Agosto e 10 de Setembro após dois períodos de precipitação que ocorreram nos dias 25 de Agosto (7,5 mm) e 10 a 13 de Setembro (0,9; 1,1; 6,9 e 0,6 mm, respectivamente) (Fig. 42), como resultado de processos de lixiviação deste ião conservativo (facilmente lixiviável).

5.2.5 Água das ribeiras

2006

O Quadro 45 apresenta o resultado das análises da qualidade das águas superficiais para a zona envolvente da área de estudo, para a ribeira de Canhestros, a norte da área de estudo, e de Sanfrins que atravessa a mesma (cf. Fig. 23).

A Fig. 60 apresenta os resultados obtidos para a condutividade eléctrica e para os nitratos ao longo do ano 2006. Os nitratos, na figura representados a verde, apresentam oscilações sazonais com concentrações maiores no mês de Agosto. Os seus valores raramente ultrapassam os 30 mg/l. Relativamente à condutividade eléctrica, na figura assinalados a azul,

registam-se valores muito elevados em ambas as ribeiras que oscilam entre 0,89 e 4,04 mS/cm resultantes da elevada concentração iónica das suas águas.

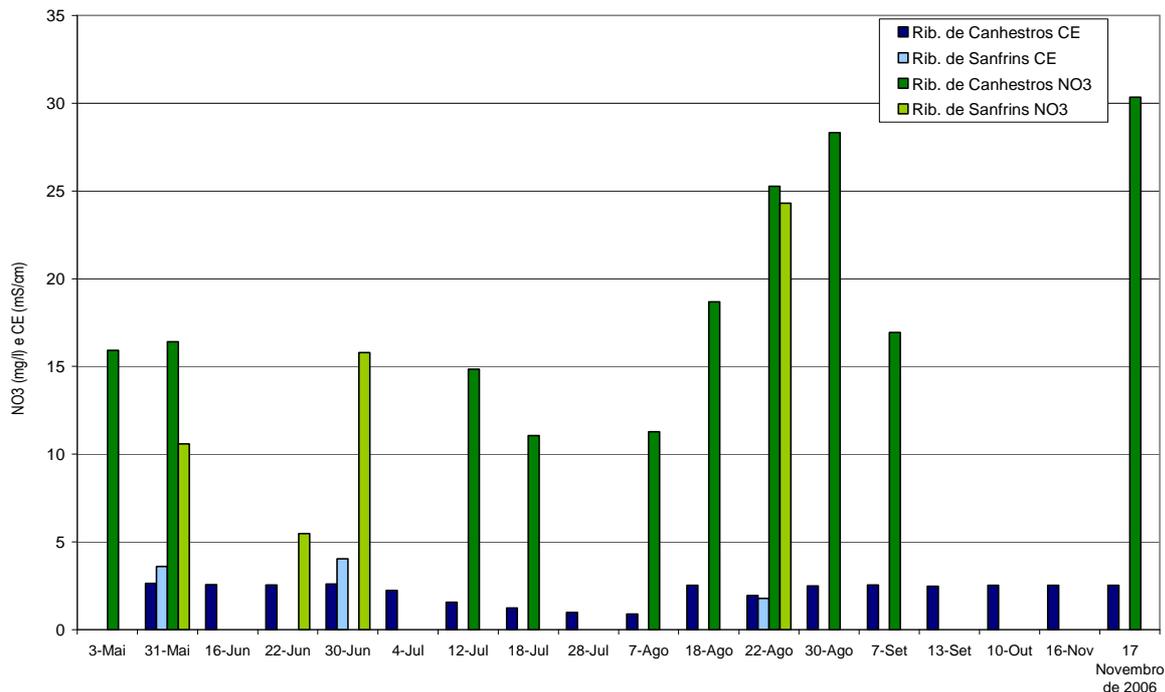


Fig. 60 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras, para o nitrato e a condutividade eléctrica, na área envolvente às parcelas, no ano 2006

2007

O Quadro 54 apresenta o resultado das medições efectuadas *in situ* sobre as características da qualidade das águas superficiais para a zona envolvente da área de estudo, para a ribeira de Canhestros, a norte da área de estudo, e de Sanfrins junto à estação hidrométrica (cf. Fig. 3). Apresentam-se, ainda, os resultados das concentrações em nitrato a sonda GLP22 CRISON.

Quadro 54 - Resultados da qualidade das águas das ribeiras da área envolvente às parcelas, em 2007

Data da recolha	Designação		CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO3
25 de Maio de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	1,774	8,08	219	21,2	25,37
31 de Maio de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	1,907	8,42	312	23,0	9,14
11 de Junho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,030	8,09	262	20,6	7,05
18 de Junho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	1,830	8,07	252	21,6	13,80
25 de Junho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	1,992	8,36	319	21,0	46,80
02 de Julho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,060	8,09	354	20,0	17,84
09 de Julho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,17	8,06	190	23,3	21,62
16 de Julho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,130	8,10	309	24,2	21,43
23 de Julho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,280	8,06	195	22,5	23,75
30 de Julho de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	1,951	8,15	216	21,6	5,95
30 de Julho de 2007	Rib. de Sanfrins	Rsanfr	1,030	7,96	251	24,1	3,48
06 de Agosto de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,300	8,28	310	23,3	18,81

Data da recolha	Designação		CE mS/cm	pH	Eh mV	T °C	LNEC NO3
06 de Agosto de 2007	Rib. de Sanfrins	Rsanfr	1,048	7,78	217	20,6	11,83
13 de Agosto de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,380	7,85	292	21,4	26,52
13 de Agosto de 2007	Rib. de Sanfrins	Rsanfr	1,107	8,57	270	26,1	14,10
20 de Agosto de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,380	8,40	281	25,2	6,78
27 de Agosto de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,350	8,15	188	24,8	20,80
3 de Setembro de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,390	8,70	233	27,6	22,55
10 de Setembro de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,270	8,60	242	22,6	23,26
17 de Setembro de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,150	8,28	254	17,0	36,89
24 de Setembro de 2007	Rib. de Canhestros	Rcanh	2,130	8,35	367	20,9	110,08

A Fig. 61 apresenta uma projecção dos resultados obtidos para a condutividade eléctrica e para os nitratos ao longo do ano 2007. Os nitratos, na figura representados a verde, apresentam valores superiores aos encontrados para período homólogo de 2006, embora só tenham ultrapassado o limite dos 50 mgNO₃/l na amostragem de 24 de Setembro. Relativamente aos valores de condutividade eléctrica, na figura assinalados a azul, registam-se valores muito elevados para a ribeira de Canhestros, com valores que oscilam entre 1 e 2,4 mS/cm, e valores mais baixos para a de Sanfrins, embora esta apresente muito menos medições.

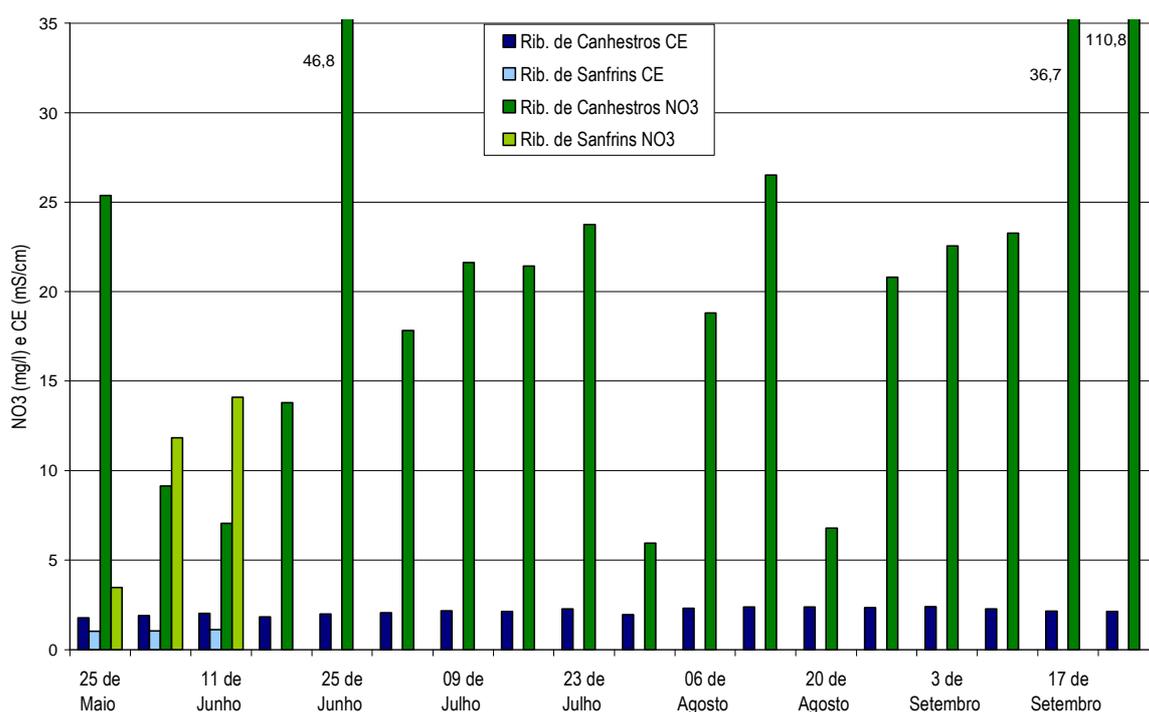


Fig. 61 - Resultados da qualidade da água das ribeiras envolvidas às parcelas estudadas, para o nitrato e a condutividade eléctrica, no ano 2007

Além das análises efectuadas com recurso a sondas, foram igualmente realizadas pelo INETI análises químicas mensais da água da ribeira de Canhestros. Os parâmetros e os respectivos resultados são apresentados no Quadro 55 e na Fig. 62.

Quadro 55 - Resultados da qualidade da água da ribeira de Canhestros efectuada pelo INETI em 2007

Análises efectuadas pelo INETI		15-03	26-04	31-05	29-06 2007	24-07	14-08	10-10
pH, a 25°C				8,2	8,16	8,1	8,2	8,15
CE, a 25°C	mS/cm	1,244	1,271	1,798	2,15	1,942	2,06	2,06
Cloretos Cl-	mg/l	267,6	286,8	454,4	519,7	518,2	520,5	547,7
Sulfatos SO4--	mg/l	73,6	58,9	53,4	110,9	100	97,7	87,8
Nitrato NO3-	mg/l	12,6	8,9	6,8	34,3			

A observação dos resultados das análises em laboratório (cf. Fig. 62) e a sua comparação com os dados das sondas permite verificar que há uma oscilação dos valores de qualidade ao longo do período dos ensaios, sendo os valores mais elevados registados em finais de Junho. De assinalar que os dados obtidos com as sondas registam também valores elevados de nitratos durante o mês de Setembro. Observa-se ainda que o aumento das concentrações se efectua em simultâneo para o conjunto de parâmetros analisados. Este aspecto é mais claro na Fig. 62, embora o mesmo se passe para a informação apresentada na Fig. 61 cuja escala não permite evidenciar este facto de forma tão explícita.

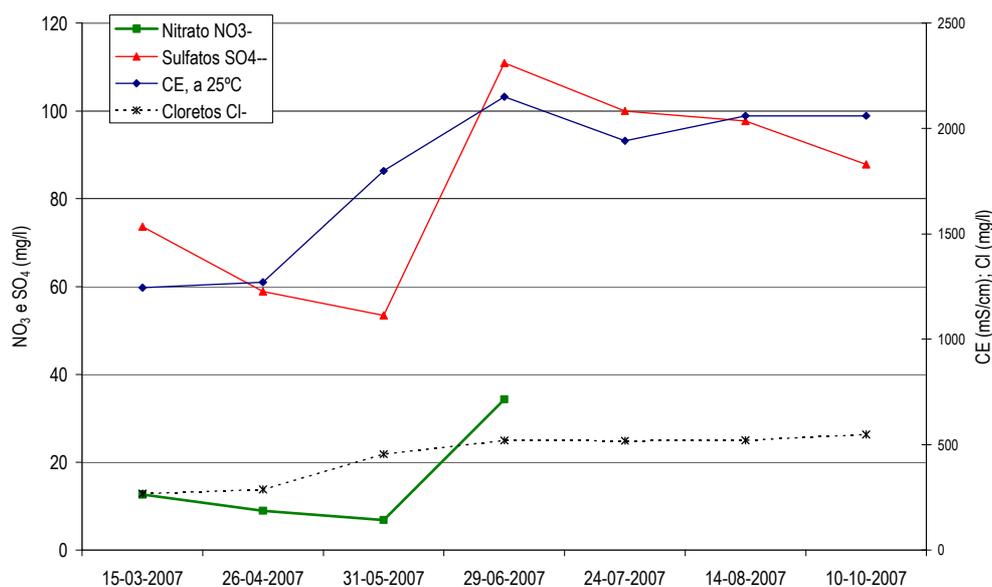


Fig. 62 - Variação da qualidade da água da ribeira de Canhestros durante o período de ensaios de 2007

Atribui-se o aumento de valores de concentração na ribeira de Canhestros aos processos de escoamento superficial induzidos pela água de rega, com conseqüente lixiviação para a ribeira. Este escoamento também pode ser produzido por episódios de precipitação como o que ocorreu em meados de Agosto.

6 Determinação da recarga de águas subterrâneas

6.1 Introdução

Na sequência dos trabalhos de caracterização dos solos e das dotações de fertilizantes, Paralta *et al.* (2006, 2008) utilizando dados climatológicos e piezométricos entre 2002 e 2007 aplicou o modelo EARTH (Van der Lee e Gehrels, 1990) na avaliação da recarga de águas subterrâneas e transporte de humidade no solo e zona vadosa, com base nos registos de 5 piezómetros (poços) situados na área da infra-estrutura 12.

Vários estudos indicam que a intensificação das práticas agrícolas e o regadio intensivo conduzem, a prazo, ao aumento da concentração de sais nas águas subterrâneas, nomeadamente em cloretos e nitratos.

Com este trabalho preliminar de modelação pretendeu-se quantificar a recarga aquífera natural e estimar, com base em cenários de dotações de fertilizantes e técnicas de irrigação, o volume de sais i.e. nitratos (NO_3^-) ou outros, susceptíveis de atingir o aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e afectar o sistema ecológico (ribeiras e linhas de água).

Do ponto de vista agro-ambiental é importante definir a frequência e magnitude dos eventos de recarga em que o potencial de lixiviação de fertilizantes é maior, no sentido de contribuir para uma gestão mais racional dos agro-químicos e estimar o volume de perdas para as águas subterrâneas.

A distribuição temporal da recarga tem impacte ao nível das fontes difusas de poluição, em especial nos aquíferos livres subsuperficiais, através da remobilização e lixiviação dos agro-químicos e fertilizantes em excesso no solo até à zona saturada, que se encontra normalmente a pouca profundidade.

6.2 Ocupação agrícola da infra-estrutura 12

Os solos dominantes na Infra-estrutura 12 podem ser agrupados em 4 grandes classes, por ordem decrescente de fertilidade, correspondentes a Barros, Para-Barros e Aluviões (48%), solos Mediterrâneos e Calcários (27%), solos Hidromórficos (26%) e solos de baixa fertilidade (5%).

No que se refere à ocupação agrícola, obtida a partir de dados de Detecção Remota (CNIG/Corine Land-Cover, 1987) e calculada através de SIG, predominavam em 1987 as culturas anuais de sequeiro (nomeadamente a rotação cereal-girassol), contra 5% de regadios e 3% de arrozais.

De acordo com Colaço (2001), as culturas anuais de sequeiro, essencialmente cereais, ocupavam cerca de 468 ha (8% da área do perímetro de rega) e as culturas de regadio cerca

de 1273 ha (22% da área do perímetro de rega), em que predominam os cereais de regadio, as oleaginosas e a beterraba.

Actualmente, as culturas de regadio ocupam já uma extensão de 35% (1740 ha) da área da Infra-estrutura 12, em que predominam o milho, a beterraba e o girassol.

Alguns autores calcularam perdas por lixiviação em áreas agrícolas na ordem de 20% (Almeida e Silva, 1987; Custódio e Llamas 1996). Vários estudos internacionais indicam que as taxas de lixiviação do NO_3^- se situam entre 10-50% da aplicação de fertilizante em solos com boa drenagem (Böhlke, 2002).

6.3 Modelação da recarga de águas subterrâneas (2002-2007)

Na abordagem desta temática utilizou-se uma metodologia semiempírica de avaliação da recarga directa, ou seja, com origem na precipitação e percolação vertical da água através da zona vadosa até à superfície freática.

O modelo EARTH é um modelo de avaliação da recarga de águas subterrâneas e transporte de humidade no solo e zona vadosa que faz uma combinação dos métodos directos e indirectos de abordagem da recarga.

Os métodos indirectos utilizam informação piezométrica como indicadores da recarga efectiva, ou seja, sempre que há variações positivas do nível piezométrico estamos perante um episódio de recarga possível de quantificar, desde que se conheçam alguns parâmetros básicos do sistema hidrogeológico, como o coeficiente de armazenamento (S), o coeficiente de recessão CR (período de tempo entre o episódio de precipitação e a resposta do aquífero), a condutividade hidráulica (K), entre outros.

As principais atribuições de cada módulo do modelo EARTH são as seguintes (cf. Fig. 63):

- MAXIL (MAXimum Interception Loss) - Estima o superavit hídrico;
- SOMOS (SOil MOisture Storage) - Calcula o balanço de massa na zona vadosa e determina o fluxo de percolação profunda;
- SUST (SUrface STorage) - Calcula as perdas por escoamento superficial;
- LINRES (LInear REServoir routing) - Distribui a percolação calculada no módulo SOMOS em função do tempo para a zona não saturada, entre as raízes das plantas e o nível freático;
- SATFLOW (SATurated FLOW model) – modelo unidimensional para o meio saturado que converte a recarga proveniente do módulo LINRES em oscilação piezométrica, conhecido o coeficiente de armazenamento e o coeficiente de recessão.

A formulação matemática do modelo EARTH pode ser consultada em Van der Lee e Gehrels (1990).

O modelo EARTH está vocacionado para climas secos com precipitações concentradas e para aquíferos livres, com respostas rápidas aos episódios de recarga. Os parâmetros necessários ao funcionamento do modelo, tais como as propriedades hidráulicas dos solos, precipitação, evapotranspiração, oscilação piezométrica, entre outros, foram obtidos entre 2001 e 2005 com base em trabalhos de campo e registos climáticos do Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio - COTR (<http://www.cotr.pt/cotr.asp>).

Conceptualmente, o nível piezométrico medido num furo traduz a resposta do aquífero ao escoamento subterrâneo, à recarga do sistema e à sua exploração. Para além da recarga natural do sistema, o nível piezométrico traduz também a recarga por infiltração dos excedentes da rega. Por outro lado, havendo extracções de águas subterrâneas, estas fazem baixar globalmente o nível piezométrico do sistema. Finalmente se a recarga for espacialmente diferenciada, para além de subidas diferentes de nível num e noutro local, estas subidas induzirão escoamento subterrâneo, o que por sua vez afectará o próprio nível piezométrico. Nesta fase estes aspectos ainda não foram considerados no modelo EARTH uma vez que não houve nem extracções nem regas com expressão assinalável para o período de calibração, tendo-se apenas considerado que o nível piezométrico é função da recarga natural e calibrado o modelo com base neste pressuposto.

A aplicação do modelo aos anos 2006 e 2007, complementa os resultados anteriores relativos a 2002-2005 e terá já estes aspectos em consideração, de forma a atender à rega e a eventuais extracções.

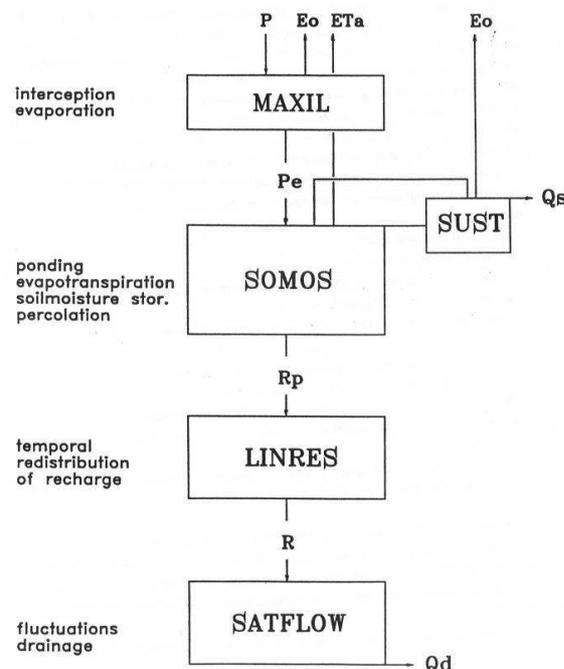


Fig. 63 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH (cf. Van der Lee e Gehrels, 1990).

Os parâmetros de entrada do modelo estão descritos no Quadro 56 e as estimativas de recarga com base na calibração das curvas piezométricas de 5 poços entre 2002 e 2007 apresentam-se no Quadro 57.

Quadro 56 - Parâmetros de calibração do modelo EARTH (2002-2007)

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Maximum soil moisture (mm)	163,6	579,3
Residual soil moisture (mm)	14,8	75,4
Initial soil moisture (mm)	37,7	160,7
Soil moisture at field capacity (mm)	107,5	250,7
Maximum surface storage (mm)	100,0	100,0
Maximum interception loss (mm)	1,5	1,5
Saturated conductivity (mm/day)	500,0	500,0
Unsaturated recession constant	5,00	15,00
Number of reservoirs	1,0	2,0
Saturated recession constant (day)	99,8	268,1
Storage coefficient	0,03	0,08

A Fig. 64 indica a curva teórica do modelo EARTH ajustada aos dados experimentais e a respectiva precipitação e recarga no período de 2002 a 2007.

Quadro 57 - Resultados do modelo EARTH (2002-2007)

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (mm)				
		508P7	508P12	519P5	519P11	519P12
2002-2003	598,6	35,8	23,6	40,1	18,1	41,0
2003-2004	445,1	35,0	18,8	39,0	15,3	24,6
2004-2005	273,3	19,3	0,0	17,1	0,0	0,0
2005-2006	548,9	30,7	14,4	32,5	10,1	18,6
2006-2007	593,0	33,6	20,9	35,3	18,3	24,9

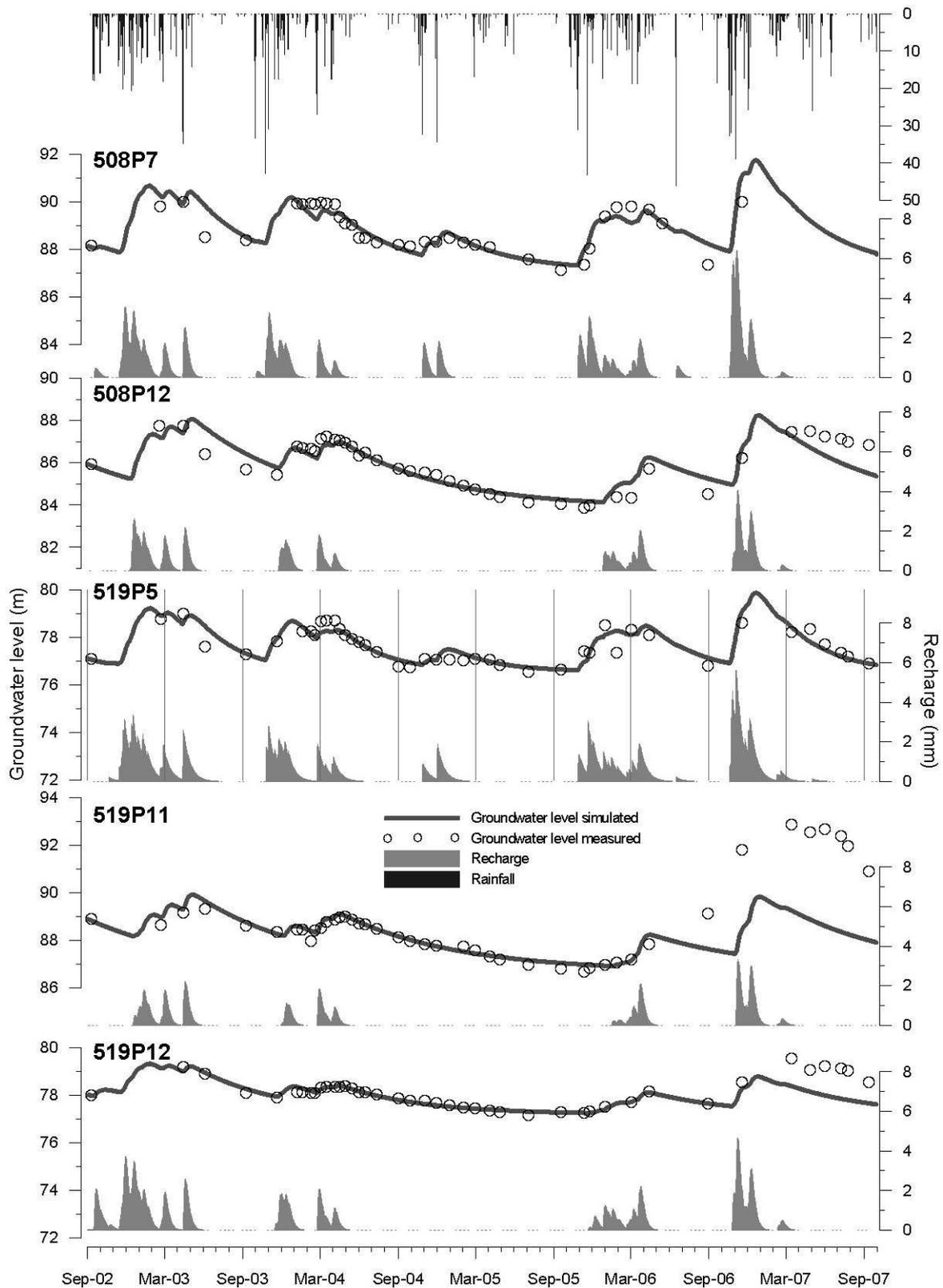


Fig. 64 - Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 5 piezómetros (2002-2007).

Relativamente aos cinco piezómetros situados no aquífero superior livre dos terrenos miocénicos da Bacia de Alvalade, verifica-se, para os anos hidrológicos normais (com excepção do ano seco de 2004/2005), que a mediana da recarga varia entre 20% e 35%.

Em 2004-2005 registou-se um ano seco, com precipitação anual de 273 mm. Apenas em 2 piezómetros (508P7 e 519P5) se registaram 2 eventos de recarga, respectivamente em finais de Outubro 2004 e início de Dezembro de 2004, associados a episódios pontuais de precipitação acima de 20 mm.

Os fenómenos de precipitação que originam eventos de recarga aquífera são escassos durante o semestre húmido. Por exemplo, no ano hidrológico de 2002-2003 registaram-se 3 eventos de recarga principais, provocados por precipitações normalmente acima de 30 mm/dia.

Verifica-se em alguns piezómetros, como no caso do 519P11 e 519P12, que o nível de água se mantém elevado após o Inverno de 2007 em aparente desacordo com os resultados da modelação. Este facto, não corresponde a uma deficiente calibração, mas sim à situação de regadio na envolvente dos piezómetros, com superhavit de água no solo que atinge a zona saturada.

6.4 Considerações finais

O factor natural do ciclo hidrológico responsável pela percolação dos contaminantes agrícolas até à zona saturada é a recarga.

A avaliação das condições hidrogeológicas, e em especial da recarga aquífera, sob a forma de modelos em tempo real, permite determinar com razoável previsão o volume de água que entra no aquífero e, desta forma, estimar com base nos usos do solo e das práticas agrícolas, o teor em agro-químicos lixiviados associados aos eventos mais importantes de recarga.

Será possível prever a qualidade da água de recarga, em função da dotação de fertilizantes das culturas de Inverno e do azoto residual no solo, e desta forma avaliar o impacte que a lixiviação dos agro-químicos terá no sistema hidrológico local.

De acordo com o modelo EARTH, a recarga natural do aquífero livre miocénico na área da infra-estrutura 12 deverá situar-se, em termos médios, entre 20% e 35% da precipitação em ano hidrológico normal ou seja, entre 105 e 180 mm/ano, de acordo com as características naturais do terreno (permeabilidade) e da ocupação do solo.

Será importante considerar que, em função do regime torrencial da precipitação, os eventos principais de recarga são escassos e estão associados a precipitação pontual normalmente acima de 20 mm.

Finalmente, importa também avaliar a recarga induzida pela regadio (excesso de água) que se reflecte já em algumas zonas em níveis piezométricos acima do esperado e que constitui um factor acrescido de lixiviação e disseminação de poluentes agrícolas.

7 Caracterização da vulnerabilidade à poluição

7.1 Metodologia utilizada

Lobo Ferreira e Cabral (1991) definiram vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição como "a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero", criando assim uma distinção entre vulnerabilidade e risco à poluição. É possível haver um aquífero com alta vulnerabilidade à poluição mas com baixo risco devido à ausência de fontes poluidoras e em oposição uma constante descarga poluente coloca o sistema aquífero em grande risco de ficar poluído mesmo que não apresente elevada vulnerabilidade à poluição.

O conhecimento da vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição é muito importante para a correcta utilização do solo da área do aquífero. Se um aquífero apresentar um valor de vulnerabilidade à poluição muito alto é necessário considerar qualquer empreendimento que afecte esse aquífero, podendo este ser mesmo considerado um aquífero com estatuto de protecção (garantindo uma melhor da qualidade da água do aquífero).

Existem diferentes metodologias de análise da vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição. Uma das mais utilizadas é o método DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1987) a partir de quatro premissas:

1. O poluente é descarregado à superfície;
2. O poluente apenas se movimenta verticalmente por acção da infiltração da água;
3. O poluente tem a mobilidade da água;
4. A área mínima que pode ser avaliada é de 0,4 km².

7.2 Descrição dos Parâmetros DRASTIC

7.2.1 Parâmetro D - Profundidade do Topo do Aquífero

A profundidade do topo do aquífero condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Num aquífero livre, a profundidade é a distância ao nível freático. No caso de aquífero confinado, a profundidade é a distância ao topo do aquífero. No caso de aquífero semi-confinado deve-se optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero.

Aller *et al.* (1987) consideram os seguintes intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices:

D – Profundidade do Topo do Aquífero (m) (Peso - normal: 5; - pesticidas: 5)	Índice
<1,5	10
1,5-4,6	9
4,6-9,1	7
9,1-15,2	5
15,2-22,9	3
22,9-30,5	2
>30,5	1

7.2.2 Parâmetro R - Recarga do Aquífero

A recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. De uma maneira geral, quanto maior a recarga, maior será o potencial de poluição de águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição pois possibilita a diluição das substâncias poluentes.

Aller *et al.* (1987) consideram os seguintes intervalos de recarga e respectivos índices:

R - Recarga do Aquífero (mm/ano) (Peso - normal: 4; - pesticidas: 4)	Índice
< 51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
> 254	9

7.2.3 Parâmetro A - Material do Aquífero

O parâmetro A - Material do Aquífero, refere-se à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Para além deste efeito principal, o material do aquífero condiciona o fluxo de água subterrânea que, a par da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação.

Aller *et al.* (1987) consideraram os seguintes materiais de aquífero com importância para a atenuação do potencial de poluição:

A - Material do Aquífero (Peso - normal: 3; - pesticidas: 3)	Índice
Xisto argiloso, argilito	1-3 (2)
Rocha metamórfica/ígnea	2-5 (3)
Rocha metamórfica/ígnea alterada	3-5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificados	5-9 (6)
Arenito maciço	4-9 (6)
Calcário maciço	4-9 (6)
Areia e balastro	4-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	9-10 (10)

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parentesis o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informação específica sobre o material do aquífero. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

7.2.4 Parâmetro S - Tipo de Solo

O parâmetro S - Tipo de Solo, refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2 m. O tipo de solo tem um significativo impacto na quantidade de recarga, mas é sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC.

São as seguintes propriedades de um solo que condicionam o potencial de poluição:

- espessura do solo;
- textura do solo;
- expansibilidade/contractilidade do solo;
- teor em matéria orgânica do solo.

Baseados nestas características, Aller *et al.* (1987) definiram 11 tipos diferentes de solos aos quais atribuíram índices entre 1 e 10:

S - Tipo de solo (Peso - normal: 2; - pesticidas: 5)	Índice
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4

S - Tipo de solo (Peso - normal: 2; - pesticidas: 5)	Índice
Franco argiloso	3
"Muck"	2
Argila não agregada e não expansível	1

7.2.5 Parâmetro T - Topografia

A topografia refere-se ao declive do terreno. Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Influencia ainda o desenvolvimento de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante.

Aller *et al.* (1987) definiram as seguintes cinco classes de declives:

T - Topografia (declive em %) (Peso - normal: 1; - pesticidas: 3)	Índice
< 2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

7.2.6 Parâmetro I - Influência da Zona Vadosa

O tipo de material da zona vadosa condiciona o tempo de contacto com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reacção química, volatilização e dispersão. A fracturação nesta zona é particularmente importante pois facilita a percolação vertical do poluente até ao aquífero.

Aller *et al.* (1987) consideraram os seguintes materiais da zona vadosa com importância para a atenuação do potencial de poluição:

I - Influência da Zona Vadosa (Peso - normal: 5; - pesticidas: 4)	Índice
Camada confinante	1
Argila/Silte	2-6 (3)
Xisto argiloso, argilito	2-5 (3)
Calcário	2-7 (6)
Arenito	4-8 (6)
Arenito, calcário e argilito estratificados	4-8 (6)
Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila	4-8 (6)
Rocha metamórfica/Ignea	2-8 (4)

I - Influência da Zona Vadosa (Peso - normal: 5; - pesticidas: 4)	Índice
Areia e balastro	6-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	8-10 (10)

Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parêntesis o índice típico a atribuir. A escolha do índice a atribuir deve basear-se em informação específica sobre o material da zona vadosa. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

7.2.7 Parâmetro C - Condutividade Hidráulica do Aquífero

Este parâmetro refere-se à capacidade do aquífero para transmitir água, que, conjuntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conectividade dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fracturas, cavidades ou planos de estratificação.

Aller *et al.* (1987) consideraram os seguintes seis intervalos de condutividade hidráulica com importância para a atenuação do potencial de poluição:

C - Condutividade Hidráulica do Aquífero (m/d) (Peso - normal: 3; - pesticidas: 2)	Índice
< 4,1	1
4,1 - 12,2	2
12,2 - 28,5	4
28,5 - 40,7	6
40,7 - 81,5	8
> 81,5	10

7.2.8 Índice DRASTIC

Depois de atribuído o índice de cada parâmetro (ver secção seguinte) obtêm-se os valores DRASTIC através da equação 1, ou seja, uma soma ponderada dos vários parâmetros.

$$DRASTIC = D_p * D_i + R_p * R_i + A_p * A_i + S_p * S_i + T_p * T_i + I_p * I_i + C_p * C_i \quad \text{Equação 1}$$

Na equação 1 o índice p corresponde ao valor de ponderação (peso) de cada parâmetro e o índice i corresponde ao valor atribuído para cada parâmetro segundo as tabelas acima apresentadas. Existe um peso para o caso de poluentes conservativos (Peso normal nas tabelas anteriores) e um peso para poluentes pesticidas (Peso pesticidas nas tabelas anteriores).

O índice DRASTIC varia entre 23 e 226 para poluentes conservativos e entre 26 e 256 para poluentes pesticidas. Os valores mais baixos correspondem a vulnerabilidades mais baixas e os mais altos a vulnerabilidades mais elevadas.

O Quadro 58 apresenta a relação entre o valor quantitativo de vulnerabilidade DRASTIC e o valor qualitativo de vulnerabilidade à poluição.

Quadro 58 - Relação qualitativa e quantitativa de vulnerabilidade

Índice DRASTIC	Vulnerabilidade
< 120	Baixa
120 - 159	Intermédia
160 - 199	Elevada
> 199	Muito elevada

7.3 Resultados obtidos

Conforme atrás referido, a área considerada localiza-se no Alentejo, uma região que está muito explorada em termos de actividade agrícola. A área de regadio da região analisada está sujeita a novas pressões induzidas pelo facto de se ter introduzido a rega nos últimos anos numa área onde tradicionalmente eram utilizadas culturas de sequeiro. Nesse contexto importa caracterizar a área de estudo em termos da sua vulnerabilidade à poluição de forma a contribuir para otimizar o uso do solo agrícola de uma forma sustentável, em termos do uso de água e de fertilizantes em áreas de maior vulnerabilidade, diminuindo assim o risco de poluição das águas subterrâneas.

Várias informações foram utilizadas de forma a se aplicar o método DRASTIC. Estas foram as cartas geológica e cartográfica militar da região, o conhecimento da área (resultado de várias visitas de campo) e os diferentes dados recolhidos (piezometria e perfis de solo).

Em relação ao parâmetro D foram necessárias diferentes interpolações de informação SIG levando à obtenção de um mapa aproximado da profundidade média ao nível freático. Utilizando os valores de piezometria dos vários pontos apresentados na Fig. 3 obteve-se um mapa do nível piezométrico da região que, juntamente com o mapa digital de terreno da região, permitiu obter o resultado pretendido. No caso deste parâmetro decidiu-se tomar uma abordagem preventiva visto que a quantidade de dados disponíveis não permitiam a obtenção de um correcto valor médio. Assim, decidiu-se utilizar o valor de piezometria mais alto, ou seja, quando a profundidade ao nível freático é mais baixa e logo o aquífero está mais vulnerável. O resultado obtido para o parâmetro D é o representado na Fig. 65.

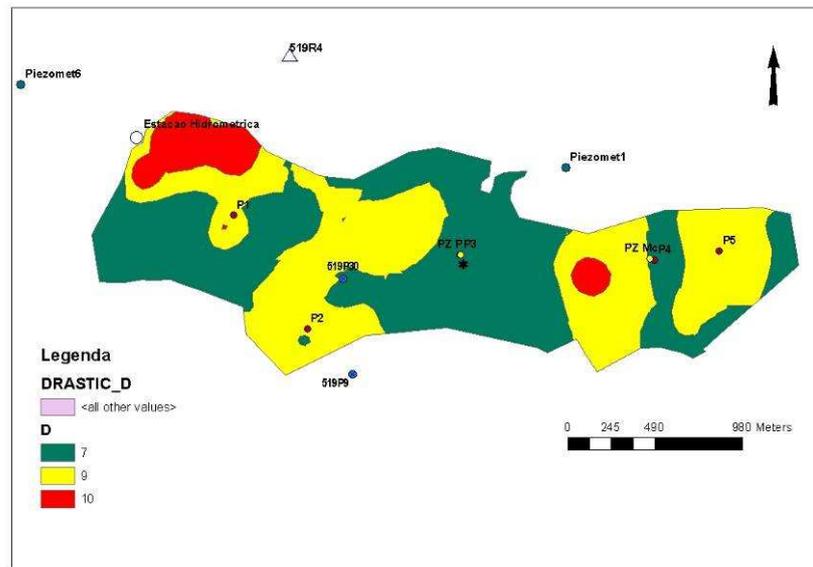


Fig. 65 - Caracterização do parâmetro D na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda)

Em relação ao parâmetro da Recarga do aquífero (parâmetro R) foram calculados os valores médios anuais de recarga no aquífero livre miocénico entre os 105 e os 180 mm/ano (Leitão *et al.*, 2007). Estes valores foram obtidos pela utilização do modelo EARTH, onde se verificou que os valores de recarga do aquífero se situam entre 20% e 35% da precipitação em ano médio.

Foi considerado o valor médio de recarga de 158 mm/ano. Desta forma o resultado obtido para o parâmetro da recarga natural é um valor constante e igual a 6 para toda a área.

O parâmetro A (Material do Aquífero) foi obtido através da carta geológica da região. Foi feita a digitalização da carta geológica 42-D Aljustrel à escala 1:50 000 dos Serviços Geológicos de Portugal e desenvolveu-se com recurso ao software ARCGIS, a informação da Geologia da área (cf. Fig. 66).

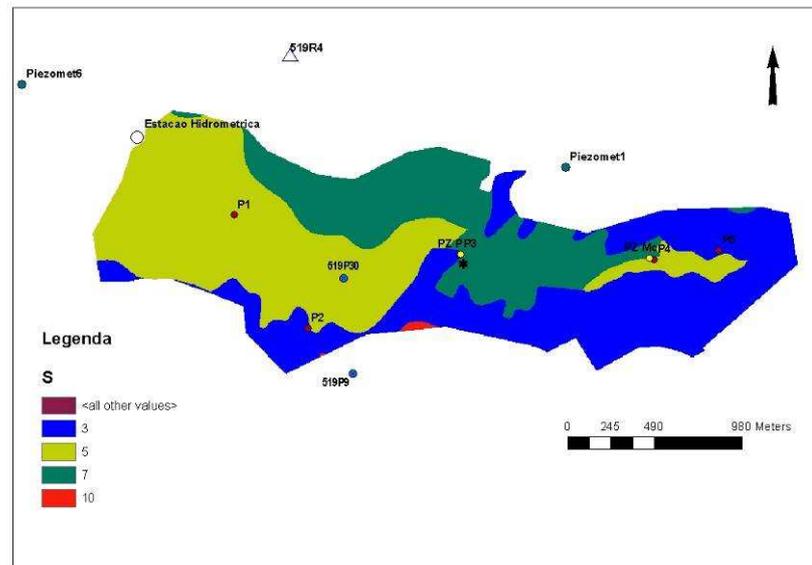


Fig. 68 - Caracterização do parâmetro S na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda)

Os declives da topografia da área de estudo são bastante baixos, o que favorece a residência de poluentes colocados à superfície do terreno. O parâmetro T (topografia) foi obtido através da transformação dos dados do mapa digital de terreno em declives, convertendo-os à posteriori nas classes definidas para o parâmetro T do DRASTIC. O resultado final apresenta-se na Fig. 69 onde o fraco relevo da área confere a atribuição do valor máximo desta classe ao parâmetro T (10) para quase toda a área.

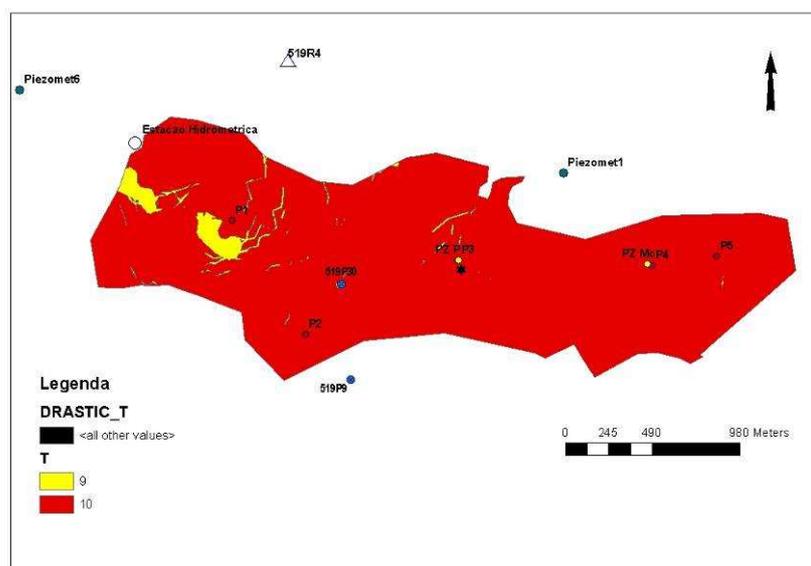


Fig. 69 - Caracterização do parâmetro T na área em estudo (ver tabelas da secção 7.2 para interpretação da legenda)

A informação de base utilizada para o parâmetro I (Influência da Zona Vadosa) foi a mesma que a utilizada para o parâmetro A. Contudo, dada a presença de argilas nas camadas da zona

O resultado final do índice DRASTIC para poluentes conservativos apresenta-se na Fig. 71.

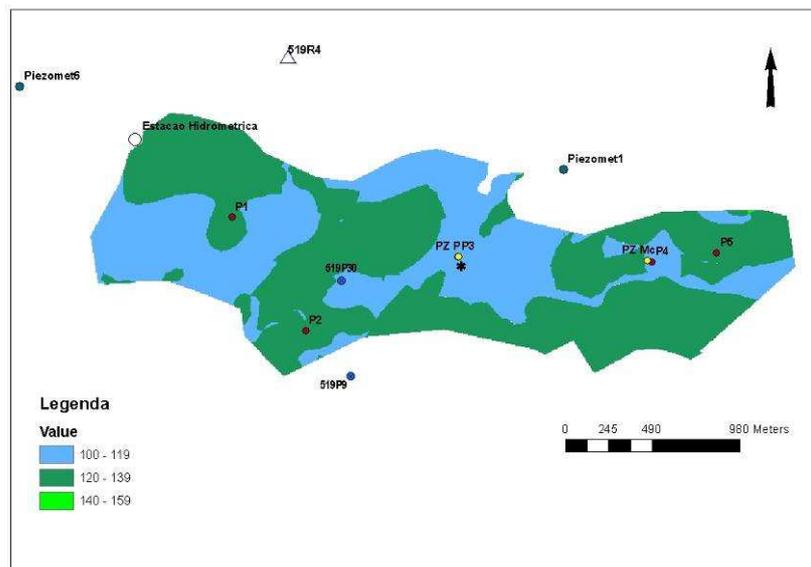


Fig. 71 - Resultado da aplicação do método DRASTIC para poluente conservativos (ver Quadro 58 para interpretação da legenda)

Verifica-se na figura anterior que a área em estudo apresenta, essencialmente, os valores DRASTIC entre 100 e 139. Atendendo à relação referida no Quadro 58 é possível concluir que a área em estudo apresenta essencialmente áreas com vulnerabilidade baixa e intermédia à poluição.

Tendo em conta a realidade da região (Alentejo) considerou-se prudente aplicar o método DRASTIC para pesticidas (*i.e.* alterando o peso de cada parâmetro). O resultado obtido apresenta-se na Fig. 72.

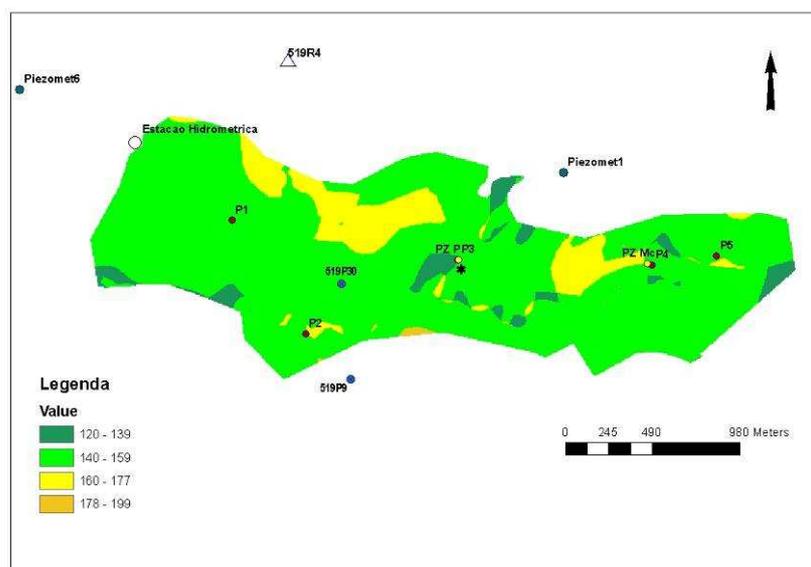


Fig. 72 - Resultado da aplicação do método DRASTIC para pesticidas (ver Quadro 58 para interpretação da legenda)

É possível concluir a partir da análise da Fig. 72 que a classe predominante é a classe [140-159] correspondente a vulnerabilidade intermédia, havendo algumas áreas com vulnerabilidade baixa e vulnerabilidade alta.

É de notar que se considerou "vulnerabilidade" na sua mais genuína definição, ou seja, relacionando-a com as características naturais intrínsecas do aquífero. No entanto, existe um factor antropogénico que é importante para a recarga, a rega na região. De acordo com o COTR (2006) existem cinco parcelas da área em estudo que são irrigadas. Este relatório apresenta os valores anuais de rega em volume total (m³) por cada parcela, assim como os valores de volume por hectare (m³/ha) em cada parcela. Considerando que a rega produz um volume em excesso, que não é utilizado pelas plantas, escoado ou evaporado, verifica-se que a recarga do aquífero é superior nas áreas irrigadas. Sendo o parâmetro R um dos mais importantes (o terceiro com maior peso) no valor final de aplicação do DRASTIC, então é possível concluir que, se se considerasse este factor antropogénico, o valor DRASTIC seria muito superior nas áreas irrigadas.

8 MODELAÇÃO DA ZONA SATURADA

8.1 Escoamento subterrâneo

8.1.1 Considerações iniciais

O objectivo da modelação do escoamento e do transporte de massa, neste estudo, é permitir efectuar uma análise dos efeitos que diferentes ocupações agrícolas do solo podem ter na qualidade das águas de jusante.

Considerando os objectivos propostos para este estudo, utilizou-se a interface GMS (Groundwater Modeling System), versão 6.5 (Fig. 73) para correr o modelo MODFLOW (<http://www.modflow.com/>). Este programa foi originalmente escrito em linguagem Fortran 66, onde a equação de fluxo é resolvida pela aproximação das diferenças finitas, a três dimensões.

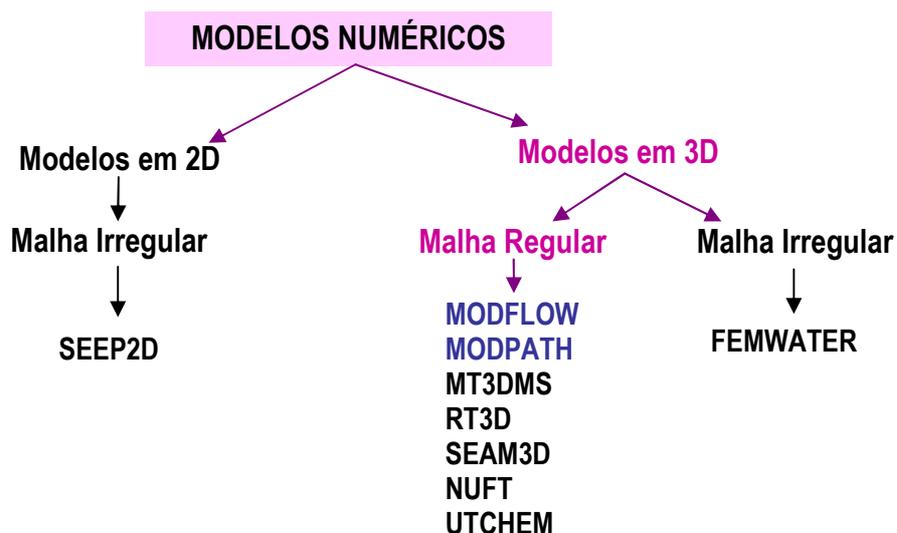


Fig. 73 - Interface GMS 6.5 (Groundwater Modeling System)

8.1.2 Modelo conceptual

O modelo de simulação do escoamento subterrâneo da área de estudo foi desenvolvido em regime estacionário. Foi inicialmente considerado um modelo regional alargado de 18,6 km² cujo limite superior foi definido pela ribeira de Canhestros e o limite inferior pelos barrancos da Chaminé, do Vale Alarve, das Fontanas, das Arocas e da Arroteia. A fronteira a leste é definida pelo próprio limite do sistema aquífero da Bacia de Alvalade (Fig. 74). Foram modeladas 3 camadas com malhas de área 50 x 50 m e profundidade variável. As linhas de drenagem foram obtidas através da carta militar n.º 519 à escala 1/25000. O modelo da bacia hidrográfica de interesse corresponde a uma superfície de 3,3 km² tendo sido as condições iniciais definidas pelos resultados do modelo regional.

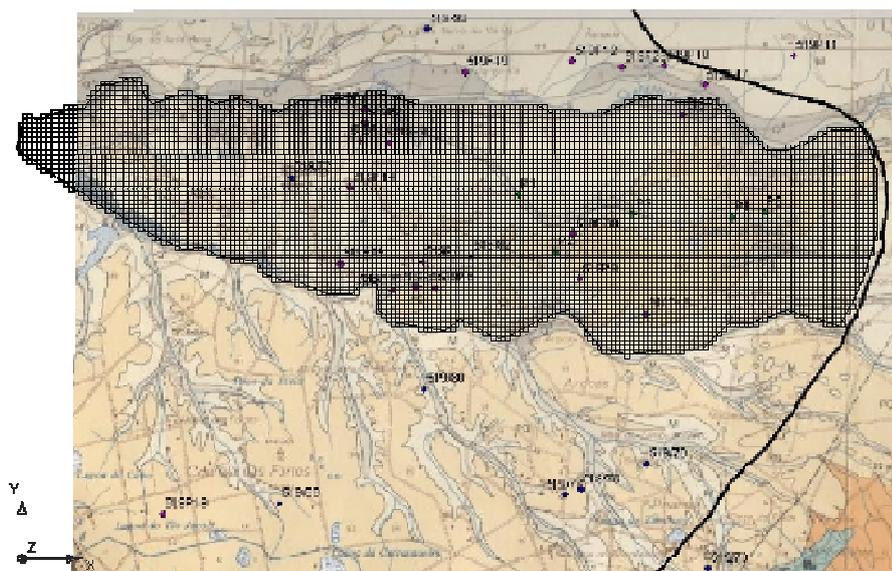


Fig. 74 - Área modelada (3 camadas, 67 linhas e 192 colunas)

A caracterização geológica da área de estudo modelada foi realizada com base na carta geológica n.º 42-D Aljustrel, à escala 1/50 000 (cf. Fig. 75) e em três colunas litológicas: AC2, S6 e S1, cf. Quadro 59, Quadro 60 e Quadro 61.

Quadro 59 - Coluna litológica simplificada do furo AC2

Material	Profundidade (m)
Areia muito consolidada castanha acinzentada	10
Argila acinzentada com intercalações de areia fina com fragmentos de conchas	14,5
Areia castanha clara	20,5

Quadro 60 - Coluna litológica simplificada do furo S6

Material	Profundidade (m)
Argilas	6,2
Areias finas a médias	21

Quadro 61 - Coluna litológica simplificada do furo S1

Material	Profundidade (m)
Argilas e margas	7
Areias finas a médias	15
Margas argilosas	>15

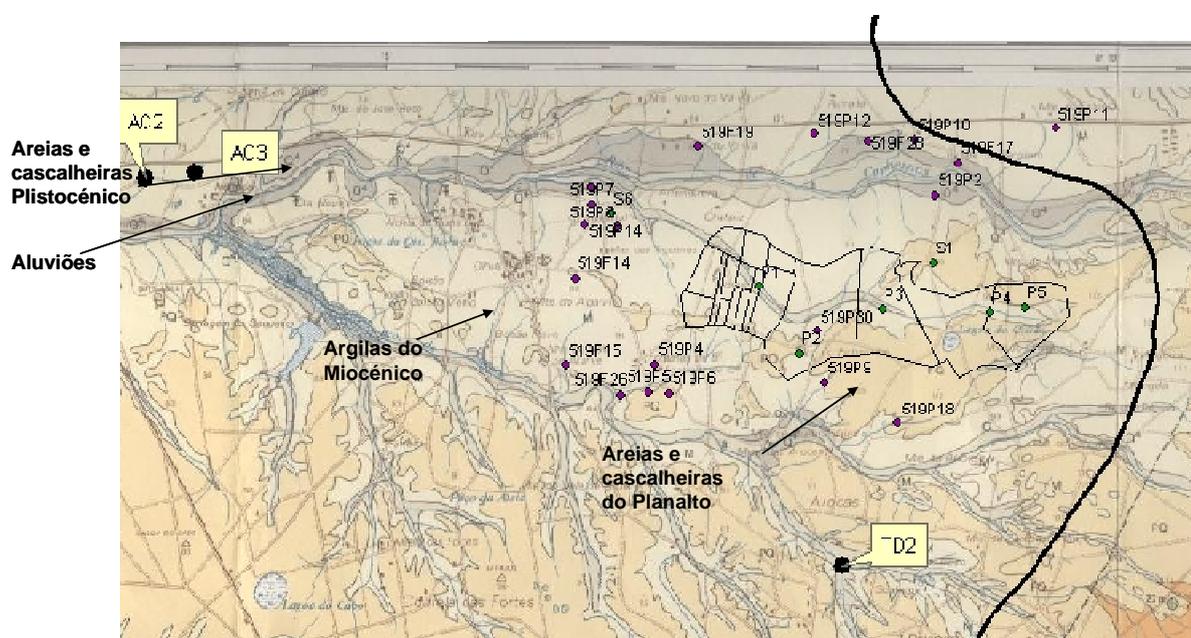


Fig. 75 - Carta geológica da área de estudo

O Quadro 62 contém uma breve caracterização hidrogeológica da área de estudo, apresentando a espessura máxima das camadas, a sua geologia e a condutividade hidráulica. Estes valores foram obtidos em bibliografia da especialidade.

Quadro 62 - Caracterização hidrogeológica da área de estudo

Layer	Espessura Máxima (m)	Características	Condutividade Hidráulica (m/d) (kh ->kx=ky)
1	3,5	Aluviões (a) e material da época do Plistocénico (areias e cascalheiras – Q4 e Q3); Areias e cascalheiras do Planalto (PQ); Argilas pertencentes ao Miocénico (M).	1 para os aluviões e material da época do Plistocénico; 0,7 para as areias e cascalheiras do Planalto; 0,1 para as argilas
2	3,7	Argila	0,1
3	12,8	Areias	0,95

O valor da recarga foi retirado do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Sado (Lobo-Ferreira *et al.*, 1999), calculado através do modelo BALSEQ (Lobo-Ferreira, 1981) e ilustrado na Fig. 76. A recarga artificial foi obtida através dos valores de irrigação das parcelas (COTR, 2008), tendo-se considerado que 20% da água de rega se infiltra. A calibração regional foi realizada recorrendo à média anual da piezometria de seis pontos de aferição, de acordo com o Quadro 63. A localização dos pontos encontra-se na Fig. 75.

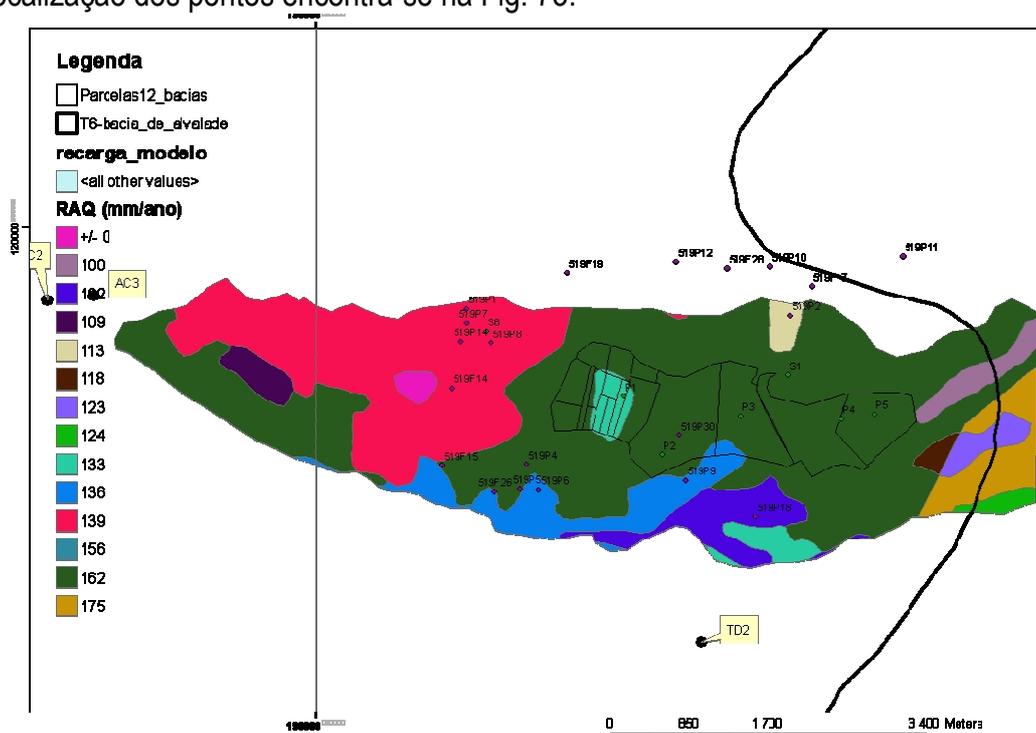


Fig. 76 - Recarga natural. Fonte: Plano de Bacia Hidrográfica do rio Sado

Quadro 63 - Piezometria dos seis pontos usados na calibração do modelo

Poços	M	P	Média anual (m)
519P2	195130	119030	78,61
519P6	192420	117130	76,54
519P8	191900	118730	76,39
519P9	194000	117230	88,02
519P5	192210	117140	76,73
519P14	191570	118750	76,77

As linhas de drenagem foram obtidas através da carta militar n.º 519 à escala 1/25000 (cf. Fig. 77).

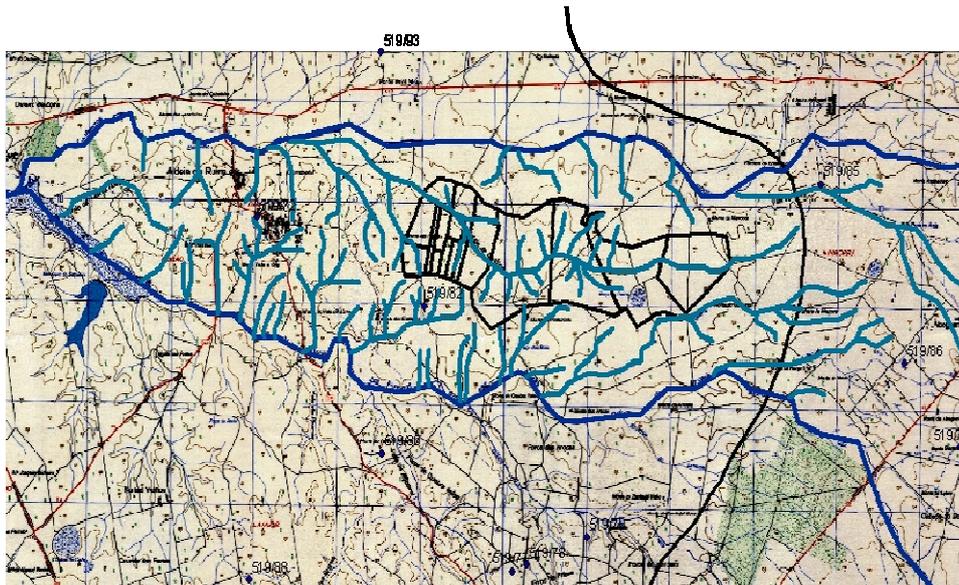


Fig. 77 - Linhas de drenagem

As Fig. 78 e Fig. 79 ilustram a altimetria da área de estudo, esta última com um exagero vertical de 20 vezes. É possível identificar, através das figuras, que o perímetro de rega se localiza num vale.

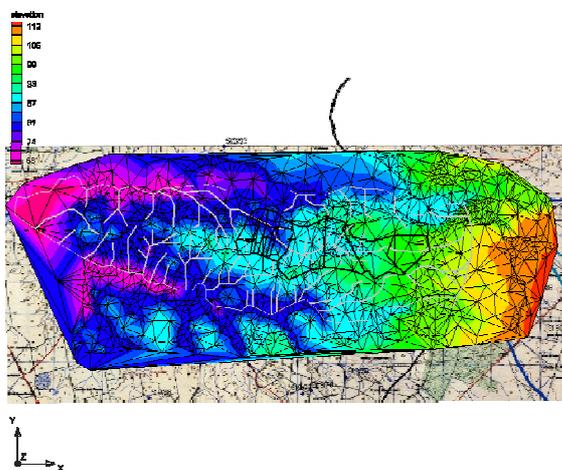


Fig. 78 - Altimetria da área de estudo

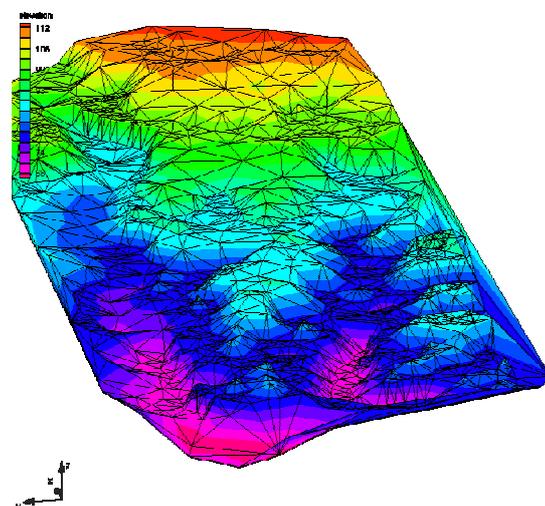


Fig. 79 - Altimetria da área de estudo. Vista oblíqua com exagero vertical de 20 vezes

A ocupação do solo considerada no modelo corresponde à situação real existente no local de estudo no ano de 2007. A nível das culturas praticadas, esta situação de base corresponde ao milho na parcela 9094, olival na parcela 9096, melão nas parcelas 9112 e 9116, tomate nas parcelas 9111 e 9133, meloa na parcela 9115 e beterraba na parcela 9134. As restantes parcelas, de área inferior, estavam cultivadas com olival ou em pousio. Para fins de modelação,

considerou-se que todas as culturas que continham olival ou estavam em pousio ou estavam cultivadas com olival (uma cultura que não exige muita quantidade de água). A Fig. 3 localiza as diferentes parcelas na área de estudo.

8.1.3 Resultados obtidos

O modelo numérico do escoamento subterrâneo desenvolvido no âmbito do presente estudo permitiu identificar, como ilustra a Fig. 80, que o escoamento subterrâneo principal se faz no sentido das ribeiras (sudeste para noroeste). Os pontos de controlo mostram que o modelo se encontra bem calibrado.

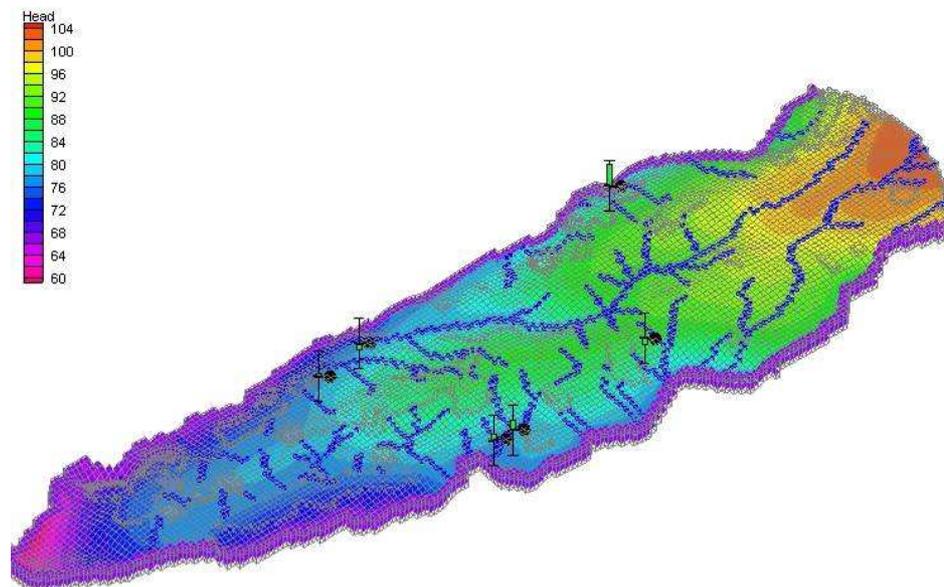


Fig. 80 - Níveis piezométricos da área de estudo regional

A Fig. 81 mostra, em detalhe, a piezometria modelada para a área de estudo, sendo possível verificar que o seu valor varia, sensivelmente, entre os 80 e os 100 m.

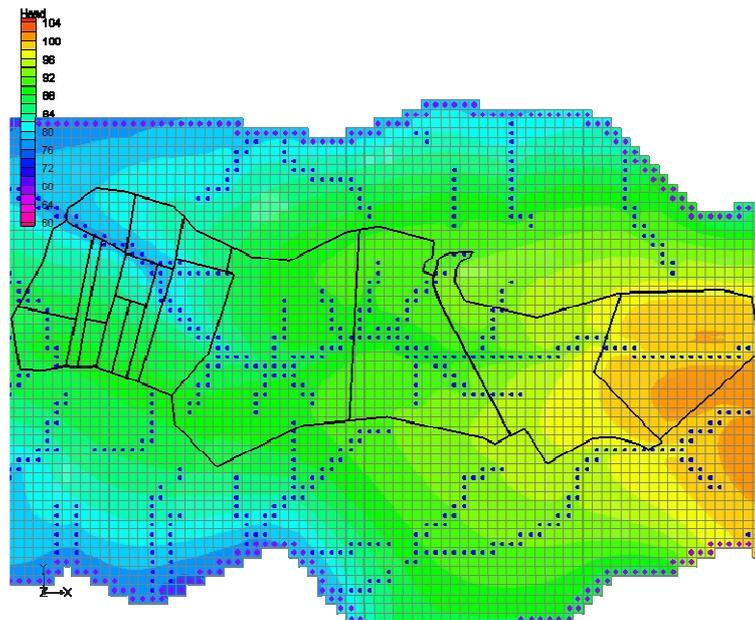


Fig. 81 - Pormenor da piezometria na área de estudo

As figuras seguintes mostram os mapas obtidos para a direcção do fluxo das águas subterrâneas, para toda a zona modelada (Fig. 82) e em pormenor, na zona de estudo (Fig. 83). Nesta última imagem, é possível identificar um sentido de fluxo principal, em direcção ao canal de drenagem que atravessa a área. Existem também outros fluxos mais locais, mas com menor significado, resultado da topografia do terreno e das linhas de drenagem.

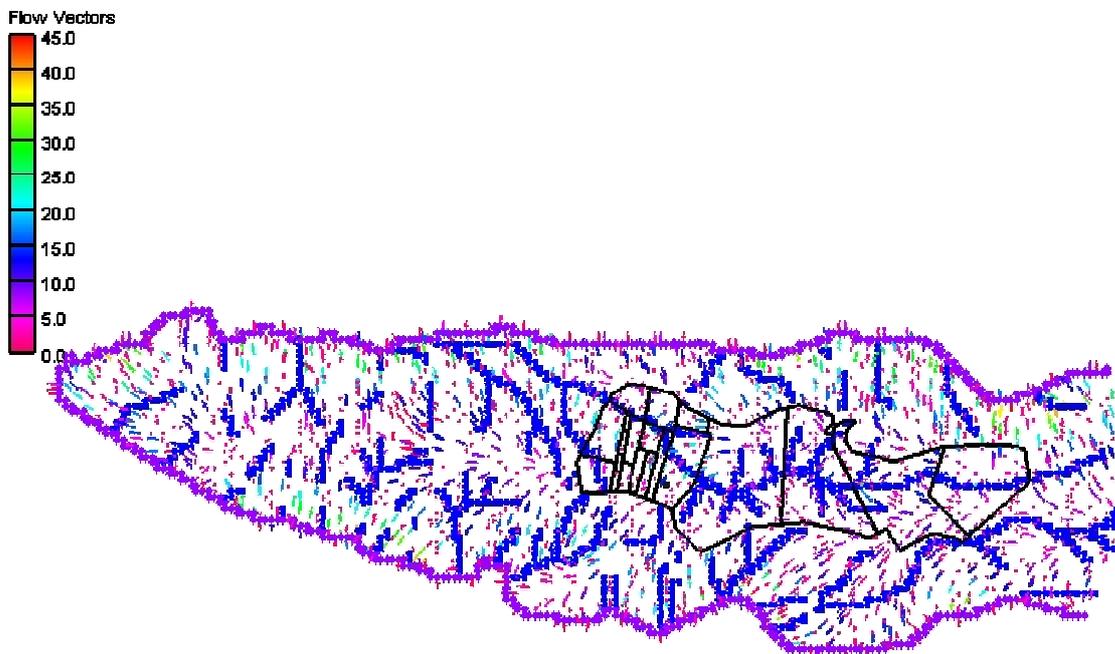


Fig. 82 - Direcção e intensidade do fluxo regional das águas subterrâneas

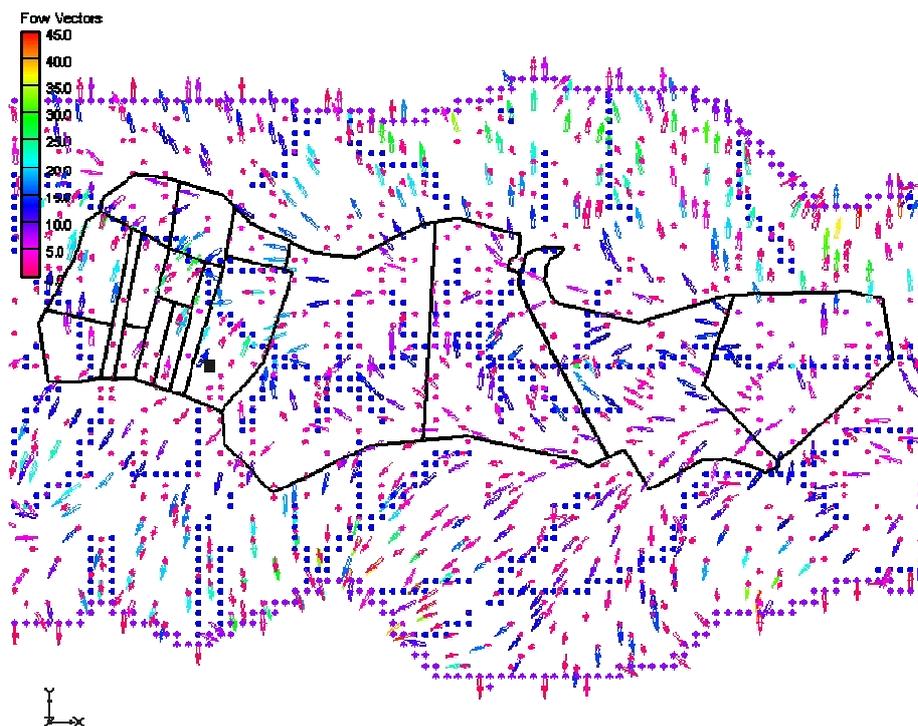


Fig. 83 - Direccção e intensidade do fluxo das águas subterrâneas na área de estudo

Utilizando o software MODPATH (<http://www.modflow.com/modpath/modpath.html>), que permite visualizar o movimento das partículas obteve-se a Fig. 84. As conclusões acima referidas, sobre o fluxo da água subterrânea nas parcelas, são reafirmadas pela análise desta figura.

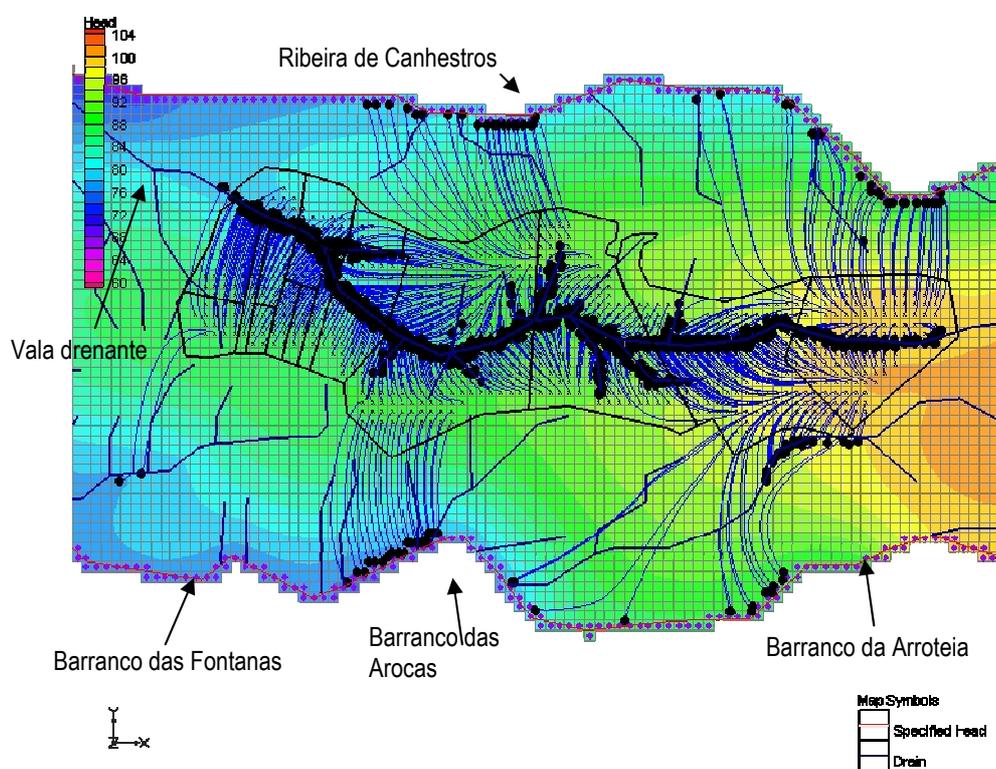


Fig. 84 - Movimento das partículas de águas subterrâneas

8.2 Modelação do transporte de poluentes

8.2.1 Considerações iniciais

A modelação da qualidade da água foi desenvolvida utilizando o modelo MT3D (<http://www.modflow.com/mt3d/mt3d.html>) que corre na interface GMS. Este modelo numérico a três dimensões permite simular o transporte de substâncias em ambientes hidrogeológicos complexos.

O processo de modelação desenvolvido no âmbito deste projecto teve por objectivo simular, para a área de estudo, os efeitos da concentração em nitratos causados por diferentes culturas e cenários de fertilização na migração dos poluentes de origem agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios (solos, zona vadosa e águas subterrâneas).

A modelação do transporte de poluentes desenvolvida simulou o início do ano 2007 e começou por representar os cenários reais desse ano, em termos das culturas existentes. Para tal, assumiu-se uma série de condições iniciais que se descrevem resumidamente. O Quadro 64 mostra a situação base correspondente ao ano de 2007. A itálico encontra-se assinalado um conjunto de pequenas parcelas que, para efeitos de modelação, foram agregadas, considerando-se assim que formam uma grande parcela (válido apenas para os cenários 5 onde se simulam novas ocupações dos solos; nos outros casos são utilizadas as ocupações parcelares referidas no Quadro 64).

Quadro 64 - Situação base, correspondente ao ano de 2007

Parcelas	Cultura
9094	Par1 Milho
9096	Par2 Olival
9112	Par3 Melão
9111	Par4 Tomate
9115	Par5 <i>Meloa</i>
9116	Par6 <i>Melão</i>
9133	Par7 <i>Tomate</i>
9134	Par8 <i>Beterraba</i>
Varios	Par9 <i>Olival</i>

Os valores de saída do modelo em nitrato (NO_3^-) correspondem aproximadamente aos valores medidos no campo nas campanhas de monitorização realizadas em 2007. Considerou-se a existência de um resíduo de contaminação resultante das práticas agrícolas anteriores. Este resíduo foi comprovado por medições no terreno em 2007 e por uma modelação simples, entre os anos de 2005 e 2007, tendo os seus valores sido assumidos como condições iniciais para este modelo.

Sobre a modelação da situação actual foram analisados diversos cenários de potencial ocupação do solo, para os anos 2007 a 2015, que correspondem ao cenário de base (ano de

2007) sobre o qual é alterada uma cultura de cada vez numa só parcela (cf. as alterações no Quadro 65), verificando-se os seus efeitos nas restantes parcelas. Assim, por exemplo, no cenário 1A é alterada a parcela 1 para olival (inicialmente era milho), mantendo-se as restantes com as irrigações e culturas praticadas no ano de 2007, conforme o Quadro 64. No cenário 1B a parcela 1 é alterada para melão mantendo-se as culturas das restantes parcelas, e assim sucessivamente.

Quadro 65 - Culturas consideradas para cada cenário durante o período simulado

Cenários	A	B	C	D	E	F
1	Par1 - Olival	Par1 - Melão	Par1 - Tomate	Par1 - Meloa	Par1 - Beterraba	
	Restantes parcelas iguais ao Quadro 64					
2	Par2 - Milho	Par2 - Melão	Par2 - Tomate	Par2 - Meloa	Par2 - Beterraba	
	Restantes parcelas iguais ao Quadro 64					
3	Par3 - Milho	Par3 - Olival	Par3 - Tomate	Par3 - Meloa	Par3 - Beterraba	
	Restantes parcelas iguais ao Quadro 64					
4	Par4 - Milho	Par4 - Olival	Par4 - Melão	Par4 - Meloa	Par4 - Beterraba	Par5 - Tomate
	Restantes parcelas iguais ao Quadro 64					
5	Par5 - Milho	Par5 - Olival	Par5 - Melão	Par5 - Meloa	Par5 - Beterraba	
	Restantes parcelas iguais ao Quadro 64					

Os valores de NO_3^- foram medidos para cada parcela nos pontos ilustrados na Fig. 85, no final de cada ano, ou seja, o fim do ano 2007 corresponde a um ano com determinada cultura, o fim do ano 2008 a dois anos com determinada cultura, e assim sucessivamente.

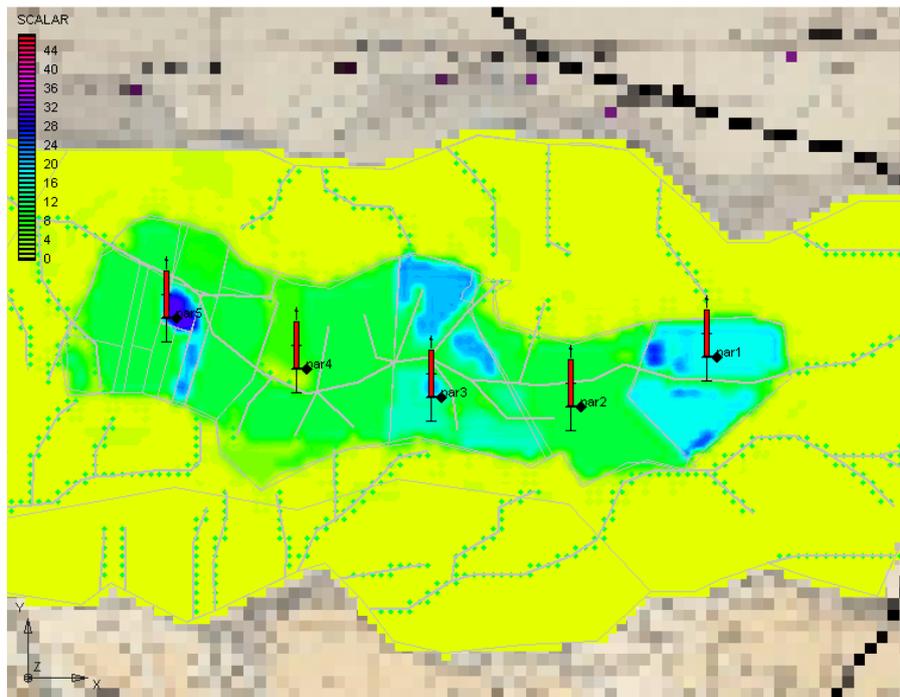


Fig. 85 - Localização dos pontos de medição em cada parcela

8.2.2 Condições do modelo – qualidade

A qualidade da água subterrânea foi modelada utilizando o parâmetro nitrato. Considerou-se que este parâmetro é conservativo, ou seja, não reage ou altera a sua concentração devido a processos físico-químicos ou biológicos dadas as condições de concentração em oxigénio e matéria orgânica.

Considerou-se uma concentração inicial nas parcelas de 10 mg/l de nitrato e igual a 0 fora das mesmas (*cf.* Explicação da secção anterior). O Quadro 66 contém informação referente às práticas agrícolas desenvolvidas na área de estudo. Os valores do volume de água (m³/ha) para rega foram obtidos através do cálculo da média registada para cada cultura nos anos 2005/06 e 2007. Estes valores, assim como a quantidade de azoto aplicado às culturas por ano foram obtidos em COTR (2005) e COTR (2006).

O nitrato removido pela planta corresponde à quantidade mínima deste nutriente que é consumida pela cultura, ou seja, que é removida do solo. Estes valores foram obtidos por Soveral Dias (1994). A quantidade de nutriente em excesso que fica no solo (coluna “azoto a poluir” no Quadro 66) resulta da diferença entre a quantidade de azoto que é aplicada da que é removida pela cultura.

Realça-se, porém, que a entrada de azoto não é constante ao longo do ano, ou seja, existem períodos específicos em que este nutriente é aplicado às culturas. Para o milho, beterraba e tomate a fertilização é feita entre Maio e Julho. No caso do olival, o período é entre Abril e Outubro, e para o melão e meloa entre Junho e Setembro.

A coluna “volume a diluir (por aplicação)” (cf. Quadro 66) contém a quantidade de água que se infiltra no solo, ou seja, representa a recarga artificial resultante da irrigação das parcelas. Este valor corresponde a cerca de 20% a 35% da precipitação (cf. Secção 6.3). Neste caso, considerou-se que 20% da dotação de rega ia para a recarga.

Por fim, a concentração de entrada no modelo (última coluna do Quadro 66) foi obtida pela diluição da massa por hectare (kg/ha) que fica após o consumo da planta pelo volume (m³/ha), o que corresponde a 20% da rega (admitiu-se que o azoto só entra no meio devido à influência da rega).

Quadro 66 - Volume de rega e quantidade de azoto aplicado na área de estudo

Cultura	Volume água (m ³ /ha)	Azoto aplicado (kg/ha) / ano	Azoto removido min (kg/ha)	Azoto a poluir (kg/ha)	Volume a diluir (por aplicação) (m ³ /ha)	N (mg/l)
Beterraba	7100	189	132	57	1420,00	40,14
Melão	2875	120	49	71	575,00	123,48
Meloa	1600	120	49	71	320,00	221,88
Milho	6800	360	83	277	1360,00	203,68
Olival	900	30	26	4	180,00	22,22
Tomate	6500	150	63	87	1300,00	66,92

O Anexo 4 apresenta as parcelas modeladas e os valores da concentração de nitrato (em mg/l) de saída para os vários anos, para os pontos marcados na Fig. 85. O conjunto de figuras apresentado no Anexo 5 ilustra os diferentes cenários obtidos para 31 de Dezembro de 2015.

8.2.3 Resultados obtidos

A corrida do modelo deu origem a diferentes cenários (cinco por cada parcela, excepto na parcela 5 onde se obtiveram seis cenários) que se analisam brevemente de seguida, recorrendo não só às imagens apresentadas no Anexo 5 como também ao Quadro 67, que contém a diferença de valores da concentração de nitrato no final do ano de 2015 relativamente ao cenário base. Neste caso, os valores positivos representam um acréscimo na concentração deste parâmetro em comparação com os níveis registados pelo cenário de base; por oposição, os valores negativos correspondem a uma diminuição do valor da concentração, correspondendo assim a situações mais favoráveis.

Quadro 67 - Diferença de valores de nitrato no final do ano de 2015 em relação ao cenário base

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	Diferenças de valores para o cenário de base				
1A	-22,035	0	0	0	0
1B	-3,7	0	0	0	0
1C	-21,948	0	0	0	0
1D	17,691	0	0	0	0
1E	-26,246	0	0	0	0
2A	0	22,048	0	0	0
2B	0	18,358	0	0	0
2C	0	0,087	0	0	0
2D	0	39,782	0	0	0
2E	0	-4,214	0	0	0
3A	0	0	3,68	0	0
3B	0	0	-18,371	0	0
3C	0	0	-18,286	0	0
3D	0	0	21,455	0	0
3E	0	0	-22,553	0	0
4A	0	0	0	22,118	0
4B	0	0	0	-0,004	0
4C	0	0	0	19,238	0
4D	0	0	0	42,922	0
4E	0	0	0	-4,373	0
5A	0	0	0	0	11,178
5B	0	0	0	0	-11,527
5C	0	0	0	0	8,415
5D	0	0	0	0	33,06
5E	0	0	0	0	-15,993
5F	0	0	0	0	-11,544

Dentro do conjunto de cenários 1 é possível verificar que é no caso 1D, que corresponde ao cultivo de meloa nesta parcela, que se verificam os piores resultados, com um acréscimo médio de cerca de 18 mg/l de nitrato face à situação de referência (Milho na parcela 1). O cenário 1E, por outro lado, é o que apresenta melhores resultados neste conjunto, uma vez que representa a maior descida a nível da concentração de nitrato, face à situação de base. A cultura utilizada neste caso é a beterraba.

No que respeita ao conjunto de cenários 2, três apresentam um aumento de concentração face à situação base: 2A (milho), 2B (melão) e 2D (melo), registando este último o valor mais elevado. À semelhança do caso anterior, também aqui o cenário 2E (cultivo de beterraba na parcela 2) apresenta uma melhoria do valor da concentração de nitrato.

Quanto ao conjunto de cenários 3 e 4, verifica-se que segue a tendência dos casos anteriores, ou seja, o pior cenário ocorre com o cultivo da meloa (D) e o melhor com o cultivo da beterraba (E). Relativamente ao cenário 4B, que corresponde ao cultivo da parcela 4 com olival, não se verifica nenhuma alteração significativa face à situação base.

Por último, no conjunto de cenários 5, verifica-se que os casos 5B e 5F, que representam parcelas cultivadas com olival e tomate respectivamente, apresentam uma melhoria do valor da concentração de nitrato face ao cenário base. O pior cenário é o 5D, com a parcela cultivada com meloa. De notar que, neste tipo de cenários, a parcela 5 corresponde a um conjunto de parcelas agregadas.

Semelhantes análises poderiam ser desenvolvidas para os resultados de concentração no final dos outros anos (2007 a 2014) modelados.

9 Optimização da ocupação do solo na região

9.1 Introdução

A optimização da melhor ocupação do solo para a região estudada é um dos aspectos fulcrais deste estudo, a cargo da equipa da Universidade de Coimbra. Pretendeu-se construir um instrumento de decisão que permita maximizar os benefícios do uso agrícola do solo, considerando os diferentes tipos de solos presentes na área, as práticas de fertilização de cada cultura e a vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Este trabalho começou por ser uma análise do estado da arte sobre modelos de apoio à decisão para a selecção dos tipos de culturas economicamente mais adequados a condições vegetativas específicas, para a afectação de solos por tipo de cultura, para a afectação de água por tipo de cultura, para o escalonamento de regas e para a gestão de défices tendo em consideração a resposta das culturas nos diferentes períodos vegetativos. A este propósito analisaram-se diferentes tipos de funções de produção e a respectiva inclusão em modelos de apoio à decisão.

O desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão para a definição das melhores práticas agrícolas teve como base o esquema proposto na Fig. 86.

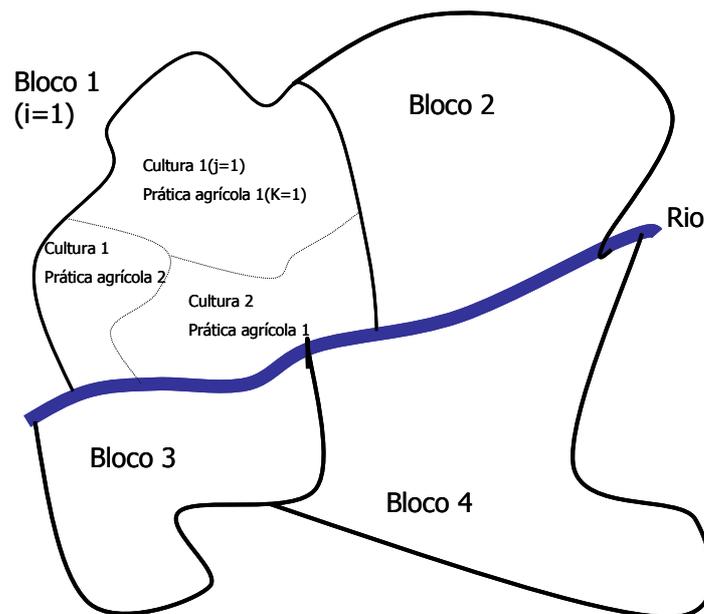


Fig. 86 - Esquema base do modelo de apoio à decisão

O modelo é composto por uma função objectivo para a maximização dos benefícios líquidos da actividade agrícola e por restrições que impõem limitações a essa actividade, tendo em linha de conta diferentes tipos de solos, diferentes práticas agrícolas, disponibilidades hídricas e consequências ambientais sobre os sistemas subterrâneos e ou superficiais que possam vir a ser afectados.

9.2 Modelos de decisão para a definição da melhor utilização do solo agrícola

Os modelos de decisão desenvolvidos permitem, de uma forma coerente e sistemática, usar a informação resultante da aplicação das metodologias anteriormente apresentadas. Têm em consideração os procedimentos e a informação produzida pelos modelos de simulação referidos, aplicados ao perímetro agrícola em estudo. Foram realizadas simulações que permitiram obter o comportamento do perímetro agrícola, ao longo do período de 2007/2015, em termos de utilização de azoto/captação pelo solo/valor de final NO_3^- em consequência de possíveis cenários de alternância de culturas adoptadas em cada parcela. Foram construídos dois modelos de decisão: um primeiro modelo aplicável ao caso em que se iria tomar a decisão tendo apenas em consideração os indicadores de qualidade no último período de cultivo (o ano de 2015); um segundo modelo aplicável ao caso em que as decisões quanto ao desenvolvimento das culturas em cada parcela irão variar período a período. O indicador de qualidade escolhido para o processo de decisão diz respeito à quantidade de NO_3^- residual na água, ao longo e no final do período de exploração.

MODELO DE DECISÃO 1

O primeiro modelo de decisão, cuja formulação se apresenta de seguida, vai permitir definir de entre as culturas simuladas qual a que melhor se adapta a cada uma das parcelas do perímetro agrícola. A função objectivo do modelo é dada pela expressão seguinte:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j a_{ij} y_{ij}$$

em que a_{ij} representa a resposta em termos de NO_3^- da parcela i ao desenvolvimento da cultura j e y_{ij} é uma variável binária que toma o valor um se a cultura j for desenvolvida na parcela i e o valor zero em caso contrário.

Este objectivo está sujeito a um conjunto de restrições.

O primeiro conjunto representa o princípio de que em cada parcela só pode ser desenvolvida uma cultura:

$$\sum_i y_{ij} = 1, \forall j$$

O segundo conjunto traduz o princípio de que todas as culturas disponíveis (milho, olival, melão, tomate e meloa) devem ser desenvolvidas:

$$\sum_j y_{ij} = 1, \forall i$$

A restrição seguinte traduz o limite, em termos médios, que pode ser imposto ao cultivo em consequência do processo de fertilização:

$$\frac{\sum_i \sum_j a_{ij} y_{ij}}{NP} \leq \text{NO}_3 \text{med}_{\max}$$

em que $\text{NO}_3 \text{med}_{\max}$ é o limite médio máximo de NO_3^- admissível no perímetro agrícola.

As variáveis y_{ij} só podem tomar o valor zero ou um.

$$y_{ij} \in \{0, 1\}$$

A aplicação deste modelo ao perímetro agrícola em estudo indica a seguinte distribuição de culturas para minimizar o valor residual de NO_3^- .

Parcela	Cultura
P1	Milho
P2	Olival
P3	Melão
P4	Tomate
P5	Meloa

MODELO DE DECISÃO 2

A utilização do segundo modelo de decisão, cuja formulação se apresenta de seguida, vai permitir definir de entre as culturas simuladas qual a que melhor se adapta a cada uma das parcelas ao longo do período de exploração do perímetro agrícola. A função objectivo do modelo é dada pela expressão seguinte:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k a_{ijk} y_{ijk}$$

em que a_{ijk} representa a resposta em termos de NO_3^- da parcela i ao desenvolvimento da cultura j no período k e y_{ijk} é uma variável binária que toma o valor um se a cultura j for desenvolvida na parcela i no período k e o valor zero em caso contrário.

Este objectivo está sujeito a um conjunto de restrições.

O primeiro conjunto representa o princípio de que em cada parcela i só pode ser desenvolvida uma cultura j em cada período k :

$$\sum_i y_{ijk} = 1, \forall j, k$$

O segundo conjunto traduz o princípio de que todas as culturas disponíveis (milho, olival, melão, tomate e meloa) devem ser desenvolvidas (cada uma utilizando a sua parcela) em qualquer período k .

$$\sum_j y_{ijk} = 1, \forall i, k$$

A restrição seguinte traduz o limite, em termos médios que pode ser imposto ao cultivo em consequência do processo de fertilização:

$$\frac{\sum_i \sum_j \sum_k a_{ijk} y_{ijk}}{NP * NT} \leq NO3med_{max}$$

em que NP é o número de parcelas e NT é número de períodos de cultivo.

Adicionalmente, neste modelo pode ser considerada uma restrição quanto ao limite que pode ser imposto ao cultivo, em consequência do processo de fertilização, considerando cada parcela individualmente, em cada período de cultivo:

$$\frac{\sum_j \sum_k a_{ijk} y_{ijk}}{NT} \leq NO3medpar_{max}, \forall i$$

em que $NO3medpar_{max}$ representa o limite médio máximo de NO_3^- por parcela, que pode ser imposto em consequência do processo de fertilização;

e ainda uma restrição relativa ao valor médio para o perímetro agrícola em cada período de cultivo:

$$\frac{\sum_i \sum_j a_{ijk} y_{ijk}}{NT} \leq NO3medannual_{max}, \forall k$$

em que $NO3medannual_{max}$ representa o limite médio máximo de NO_3^- em cada período no perímetro agrícola, que pode ser imposto em consequência do processo de fertilização.

As variáveis y_{ijk} só podem tomar o valor zero ou um.

$$y_{ijk} \in \{0,1\}$$

A resolução deste modelo, considerando valores iguais para os limites $NO3med_{Max}$, $NO3medpar_{max}$ e $NO3medanual_{Max}$ permite determinar a distribuição óptima das culturas por parcela ao longo dos períodos de cultivo constante do quadro seguinte:

Parcelas	Culturas								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
P1	Meloa	Melão	Milho	Meloa	Meloa	Meloa	Melão	Olival	Olival
P2	Melão	Milho	Melão	Melão	Milho	Olival	Meloa	Meloa	Tomate
P3	Milho	Meloa	Meloa	Milho	Melão	Melão	Olival	Melão	Meloa
P4	Tomate	Tomate	Tomate	Olival	Olival	Milho	Milho	Milho	Melão
P5	Olival	Olival	Olival	Tomate	Tomate	Tomate	Tomate	Tomate	Milho

Uma análise detalhada do problema, permite concluir que o valor do limite de $NO3medpar_{max}$ é o mais restritivo. Se for usado um limite 35% superior aos restantes será possível obter um valor global para a função objectivo melhor do que o anteriormente conseguido, sendo a correspondente distribuição das culturas, por parcela e por período, a constante do quadro seguinte:

Parcelas	Culturas								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
P1	Meloa	Melão	Milho	Meloa	Meloa	Meloa	Meloa	Meloa	Meloa
P2	Milho	Milho	Melão	Milho	Milho	Milho	Melão	Melão	Melão
P3	Melão	Meloa	Meloa	Melão	Melão	Melão	Milho	Milho	Milho
P4	Tomate	Tomate	Tomate	Olival	Olival	Olival	Olival	Olival	Olival
P5	Olival	Olival	Olival	Tomate	Tomate	Tomate	Tomate	Tomate	Tomate

10 Considerações finais

Este Relatório Final apresenta os resultados alcançados no projecto "Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa", que decorreu entre Maio de 2005 e Junho de 2009, no âmbito do programa POCI/AGR/57719/2004, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), e pelo Projecto de investigação Programada do LNEC para o quadriénio 2005/08 "P4/E15 - Protecção dos recursos hídricos subterrâneos da poluição difusa proveniente da actividade agrícola".

O objecto deste projecto enquadra-se nos propósitos mais vastos da Directiva-Quadro da Água (DQA) e da Directiva das Águas Subterrâneas, de alcançar o Bom estado das águas

subterrâneas (definido na DQA) até 2015, através de um conjunto de actuações destinadas à protecção das massas de água e à redução gradual da poluição em massas de água já poluídas. Estes objectivos só serão alcançados através de medidas de gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica, onde as opções de uso e ocupação do solo, neste caso ocupação agrícola, tenham em consideração se a qualidade das águas geradas a jusante por esses usos são compatíveis com as imposições de qualidade pretendidas.

Para dar cumprimento aos objectivos propostos neste projecto, concentraram-se esforços no sentido de obter a informação necessária e para integrar o conhecimento dos diferentes processos que interferem na migração dos poluentes de origem agrícola (fertilização de solos), para diferentes meios (solos e águas), por forma a "Estimular a utilização futura de culturas associadas a práticas agrícolas mais sustentáveis que possam contribuir para diminuir o risco de degradação da qualidade das águas subterrâneas protegendo-as atendendo, entre outros aspectos, à sua vulnerabilidade".

O estudo baseou-se num trabalho experimental desenvolvido em três parcelas regadas, uma no Monte da Mancoca e as outras duas no Monte do Pinheirinho, numa pequena bacia hidrográfica em Ferreira do Alentejo, onde se analisaram, para os anos de 2006 e 2007, os efeitos de diferentes práticas agrícolas nos processos que interferem na migração dos poluentes de origem agrícola para diferentes meios (solos, zona vadosa e águas subterrâneas), com ensaios onde se analisaram três culturas (milho, girassol, melão) em dois solos com características diferentes.

A monitorização dos diferentes meios atravessados pela água de rega - água de escorrência, zona vadosa e águas subterrâneas – foi efectuada semanalmente durante o ciclo cultural e a diferentes profundidades, de forma a acompanhar a sua evolução no espaço e no tempo. Essa análise foi complementada com análises das características físico-químicas dos solos. Além da observação da evolução da qualidade dos solos e das águas no interior das parcelas foram, ainda, analisadas as águas da zona envolvente às parcelas, em poços, em cinco novos piezómetros instalados em 2007, bem como nas águas do canal de rega e das valas de drenagem localizadas a jusante das parcelas regadas. Os dados obtidos permitiram verificar de forma clara a influência das práticas agrícolas na qualidade das águas e solos a jusante, bem como a diferença entre práticas culturais.

Paralelamente ao trabalho de ensaios de campo foi feita uma análise da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do local em função das suas características intrínsecas, de forma a estudar áreas da bacia com diferentes vulnerabilidades. Utilizou-se para esse fim a metodologia DRASTIC de cálculo da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição tendo sido concluído que a área em estudo apresenta áreas com vulnerabilidade baixa a intermédia, para o índice normal, e vulnerabilidade essencialmente intermédia, para o índice pesticidas.

Os resultados da monitorização de dois anos foram modelados e calibrados, com base na informação em pontos de controlo, em termos do estudo do escoamento e do transporte de poluentes. Com base nos dados obtidos projectaram-se diferentes cenários dos efeitos que diferentes ocupações do solo podem ter na qualidade dos recursos hídricos de jusante, até ao ano 2015, cujos resultados são apresentados nas figuras do Anexo 5.

Por fim, foi efectuada uma análise à ocupação óptima do solo para a região estudada com recurso a modelos de apoio à decisão tendo em atenção as diferentes práticas agrícolas. Os modelos de decisão desenvolvidos permitem, de uma forma coerente e sistemática, usar a informação resultante da informação produzida pelos modelos de simulação referidos. Foram realizadas simulações que permitiram obter o comportamento do perímetro agrícola, ao longo do período de 2007/2015, em termos de utilização de azoto/captação pelo solo/valor de final NO_3^- em consequência de possíveis cenários de alternância de culturas adoptadas em cada parcela. Foram construídos dois modelos de decisão para os quais são apresentados os cenários óptimos de ocupação.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Setembro de 2009

VISTOS



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas

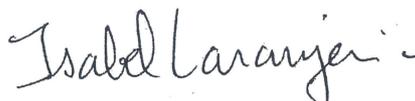


Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e Ambiente

AUTORIAS



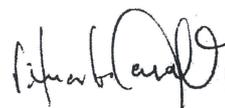
Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia
Investigadora Principal com Habilitação
Núcleo de Águas Subterrâneas



Isabel Laranjeira
Eng.^a Agrícola da Universidade de Évora
Aquisição de Serviços do Projecto FCT no
Núcleo de Águas Subterrâneas



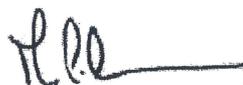
Luís Oliveira
Eng. do Ambiente e Mestre pelo IST
no Núcleo de Águas Subterrâneas



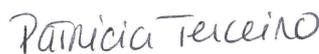
Eduardo Paraita
Geólogo, Mestre em Georrecursos
Instituto Superior Técnico



J.P. Cárcomo Lobo Ferreira
Investigador-Coordenador
Núcleo de Águas Subterrâneas



Maria da Conceição Cunha
Eng.^a Civil, Professora Associada
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra



Patrícia Terceiro
Eng.^a do Ambiente e Mestre pelo IST
no Núcleo de Águas Subterrâneas

BIBLIOGRAFIA

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. e Petty, R., 1987 – *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings*. U.S. EPA Report 600/2-85/018.

Almeida, C. e Silva, M. L., 1987 - *Incidence of agriculture on water quality at Campina de Faro (south Portugal)*. IV Simposio de Hidrogeología de la Asociación Española de Hidrología Subterránea, Palma de Mallorca, 5 a 9 de Octubre de 1987.

Ayers, R. e Westcot, D., 1985 - *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. Rome, Italy.

Böhlke, J.K., 2002 - *Groundwater recharge and agricultural contamination*. Hydrogeology Journal, Vol. 10, pp. 153-179.

COTR, 2005 - *Rede de Controlo da Qualidade da Água de Rega – RECOQUAR*. Relatório Anual. Beja, Portugal, 44 pp.

COTR, 2006 - *Rede de Controlo da Qualidade da Água de Rega – RECOQUAR*. Relatório Anual. Beja, Portugal, 42 pp.

Chia H. e Correia V., 2002 - *Conservação e mobilização do solo*. Actas das comunicações apresentadas no seminário "Conservação do Solo e da Água em Regadio" no âmbito dos projectos POCTI 34149/AGR/2000 e POCTI 34847/AGR/2000; AGRO 14 e AGRO 17 na Universidade de Évora, em Dezembro de 2002.

Colaço, A. M., 2001 - *Contribuição para a Avaliação do Estado da Rega na Zona de Infra-estrutura 12*. Relatório de Projecto, 2001.

Costa, J.B., 1973 – *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico*. Fundação Calouste Gulbenkian. 6.^a edição. Lisboa.

Costa, J.B., 1999 - *Caracterização e constituição do solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. 6.^a edição. Lisboa.

Custódio, E e Llamas, M.R., 1996 - *Hidrologia subterranea*, 2.^a edição, Tomo I e II, Ediciones Omega, Barcelona, 2350 pp.

Custodio, E. e Llamas, M.R., 1976 - *Hidrología Subterránea*. 1^a Edição, Barcelona, Ediciones Omega, S.A., 1976, 1157 pp.

Gonçalves, M.C., Martins, J.C., Castanheira, N., Santos, F.L., Neves, M.J., Reis, J., Prazeres, A., Ramos, T., Fonte, S., Pires, F., Bica, M. e Bica, J., 2005 - *Interacção da salinidade e da fertilização azotada na produtividade do milho-grão*. Comunicação apresentada ao I Congresso de Rega e Drenagem, organizado pelo Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio – COTR, Beja, 5 a 7 de Dezembro de 2005, 20 pp.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., HENRIQUES, M.J., MOINANTE, M.J. e PARALTA, E., 2006 - *Metodologias para um Melhor Planeamento e Gestão do Uso do Solo Agrícola Atendendo à Vulnerabilidade dos Aquíferos à Poluição Difusa*. Relatório de Progresso de

2005. Projecto FCT n.º POCI/AGR/57719/2004, Janeiro de 2006, 19 pp.

Leitão, T.E., Laranjeira, I., Henriques, M.J. e Paralta, E., 2007 - Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa. 2.º Relatório 75/07 - NAS, LNEC, 65 pp.

Lobo Ferreira, J.P.C. e Cabral, M. C., 1991 - Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources. Comunicação. Bruxelas, Instituto Europeu da Água.

Oliveira, M.M., 2006 - *Métodos de Avaliação da Recarga de Águas Subterrâneas*. In Tecnologia da Água, Volume 46 - Edição II, Novembro/Dezembro, pp. 14 a 22.

Paralta, E.; Francés, A. e Ribeiro, L., 2006 - *Modelação da Recarga do Aquífero Livre Miocénico da Bacia de Alvalade e Implicações ao Nível da Contaminação Agrícola (um caso de estudo na Infra-estrutura 12 – Bloco de Rega de Canhestros/Ferreira do Alentejo)*. Actas/CD 5.º Congresso Ibérico – Gestão e Planeamento da Água. Faro, 4 - 8 de Dezembro de 2006, 12 pp.

Paralta, E.; Francés, A. e Ribeiro, L., 2008 - *Modelação da Recarga do Aquífero Livre Miocénico da Bacia de Alvalade e do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja*. Actas/CD 9.º Congresso da Água. Estoril, 2 - 4 de Abril de 2008, 15 pp.

Richards, L.A., 1954 - *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook 60. Washington, USA, 160p.

Soveral Dias, J.C., 1994 - *Código de Boas Práticas Agrícolas*. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, 55 pp.

Toureiro C.M., 2003 - *Uma estratégia para Apoiar a Implementação de um Sistema de Avisos de Rega aos Agricultores*. Actas das comunicações apresentadas no Seminário "Conservação do solo e da água em regadio: investigação, experimentação e divulgação" no auditório do Instituto Politécnico de Beja.

Van der Lee e Gehrels, J. C., 1990 - *Modelling Aquifer Recharge. Introduction to the Lumped Parameter Model EARTH*. Hydrological Report, Free University of Amsterdam. The Netherlands, 1990, 30 pp.

ANEXOS

ANEXO I - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DO SOLO DO MONTE DA MANCOCA

Perfil 106 (Dep. Ciência do Solo - Estação Agronómica Nacional)

Local: Monte da Mancoca, Ferreira do Alentejo

Data de Observação: 27/09/2006

Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Calcários Para-Hidromórfico – Pagc (Cardoso, 1974)

Luvissolo Gleizado (FAO, 2001)

Utilização do Solo: Restolho da cultura de milho-grão

- Ap1 0 - 20 cm** Húmido; pardo 10YR 4/3 (s) e pardo escuro 10YR 3/3 (h); franco-argilo-arenoso; muito saibro, cascalho, pedra miúda e pedra de quartzo e calcário; compactidade média; firme a muito firme; anisóforme grosseira e média moderada; algumas fendas verticais; alguns poros finos e muito finos; muitas raízes médias, finas e muito finas; reacção ligeira ao HCl a 10%.
Transição plana nítida para
- B 20 – 35/40 cm** Pouco húmido; pardo 10YR 4/3 (s) e pardo escuro 10YR 3/3 (h), com manchado cinzento e pardo avermelhado; franco-argiloso; muito saibro, cascalho, pedra miúda e pedra de quartzo e calcário; compactidade muito grande; muito firme; prismática grosseira fraca; raros poros muito finos; poucas raízes finas e muito finas; reacção ligeira ao HCl a 10%.
Transição ondulada nítida para
- Cg 35/40 - 100 cm (f.c.)** Pouco húmido; cinzento 10YR 5/1 (s) e (h), com bolsas de calcário esbranquiçado e alaranjado, pulverulento; argiloso; compactidade grande; maciço; raras raízes finas e muito finas; horizonte gley; reacção muito viva ao HCl a 10%.



Características físicas e químicas das amostras de terra crivadas correspondentes ao Perfil 106

Local	P 106		
Prof. (cm)	0-20	20-44	44-90
Amostra nº	53418	53419	53420
Elementos grosseiros (%)	7.89	5.82	8.33
Textura	Fr-A-Ar	Fr-argilosa	Argilosa
Areia Grossa (%)	43.62	31.97	15.89
Areia Fina (%)	20.64	19.71	18.20
Limo (%)	7.72	11.70	19.38
Argila (%)	28.02	36.62	46.53
pH (H ₂ O)	7.99	8.08	9.08
CE (dS m ⁻¹)	1.27	1.04	0.68
SAR (mmol (c) L ⁻¹) ^{0.5}	1.75	0.79	2.92
Cl (mmol (c) L ⁻¹)	8.96	7.48	5.96

Características hidrodinâmicas e físicas das amostras no estado natural dos Perfis P 106

Perfil	P106	
	0-20	20-44
prof. (cm)		
massa volúmica aparente (Mg m ⁻³)	1.63	1.71
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)	0.4020	0.4010
0,25 kPa (pF 0,4)	0.3914	0.3916
1 kPa (pF 1,0)	0.3772	0.3798
teor de 3 kPa (pF 1,5)	0.3490	0.3533
água 6 kPa (pF 1,8)	0.3363	0.3413
(cm ³ cm ⁻³) 10 kPa (pF 2,0)	0.3238	0.3324
à sucção 20 kPa (pF 2,3)	0.3130	0.3227
30 kPa (pF 2,5)	0.3048	0.3146
100 kPa (pF 3,0)	0.2800	0.2993
1500 kPa (pF 4,2)	0.2119	0.2394
K _{sat} (cm d ⁻¹)	112.7	31.2

ANEXO 2 - CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA DO SOLO DO MONTE DO PINHEIRINHO

Perfil P126 (Dep. Ciência do Solo - Estação Agronómica Nacional)

Local: Monte do Pinheirinho, Ferreira do Alentejo

Data de Observação: 30/03/2007

Barro Preto Calcário Muito Descarboxinado – Bpc (Cardoso, 1974)

Calcic Vertisol (Eutric, Pellic) – (FAO, 2006)

Utilização do Solo: restolho de milho

- | | | |
|-----------|--------------------------------|---|
| A | 0 – 40/43 cm | Pouco húmido; pardo acinzentado escuro 10YR 4/2 (s), (h); franco-argilo-arenosa; algum saibro e cascalho de quartzo; compactidade grande; muito firme, extremamente rijo, quando seco; prismática grosseira e média, moderada; pouco poroso, poros muito finos; algumas raízes finas e muito finas; reacção nula ao HCl (10%).
Transição plana nítida para |
| B | 40/43 - 88 cm | Pouco húmido; cinzento muito escuro 10YR (s), (h); franco-argilosa; pouco saibro e cascalho de quartzo; compactidade média; extremamente rijo; firme; prismática grosseira e média, moderada; pouco poroso, poros muito finos; raras raízes muito finas; com películas de argila; reacção nula ao HCl (10%).
Transição plana nítida para |
| C1 | 88 - 112 cm | Pouco húmido; material originário de matriz cinzenta clara; franco-argilo-limosa; pouco saibro de quartzo, de calcário e de concreções de Mn; compactidade pequena; firme; prismática grosseira, fraca; pouco poroso, poros muito finos; sem raízes; reacção muito viva ao HCl (10%).
Transição plana gradual para |
| C2 | 112 – 145 cm
(f.c.) | Pouco húmido; material originário de matriz cinzenta clara com manchado cinzento e branco de calcário e amarelado de Fe; franco-limosa; muito cascalho de quartzo, de calcário e de concreções de Mn e pedra miúda de calcário; compactidade pequena; friável; prismática média, moderada, decompondo-se em anisoforme média e fina; sem raízes; reacção muito viva ao HCl (10%); |



Perfil P127 (Dep. Ciência do Solo - Estação Agronómica Nacional)

Local: Monte do Pinheirinho, Ferreira do Alentejo

Data de Observação: 30/03/2007

Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Calcários Para-Hidromórfico – Pagc (Cardoso, 1974)

Calcic Gleyic Luvisol (Manganiferric, Abruptic) – (FAO, 2006)

Utilização do Solo: restolho de milho

- | | | |
|-----------|-------------------------|--|
| A | 0 – 42
cm | Pouco fresco; pardo pálido 10YR 6/3 (s) e pardo 10YR 5/3 (h); manchado escuro de Fe e Mn, nos últimos 12 cm da camada que apresenta mais elementos grosseiros mas também um maior teor de argila; areno-franca a franco-arenosa na parte inferior da camada; algum saibro, cascalho e pedra miúda de quartzo; compactidade pequena; muito friável, sem estrutura; muito poroso, poros finos e muito finos; bastantes raízes finas e muito finas nos primeiros 10 cm e raras raízes no resto da camada; reacção nula ao HCl (10%).
Transição plana nítida para |
| Bg | 42 - 100
cm | Pouco fresco; cinzento pardacento claro 2,5YR 6/2 (s) e (h), com manchado pardo forte (Fe) e pontos negros de concreções de Mn e de Fe (da dimensão de saibro); franco-argilosa; algum saibro e cascalho de quartzo; compactidade grande; muito firme; prismática muito grosseira a maciça; raros poros muito finos; sem raízes; reacção nula ao HCl (10%).
Transição plana nítida para |
| C | 100 -
155 cm | Pouco fresco; material originário de cor cinzenta clara com bastante manchado pardo forte (Fe) e esbranquiçado (calcário); franco-argiloso-limosa; bastante saibro, cascalho e pedra miúda de calcário e bastantes concreções de Mn; compactidade média; friável; prismática grosseira, moderada, e na parte inferior da camada anisoforme subangulosa fina e média; sem raízes; reacção muito viva ao HCl (10%).
Transição plana gradual para |



Características físicas e químicas das amostras de terra crivadas (Perfil P126)

Local	P126			
Prof. (cm)	0-40/43	40/43-88	88-112	112-145
Amostra nº	53773	53774	53775	53776
Elementos grosseiros (%)	0.2	0.1	0.0	0.0
Areia grossa (%)	44.1	24.6	0.0	3.7
Areia fina (%)	23.8	18.8	32.3	22.7
Limo (%)	12.0	17.7	27.9	30.5
Argila (%)	20.1	38.9	39.8	43.1
Textura	Fr. Arg. Aren.	Fr. Argilosa	Fr. Arg. Lim. *	Fr. Limosa *
pH (H ₂ O)	7.19	7.50	8.57	8.83
C orgânico (g kg ⁻¹)	9.81	6.99	2.42	1.31
M.O. (g kg ⁻¹)	16.91	12.05	4.17	2.26
N total (g kg ⁻¹)	0.406	0.273	0.140	0.070
P ₂ O ₅ assimilável (mg kg ⁻¹)	97	n.d.	6	6
K ₂ O assimilável (mg kg ⁻¹)	44	42	30	28
CaCO ₃ (%)	0.0	0.0	33.9	37.1

Características físicas e químicas das amostras de terra crivadas (Perfil P127)

Local	P 127			
Prof. (cm)	0-30	30-42	42-100	100-155
Amostra nº	53777	53778	53779	53780
Elementos grosseiros (%)	0.1	5.5	5.5	4.1
Areia grossa (%)	59.9	51.0	26.6	10.0
Areia fina (%)	24.0	23.6	20.7	20.2
Limo (%)	6.9	8.9	19.6	36.5
Argila (%)	9.2	16.5	33.1	33.3
Textura	Ar. fr. / Fr. ar.	Fr. arenosa	Fr. argilosa	Fr. arg. lim.
pH (H ₂ O)	6.78	6.36	6.75	8.71
C orgânico (g kg ⁻¹)	4.43	3.77	1.43	1.55
M.O. (g kg ⁻¹)	7.64	6.50	2.46	2.68
N total (g kg ⁻¹)	0.287	0.196	0.147	0.441
P ₂ O ₅ assimilável (mg kg ⁻¹)	55	8	vest.	vest.
K ₂ O assimilável (mg kg ⁻¹)	13	17	26	26
CaCO ₃ (%)	0	0	0	20.3

Características hidrodinâmicas e físicas das amostras no estado natural dos Perfis P126 e P127

Perfil	P126		P127		
	prof. (cm)	0-40	40-75	0-42	42-100
massa volúmica aparente (Mg m ⁻³)		1.88	1.62	1.64	1.68
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)		0.390	0.420	0.360	0.385
	0,25 kPa (pF 0.4)	0.384	0.409	0.354	0.381
	1 kPa (pF 1.0)	0.367	0.402	0.325	0.364
teor de	3 kPa (pF 1.5)	0.333	0.392	0.283	0.355
água	6 kPa (pF 1.8)	0.308	0.383	0.221	0.345
(cm ³ cm ⁻³)	10 kPa (pF 2.0)	0.292	0.377	0.188	0.336
à sucção	30 kPa (pF 2.5)	0.262	0.355	0.148	0.320
	100 kPa (pF 3.0)	0.236	0.310	0.108	0.283
	251 kPa (pF 3.4)	0.221	0.288	0.092	0.262
	1500 kPa (pF 4.2)	0.188	0.261	0.056	0.230
K _{sat} (cm d ⁻¹)		27.3	9.7	249.4	13.2

ANEXO 3 - BOLETIM ANALÍTICO DA LQA AMBIENTE

Prestação de Serviços, Gestão e Controlo Ambiental, Lda.




BOLETIM ANALÍTICO

Boletim Definitivo

Amostra: 2007/02046 Versão: 1.0

Tipo Amostra: Água **Requisitante:** LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Designação da Amostra: LNEC - Águas **À Atenção de:** Exma Sra Eng^a Teresa Leitão

Ponto de Amostragem: PML - Cp20 (25/06/07) Av. Diogo de Leite, 344

Método de Amostragem: 4400 V. N. Gaia

Amostragem por: Requisitante

Recepção: 14 Julho 2007 **Início da Análise:** 14 Julho 2007 **Conclusão da Análise:** 30 Julho 2007

Determinações laboratoriais

Determinação	Método	Unidades	Resultado
Nitratos *	SMEWW 4500-NO3 D (pot.)	mg/l NO3	312
Nitritos *	SMEWW4500-NO2 B	mg/l NO2	1,2
Fosfatos *	SMEWW 4500-P E-EAM	mg/l PO4	96
Cálcio *	SMEWW 3500-Ca D	mg/l Ca	46
Magnésio *	SMWEE 3500-Mg E	mg/l Mg	50,5
Dureza total	SMEWW 2340 C	mg/l CaCO3	322
Sódio *	SMEWW 3500-Na D (fot ch)	mg/l Na	101,0
Potássio *	SMEWW 3500-K D	mg/l K	6,6
Sulfatos *	SMEWW 4500-SO4 E	mg/l SO4	54
Cloretos *	SMEWW4500-Cl B (Tit.)	mg/l Cl	237
Carbonatos *	SMEWW 4500-CO2 D	mg/l CO3	<0,1
Alcalinidade	NP EN ISO 9963-1	mg/l CaCO3	11,7
pH (o)	SMEWW 4500-H B	Escala de Sorënsen	5,5 (medição a 26°C)
Carbono Orgânico Total #	C-E-1484	mg/l C	20

Observação:

Notas:

Os ensaios assinalados com * são ensaios não acreditados. Os ensaios assinalados com # são ensaios subcontratados.
Os ensaios assinalados com (o) foram efectuados com compensação automática da temperatura.
A amostragem não está no âmbito da acreditação.

V. N. de Gaia, 08 de Agosto de 2007.

O Responsável do Laboratório
Lúcia Soares de Sousa

O boletim analítico refere-se apenas à amostra analisada, não podendo ser generalizado a processos, partidas ou lotes, salvo nos casos especificamente mencionados. Este documento é considerado confidencial, não podendo ser parcialmente reproduzido, nem ser utilizado para fins publicitários, sem a nossa prévia autorização escrita.

Página: 1 de 1

Sede:
Rua Delfim de Lima, 3524 | 4410-229 Canelas, V. N. Gaia | NIF: 504 574 299 | Tel. (+351) 22 71 29 294 | Fax (+351) 22 71 29 296

inform@egi-ambiente.com
www.egi-ambiente.com

ANEXO 4 - RESULTADOS DO MODELO

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2007

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	17,432	10,250	15,531	10,469	30,800
1A	10,224	10,250	15,531	10,469	30,800
1B	15,049	10,250	15,531	10,469	30,800
1C	10,335	10,250	15,531	10,469	30,800
1D	19,852	10,250	15,531	10,469	30,800
1E	8,944	10,250	15,531	10,469	30,800
2A	17,432	18,148	15,531	10,469	30,800
2B	17,432	15,597	15,531	10,469	30,800
2C	17,432	10,369	15,531	10,469	30,800
2D	17,432	20,962	15,531	10,469	30,800
2E	17,432	8,843	15,531	10,469	30,800
3A	17,432	10,250	18,116	10,469	30,800
3B	17,432	10,250	10,234	10,469	30,800
3C	17,432	10,250	10,369	10,469	30,800
3D	17,432	10,250	20,754	10,469	30,800
3E	17,432	10,250	8,881	10,469	30,800
4A	17,432	10,250	15,531	20,300	30,800
4B	17,432	10,250	15,531	10,334	30,800
4C	17,432	10,250	15,531	17,328	30,800
4D	17,432	10,250	15,531	24,518	30,800
4E	17,432	10,250	15,531	8,542	30,800
5A	17,432	10,250	15,531	10,469	24,477
5B	17,432	10,250	15,531	10,469	10,481
5C	17,432	10,250	15,531	10,469	20,456
5D	17,432	10,250	15,531	10,469	30,818
5E	17,432	10,250	15,531	10,469	7,952
5F	17,432	10,250	15,531	10,469	10,660

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2008

Nitrato (mg/l)					
CENÁRIOS	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	22,664	10,432	18,730	10,677	41,851
1A	10,413	10,432	18,730	10,677	41,851
1B	18,839	10,432	18,730	10,677	41,851
1C	10,572	10,432	18,730	10,677	41,851
1D	27,479	10,432	18,730	10,677	41,851
1E	8,238	10,432	18,730	10,677	41,851
2A	22,481	23,075	18,730	10,677	41,851
2B	22,481	19,361	18,730	10,677	41,851
2C	22,481	10,600	18,730	10,677	41,851
2D	22,481	28,585	18,730	10,677	41,851
2E	22,481	8,155	18,730	10,677	41,851
3A	22,481	10,432	22,511	10,677	41,851
3B	22,481	10,432	10,330	10,677	41,851
3C	22,481	10,432	10,586	10,677	41,851
3D	22,481	10,432	26,707	10,677	41,851
3E	22,481	10,432	8,322	10,677	41,851
4A	22,481	10,432	18,730	24,629	41,851
4B	22,481	10,432	18,730	10,537	41,851
4C	22,481	10,432	18,730	21,176	41,851
4D	22,481	10,432	18,730	32,709	41,851
4E	22,481	10,432	18,730	7,943	41,851
5A	22,481	10,432	18,730	10,677	30,111
5B	22,481	10,432	18,730	10,677	10,762
5C	22,481	10,432	18,730	10,677	25,679
5D	22,481	10,432	18,730	10,677	42,064
5E	22,481	10,432	18,730	10,677	7,176
5F	22,481	10,432	18,730	10,677	10,933

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2009

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	26,086	10,574	21,926	8,604	46,992
1A	10,556	10,574	21,926	10,848	46,992
1B	21,831	10,574	21,926	10,848	46,992
1C	10,742	10,574	21,926	10,848	46,992
1D	33,693	10,574	21,926	10,848	46,992
1E	7,736	10,574	21,926	10,848	46,992
2A	26,086	26,423	21,926	10,848	46,992
2B	26,086	22,162	21,926	10,848	46,992
2C	26,086	10,759	21,926	10,848	46,992
2D	26,086	34,420	21,926	10,848	46,992
2E	26,086	7,688	21,926	10,848	46,992
3A	26,086	10,575	26,591	10,848	46,992
3B	26,086	10,575	10,430	10,848	46,992
3C	26,086	10,575	10,765	10,848	46,992
3D	26,086	10,575	33,465	10,848	46,992
3E	26,086	10,575	7,688	10,848	46,992
4A	26,086	10,574	21,926	28,203	46,992
4B	26,086	10,574	21,925	10,729	46,992
4C	26,086	10,574	21,922	24,649	46,992
4D	26,086	10,574	21,922	40,366	46,992
4E	26,086	10,574	21,926	7,448	46,992
5A	26,086	10,574	21,926	10,848	32,408
5B	26,086	10,574	21,926	10,848	10,928
5C	26,086	10,574	21,926	10,848	28,414
5D	26,086	10,574	21,926	10,848	48,442
5E	26,086	10,574	21,926	10,848	6,863
5F	26,086	10,574	21,926	10,848	11,047

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2010

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	28,509	10,685	24,179	10,963	44,797
1A	10,674	10,685	24,179	10,963	44,797
1B	24,057	10,685	24,179	10,963	44,797
1C	10,858	10,685	24,179	10,963	44,797
1D	38,470	10,685	24,179	10,963	44,797
1E	7,400	10,685	24,179	10,963	44,797
2A	28,509	28,688	24,179	10,963	44,797
2B	28,509	24,246	24,179	10,963	44,797
2C	28,509	10,867	24,179	10,963	44,797
2D	28,509	38,896	24,179	10,963	44,797
2E	28,509	7,374	24,179	10,963	44,797
3A	28,509	10,685	28,622	10,963	44,797
3B	28,509	10,685	10,500	10,963	44,797
3C	28,509	10,685	10,797	10,963	44,797
3D	28,509	10,686	38,804	10,963	44,797
3E	28,509	10,685	7,172	10,963	44,797
4A	28,509	10,685	24,181	30,582	44,797
4B	28,509	10,685	24,181	10,871	44,797
4C	28,509	10,685	24,178	27,059	44,797
4D	28,509	10,685	24,179	45,827	44,797
4E	28,509	10,685	24,180	7,120	44,797
5A	28,509	10,685	24,179	10,963	33,283
5B	28,509	10,685	24,179	10,963	11,021
5C	28,509	10,685	24,179	10,963	29,758
5D	28,509	10,685	24,179	10,963	51,838
5E	28,509	10,685	24,179	10,963	6,745
5F	28,509	10,685	24,179	10,963	11,091

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2011

Nitrato (mg/l)					
CENÁRIOS	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	30,142	10,773	25,750	11,018	38,498
1A	10,766	10,773	25,750	11,018	38,498
1B	25,713	10,773	25,750	11,018	38,498
1C	10,937	10,773	25,750	11,018	38,498
1D	42,137	10,773	25,750	11,018	38,498
1E	7,174	10,773	25,750	11,018	38,498
2A	30,142	30,241	25,749	11,018	38,498
2B	30,142	25,826	25,750	11,018	38,498
2C	30,142	10,941	25,749	11,018	38,498
2D	30,142	42,398	25,750	11,018	38,498
2E	30,142	7,160	25,749	11,018	38,498
3A	30,142	10,773	30,171	11,018	38,498
3B	30,142	10,773	10,590	11,018	38,498
3C	30,142	10,773	10,885	11,018	38,498
3D	30,142	10,773	42,313	11,018	38,498
3E	30,142	10,773	6,751	11,018	38,498
4A	30,142	10,773	25,752	31,690	38,498
4B	30,142	10,773	25,751	10,960	38,499
4C	30,142	10,773	25,752	28,420	38,499
4D	30,142	10,773	25,749	49,112	38,499
4E	30,142	10,773	25,752	6,969	38,498
5A	30,142	10,773	25,750	11,018	33,621
5B	30,142	10,773	25,750	11,018	11,073
5C	30,142	10,773	25,750	11,018	30,423
5D	30,142	10,773	25,750	11,018	53,659
5E	30,142	10,773	25,750	11,018	6,700
5F	30,142	10,773	25,750	11,018	11,108

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2012

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	31,315	10,848	27,049	11,051	29,881
1A	10,843	10,848	27,049	11,051	29,882
1B	27,029	10,848	27,049	11,051	29,882
1C	10,993	10,848	27,049	11,051	29,882
1D	45,144	10,848	27,049	11,051	29,882
1E	7,013	10,848	27,049	11,051	29,882
2A	31,315	31,372	27,047	11,051	29,882
2B	31,315	27,100	27,048	11,051	29,882
2C	31,315	10,996	27,047	11,051	29,882
2D	31,315	45,312	27,048	11,051	29,882
2E	31,315	7,005	27,047	11,051	29,882
3A	31,315	10,848	31,366	11,051	29,882
3B	31,315	10,848	10,816	11,051	29,882
3C	31,315	10,848	10,971	11,051	29,882
3D	31,315	10,848	45,354	11,051	29,882
3E	31,315	10,848	6,637	11,051	29,882
4A	31,315	10,848	27,050	32,300	29,881
4B	31,315	10,848	27,050	11,015	29,881
4C	31,315	10,848	27,048	29,189	29,881
4D	31,315	10,848	27,048	51,043	29,881
4E	31,315	10,848	27,049	6,883	29,881
5A	31,315	10,848	27,049	11,051	33,760
5B	31,315	10,848	27,049	11,051	11,104
5C	31,315	10,848	27,049	11,051	30,775
5D	31,315	10,848	27,049	11,051	54,699
5E	31,315	10,848	27,049	11,051	6,682
5F	31,315	10,848	27,049	11,051	11,116

Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2013

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	32,110	10,907	28,063	11,058	26,084
1A	10,904	10,907	28,063	11,058	26,084
1B	28,015	10,907	28,063	11,058	26,084
1C	11,033	10,907	28,063	11,058	26,084
1D	47,473	10,907	28,063	11,058	26,084
1E	6,905	10,907	28,063	11,058	26,084
2A	32,110	32,144	28,064	11,058	26,084
2B	32,110	28,063	28,063	11,058	26,084
2C	32,110	11,034	28,063	11,058	26,084
2D	32,110	47,587	28,063	11,058	26,084
2E	32,110	6,900	28,064	11,058	26,084
3A	32,110	10,907	32,133	11,058	26,084
3B	32,110	10,907	10,884	11,058	26,084
3C	32,110	10,907	11,017	11,058	26,084
3D	32,110	10,907	47,646	11,058	26,084
3E	32,110	10,907	6,665	11,058	26,084
4A	32,110	10,907	28,062	32,762	26,087
4B	32,110	10,907	28,065	11,040	26,084
4C	32,110	10,907	28,065	29,790	26,086
4D	32,110	10,907	28,065	52,566	26,087
4E	32,110	10,907	28,060	6,810	26,084
5A	32,110	10,907	28,063	11,058	33,814
5B	32,110	10,907	28,063	11,058	11,122
5C	32,110	10,907	28,063	11,058	30,948
5D	32,110	10,907	28,063	11,058	55,258
5E	32,110	10,907	28,063	11,058	6,675
5F	32,110	10,907	28,063	11,058	11,118

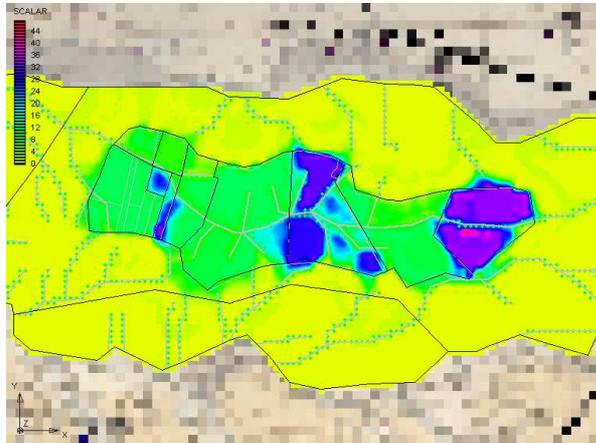
Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2014

Nitrato (mg/l)					
CENÁRIOS	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	32,651	10,954	28,789	11,065	24,178
1A	10,952	10,954	28,789	11,065	24,178
1B	28,757	10,954	28,789	11,065	24,178
1C	11,059	10,954	28,789	11,065	24,178
1D	49,283	10,954	28,789	11,065	24,178
1E	6,831	10,954	28,789	11,065	24,178
2A	32,651	32,672	28,790	11,065	24,178
2B	32,651	28,791	28,790	11,065	24,178
2C	32,651	11,060	28,791	11,065	24,178
2D	32,651	49,363	28,790	11,065	24,178
2E	32,651	6,828	28,791	11,065	24,178
3A	32,651	10,954	32,663	11,064	24,178
3B	32,651	10,954	10,945	11,065	24,178
3C	32,651	10,954	11,053	11,065	24,178
3D	32,651	10,954	49,398	11,064	24,178
3E	32,651	10,954	6,728	11,065	24,178
4A	32,651	10,954	28,789	33,015	24,180
4B	32,651	10,954	28,790	11,054	24,178
4C	32,651	10,954	28,790	30,113	24,180
4D	32,651	10,954	28,790	53,447	24,182
4E	32,651	10,954	28,789	6,736	24,177
5A	32,651	10,954	28,789	11,064	33,834
5B	32,651	10,954	28,789	11,065	11,132
5C	32,651	10,954	28,789	11,064	31,035
5D	32,651	10,954	28,789	11,064	55,560
5E	32,651	10,954	28,789	11,065	6,672
5F	32,651	10,954	28,789	11,064	11,120

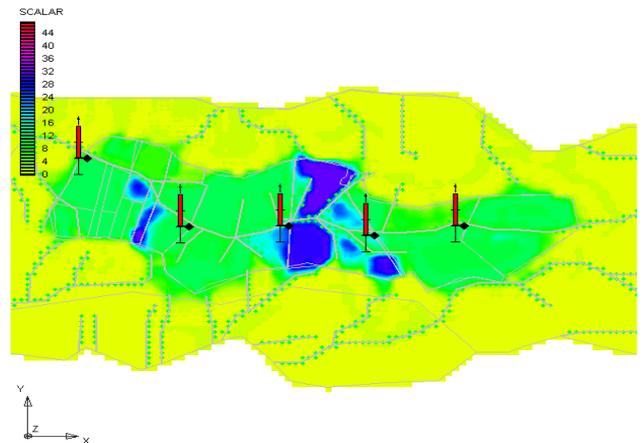
Concentração de nitrato (mg/l) em cada parcela no final do ano de 2015

CENÁRIOS	Nitrato (mg/l)				
	par1	par2	par3	par4	par5
1 (base)	33,026	10,992	29,365	11,076	22,664
1A	10,991	10,992	29,365	11,076	22,664
1B	29,326	10,993	29,365	11,076	22,664
1C	11,078	10,992	29,365	11,076	22,664
1D	50,717	10,993	29,365	11,076	22,664
1E	6,780	10,992	29,365	11,076	22,664
2A	33,026	33,040	29,365	11,076	22,664
2B	33,026	29,350	29,364	11,076	22,664
2C	33,026	11,079	29,365	11,076	22,664
2D	33,026	50,774	29,365	11,076	22,664
2E	33,026	6,778	29,364	11,076	22,664
3A	33,026	10,992	33,045	11,076	22,664
3B	33,026	10,992	10,994	11,076	22,664
3C	33,026	10,992	11,079	11,076	22,664
3D	33,026	10,992	50,820	11,076	22,664
3E	33,026	10,992	6,812	11,076	22,664
4A	33,026	10,992	29,365	33,194	22,667
4B	33,026	10,992	29,364	11,072	22,664
4C	33,026	10,992	29,364	30,314	22,667
4D	33,026	10,992	29,364	53,998	22,669
4E	33,026	10,992	29,365	6,703	22,664
5A	33,026	10,992	29,365	11,076	33,842
5B	33,026	10,992	29,365	11,076	11,137
5C	33,026	10,992	29,365	11,076	31,079
5D	33,026	10,992	29,365	11,076	55,724
5E	33,026	10,992	29,365	11,076	6,671
5F	33,026	10,992	29,365	11,076	11,120

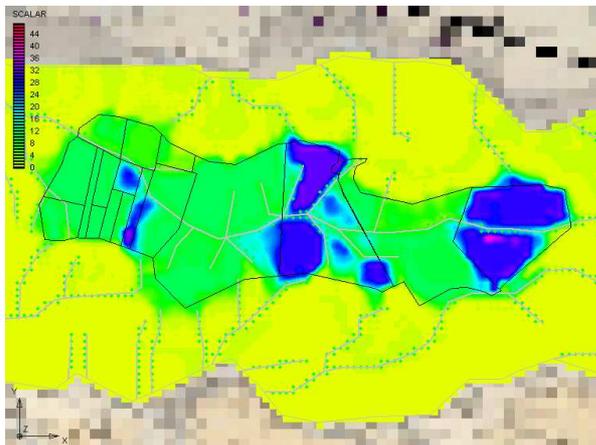
ANEXO 5 - FIGURAS DOS CENÁRIOS MODELADOS



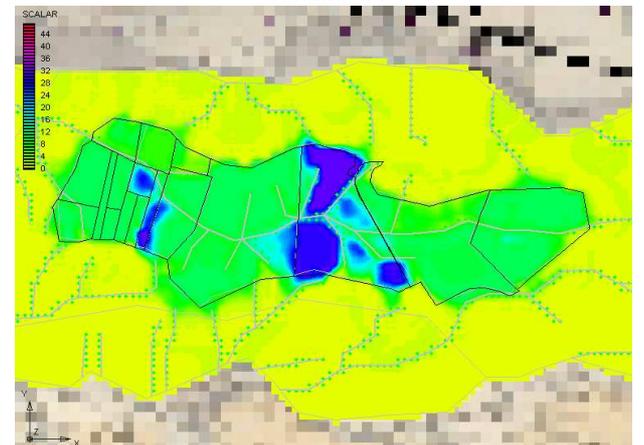
Cenário 1



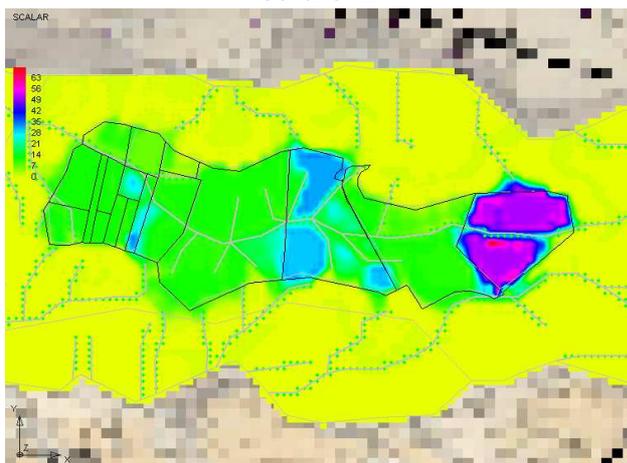
Cenário 1A



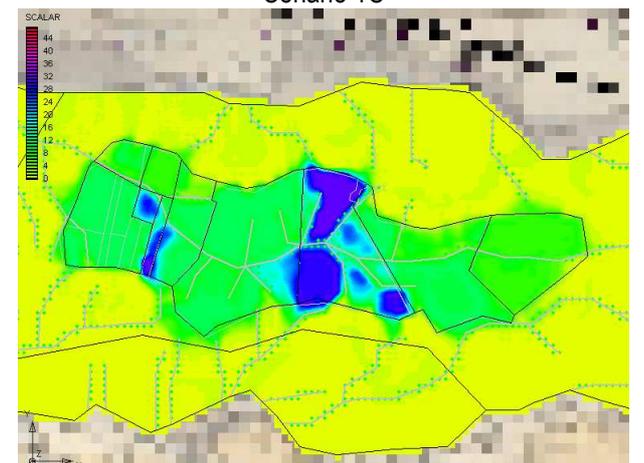
Cenário 1B



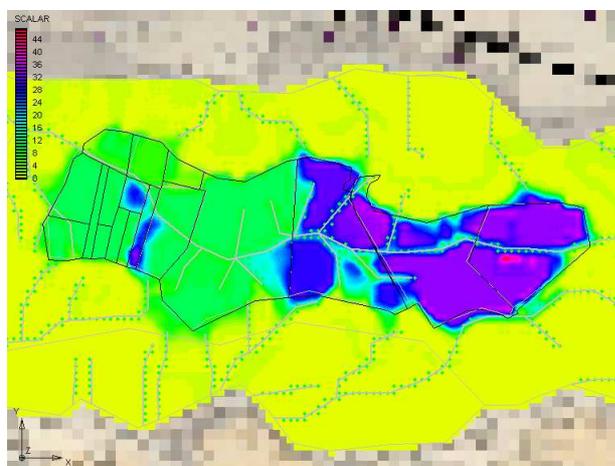
Cenário 1C



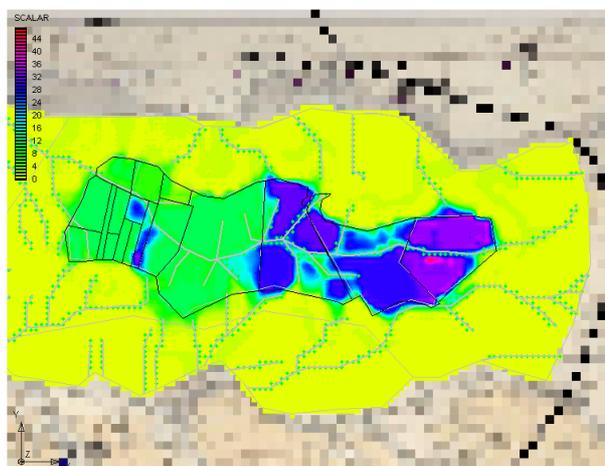
Cenário 1D



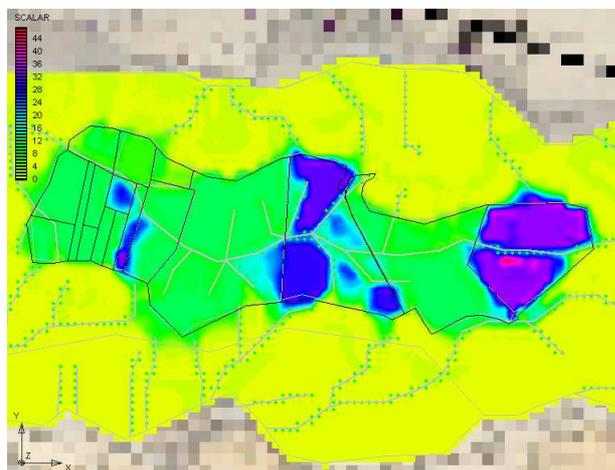
Cenário 1E



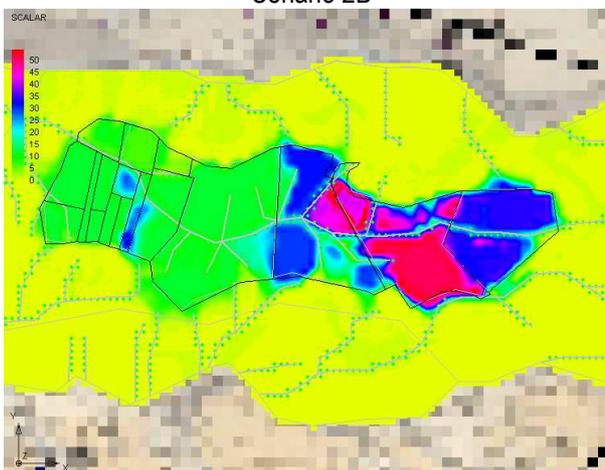
Cenário 2A



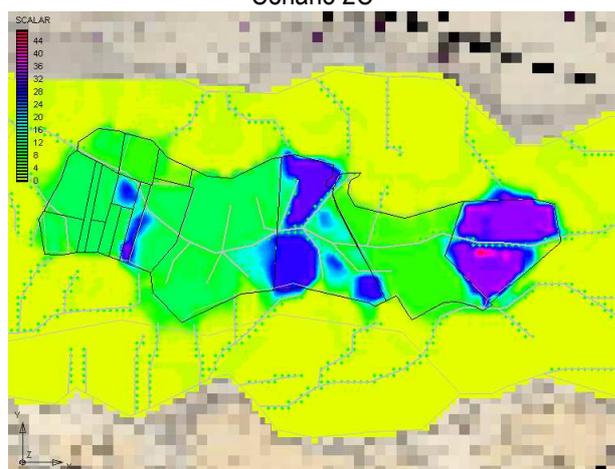
Cenário 2B



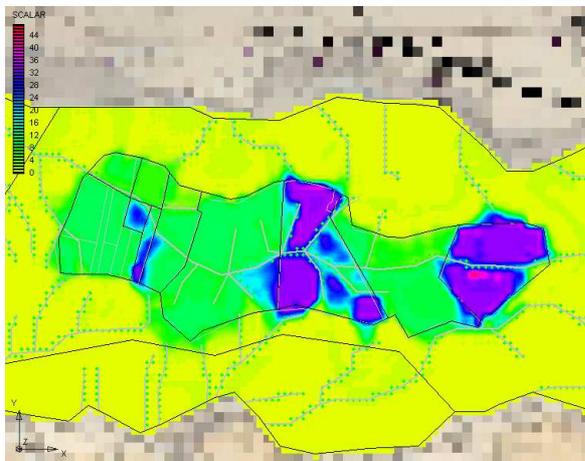
Cenário 2C



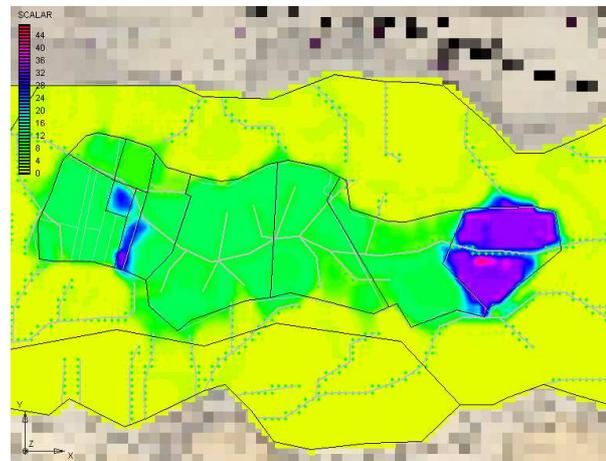
Cenário 2D



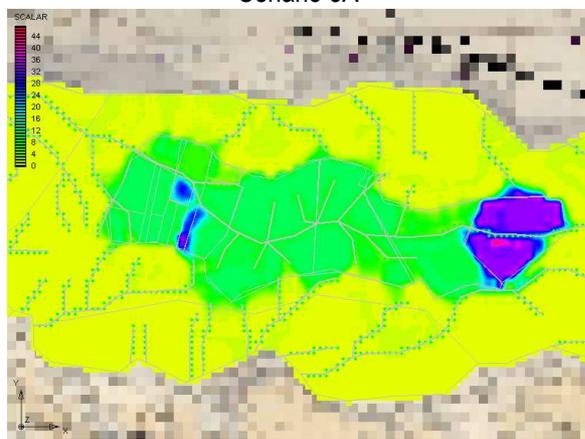
Cenário 2E



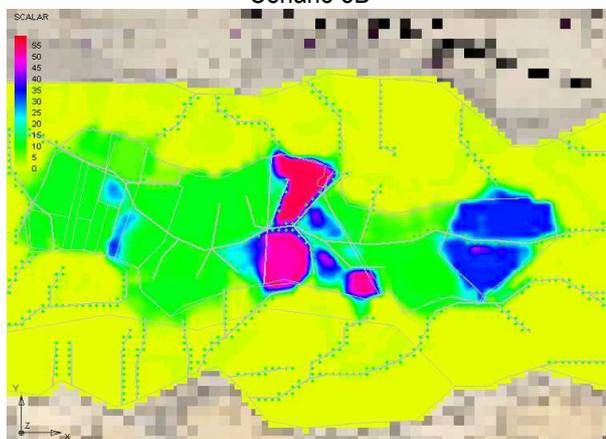
Cenário 3A



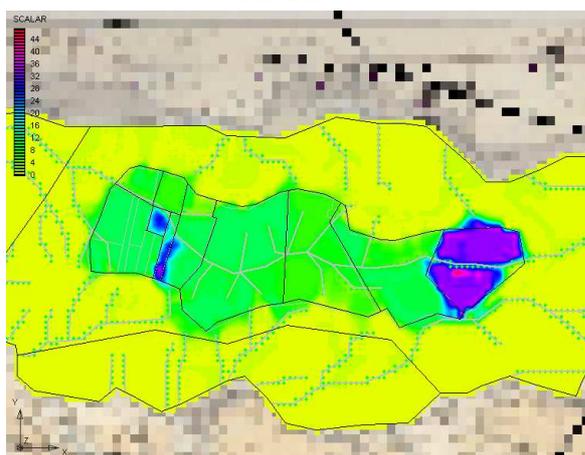
Cenário 3B



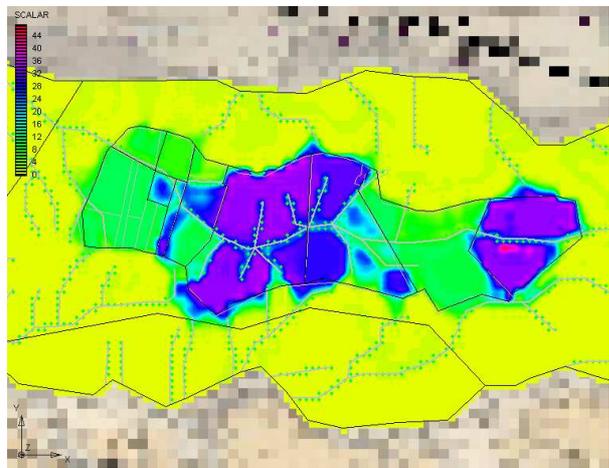
Cenário 3C



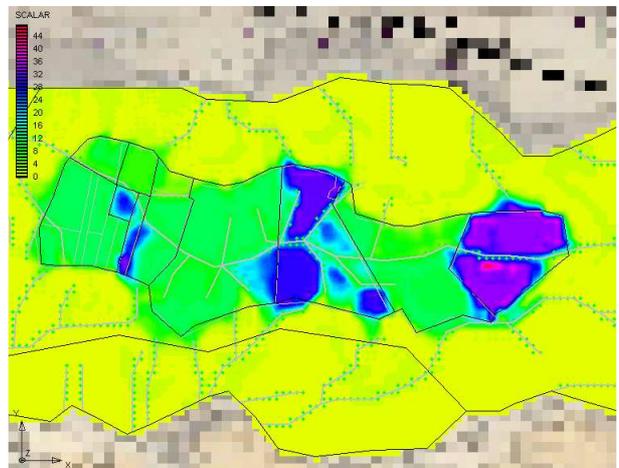
Cenário 3D



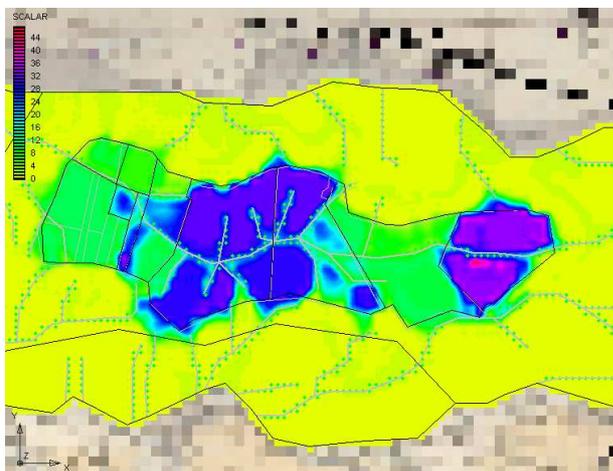
Cenário 3E



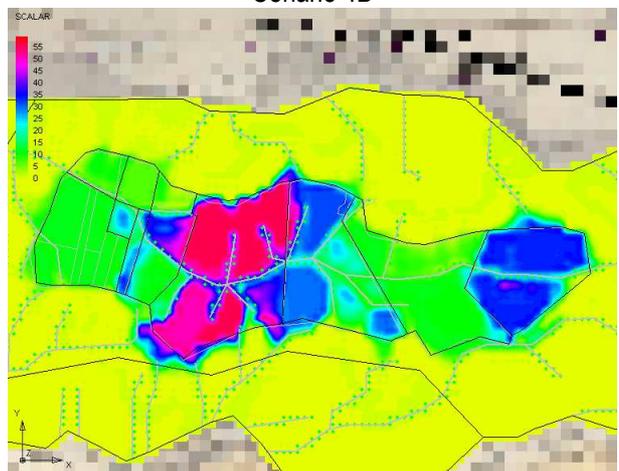
Cenário 4A



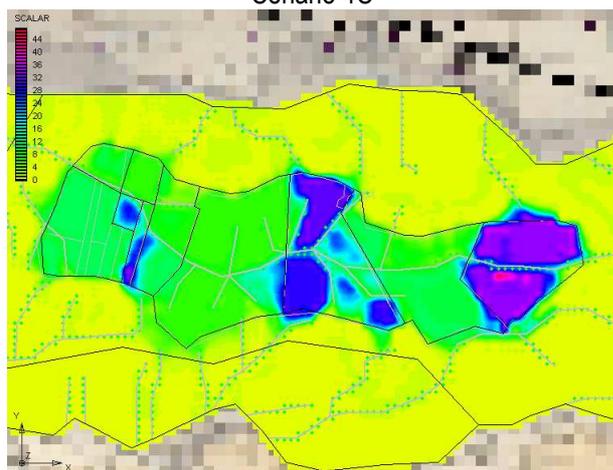
Cenário 4B



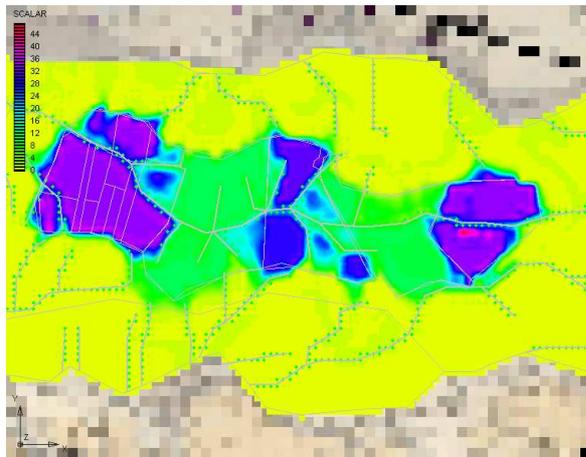
Cenário 4C



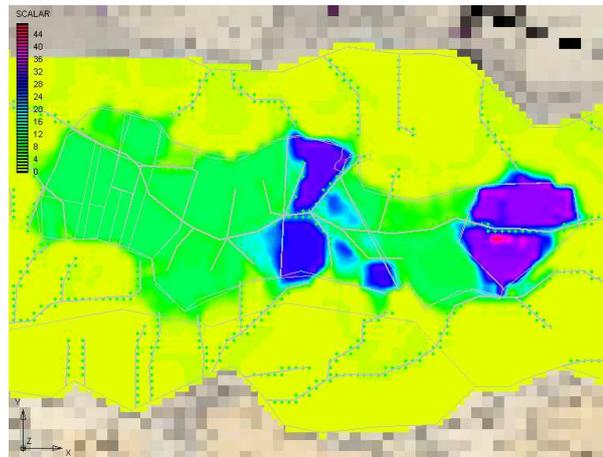
Cenário 4D



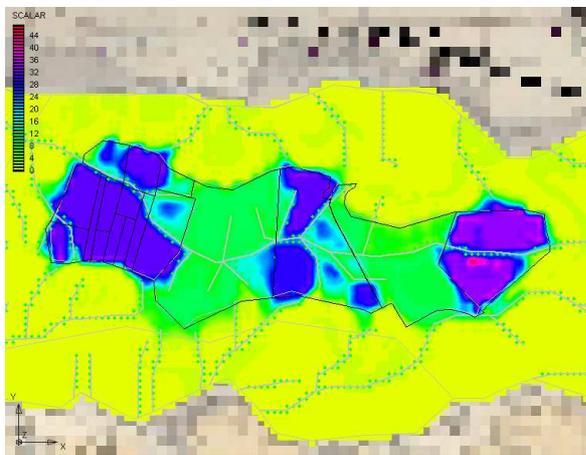
Cenário 4E



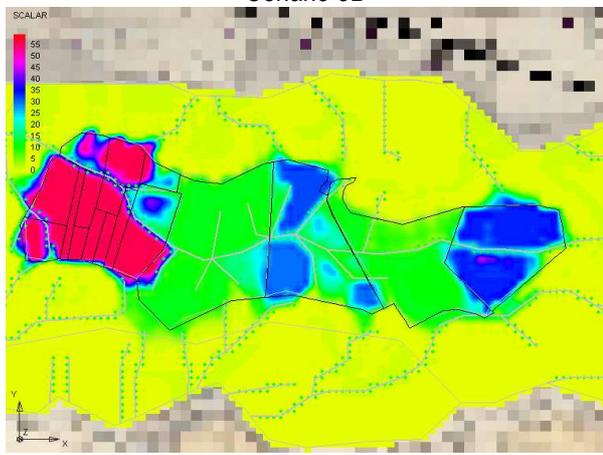
Cenário 5A



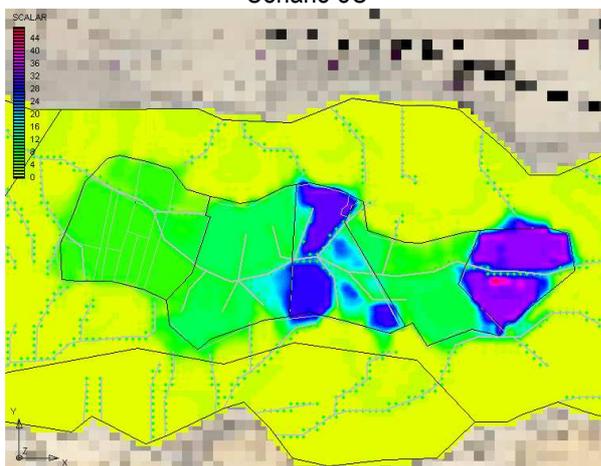
Cenário 5B



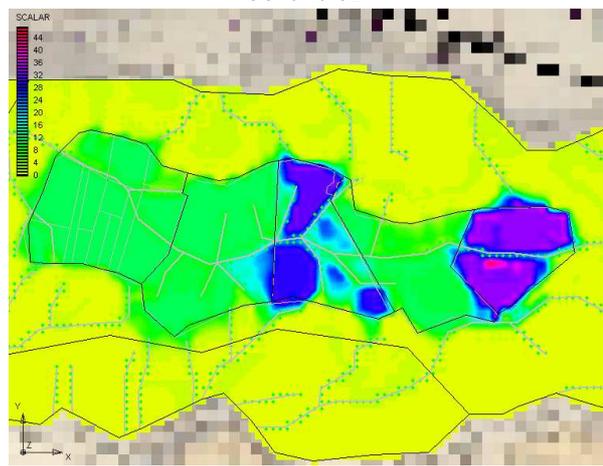
Cenário 5C



Cenário 5D



Cenário 5D



Cenário 5E

ANEXO 6 - CARACTERIZAÇÃO E MODELAÇÃO DA ZONA VADOSA

Aplicação do modelo HYDRUS-1D

Por: Isabel Laranjeira

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Para atingir os objectivos do projecto torna-se necessário verificar quais são os efeitos das práticas adoptadas sobre a cultura, perdas de água e de solutos da zona do perfil do solo ocupado pelas raízes, o que é conseguido através de um vasto conjunto de observações e determinações quer a nível laboratorial, quer a nível da parcela (Santos *et al.*, 2000; Nakamura *et al.*, 2004; Ndiaye *et al.*, 2007). Vancloster, 1995 citado por Santos *et al.*, 2000, refere que para o processo e optimização das práticas de gestão agrícola, os processos deverão ser estudados à escala da parcela. Estas práticas podem ser eficientemente investigadas e desenvolvidos através da utilização interactiva de modelos de simulação que podem ser utilizados para investigar as relações entre as diferentes componentes do sistema solo-planta-atmosfera e para estimar os impactes a longo prazo de estratégias alternativas de gestão ao nível das bacias hidrográficas (Cameira, 1999; Santos *et al.*, 2000; Coquet *et al.*, 2005).

Nas últimas décadas, tem-se realizado um considerável progresso no desenvolvimento conceptual e descrição matemática do fluxo de água na zona não saturada (ZNS), o que tem dado origem a uma grande variedade de modelos analíticos e numéricos que simulam os processos de transferência de água entre a superfície do solo e o nível freático. Entre eles, a equação de Richards constituiu o modelo de fluxo de água de maior aceitação no âmbito da hidrogeologia e ciências afins (Nielsen *et al.*, 1986; Feddes *et al.*, 1988; Samper, 1995; Ventura, 2003).

A modelação numérica permite resolver as equações diferenciais que regem o transporte de água e de solutos no solo em meio poroso em favor das soluções analíticas (ou semi-analíticas) de transporte 1D e 2D de água e de solutos. Os meios informáticos actuais aliados às técnicas numéricas de elementos finitos, permite simular rapidamente esses mesmos processos (Mailhol, 2001). As soluções analíticas exactas são apenas possíveis para casos muito simples de escoamento e sob vários pressupostos restritivos. No entanto as soluções numéricas da equação do escoamento são um instrumento indispensável pois permitem uma boa aproximação à realidade da zona não saturada do solo, para uma grande variedade de sistemas e de condições de fronteira (Cameira, 1999).

Os modelos de simulação, são largamente utilizados em numerosos estudos na gestão de bacias hidrográficas, incorporando processos químicos e físicos desenvolvidos na zona do solo explorada pelas raízes, como o movimento da água, transporte de solutos e calor, transpiração da cultura e evaporação do solo, permitindo analisar no seu conjunto as interacções existentes no *continuum* solo-planta-atmosfera (SPAC) e conseqüentemente avaliar o impacte das diferentes práticas de gestão da rega, fertilização e mobilização do solo na qualidade da água em diversos sistemas agrícolas.

Um grande número de modelos monodimensionais de simulação tem sido difundido nas últimas décadas, visando descrever o movimento de solutos através do perfil do solo. De entre estes modelos podem citar-se: o LEACHM - Leaching Estimation and Chemistry Model (Wagenet *et al.*, 1987), o RZWQM – Root Zone Water Quality Model (Ahuja *et al.*, 2000), HYDRUS-1D (Simunek *et al.*, 1998, 2005), .

Várias aplicações das diferentes versões do modelo HYDRUS podem ser encontradas na literatura, abordando diferentes aspectos da simulação da redistribuição da água e de nitratos no solo em rega por sulcos (Mailhol *et al.*, 2001; Matos *et al.*, 2002; Mailhol *et al.*, 2007; Crevoisier *et al.*, 2008), em rega por aspersão (Mailhol *et al.*, 2001; Coquet *et al.*, 2005), rega gota-a-gota (Arbat *et al.*, 2003; Skaggs *et al.*, 2004; Ajdary *et al.*, 2007 ; Santos *et al.*, 2007).

Genericamente, este relatório trata da problemática do uso agrícola de água e de fertilizantes na sua principal vertente (qualidade da água/riscos de poluição e contaminação do solo e recursos hídricos) fundamentando-se na necessidade de melhorar o conhecimento e reduzir o grau de incerteza sobre os impactes ambientais gerados pela aplicação de fertilizantes azotados (fertirrigação) em solos regáveis do Alentejo.

Os objectivos específicos inerentes à elaboração desta componente do estudo visam essencialmente: (1) com base no modelo determinístico HYDRUS-1D determinar as variações dos fluxos de água e solutos no perfil do solo em parcelas agrícolas regadas por aspersão em Ferreira do Alentejo, onde se procedeu à prática de fertirrigação. Para avaliar o modelo foram utilizados dados de ensaios de campo realizados com diferentes culturas. O teste foi realizado com os dados culturais, edáficos e meteorológicos recolhidos durante as campanhas de rega nas parcelas experimentais (2) com base em dados laboratoriais, dados bibliográficos e considerando diferentes cenários prever a concentração óptima de NO₃ a ser aplicada com a água rega numa dada área, de modo a garantir-se que a concentração do ião nitrato no solo e na água subterrânea não atinja níveis prejudiciais.

1.2 Enquadramento sobre a temática da dinâmica do azoto no solo

A água constitui o principal factor que limita a produção agrícola em muitas regiões do mundo. Em condições de escassez de água como em regiões áridas e semi-áridas é importante promover o uso eficiente dos recursos hídricos através de uma adequada gestão da

água, tendo em vista a sustentabilidade social e económica dessas mesmas regiões (Mannocchi *et al.*, 1994; Jamal *et al.*, 1999; Shangguan *et al.*, 2001; Inês *et al.*, 2001; Benli *et al.*, 2003; Cai *et al.*, 2003; Vazifedoust *et al.*, 2007).

A produção intensiva de alimentos, quer de natureza vegetal, quer de natureza animal, tem conduzido em muitas regiões à utilização indiscriminado de adubos, de pesticidas e de outros factores de produção (Fig. 87).

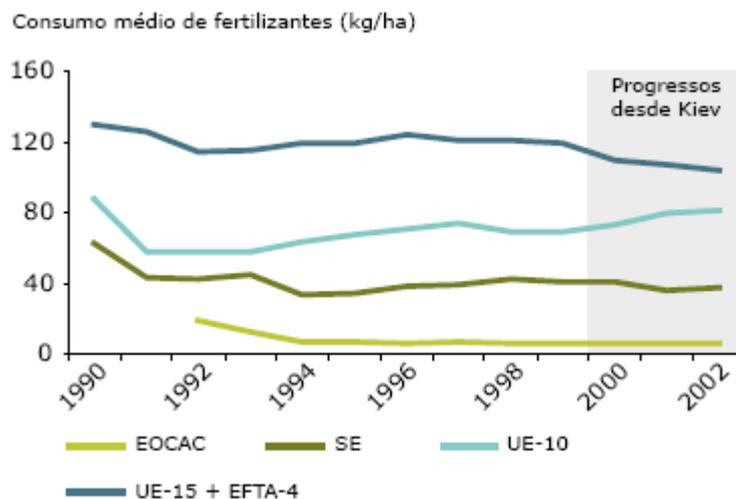


Fig. 87 – Quantidade de fertilizante utilizado por hectare de solo agrícola (AEA, 2007)

O uso desregrado de adubos e pesticidas poderão ser fontes de contaminação e de poluição ambiental, seja dos solos, das águas e ou do ar. Tal poluição poderá ter carácter pontual, como acontecerá no caso da descarga directa dos efluentes não tratados das pecuárias intensivas nos cursos da água; ou ser de natureza difusa como acontece, por exemplo, com a contaminação das águas superficiais ou subterrâneas com substâncias poluentes contidas nos fertilizantes que se distribuem e incorporam no solo (CBPA).

A investigação desenvolvida na área da fertirrega visa a definição de medidas que permitam níveis de eficiência na gestão simultânea da água e de fertilizantes com o objectivo de se implementarem práticas que conduzam à obtenção de elevadas eficiências quer na aplicação de água, como de fertilizantes (Santos *et al.*, 2000). Visa sobretudo um melhor aproveitamento pelas culturas, o aumento das suas produções, concorrendo, assim, para uma rendibilidade económica mais elevada do uso dos fertilizantes (CBPA). Esta técnica é particularmente apropriada para aumentar a produção das culturas em circunstâncias áridas e semi-áridas, sendo largamente utilizado nos Estados Unidos, Israel, Holanda, Espanha e Itália (IFA, 1998; Sanchez, 2000).

Os fertilizantes azotados são os de uso mais frequente em fertirrigação, não só pela sua elevada solubilidade mas também pela preferência do agricultor por este elemento que

proporciona um efeito espectacular na cultura, manifestando-se na maior intensidade de coloração das plantas (Pereira *et al.*, 1991).

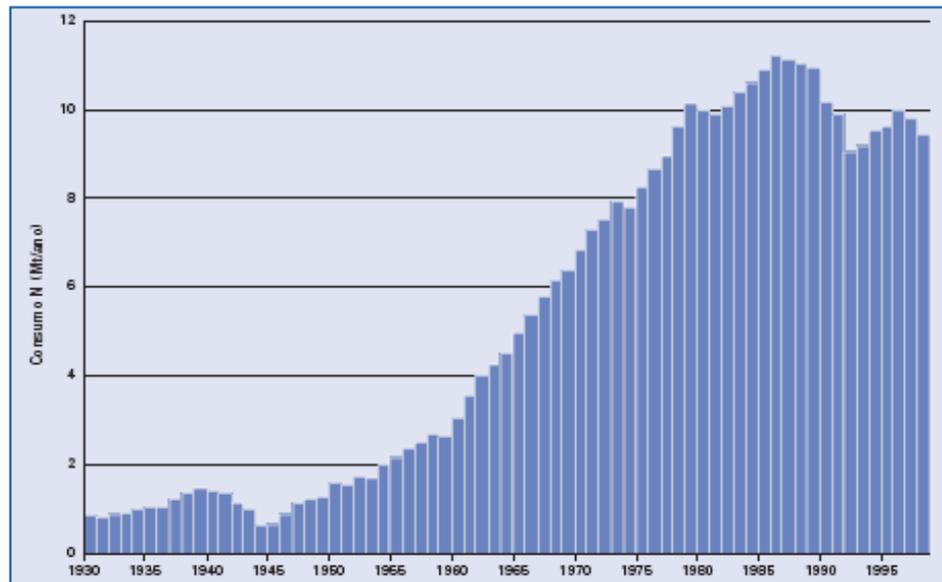


Fig. 88 – Consumo de adubos com azoto mineral (milhões de toneladas de azoto por ano) – Estados Membros UE15, entre 1930 e 1999 (CE, 2003)

Refira-se que segundo dados da FAO na campanha agrícola 2000-2001, o consumo de fertilizantes azotados foi de 86,1 milhões de toneladas a nível mundial e de 12,1 milhões de toneladas na Europa (Andreu *et al.*, 2006).

A absorção de azoto (N) pelas plantas é bastante ineficiente. Aproximadamente 50% do azoto mineral aplicado no solo através de fertilizantes é absorvido pelas culturas (Andreu *et al.*, 2006). A principal causa desta baixa eficiência do uso de N deve-se à perda do azoto por lixiviação, escorrência, erosão e por emissões gasosas. A importância relativa de cada uma destas causas varia de lugar para lugar e de ano para ano. Por exemplo em climas onde a precipitação excede a transpiração, ou em terrenos irrigados, as perdas por lixiviação podem ser consideráveis (FAO, 2004). Também nos solos com textura grosseira, as perdas de azoto para a água subterrânea são mais prováveis, para além de que em solos com textura mais fina o transporte de azoto para as camadas mais profundas é menos intenso. Assim a implicação de uma estratégia para a optimização do azoto parece ser mais útil para solos com textura mais grosseira (Link, 2005).

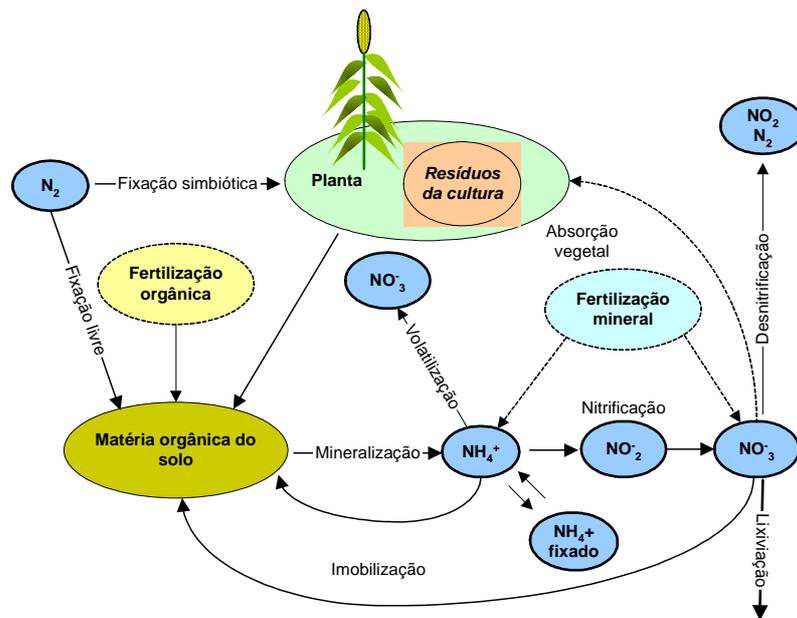
Das várias formas de azoto adicionadas como fertilizante às culturas, apenas o ião nitrato NO_3 apresenta um elevado grau de mobilidade pois é muito solúvel na água. As plantas absorvem fácil e rapidamente o azoto sob forma nítrica, isto é, sob forma de ião nitrato. Os nitratos são sais extremamente solúveis em água e o ião nitrato não é susceptível de ser retido, pelo menos em quantidade apreciável, pelo complexo de adsorção do solo (argila e húmus, sobretudo), nem reage com outros constituintes para dar origem a compostos insolúveis ou de solubilidade mais ou menos reduzida. Daí a grande mobilidade de que é dotado e, por isso, as

grandes perdas a que está sujeito, sendo facilmente arrastado para as camadas mais profundas do solo pelas águas de percolação. Os nitratos poderão ser, assim, perdidos para os cursos de água e para os lençóis freáticos, originando progressivamente a sua poluição (Cameira, 1999; Wendland *et al.*, 2001; Asadi *et al.*, 2002; CBPA) o que leva a que as actividades agrícolas sejam consideradas muitas vezes como agentes de poluição difusa (FAO 1996).

Os riscos de poluição das águas com nitratos estão particularmente presentes em culturas de regadio. Há, por um lado a água de rega que, se mal gerida, poderá arrastar os nitratos para as camadas profundas do solo, fora do alcance das raízes ou para os cursos de água; há, por outro lado, a tendência para aplicar quantidades excessivas de fertilizantes na expectativa de obter colheitas muito elevadas, sobretudo quando se dispõe de água em abundância (CBPA). A gravidade de tais riscos é função não apenas da maior ou menor abundância de nitratos existentes no solo, mas, também, e especialmente, do volume de água de percolação, o qual depende da quantidade de água aplicada e do método de rega adoptado, das características do solo, designadamente da sua permeabilidade, da capacidade de retenção para a água e da espessura efectiva e, naturalmente, da quantidade absorvida pelas plantas. Os riscos de poluição têm ainda a ver com a profundidade a que se encontra o nível freático.

Tendo em vista prevenir a poluição das águas superficiais e/ou subterrâneas com nitratos em terrenos de regadio, haverá que assegurar uma correcta gestão da água no sentido de evitar ou reduzir ao mínimo as suas perdas por escorrência superficial ou por infiltração profunda. Verifica-se assim actualmente a necessidade de adopção de práticas que minimizem as perdas de água e de nitratos da zona abrangida pelas raízes, essencialmente devido aos problemas relacionados com os custos de fertilizantes e da água, a qualidade da água e energia necessária à rega. A questão principal é a de se identificarem as práticas culturais que são economicamente viáveis e que contribuam para uma redução significativa das perdas de nutrientes e de água. Por outro lado, tais práticas deverão ajustar-se aos sistemas agrícolas já adoptados a um determinado tipo de solo e conjunto de condições climáticas. (Santos *et al.*, 2000; Link, 2005).

A lixiviação de nitratos NO_3 associada à prática intensiva da fertilização azotada (N) e o potencial para o seu movimento através da zona do perfil do solo e a subsequente contaminação das águas subterrâneas é influenciada pelas propriedades do solo, pela gestão da água e por factores climáticos (Paramasivam *et al.*, 2002). Na Fig.1 identifica-se o ciclo do azoto no sistema solo-planta-atmosfera e as formas em que o azoto pode ocorrer no solo e transformações a que ele está sujeito num sistema agrícola. A maior parte das transformações do azoto no solo são realizadas sob o controlo de uma microflora mais ou menos específica.

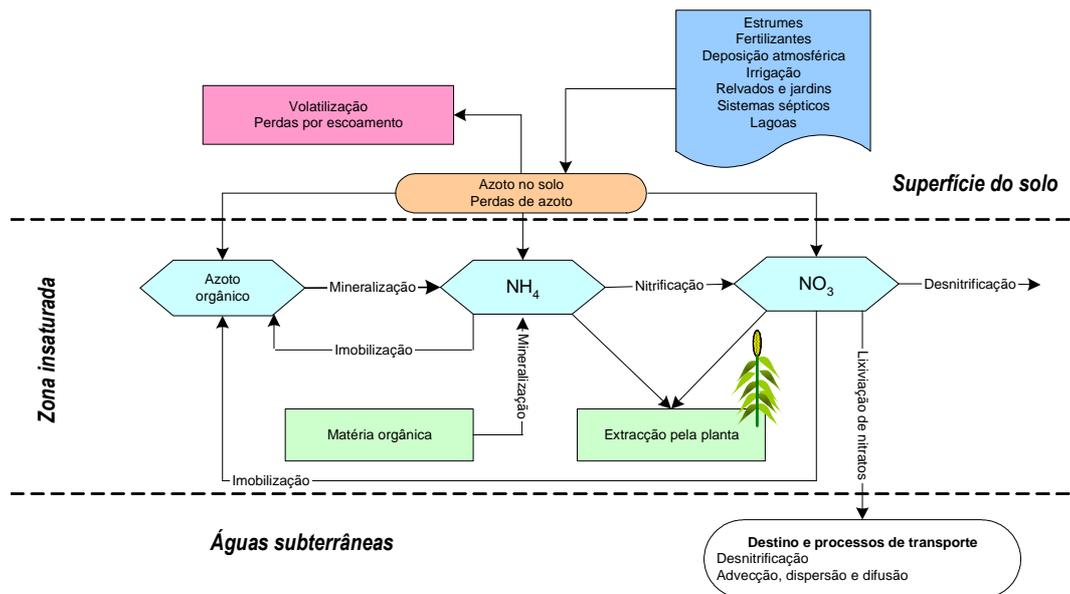


(Modificado de Cameira, 1999)

Fig. 89 – Transformações do azoto no ciclo que decorre no solo (imobilização, mineralização, nitrificação, desnitrificação)

Os factores principais que influem na recarga incluem o clima (precipitação, evaporação), vegetação (transpiração da planta), uso do solo (cobertura do solo e irrigação), espessura do solo e propriedades físicas, tipo de rocha (porosa ou fracturada). A recarga normalmente aumenta com o incremento da precipitação. Nas regiões áridas e semi-áridas a distribuição sazonal da precipitação pode ser mais importante do que a média anual da precipitação porque a precipitação que ocorre no Inverno produz mais efeito na recarga das águas subterrâneas do que a precipitação de Verão. Se a média anual da evaporação potencial do solo é superior à precipitação pode não haver recarga do aquífero (Scanlon *et al.*, 1997). A espessura do solo também é importante na recarga das águas subterrâneas. Solos com maior profundidade têm maior capacidade de armazenamento para a água infiltrada.

A quantificação exacta de nitratos lixiviados para as águas subterrâneas é difícil de obter devido à complexa interação entre vários factores como: práticas culturais, uso do solo, níveis de azoto no solo, dinâmica do azoto no solo, características do solo, recarga dos aquíferos e a profundidade do nível freático (Almasri, 2007). Esta complexa interacção está conceptualmente ilustrada na Fig. 90.



(Fonte: Almasri *et al.*, 2007)

Fig. 90 – Representação esquemática da aproximação integrada das três zonas para conceptualizar a interação dos processos de entrada de nitratos na água subterrânea

Em áreas irrigadas sobretudo nas regiões áridas e semi-áridas a aplicação na água de rega de fertilizantes contendo azoto (fertirrigação) é muitas vezes responsável pelo aumento da concentração nitratos nas águas subterrâneas (Gardenas *et al.*, 2005). De facto a aplicação de nutrientes sem ter em conta as existências no solo ou o potencial produtivo das culturas a que se destinam, conduz a aplicações por defeito ou por excesso que, se no primeiro caso põe em causa a obtenção da máxima produção possível, no segundo caso poderão, devido ao seu efeito poluente, colocar em causa a própria sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Nunes *et al.*, 20). Desta forma a prática nestas regiões do que hoje em dia se designa de agricultura sustentável deverá incluir a utilização de sistemas culturais e de práticas de gestão que reduzam a lixiviação de nitratos e mantenham a qualidade do ambiente. Estes aspectos são fundamentais para uma boa gestão da água em regadio e consequentemente da fertilização.

Devido a que todos os regadios apresentam o mesmo risco de contaminação por nitratos Andreu *et al.*, 2006, classificam-nos da seguinte forma: (1) **Zonas de alto risco**: apresentam solos arenosos muito permeáveis e com uma capacidade de retenção de água limitada, presença de superfície freática (a menos de 2 m de profundidade), solos pouco profundos sobre material permeável, terrenos com declive superior a 2-3%, com prática de uma agricultura intensiva com aplicações de elevadas quantidades de fertilizantes, solos ricos em matéria orgânica e mobilizados com frequência em profundidade; (2) **Zonas de risco moderado**: apresentam solos com composição granulométrica média e com uma capacidade de retenção de água moderada, presença de nível freático de 2 a 20 m de profundidade, solos de profundidade média (não inferior a 50 – 60 cm), declive moderado, aplicações moderadas de fertilizantes; (3) **Zonas de baixo risco**: apresentam solos argilosos, pouco permeáveis e

com elevada capacidade de retenção para a água, profundos (> 60-70 cm), com nível freático a mais de 20 m de profundidade e com declive fraco.

A quantidade adequada de azoto a aplicar através de fertilizantes a um dado sistema solo-cultura depende de numerosos factores. Por um lado, depende das necessidades da cultura e, por outro, das disponibilidades de azoto assimilável do solo durante o ciclo vegetativo dessa cultura. As necessidades em azoto variam enormemente consoante as culturas e dentro de uma mesma cultura variam com o seu nível de produção.

Geralmente todas as culturas respondem ao incremento de azoto aplicado com o aumento da produção, até chegar a um nível a partir do qual o incremento de adubo já não produz um aumento de produção (lei dos rendimentos decrescentes). Segundo esta lei obtém-se cada vez menos produto adicional à medida que acrescentamos doses adicionais de um factor, mantendo fixos todos os outros factores de produção. Deste modo, mantendo constantes todos os restantes factores produtivos, o produto marginal de cada unidade de factor de produção reduzir-se-á com o aumento da quantidade utilizada desse factor.

As quantidades de fertilizante necessárias variam muito com os níveis de produção a atingir. As altas produções estão ligadas a grandes adubações e, simultaneamente, a elevados níveis de poluição. Sendo a actividade agrícola uma actividade económica, temos sempre de estudar a rentabilidade das aplicações de nutrientes dentro das normas estabelecidas. A minimização dos impactes ambientais é também incluída nos planos de fertilização, especificamente quando se recomenda o fraccionamento de determinados nutrientes devido à sua mobilidade – óptimo ambiental. A grande alteração nos planos de fertilização foi o aparecimento do conceito de "limite máximo de perdas de nutrientes" aplicável a qualquer tipo de agricultura.

Na União Europeia (EU) o abaixamento dos preços dos produtos agrícolas vai fazer diminuir as aplicações de fertilizantes, pois considera-se como óptimo económico o ponto da curva de produção em que o custo de uma unidade de factor iguala o valor da produção (Fig. 91). Deste modo diminuirá indirectamente a poluição do solo e da água.

O sucesso dum plano de fertilização também passa pela capacidade técnica do agricultor, nas decisões do planeamento das culturas, nomeadamente na escola de cultivares, data e densidade de sementeira, qualidade da semente, etc..

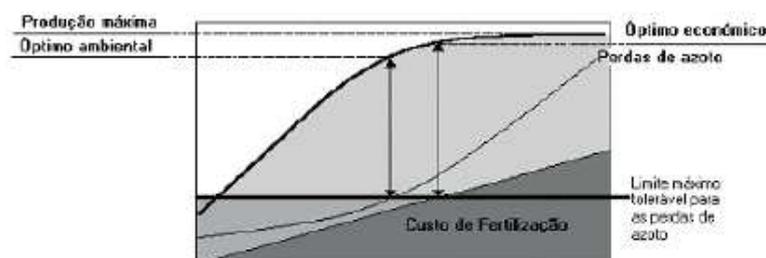


Fig. 91 – Curvas de produção e de perdas de azoto (SPI, 2005)

1.3 O estado de poluição das águas na Europa

No relatório “O Ambiente da Europa: Segunda Avaliação” (AEA, 1998), são apresentados os resultados da monitorização das concentrações de nitratos das águas subterrâneas em 17 países, onde foram seleccionados quatro faixas de concentração. Foi considerado que as concentrações até 2,3 mg N/l correspondiam a um valor aproximado ao das condições naturais. O valor-guia de 25 mg NO₃/l e a concentração máxima admissível de 50 mg NO₃/l para a água destinada ao consumo humano, estabelecidos na directiva 80/778/CEE, definem duas faixas de concentrações adicionais.

Dos países com dados disponíveis, a Eslovénia tinha os mais elevados níveis de nitratos nas superfícies freáticas, apresentando 50% dos pontos de amostragem concentrações superiores a 5,6 mg N/l. Em oito países, o nível de 5,6 mg N/l é excedido em cerca de 25% dos locais. Na República da Moldávia, aproximadamente 35% dos pontos de amostragem excederam a concentração máxima admissível de 50 mg NO₃/l. Estes elevados níveis de nitratos são inteiramente causados por actividades humanas, sobretudo pela utilização de fertilizantes à base de azoto, embora a poluição local, devida a fontes municipais ou industriais, também possa desempenhar um papel importante (Fig. 92).

O mesmo relatório refere que relativamente às águas superficiais o nível médio de nitratos em rios não poluídos é de cerca de 0,1 mg N/l, mas o nível de azoto nos rios europeus relativamente impolutos variam entre 0,1 e 0,5 mg N/l devido à elevada deposição atmosférica de azoto. Além de que os rios nos países nórdicos, em que 70% têm concentrações inferiores a 0,3 mg N/l, 68% dos pontos de amostragem de todos os rios europeus acusaram concentrações médias anuais de nitratos superiores a 1 mg N/l durante o período de 1992 a 1996. Foram observadas concentrações máximas superiores a 7,5 mg N/l em cerca de 15% dos locais. As concentrações mais elevadas foram verificadas na zona setentrional da Europa Ocidental, o que constitui um reflexo de práticas agrícolas intensivas nessas regiões. Elevadas concentrações também se verificaram na Europa Oriental, ao passo que o sul da Europa apresentava, normalmente concentrações mais baixas.

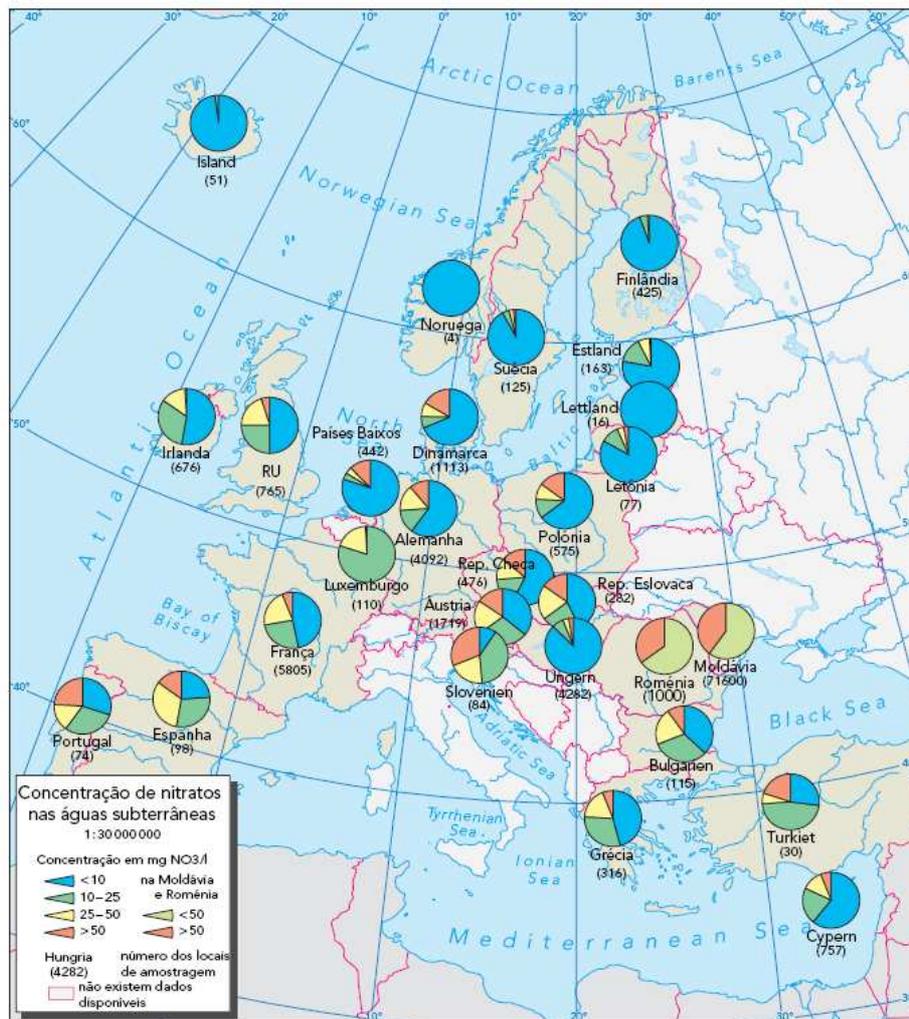


Fig. 92 – Concentração de nitratos nas águas subterrâneas na EU (AEA, 2000)

2 A UTILIZAÇÃO DE MODELOS NUMÉRICOS EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Este Capítulo está organizado do seguinte modo: inicialmente é feita uma breve referência a modelos e a métodos de cálculo de recarga de aquíferos. Quando se aborda a avaliação da recarga é necessário ter presente que é importante definir o modelo e as melhores técnicas que permitam fazer a sua estimativa. Segue-se algumas considerações sobre a utilização de modelos de escoamento e transporte em sistemas agrícolas e apresentam-se alguns modelos já existentes, justificando-se a escolha do modelo HYDRUS-1D para a realização do presente estudo. Na Secção 3.2.6, é apresentada a descrição dos processos de cálculo utilizados pelo modelo.

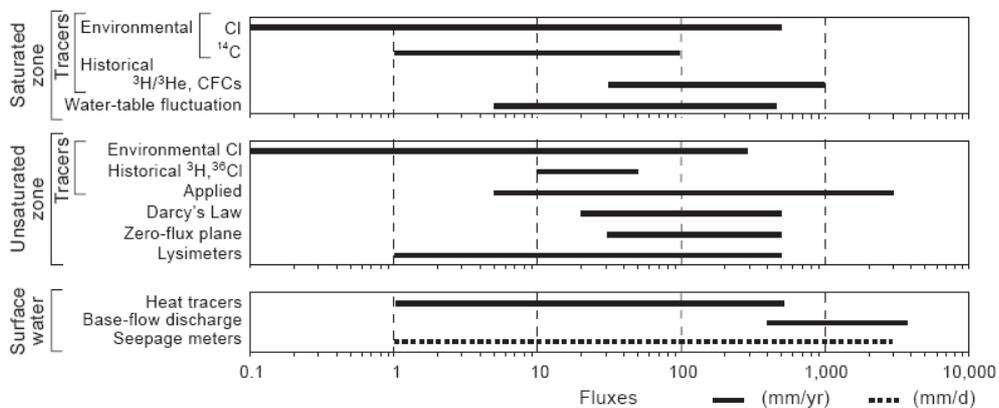
2.1 Breve referência a técnicas e modelos para a estimativa da recarga

A avaliação da recarga de aquíferos tem sido objecto de investigação desde há alguns anos, sendo a sua determinação importante para estudos de vulnerabilidade e contaminação de águas subterrâneas (Scanlon *et al.*, 1997). Com base na extensa informação existente sobre

técnicas para a estimativa da recarga de aquíferos, estes mesmos autores subdividem-nas em técnicas que se relacionam com meio hídrico superficial, com a zona insaturada e com a zona saturada propriamente dita. Para cada zona o cálculo da recarga pode recorrer a métodos físicos, traçadores ou aproximações numéricas.

As técnicas que se baseiam no escoamento na zona vadosa para o cálculo da recarga de águas subterrâneas são as mais utilizadas em regiões áridas e semi-áridas (Scanlon *et al.*, 1997). De entre essas técnicas destacam-se os lísimetros, método do fluxo nulo, a equação de Darcy, traçadores químicos e isotópicos, traçadores ambientais (Cl) e os modelos numéricos.

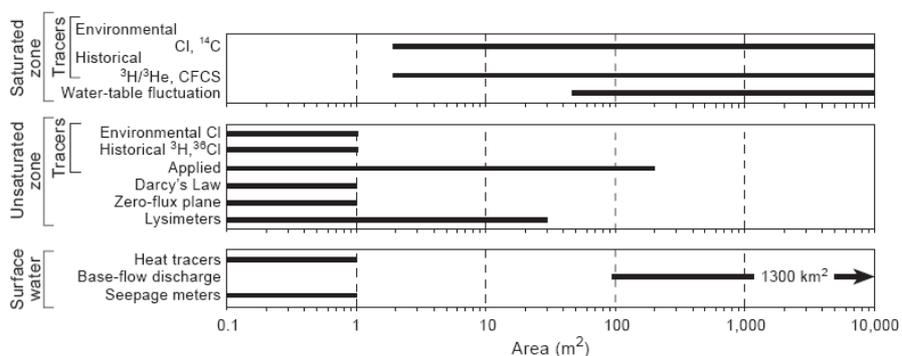
As várias técnicas para a quantificação da recarga diferem na amplitude de cálculo dos fluxos de recarga (Fig. 93) e na representatividade das escalas espaciais (Fig. 94) e temporais (Fig. 95).



(Fonte: Scanlon *et al.*, 1997)

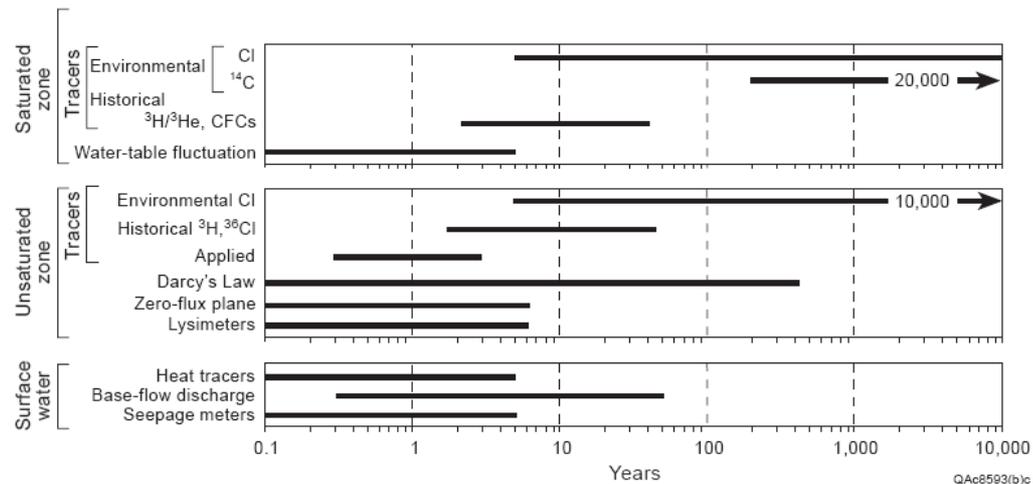
Fig. 93 – Amplitude de intervalo dos fluxos que podem ser determinados pelas várias técnicas para a estimativa da recarga

Contudo os modelos numéricos não apresentam normalmente qualquer restrição na amplitude de valores calculados dos fluxos de recarga.



(Fonte: Scanlon *et al.*, 1997)

Fig. 94 - Representação da escala espacial definida por várias técnicas para a estimativa da recarga



(Fonte: Scanlon *et al.*, 1997)

Fig. 95 - Representação da escala temporal definida por várias técnicas para a estimativa da recarga

A modelação numérica da zona insaturada permite estimar o escoamento através do perfil do solo ocupado pelas raízes das plantas ou a recarga em resposta a precipitação intensa. Recentes avanços na tecnologia computacional e em modelos tem permitido a simulação da recarga. Uma grande variedade de aproximações tem sido utilizada para simular a zona vadosa destacando-se os modelos baseados nas equações de Richards e de convecção-dispersão (BREATH, HYDRUS-1D, RZWQM, HP1, MACRO, LEACHM, PASTIS, SAWP, CHEMTRAP, HYDRUS 2D, SWIM, VS2DT, UNSATH, HYDROGEOCHEM, HYDRUS 3D, FEFLOW).

2.2 Classificação dos modelos

O controlo, minimização e previsão dos efeitos da poluição difusa causada pela agricultura e pela aplicação de fertilizantes e pesticidas apresenta-se hoje em dia como uma das principais prioridades em termos ambientais, em muitas regiões do mundo (Poch *et al.*, 2005; Wendland *et al.*, 2005). O uso de modelos de simulação pode ser uma forma de fazer frente a essa problemática. Existe uma grande variedade de modelos capazes de ajudar na interpretação dos processos de transferência de água e solutos. De acordo com a teoria clássica que descreve os processos físicos e químicos que ocorrem no solo, aliada às técnicas de resolução numérica de equações e aos recursos computacionais disponíveis, é possível, utilizando modelos de simulação, prever os riscos de contaminação e impactes que um determinado composto químico pode causar nos solos e nos recursos hídricos.

Os modelos de simulação são utilizados para interpretar, quantificar e extrapolar resultados experimentais em termos de processos fundamentais físicos, biológicos e químicos (Cameira, 1999). Os modelos de simulação procuram reproduzir fenómenos ou prever o comportamento de um sistema a dadas solicitações. Calculam a evolução de variáveis desconhecidas (saídas) em função das variáveis conhecidas (entradas) e dos parâmetros do modelo (Flipo, 2005).

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos: de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelação (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre as variáveis (empíricos ou baseados em processos), a forma como a representação dos dados (discretos ou contínuos), a relação ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

Vauclin, 1994, classifica os modelos de transporte de uma espécie química na zona vadosa em três grandes categorias: os modelos estocásticos, os modelos deterministas funcionais e os modelos determinísticos mecanicistas.

A heterogeneidade do escoamento e do transporte de solutos na zona vadosa é normalmente modelada recorrendo a modelos estocásticos ou determinísticos (Coquet *et al.*, 2005). Caso os conceitos de probabilidade não sejam considerados durante a elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Os processos baseados na aproximação determinística assumem que a heterogeneidade no espaço é conhecida precisamente, e as propriedades do solo bem como o domínio do transporte pode ser especificado em cada local. Isto pode ser feito descrevendo as camadas sucessivas dentro do perfil do solo baseado em observações pedológicas e assumindo que em cada horizonte do solo são conhecidos os parâmetros hidráulicos (vários autores citados por Coquet *et al.*, 2005). Assume-se em geral que os horizontes do solo são homogêneos horizontalmente e a heterogeneidade em cada perfil pode ser negligenciada.

Os modelos designados como estocásticos têm em conta o carácter aleatório de certas variáveis do modelo sob a forma de uma função de distribuição de probabilidades. Note-se além disso que, no caso de acoplamentos entre modelos, é possível combinar modelos conceptuais e mecanicistas (Flipo, 2005).

Os modelos mecanicistas descrevem os mecanismos internos do sistema baseando-se num bom conhecimento da estrutura física do sistema e leis da mecânica, da física (conservação da massa, da energia, da quantidade de movimento, etc.), da química (equilíbrio químico e termodinâmico, cinéticas químicas) e da biologia (leis de comportamento do crescimento).

Quando a estrutura do sistema e as leis que o governam são desconhecidas, ou quando a aplicação do modelo mecanicista se torna demasiado complicado (informação insuficiente), procede-se a uma simplificação da representação do sistema em termos de geometria e de processos, o que conduz a modelos conceptuais que têm por objectivo descrever o conceito físico de comportamento do sistema por uma representação mais simples. Esta representação, embora tendo um sentido físico, afasta-se da realidade física. Estes modelos podem ser distribuídos no sentido espacial ou não. Por seu lado, os modelos empíricos não fazem referência aos processos internos do sistema estabelecendo apenas relações directas entre as variáveis de entrada e as de saída (Flipo, 2005).

2.3 Modelos unidimensionais

O estudo do movimento da água e do transporte de nutrientes através da zona não saturada do solo é importante para o uso eficiente da água de rega e para a minimização do risco de lixiviação do excesso de nutrientes através do perfil do solo ocupado pelas raízes (Warrick *et al.*, 1971; Nielsen *et al.*, 1986; Santos *et al.*, 2000; Wendland *et al.*, 2001; Paramasivam *et al.*, 2002; Gomann *et al.*, 2004).

Coloca-se o problema da escolha do modelo mais adequado ao caso em estudo. Será aquele que permita o estudo efectivo das práticas agrícolas no movimento de água e de nitratos no solo, ou seja um modelo determinístico integrado.

Dado que se pretende realizar uma análise quantitativa quer dos processos de movimento de água quer dos nitratos, a escolha deve recair sobre um modelo que utilize as equações de Richards e de convecção-dispersão em detrimento daquele que utilize modelos de balanço.

Os modelos de transporte de massa apresentados no Quadro 68 apresentam essas as características pois possibilitam simular as transferências de água e de solutos em meio insaturado a partir das equações de Richards e convecção-dispersão. Esta apresentação não tem a pretensão de ser exaustiva, tem apenas por objectivo mostrar que existem vários modelos no domínio mencionado.

Em geral estes modelos foram desenvolvidos para avaliar o impacto das actividades agrícolas sobre a qualidade da água e das práticas culturais com o objectivo de reduzir a poluição difusa de origem agrícola.

Nas Secções 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3 são descritos os modelos – LEACHM, RZWQM e HYDRUS-1D. É dada uma visão global com maior incidência na descrição de algumas das características mais directamente relacionados com o presente trabalho. O modelo HYDRUS-1D, cuja aplicação é feita neste trabalho, é descrito mais detalhadamente no Capítulo 3. Todos os restantes modelos apresentados no Quadro 68 são considerados apenas como referência.

Os modelos HYDRUS e RZWQM descrevem a dinâmica vertical dos processos e por isso são utilizáveis à escala do talhão. Ambos descrevem a dinâmica da água, mas utilizando formulações diferentes. O modelo HYDRUS descreve a dinâmica dos sais (cálcio, magnésio e sódio) mas não descreve os processos bioquímicos que determinam a dinâmica da matéria orgânica e dos nutrientes no solo. O RZWQM descreve estes últimos processos, mas não descreve a dinâmica dos sais (Santos *et al.*, 2008). O modelo HYDRUS-1D tem a capacidade de simular o transporte individual dos iões existentes na solução do solo, à semelhança do LEACHM (Wagenet & Hutson, 1987).

Quadro 68 – Modelos monodimensionais de referência de transporte de massa

Modelo	Origem	Referências	Versão	Sistema operativo	Dimensão	Descrição dos processos	Aplicações Europa	Objectivos e Substâncias modeladas	Solução inversa	Estratificação do solo	Trocas iónicas		Degradação do azoto orgânico		Não equilíbrio físico	Transpiração	Nutrição mineral pela planta	Crescimento da planta
											Função de adsorção generalizada (Freundlich, Langmuir ou lineaire)	f(pH)	Cinética de 1ª ordem	Precipitação/Dissolução f(temp., humidade)				
PASTIS Predicting Agricultural Solute Transport in Soils	France Institut National de la Recherche Agronomique	Lafolie, 1991			1			Transporte de solutos	-	x	-	-	x	-	x	x	x	x
LEACHM Leaching Estimation and Chemistry Model	Austrália, School of Chemistry, Physics and Earth Sciences	Hutson & Wagener, 1992			1				x	x	x	-	-	x	x	x	-	-
MACRO	Suécia, Universidade de Ciências Agrárias	Jarvis, 1991; Larsbo, 2005			1	Mecanicista	Suécia Espanha Alemanha UK	Transporte de solutos em solos aráveis	-	-	x	x	-	-	x	x	x	x
HYDRUS-1D	Estados Unidos, Universidade da Califórnia	Simunek <i>et al.</i> , 1998; Santos <i>et al.</i> , 2008	2.0	Windows	1	Mecanicista	Áustria Bélgica Dinamarca França Alemanha Itália Holanda Portugal Espanha Suécia Checoslováquia UK	Transporte de solutos em microporos	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-
		Simunek <i>et al.</i> , 2005	3.0															
RZWQM Root Zone Water Quality Model	USDA-ARS Fort Collins Colorado	(Cameira, 1999; Ahuja., <i>et al.</i> , 2000)		Windows	1	Mecanicista	Portugal	Simular a zona não saturada onde estão as raízes		X								x

(Fontes: Olsson *et al.*, 2001; Simunek *et al.*, 2007; Sansoulet, 2007)

2.3.1 LEACHM

O modelo LEACHM é um modelo composto por 4 submodelos que permitem simular: (1) o fluxo de água através de uma coluna de solo até à profundidade de 2 m em condições de fluxo parcialmente saturado (LEACHW), (2) o transporte transitório de iões maiores (Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl, CO₃ e HCO₃) (LEACHC), (3) o transporte e a degradação de pesticidas (LEACHP) e (4) o transporte e transformação de compostos nitrogenados (LEACHN). Considera como dados de entrada a precipitação, permitindo calcular a evaporação e a absorção da água pelas plantas. Também calcula o perfil de temperatura ao longo do perfil do solo. Trata-se de um modelo de grande aceitação, que tem sido utilizado em várias experimentações de campo (Paramasivam *et al.*, 2002; Chatupote *et al.*, 2005). A principal limitação do modelo é o seu carácter unidimensional (Samper, 1995). O modelo LEACHM utiliza uma simulação numérica da equação de Richards, da convecção e da dispersão, muito embora a sua utilização seja apenas em solos homogéneos, o que dificulta estratégias de simulação em condições de campo.

Chatupote *et al.*, 2005 utilizaram os submodelos LEACHN e LEACHP do modelo unidimensional mecanicista LEACHM - Leaching Estimation and Chemistry Model (Wagenet *et al.*, 1987), para avaliar numa área agrícola o potencial de vários tipos de solo para a lixiviação de NO₃ e P, em diferentes cenários de rega. Tinham como objectivo construir mapas de vulnerabilidade regional, indicativos do impacte da lixiviação de nitratos e conjuntamente com Sistemas de Informação Geográfica extrapolar os resultados para o nível da bacia hidrográfica. Estes autores concluíram que a vulnerabilidade para a lixiviação dos solos depende das quantidades de fertilizantes azotados e água aplicados e que a identificação do potencial de risco de contaminação dos solos em áreas sujeitas a práticas agrícolas pode ser usado para delinear as práticas mais apropriadas para a redução de nitratos e de fósforo (P) nas águas superficiais e subterrâneas. Concluíram também que o uso intensivo de agro-químicos em áreas agrícolas, especialmente durante a estação das chuvas, quando o nível freático está muito perto da superfície do solo, aumenta o risco de contaminação por pesticidas das águas subterrâneas.

Ng *et al.*, 2000, utilizaram também o modelo LEACHM, para modelar e testar os efeitos das práticas agrícolas, culturais e de gestão da água na lixiviação de nitratos.

2.3.2 RZWQM

Largamente utilizado na agricultura o modelo determinístico RZWQM (Root Zone Water Quality Model) desenvolvido por vários investigadores americanos, simula o movimento de água, fertilizantes e pesticidas através da zona radicular. É um modelo unidimensional na medida em que simula condições e processos numa unidade de área representativa, verticalmente no perfil do solo, à semelhança do HYDRUS-1D. O RZWQM é um modelo com base física que integra processos físicos, químicos e biológicos que simulam o crescimento da

planta, o movimento e a interacção da água com os nutrientes e pesticidas na zona radicular (Cameira, 1999; Neves *et al.*, 2000; Project AquaTerra; Barão, 2007).

Desenvolvido essencialmente com o objectivo da compreensão dos processos que afectam a qualidade da água em zonas agrícolas, este modelo é constituído por cinco submodelos: (1) processos físicos (movimento de água e transporte de solutos e calor na matriz do solo e evapotranspiração), (2) crescimento das plantas, (3) processos químicos do solo, (4) nutrientes, (5) pesticidas e (6) práticas de gestão da cultura, do solo e da água (Cameira, 1999). O objectivo principal do modelo é o de simular os processos de desenvolvimento na zona do perfil do solo explorada pelas raízes das plantas, permitindo por isso simular e avaliar o impacte ambiental subsuperficial de diferentes práticas de gestão em agricultura. Incluem-se a avaliação de diferentes níveis de mobilização, dos impactos da rega e da drenagem na qualidade da água e dos métodos de aplicação de fertilizantes e pesticidas.

O escoamento da água é baseado numa aproximação em dois domínios (“two domain” ou “bi-continuum”) sendo um deles constituído pela matriz do solo e o outro pelos macroporos (Cameira, 1999). O modelo RZWQM assume que os horizontes mais superficiais do solo contêm macroporos sob a forma de canais cilíndricos, e que os horizontes mais profundos contêm fendas rectangulares planas. Para este modelo, o nível freático é uma condição de fronteira inferior. É admitido que os macroporos são contínuos, verticais e bem distribuídos pela matriz do solo, estendendo-se esta continuidade até a superfície freática ou até um ponto imediatamente abaixo da profundidade de interesse.

O modelo RZWQM foi utilizado por Cameira, 1999, para simular o transporte de solutos para as águas subterrâneas.

2.3.3 HYDRUS-1D

A escolha recaiu sobre o modelo HYDRUS-1D, relacionando-se o factor de escolha com maior liberdade oferecida, por parte deste modelo, que trabalha em ambiente Windows para simular a transferência de água e de solutos num meio não saturado a partir das equações de Richards e de convecção-dispersão. O modelo é apoiado por uma interface baseada em gráficos para pré-processamento de dados, geração de uma malha estruturada, e apresentação gráfica de resultados.

O HYDRUS-1D permite aceder a variáveis de estado (humidade, potencial matricial, concentração) e a variáveis de transferência de massa (lixiviação). O HYDRUS-1D auxilia o utilizador na concepção do domínio a 1 dimensão (1D), integrando diferentes camadas de solo e as suas propriedades hidráulicas/físico-químicas, permitindo considerar o declive, avaliar a nutrição hídrica e mineral da planta e pode simular a mineralização da matéria orgânica no solo (Sansoulet, 2007). O HYDRUS-1D baseia-se sobre uma representação a mais detalhada possível, dos mecanismos do escoamento e do transporte de solutos. Neste tipo de formulação, as transferências de água e de solutos apoiam-se nas leis da física e da química.

As equações de Richards são utilizadas para representar as transferências de água enquanto que as equações de convecção-dispersão fundamentadas nas leis de Fick são utilizadas para representar as transferências de solutos (Flipo, 2005). As equações de transporte de solutos consideram o transporte por advecção-dispersão na fase líquida, e difusão na fase gasosa. As equações de transporte também podem ser usadas para reacções não-lineares e /ou de não-equilíbrio entre as fases líquida e sólida, produção de ordem zero, e duas reacções de degradação de primeira ordem: uma que é independente de outros solutos, e outra que favorece a acoplagem de dois solutos envolvidos em reacções de degradação sequencial de primeira ordem (Almeida, 2003).

3 APRESENTAÇÃO DO MODELO HYDRUS-1D

Propõe-se nesta Secção fazer uma descrição sucinta do modelo HYDRUS-1D (Šimůnek *et al.*, 2008) que permite resolver a 1D as equações de derivadas parciais que regem as transferências de água (modelo de Richards) e de solutos (convecção-dispersão). A resolução da equação de Richards consegue-se impondo-se condições fronteira ao domínio definido pelo fluxo. A parte do modelo relacionada com o escoamento de água pode lidar com fronteiras (constantes ou variáveis no tempo, assim como com condições fronteira determinadas pelas condições atmosféricas. As condições fronteira da superfície do solo podem variar, durante a simulação, do tipo de condições de fluxo assumido/imposto, para condições de nível imposto (e vice-versa). A definição das condições fronteira que se aproximem das condições de experimentação é decisiva na obtenção de resultados próximos da realidade do movimento da água no solo. As equações de fluxo e transporte de solutos são resolvidos numericamente através de esquemas de elementos finitos de Galerkin do tipo linear.

3.1 Funcionalidades do modelo HYDRUS-1D

O modelo HYDRUS-1D permite simular:

- Os escoamentos unidimensionais (vertical, horizontal e inclinado) da água num meio poroso incompressível e variavelmente saturado, em regime permanente ou transitório. O modelo HYDRUS-1D é um modelo de elementos finitos que simula a uma dimensão (1D) o movimento da água, calor e solutos em meio variavelmente saturado. O programa resolve numericamente a equação de Richards para o fluxo saturado/insaturado da água do solo e as equações de advecção-dispersão fundamentadas na lei de Fick para o transporte de calor e solutos. A equação do transporte de solutos considera o transporte por processos de advecção-dispersão na fase líquida e a difusão na fase gasosa. O modelo resolve a equação de Richards e fornece os valores de pressão do teor de água e da velocidade em cada nó da malha. Calcula os diversos fluxos de água nas fronteiras do sistema em função do tempo (fluxo infiltrado, evaporação, escorrência, drenagem, carga hidráulica). Permite escolher diferentes modelos para parametrizar as curvas de retenção hídrica

em função da sucção, $\theta(\psi)$ e da condutividade hidráulica em função da sucção $K(\psi)$ (Van Genuchten-Mualem (1980), Brooks and Corey (1966), Kosugi (1996)). A equação do escoamento pode ter em conta um termo designado “fonte” para representar a extracção de água pelas plantas.

- O transporte de 5 solutos (no máximo). O Hydrus permite considerar até cinco solutos, que podem juntar-se numa cadeia unidireccional ou que se podem mover independentemente uns dos outros. O modelo resolve a equação da convecção-dispersão para o transporte de solutos na fase líquida. Os solutos podem sofrer reacções do tipo adsorção/desorção com uma cinética de primeira ordem. Um modelo básico de química em meio aquoso aplicado a solos (geoquímica) está disponível, e permite um ajustamento de comportamentos. O HYDRUS-1D utiliza uma aproximação usual para o conceito físico do não equilíbrio, o modelo de duas regiões de água no solo (modelo que inclui o conceito de escoamento preferencial de solutos) apresentado por van Genuchten e Wierenga (1976). Nesta aproximação o espaço poroso é dividido numa zona de água móvel e noutra de água imóvel. Na região de água móvel o soluto move-se por convecção, podendo aplicar-se a equação de convecção-dispersão. O volume de água imóvel não participa na convecção, efectuando-se trocas de soluto, por difusão, entre esta e a região de água móvel.
- Transferência de calor por convecção e condução no fluxo de água.

3.2 Características de resolução do modelo HYDRUS-1D

3.2.1 Método de resolução

As equações de derivadas parciais são resolvidas utilizando um esquema numérico de elementos finitos linear.

Para todas as regiões definidas pelo utilizador e em todos os passos de tempo previamente seleccionados, o HYDRUS-1D calcula um balanço de massa para estimar os desvios sobre as diferentes variáveis no decorrer do cálculo.

3.2.2 Geometria e composição do meio

A geometria do sistema é uma coluna de solo onde é especificada a profundidade. O modelo é unidimensional e o regime hídrico aplicado é especificado em termos do débito volumétrico por unidade de superfície.

A região do escoamento pode ser não uniforme, constituído de camadas sobrepostas de materiais com características hidráulicas diferentes.

3.2.3 Parâmetros de entrada, opções, condições iniciais e seus limites

Os dados a fornecer ao modelo são:

- As unidades de espaço e tempo;
- A geometria do sistema;
- A duração da simulação;
- As condições variáveis sob a forma de tabela de fluxos de água ou de pressões em função do tempo;
- Os parâmetros hídricos: conforme a escolha do modelo de escoamento (relações hídricas, porosidade dupla, fenómeno de histeresis) e o número de variáveis (pelo menos 5 parâmetros);
- As condições dos limites hidráulicos: elas são predefinidas (fluxo constante, fluxo variável, pressão de água constante, pressão de água variável, pressão atmosférica com acumulação de água, drenagem livre, presença de drenos horizontais, etc.);
- Condições de limites para os solutos: três tipos de condições usuais (Dirichlet, Neumann e Cauchy) estão disponíveis;
- Condições iniciais, específicas em todos os pontos do domínio. Estas condições podem ser expressas em carga de pressão ou teor de água para a hidrodinâmica e em concentração para o transporte de solutos.

3.2.4 Identificação paramétrica para a resolução inversa

O modelo HYDRUS-1D calcula a resolução inversa das propriedades hidráulicas e/ou dos parâmetros de transporte. Esta técnica consiste em otimizar os parâmetros desconhecidos para minimizar os desvios entre os resultados experimentais (dados de entrada) e os simulados. O modelo utiliza o algoritmo de Levenberg-Marquardt como função objectivo para a optimização dos parâmetros.

3.2.5 Equações de base

3.2.5.1 Movimento de água

O modelo HYDRUS-1D resolve a equação de Richards para o fluxo saturado/insaturado da água no solo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S$$

onde h é a pressão efectiva da água [L], θ é o teor de água no solo [L^3L^{-3}], t é o tempo [T], x é a coordenada espacial [L], α é o ângulo entre a direcção do escoamento e o eixo vertical, S quantifica a extracção de água pelas raízes [$L^3L^{-3}T^{-1}$] e K é a condutividade hidráulica insaturada [LT^{-1}].

Esta equação é de difícil resolução por intervirem nela variáveis dependentes: o potencial de pressão (h) e o teor de água no solo (θ); por ser uma equação diferencial parcial de segunda ordem e por ser não linear. Para resolver esta equação, sujeita a condições iniciais e de contorno adequadas ao caso em estudo, é possível através de métodos numéricos como o das diferenças finitas.

O conhecimento das relações pressão efectiva e condutividade hidráulica com o teor de água do solo, $\theta(h)$ e $K(h)$ são dados pelas seguintes equações:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-(1-1/n)}$$

$$K(h) = K_s \frac{((1 + (\alpha h)^n)^{1-1/n} - (\alpha h)^{n-1})^2}{(1 + (\alpha h)^n)^{(1-1/n)(\ell+2)}}$$

em que θ é o teor de água ($cm^3 \cdot cm^{-3}$), h é a pressão efectiva (cm de água), θ_r e θ_s são respectivamente, os teores de água residual e na saturação, $K(h)$ é a condutividade hidráulica em solo insaturado (cm dia⁻¹), K_s é a condutividade hidráulica no solo saturado (cm dia⁻¹) e α , n e λ são parâmetros de ajustamento que definem a forma das curvas.

3.2.5.2 Transporte de solutos

O movimento de solutos no solo é um processo no qual a dispersão e convecção ocorrem simultaneamente. A equação diferencial que descreve estes processos em conjunto é no modelo HYDRUS-1D a equação clássica de convecção-dispersão (CD) para o transporte de solutos (Santos *et al.*, 2008). O modelo de convecção-dispersão assume que num determinado local a água circula com determinada velocidade v e que a concentração de soluto tem um único valor médio em todo o espaço poroso. Quando decorre tempo suficiente para que tenha sido minimizada qualquer diferença na concentração de solutos perpendicularmente à direcção do maior fluxo, o fluxo monodimensional através do solo homogéneo e isotrópico é dado por (Cameira, 1999).

4 APLICAÇÃO DO MODELO HYDRUS-1D

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado um exercício de simulação com o modelo Hydrus-1D, com o objectivo de simular um ciclo de crescimento de uma cultura e com base em dados experimentais, determinar os fluxos de água e solutos através da zona vadosa até ao nível freático, relacionando com as suas necessidades de nutrientes, com as quantidades de fertilizantes aplicados, com a profundidade atingida pelas raízes, com as condições climáticas e com as propriedades hidráulicas do solo. No decorrer deste processo e com base nas respostas fornecidas pelo modelo, idealizar-se, partindo das condições iniciais que caracterizam o exercício de simulação, diferentes cenários de fertilização, tentando-se obter o melhor compromisso entre duas variáveis, absorção radicular e fluxo de NO₃ para a superfície freática. Das respostas a esses cenários pretende-se obter uma função de transferência de solutos na zona vadosa que relacione: quantidade de fertilizante aplicado sobre a cultura com a quantidade disponível para lixiviação, ou seja, potencialmente lixiviável. A posterior aplicação dessa função no modelo de optimização, permitirá a proposta de práticas alternativas de gestão de fertilização que minimizem as perdas de azoto no sistema solo-planta e optimizem a eficiência de utilização de azoto pelas culturas.

Uma das vantagens de se poder usar modelos como o Hydrus-1D é que este permite prever cenários dependentes de variáveis controláveis (cultura instalada, quantidade de água e de fertilizante aplicada) e de outras de natureza mais aleatória (precipitação durante o ciclo da cultura e todos os efeitos climáticos não controláveis) ajudando a optar por práticas de gestão agrícola (Gardenas *et al.*, 2005; Rubio *et al.*, 2005; Šimůnek *et al.*, 2008).

Para que esses cenários sirvam de base para a tomada de decisões, é preciso conhecer todos os parâmetros envolvidos no processo, para que os resultados das simulações sejam os mais aproximados da realidade possível. Nesta aplicação não foi possível apontar cenários com segurança por não ter sido possível medir todos os parâmetros necessários à simulação de um cenário fiável. Houve alguns parâmetros que se tomaram por defeito o que leva a que não se possa apontar um determinado caminho ou afirmar que se tomar a opção X as consequências serão Y. Procurou-se colmatar essa lacuna com dados recolhidos em bibliografia adequados ao tipo de solo da região, mas tem-se consciência de que estes poderão ser mais ou menos aproximados dos valores realmente correspondentes ao solo em questão.

Refira-se ainda que os resultados das aplicações aqui apresentadas devem ser analisados com cuidado, devido aos problemas encontrados para a calibração e validação do modelo. Procurando atender-se à influência das condições de rega, a recolha de informação para obtenção dos dados necessários para a validação e calibração do modelo para essas situações não foram suficientes. As recolhas de dados estenderam-se apenas durante a campanha de rega do ano de 2006 com uma continuação das observações efectuadas nos mesmos locais

durante a estação de rega de 2007. No entanto este trabalho pode representar um exemplo de como o modelo pode ser utilizado de um ponto de vista mais prático e menos académico.

4.2 Especificação dos cenários

Tendo em conta o conjunto dos principais aspectos culturais identificados no Capítulo anterior, idealizaram-se, partindo das condições iniciais que caracterizam as modalidades ensaiadas nas parcelas experimentais, diferentes cenários de fertilização tentando-se obter o melhor compromisso entre as variáveis, produção, absorção radicular, fluxo de água e N para a superfície freática e perfil residual de N no solo para as várias culturas instaladas no interior da bacia. Para as simulações dos diferentes cenários são utilizados dados culturais, edáficos e meteorológicos recolhidos em várias campanhas de rega, bem como dados bibliográficos.

Especificamente pretende-se avaliar os efeitos de vários cenários rega e fertirrigação e consequentemente no potencial de lixiviação de nitratos dos diferentes tipos de solos existentes na bacia hidrográfica em estudo, associados a uma ou outra cultura instalada. O objectivo é obter níveis indicativos das quantidades de N a aplicar de modo a atingir um nível de fertilidade pretendido em função do tipo de solo e cultura instalada sem afectar a qualidade da água. Faz-se o exercício de, considerando as culturas de regadio mais importantes na área de estudo estabelecer para cada solo em concreto, níveis de quantidade de nutrientes (azoto) que deveriam ser aplicados.

Estruturação de cenários

Assume-se que o azoto é aplicado directamente com a água de rega (fertirrigação) sobre a superfície de solo e distribuído ao longo da campanha de rega.

Para apreciação dos fluxos de água e transporte de nutrientes através da zona vadosa foram definidos sete níveis de aplicação de fertilização anuais (0, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 Kg N/ha). Os valores são atribuídos arbitrariamente nesta definição e não são, em qualquer das hipóteses, a expressão quantitativa real das adubações realizadas nos ensaios experimentais. A selecção dos níveis de fertilização foi efectuada com base nos seguintes critérios: (1) respeitar o interesse de obtenção de informação nas manchas de solo mais representativas localizadas no interior da bacia hidrográfica; (2) admitir que os valores atribuíveis a cada um dos níveis eram suficientemente afastados e distintos para ajuizar, com maior alcance prático, do grau de poluição em cada caso concreto.

Quadro 69 – Cenários de dotações e aplicação de fertilizantes

		Taxa de aplicação	Frequência de aplicação	Período de aplicação	Aplicação total anual	Área regada do “pivot”	Taxa de aplicação anual
Cenário A	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	0 Kg/ha	-	-	0 Kg		0 Kg/ha
Cenário B	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	10 Kg/ha	5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura	1150 Kg		50 Kg/ha
Cenário C	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro		23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	20 Kg/ha	5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura			1000 Kg/ha
Cenário D	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	30 Kg/ha	5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura	3450 Kg		150 Kg/ha
Cenário E	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	40 Kg/ha	5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura	4600 Kg		200 Kg/ha
Cenário F	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos	50 Kg/ha	5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura	5750 Kg		250 Kg/ha
Cenário G	Água (irrigação)	39 m ³ /ha	Todos os dias	Maio a Setembro	138 000 m ³	23 ha	6000 m ³ /ha
	Nitratos		5 Aplicações	1 Aplicação de fundo 4 Aplicações de cobertura	6900 Kg		300 Kg/ha

Dados de entrada do modelo (Input Parameters)

Nesta Secção são apresentados alguns aspectos suplementares a considerar em relação aos dados de entrada do modelo Hydrus-1D.

Os dados de entrada necessários ao modelo HYDRUS-1D para simular o movimento de água e o transporte de solutos são:

- Condições iniciais;
- Condições de fronteira;
- Propriedades hidráulicas do solo;
- Distribuição radicular;
- Parâmetros de transporte de solutos.

Os dados utilizados são descritos nos parágrafos que se seguem (Quadro 70).

Quadro 70 – Parâmetros de entrada do modelo HYDRUS-1D, para simulação

Input parameters
Information parameters
Number of soil materials
Number of layers for mass balances
Decline from vertical axes
Depth of soil profile (cm)
Initial time
Final time
Initial time step (day) dt
Minimum time step (day) $dtmin$
Maximum time step (day) $dtmax$
Number of time-dependent boundary records
Number of printing times
Waterflow parameters
Maximum number of iterations
Water content tolerance
Pressure head tolerance (cm)
Lower optimal iteration range
Upper optimal iteration range
Lower time step multiplication factor
Upper time step multiplication factor
Lower limit of the tension interval (cm)
Upper limit of the tension interval (cm)
Soil layer parameters
Solute parameters
Stability criterion
Absolute concentration tolerance
Relative concentration tolerance
Maximum number of iterations
Number of solutes
Pulse duration
Soil layer parameters
Molecular diffusion coefficient in free water (mm^2/day) $Diffus. W Dw$
Molecular diffusion coefficient in soil air (mm^2/day) $Diffus. G Da$
Adsorption isotherm coefficient ($/mg/mm^3$) $Kd ks$
Adsorption isotherm coefficient ($/mg/mm^3$) $Nu v$
Adsorption isotherm coefficient Beta β
Root water uptake parameters
Critical stress index
Value of the pressure below which roots start to extract water from the soil PO
Value of the pressure below which roots extract water at the maximum possible rate $Popt$
Value of the limiting pressure head below which roots cannot longer extract water at the maximum rate $P2H$
Value of the limiting pressure head below which roots cannot extract water at the maximum rate $P2L$
Value of the pressure head below which root water uptake ceases $P3$
Potential transpiration rate (cm/day) $r2H$
Potential transpiration rate (cm/day) $r2L$
Other parameters
Precipitation rate (mm/day) $Precip$
Potential evaporation rate (mm/day) $Evap$
Potential transpiration rate (mm/day) $Trans$
Absolute value of the minimum allowed pressure head at the soil surface (cm) $hCritA$
Time-dependent concentration of the soil surface boundary (mg/mm^3) $cTop$ at $t=1$
Time-dependent concentration of the soil surface boundary (mg/mm^3) $cTop$ at $t=15$
Time-dependent concentration of the lower boundary (mg/mm^3) $cBot$

Quadro 71 – Soil layer input parameters in HYDRUS-1D, for simulations

Soil layer input
Thickness (cm)
Residual soil water content $Q_r \theta_r$
Saturated soil water content $Q_s \theta_s$
Parameter a in the soil water retention function (/mm) $Alpha \alpha$
Parameter a in the soil water retention function (/mm) $n n$
Saturated hydraulic conductivity (mm/day) $K_s K_s$
Bulk density (mg/mm^3) Bulk.d. ρ
Longitudinal dispersivity (mm) $Disp DL$
Dimensionless fraction of adsorption sites $Frac$
Immobile water content $Thmob$

Dados meteorológicos

Um dos parâmetros necessários ao HYDRUS-1D é a evapotranspiração potencial diária.

O modelo de evapotranspiração incorporado no HYDRUS-1D divide a evapotranspiração nas componentes de: evaporação do solo (Esp) e transpiração das plantas (Tp) (Simunek *et al.*, 2008).

Para a simulação do modelo HYDRUS-1D a evapotranspiração de referência (Eto) foi convertida em ou evapotranspiração potencial (ETc) de um determinado coberto vegetal, multiplicando ETo pelos coeficientes culturais (Kc) consoante a ocupação do solo (Fig. 96).

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

O valor de Kc varia em função do coberto vegetal e do seu período de desenvolvimento (Allen *et al.*, 1998 citado por Oliveira, 2004).

Este coeficiente cultural comporta as diferenças físicas e fisiológicas entre o coberto vegetal e a superfície de referência, pelo que o seu valor pode variar ao longo do tempo (em dependência do período vegetativo).

Podem-se considerar quatro períodos distintos de desenvolvimento de uma cultura: (1) inicial, (2) desenvolvimento da cultura (até a cobertura ser total), (3) meia estação (até ao início da maturidade), e (4) final de estação (até ao corte das culturas ou completo envelhecimento). Allen *et al.*, 1998 apresentam uma tabela com os valores indicativos para a duração dos estádios de desenvolvimento dos cobertos vegetais bem como os valores típicos de Kc inicial, Kc médio e Kc final (Oliveira, 2004) (Apêndice).

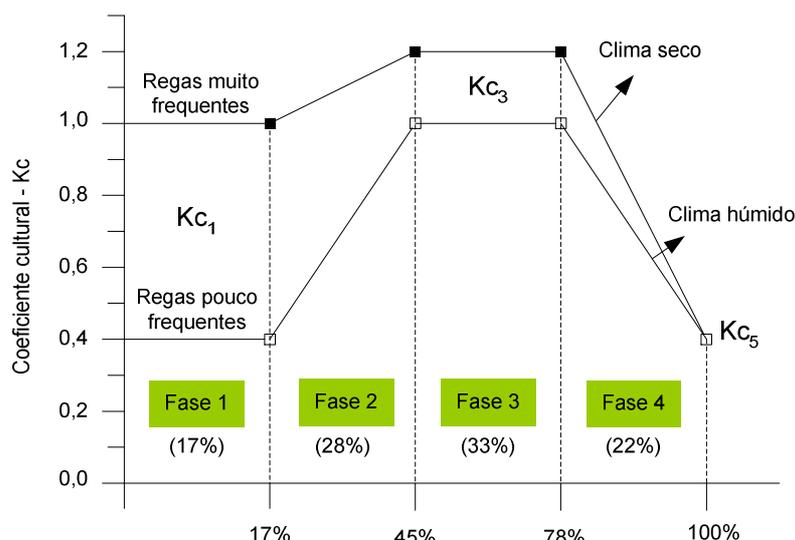


Fig. 96 – Coeficientes culturais (Kc) do milho em função das fases do ciclo vegetativo em duas situações climáticas (Modificado de Allen *et al.*, 1998)

A evapotranspiração calculada foi então dividida nas suas componentes evaporação do solo (Esp) e transpiração da cultura (Tp) através das equações (Simunek *et al.*, 2008):

$$ET_p = T_p + E_{sp}$$

A evaporação potencial do solo e os fluxos de transpiração da planta podem ser calculados a partir da evapotranspiração potencial utilizando a lei de Beer que utiliza a radiação solar interceptada e absorvida pelas plantas como parâmetro fundamental (Simunek *et al.*, 2008) com base nas seguintes equações:

$$T_p = ET_p \left(1 - e^{-k \cdot LAI} \right) = ET_p SCF$$

$$E_p = ET_p e^{-k \cdot LAI} = ET_p (1 - SCF)$$

onde Etp, Tp e Ep são a evapotranspiração potencial, os fluxos potenciais de transpiração e evaporação [LT-1], respectivamente, LAI é o índice de área foliar, SCF é o factor de cobertura do solo e K é uma constante que tem em conta a absorção da radiação pela cultura a qual é função do ângulo de incidência, da distribuição das plantas e do arranjo das folhas (varia entre 0,5 – 0,75).

Os dados de evapotranspiração de referência (evapotranspiração potencial) diários (ETo) para a simulação com o modelo HYDRUS-1D, foram obtidos da estação meteorológica automática pertencente ao SAGRA – Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (<http://www.cotr.pt>), instalada nas proximidades da bacia hidrográfica localizada na Infra-estrutura 12 – Monte do Outeiro – Canhestros – Ferreira do Alentejo.

Na Fig. 97 são apresentados graficamente os valores relativos da transpiração da cultura (Tp), evaporação do solo (Esp) e evapotranspiração cultural (Etc) ocorridos entre Abril e Outubro de 2006.

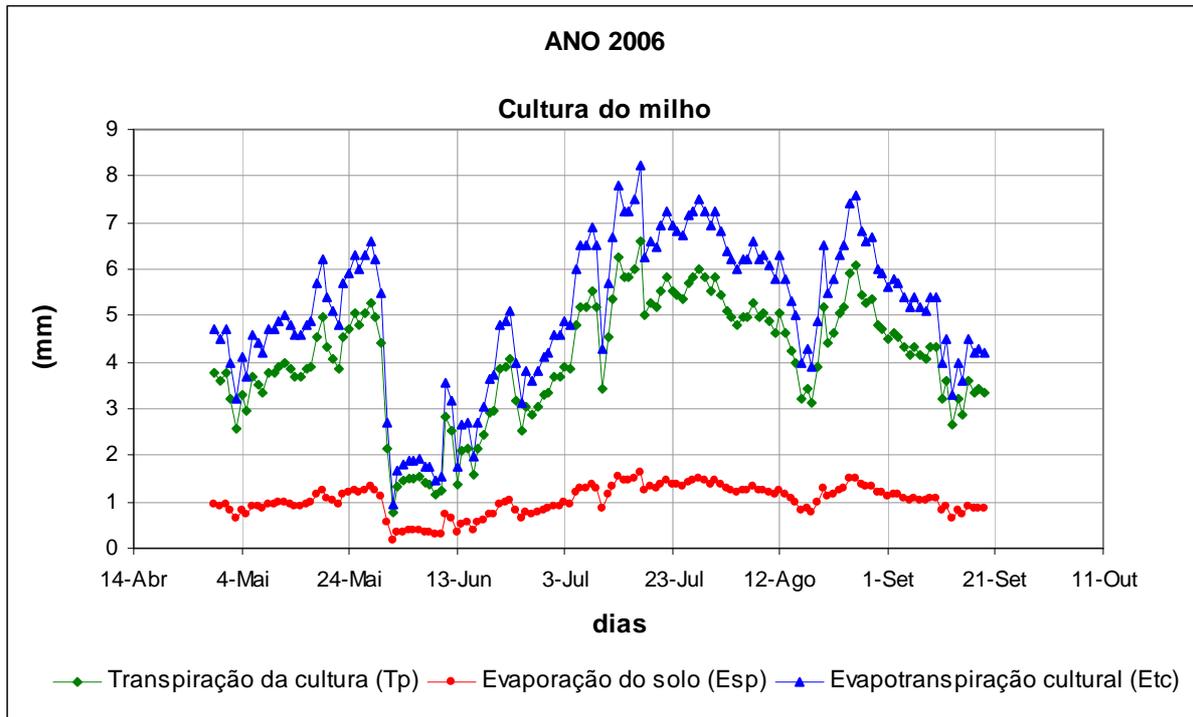


Fig. 97 - Valores relativos da transpiração da cultura do milho (Tp), evaporação do solo (Esp) e evapotranspiração cultural (Etc) ocorridos em Ferreira do Alentejo, entre Abril e Setembro de 2006

Dispersividade do solo e difusão de solutos

Sansoulet (2007) ao modelar a concentração de solutos numa coluna de solo com o modelo utilizou valores para a dispersividade longitudinal e transversal respectivamente de 1 cm e 0.1 cm. O coeficiente de difusão molecular na água aplicado foi de $1.9 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. O coeficiente de difusão foi multiplicado por um factor de tortuosité, igual a 0.6, segundo a formulação de Millington and Quirk.

Mendes, 1997 Tortuosidade (t) – quadrado da razão entre o comprimento do caminho efectivo médio, L_e , no meio poroso e a distância mais curta, L , medida numa determinada direcção:

$$\tau = (L_e/L)^2$$

A dispersividade longitudinal na zona não saturada varia tipicamente entre 5 e 20 cm (Jury *et al.*, 1991).

Condições atmosféricas e de rega

A Fig. 98 representa os valores relativos às condições atmosféricas decorridas ao longo do ano de 2006 do ensaio, ou seja, os valores diários de precipitação, evapotranspiração. Apresentam-se também os valores das regas efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho e descritas no Apêndice.

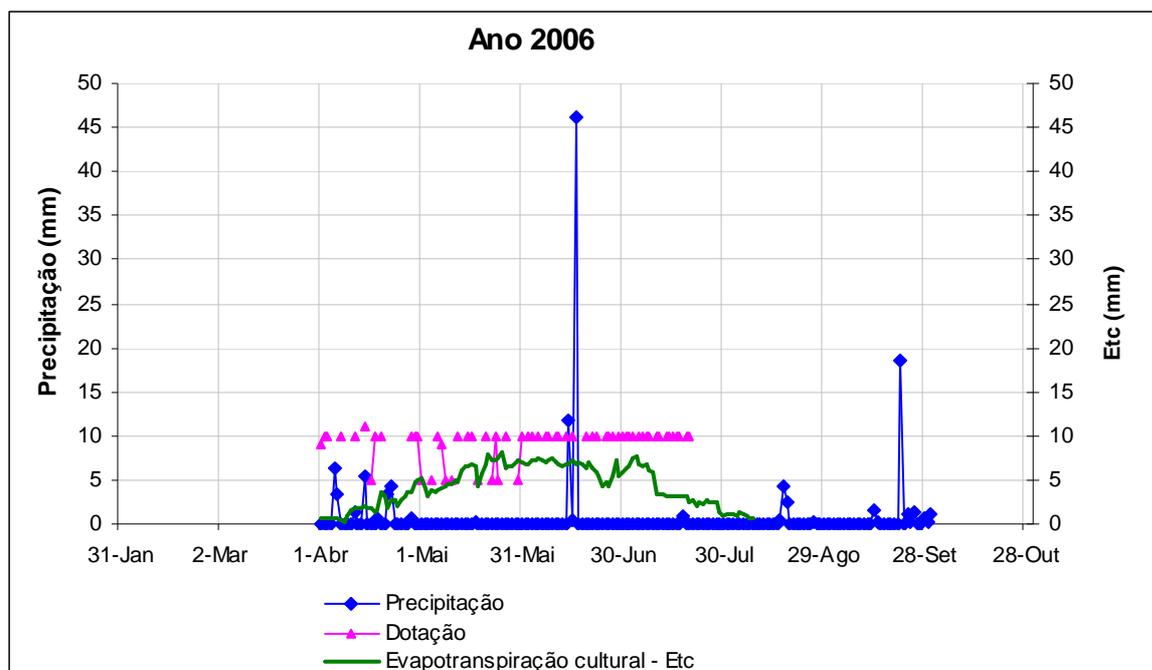


Fig. 98 – Valores relativos à precipitação diária, regas efectuadas, evapotranspiração cultural ocorridas em Ferreira do Alentejo, entre Abril e Setembro de 2006

A evaporação da superfície do solo pode ser uma componente importante no balanço de água, a qual segundo Campbell (1985) pode alcançar 10% do total da evapotranspiração. Bonachela *et al.*, (2000) estimaram que numa plantação de oliveiras jovens a evaporação representa entre 18% e 43% da evapotranspiração, se bem que numa plantação adulta, a percentagem está entre 4% e 12%.

A intensidade de evaporação está relacionada com o tipo de solo e com as condições climáticas.

As condições climáticas impõem a “evaporação potencial”, que corresponde à intensidade máxima de evaporação numa superfície de água livre.

Depois de se regar o solo seca a uma intensidade de evaporação decrescente. A redução da intensidade não é linear com o tempo, distinguindo-se 3 fases (Philip, 1957; Ritchie, 1972). Na primeira a intensidade é praticamente constante e a magnitude igual à evapotranspiração potencial, e o conteúdo de água no solo encontra-se praticamente perto do ponto de saturação.

A segunda etapa caracteriza-se por uma redução na intensidade de evaporação relativamente ao valor potencial. Nesta etapa as propriedades físicas e hidráulicas dos solos têm um papel preponderante. À medida que a reserva de água no solo se vai esgotando, a fase líquida do solo apresenta descontinuidades e o fluxo predominante dá-se por difusão do vapor de água.

Para a simulação do modelo HYDRUS-1D a evapotranspiração de referência (E_{to}) foi convertida em evapotranspiração cultural (E_{tc}), multiplicando E_{to} pelos coeficientes culturais (K_c) consoante a ocupação do solo.

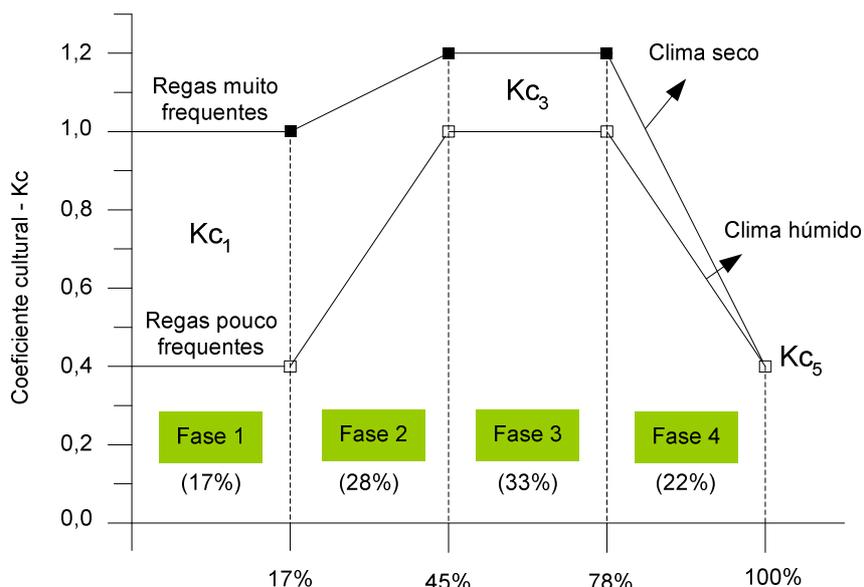


Fig. 99 – Coeficientes culturais do milho em função das fases do ciclo vegetativo em duas situações climáticas (Modificado de Allen *et al.*, 1998)

A E_{tc} calculada foi então dividida nas suas componentes evaporação do solo (E_p) e transpiração da cultura (T_p) através das equações:

$$E_p = E_{tc} - T_p$$

$$T_p = E_{tc} \times SCF$$

$$SCF = 1 - \exp(-\alpha_i \times LAI)$$

onde SCF é o factor de cobertura do solo, LAI é o índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$) α_i é uma constante que tem em conta a absorção da radiação pela cultura (Ritchie, 1972).

Soil layer input

Os input do solo referem-se às propriedades do solo como as suas características hidráulicas, físicas e químicas.

O solo do local de ensaio (Monte da Mancoca) foi classificado pelos técnicos do Departamento de Ciências do Solo da Estação Agronómica Nacional (EAN), como pertencente ao grupo dos Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários Para-Hidromórficos - Pagc (Cardoso, 1974) ou como um Luvisolo Gleizado – LVgl (FAO 2006).

A descrição do perfil do solo foi realizada por observação de um perfil no local do ensaio (Fig. 100) tendo-se procedido à colheita de amostras de solo por técnicos da EAN para a caracterização física, química e hidrológica em laboratório.



Fig. 100 - Perfil aberto no Monte da Mancoca

Propriedades hidráulicas

O modelo de Mualem-van Genuchten (van Genuchten, 1980), incluído no HYDRUS-1D foi utilizado para calcular as propriedades hidráulicas do solo, parametrizado utilizando os teores de água residual θ_r e na saturação θ_s , a condutividade hidráulica no estado saturado K_s e α , n e λ parâmetros de ajustamento que definem a forma das curvas (Quadro 72).

Quadro 72 – Parâmetros obtidos com o modelo Mualem-van Genuchten no ajustamento simultâneo dos dados experimentais referentes às curvas de retenção de água e da condutividade hidráulica

Perfil	Monte da Mancoca	
Prof. (cm)	0-20	20-44
θ_r	0.0000	0.0000
θ_s	0.4008	0.3904
α	0.0615	0.0200
η	1.103	1.104
ℓ	-9.255	-9.578
Ks	94.8	37.6
R2	0.990	0.996

Distribuição das raízes

A profundidade radicular da planta do milho foi determinada através de observações visuais do perfil do solo pelo método do minirizotróo (cf. Relatório referente ao 2º ano de execução). Verificou-se que o maior volume de raízes se encontrava até aos 30 cm, tendo sido estimado que 80% se encontravam até essa profundidade, enquanto as 20% restantes se distribuíam até aos 70 cm de profundidade (Fig. 101).

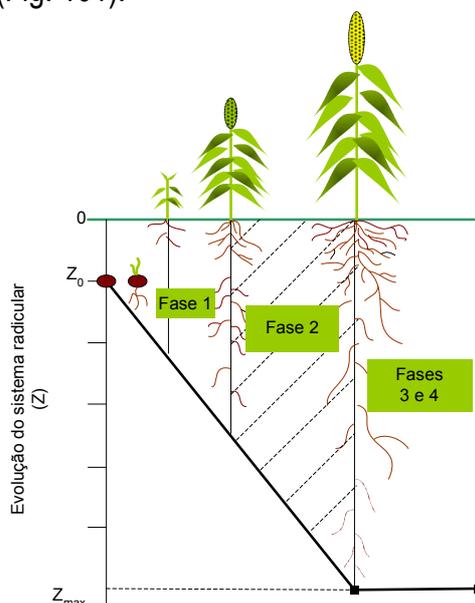


Fig. 101 – Evolução do sistema radicular do milho em função da fase vegetativa (Modificado de Allen *et al.*, 1998)

4.3 Condições iniciais e de fronteira

Durante todo o período de rega e em toda a superfície do solo, definiu-se um domínio de condições de fronteira atmosférica numa extensão horizontal de 150 cm (igual ao dobro da largura entre as linhas da cultura) e com uma profundidade de 100 cm (Fig. 102). Como condição ao limite superior utilizaram-se as condições atmosféricas diárias e água de rega

aplicada já descritas, no qual se contemplou os termos da evaporação do solo, transpiração da cultura, precipitação e dotações de rega.

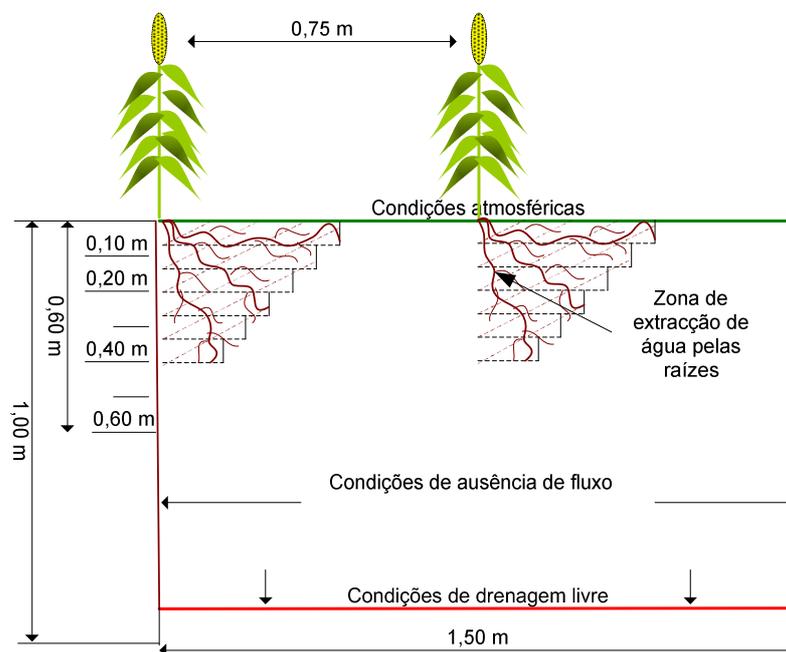


Fig. 102 - Condições de fronteira e de contorno adoptadas nas simulações

Esta simulação teve uma duração de 135 dias, com início (dia 0) no dia 24 de Maio de 2006 e término na colheita, o que corresponde à duração do ciclo cultural do milho nesse ano no Monte da Mancoca.

As unidades utilizadas foram: dia, para o tempo; centímetro (cm), para espaço.

No limite inferior do domínio consideraram-se condições de drenagem livre, o mesmo é dizer que o gradiente de potencial hidráulico é igual à unidade e portanto o fluxo é devido unicamente ao potencial gravitacional. Nos limites laterais as condições de fluxo impostas foram de ausência de fluxo.

Na zona superficial do solo a malha utilizada foi relativamente densa, com elementos de profundidade igual a 0,5 cm. À medida que aumentou a profundidade, a dimensão vertical dos elementos incrementou-se até 1 cm. A maior densidade dos elementos na zona mais superficial justifica-se por ser a zona mais activa no movimento da água, devido tanto à infiltração como à evaporação.

Como condição inicial para a humidade do solo, partiu-se de um valor médio do teor de água de $0.25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para as profundidades de 20, 40 e 60 cm.

Considerou-se não haver condições propícias a fenómenos de histeresis.

O modelo utilizado para descrever as propriedades hidráulicas do solo foi o modelo de van Genutchen.

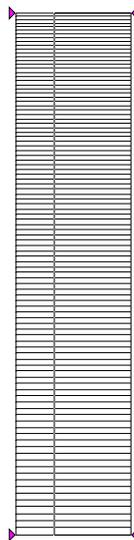
Como condição ao limite superior utilizaram-se as condições atmosféricas diárias e água de rega aplicada já descritas, e drenagem livre no limite inferior.

Foram utilizadas aproximações grosseiras para estruturar os valores de evaporação e transpiração com base em dados de evapotranspiração, usando o coeficiente da cultura apresentado na FAO. Outra aproximação considera que o processo bioquímico de nitrificação se dava ao nível da superfície do solo. Desta forma o único soluto considerado foi o nitrato.

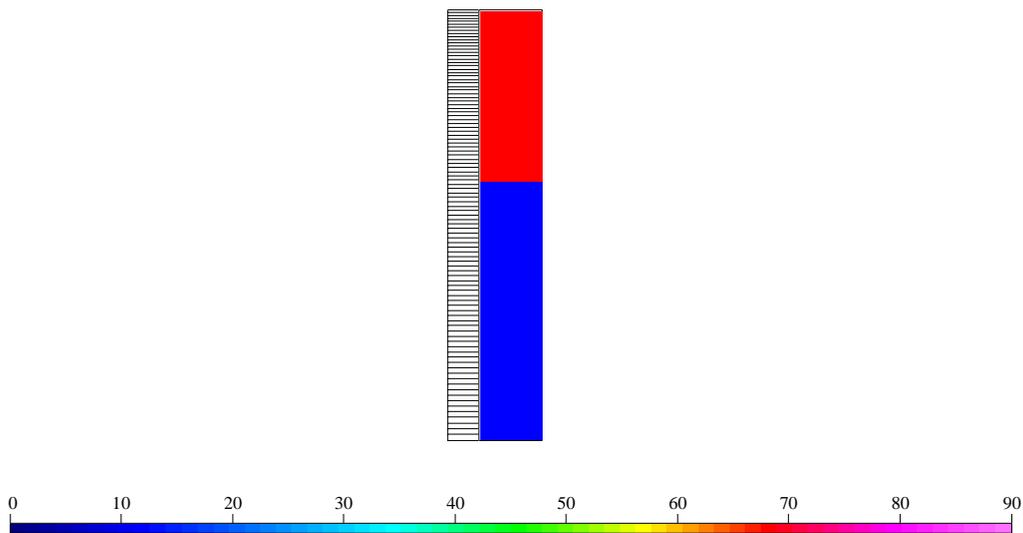
No entanto o modelo HYDRUS-1D apresenta algumas limitações. Estas incluem a incapacidade para simular o crescimento das plantas, também em termos da distribuição das raízes como a percentagem de cobertura do solo. Do mesmo modo não é possível simular o comportamento das raízes de duas plantas diferentes no domínio do modelo, e determinar o impacto destas raízes separadamente. Tal deve-se a que o HYDRUS trata todas as raízes no modelo como parte de um único modelo.

4.4 Simulação com o HYDRUS-1D

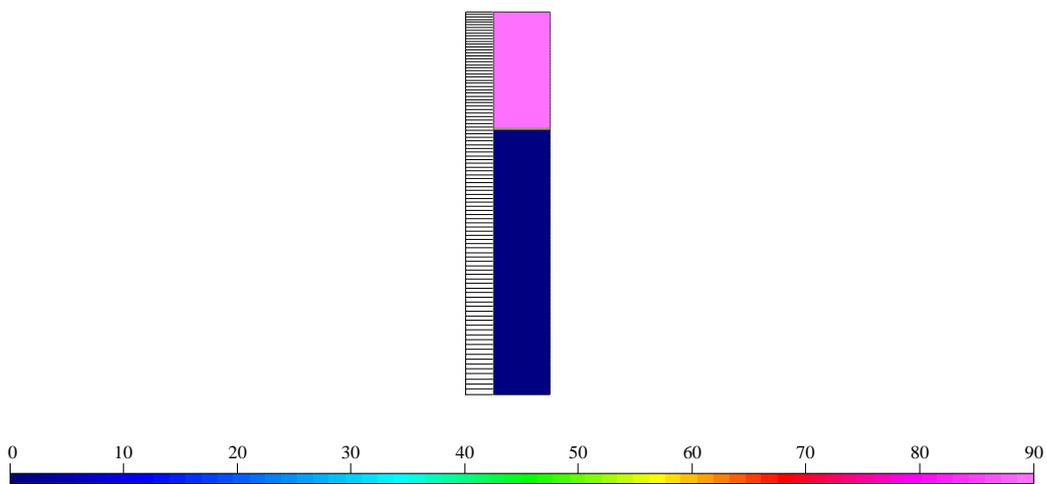
4.4.1 Densidade da malha



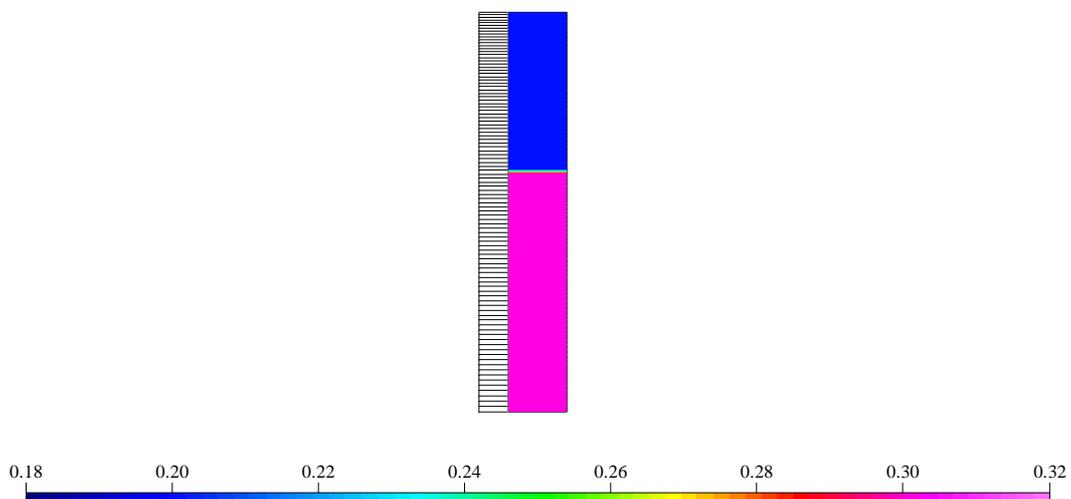
4.4.2 Distribuição de horizontes (A e B) no perfil



4.4.3 Distribuição das raízes



4.4.4 Teores de água no solo



4.4.5 Nodes observados (output)



5 RESULTADOS DA MODELAÇÃO DA DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO

Os resultados obtidos são apresentados na Fig. 103.

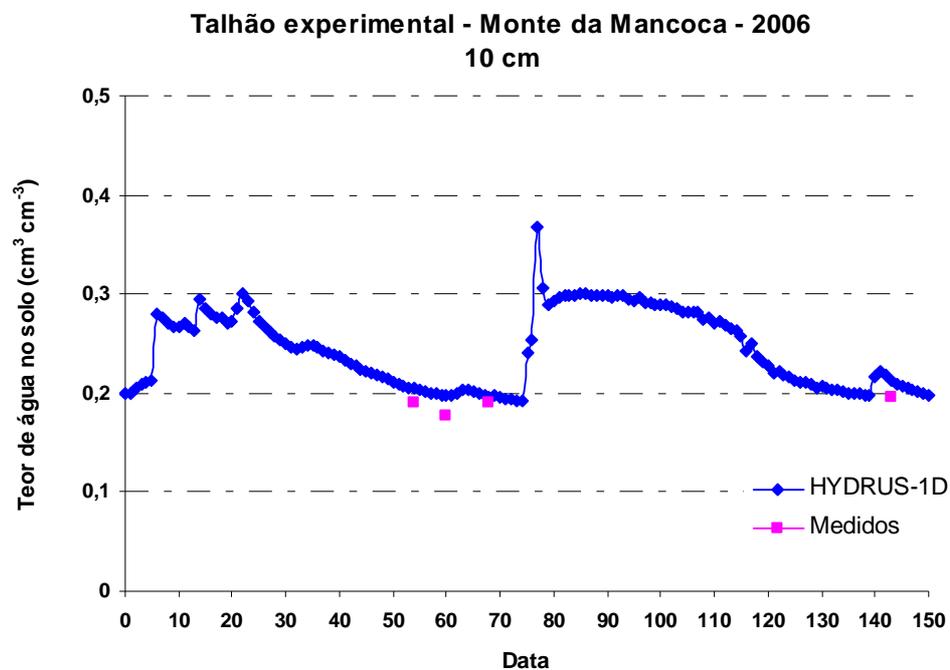


Fig. 103 – Simulação do teor de água no solo a 10 cm de profundidade, obtida com o modelo HYDRUS-1D no talhão experimental do Monte da Mancoca entre Abril e Agosto de 2006.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo HYDRUS-1D apresenta algumas limitações. Estas incluem a incapacidade para simular o crescimento das plantas, também em termos da distribuição das raízes como a percentagem de cobertura do solo. Do mesmo modo não é possível simular o comportamento das raízes de duas plantas diferentes no domínio do modelo, e determinar o impacto destas raízes separadamente. Tal deve-se a que o HYDRUS trata todas as raízes no modelo como parte de um único modelo.

Outra limitação é a necessidade para o utilizador de definir explicitamente a evaporação e a transpiração separadamente. Tal requer a manipulação dos dados pelo utilizador, porque os registos da evaporação e da evaporação não se distinguem.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEA (1998) – “O Ambiente na Europa - Segunda Avaliação”
- AEA (2000) – “Recursos hídricos na Europa - uma utilização sustentável? – Situação, perspectivas e questões.
- AEA (2007) – “O Ambiente na Europa – Quarta Avaliação.
- AHUJA, L.R.; ROJAS, K.W.; HANSON, J.D.; SHAFFER, M.J. & MA, L. (2000) – “*The Root Zone Water Quality Model*”. Water Resources Publ., LLC, Highlands Ranch, CO, p. 372.
- AJDARY K.; SINGH D.K.; SINGH D.K.; KHANNA M. (2007) – “*Modeling of nitrogen leaching from experimental onion field under drip irrigation*”. Agricultural Water Management 89 (2007) 15-28.
- ALMASRI M.N. (2007a) – “*Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework*”. Environmental Impact Assessment Review 27 (2007) 220-242.
- ALMASRI M.N.; KALUARACHCHI J.J. (2007b) – “*Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds*”. Journal of Hydrology (2007) 343, 211-229.
- ALMEIDA R. (2003) – “*Modelação da Poluição Difusa das Águas Subterrâneas em Zonas de Regadio*”. Dissertação para obtenção da licenciatura em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- ANDREU J.; BETRÁN J.; DELGADO I.; ESPADA J.L.; GIL M.; GUTIÉRREZ M.; IGUÁCEL F.; MUÑOZ F.; ORÚS F.; PÉREZ M.; QUÍLEZ D.; SIN E.; YAGÜE M.R. (2006) – “*Fertilización nitrogenada*”. Guia de actualización. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura y Alimentación.
- ARBAT G.; BARRAGAN J.; PUIG J. POCH R.; CARTAGENA F.R. (2003) – “*Evaluación de los Modelos Numéricos de Flujo de Agua en el Suelo HYDRUS-2D e SMIDAS en Riego Localizado*”. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI.
- ASADI M. E.; CLEMENTE R.S.; GUPTA A.D.; LOOF R.; HANSEN G.K. (2002) – “*Impact of Fertigation via Sprinkler Irrigation on Nitrate Leaching and Corn yield in a acid-sulphate Soil in Thailand*”. Agricultural Water Management 52 (2002) 197-213.
- BARÃO A.L.P. (2007) – “*Carbon, nitrogen and phosphorus soil cycle modelling*”. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- BENLI B.; KODAL, S. (2003) – “*A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies. Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region*”. Agricultural Water Management 62 (2003) 187 – 203.

BOUMA J.; DROOGERS P. (1998) – “A procedure to derive land quality indicators for sustainable agricultural production”. *Geoderma* 85 (1998) 103 – 110.

BROUYÈRE S.; DASSARGUES A.; HALLET V. (2004) – “Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation”. *Journal of Contaminant Hydrology* 72 (2004) 135 – 164.

CAI X.; MCKINNEY C.D.; LASDON S.L. (2003) – “Integrated Hydrologic-Agronomic-Economic Model for River Basin Management”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 129, No. 1, January.

CAMEIRA M.R.C. (1999) – “Balanço de água e azoto em milho regado do Vale do Sorraia: discussão dos processos de transferência e aplicação do modelo RZWQM98”. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

CAIADO M.A.C. (2005) – “Modeling fate and transport of nitrogen and phosphorus in crop fields under tropical conditions”. Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Biological Systems Engineering

CAMPBELL G.S. (1985) – “Soil Physics with Basic”. Elsevier. New York.

CE (2003) – “Aplicação da Directiva 91/676/CEE do Conselho relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola”. http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/91_676_eec_pt.pdf

CHATUPOTE W.; PANAPITUKKUL N. (2005) – “Regional Assessment of Nutrient and Pesticide Leaching in the Vegetable Production Area of Rattaphum Catchment, Thailand”. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* (2005) 5: 165 – 173.

COQUET Y.; SIMUNEK J.; COUTADEUR C.; van GENUCHTEN M. ; POTE V. ; ROGERE E. J. (2005) – “Water and Solute Transport in a Cultivated Silt Loam Soil: 2. Numerical Analysis”. *Vadose Zone Journal* 4:587-601.

CREVOISIER D.; POPOVA Z.; MAILHOL J.C.; RUELLE P. (2008) – “Assessment and Simulation of Water and Nitrogen transfer under Furrow Irrigation”. *Agricultural Water Management* 95 (2008) 354-366.

DIAS J.C.S. – “Código das boas práticas agrícolas”. Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva.

EC-Council Directive (1991) – “Council Directive 91/676/EEC Concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources”.

FAO (1996) – “Control of water pollution from agriculture. Irrigation and drainage paper 55. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (2006) – “World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication”. *World Soil Resources Reports* 103. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

FEDDES R.A.; KABAT P.; VAN BAKEL P.J.T.; BRONSWIJK; HALBERTSMA J. (1988) – “Modelling Soil Water Dynamics In The Unsaturated Zone – State of The Art”. *Journal of Hydrology*, 100 (1988) 69-111.

FLINT A.L. ; FLINT L.E. ; KWICKLIS E.M. ; FABRYKA-MARTIN, J.M. ; BOVARSSON G.S. (2002) – “Estimating Recharge at Yucca Mountain, Nevada : a case study . *Hydrogeol. J.*, 10 : 180-204.

FLIPO N. (2005) – “Modélisation intégrée des transferts d’azote dans les aquifères et les rivières”. These présentée à l’école Nationale Supérieure des Mines de Paris pour l’obtention du titre de docteur en Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives – Application au bassin du Grand Morin.

FRAGOSO R. ; MARQUES C.A.F. (2007) – “A competitividade do regadio em Portugal no contexto da nova política comum: o caso de uma exploração agrícola no Alentejo”. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45 (1), 49 – 70.

GARDENAS A.I.; SIMUNEK J.; JARVIS N.; van GENUCHTEN M. (2006) – “Two-dimensional modelling of preferential water flow and pesticide transport from a tile-drained field”. *Journal of Hydrology* (2006) 329, 647-660.

GOMANN H.; KREINS P.; KUNKEL R.; WENDLAND F. (2004) – “*Model Based Impact Analysis of Policy Options Aiming at Reducing Diffuse Pollution by Agriculture – a Case Study for the River Ems and sub-catchment of the Rhine*”. Environmental Modeling & Software (2004). <http://www.elsevier.com>

HALLET V. (2003) – “*Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation*”. Journal of Contaminant Hydrology 72 (2004) 135 – 164.

ISHERWOOD K.F. (2000) – “*Mineral Fertilizer Use and the Environment*”. International Fertilizer Industry Association. United Nations Environment Programme. <http://www.agrifood-forum.net/publications/documents/minferuse.pdf>

IFA/FAO (2001) – “*Global estimates of gaseous emissions of NH₃, NO and N₂O from agricultural land*”. International Fertilizer Industry Association and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 106 pp. <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y2780E/y2780e00.htm>

INES A.V.M.; DROOGERS P.; MAKIN I.W.; GUPTA A.D (2001) – “*Crop growth and soil water balance modelling to Explore Water Management Options*”. IWMI Working Paper 22. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

JOHNSON A.; CABRERA M.; McCracken D.; RADCLIFFE D. (1999) – “*LEACHN Simulations of Nitrogen Dynamics and Water Drainage in an Ultisol*”. Agron. J. 91:597-606.

KALUARACHCHI J.J.; PARKER J.C. (1988) – “*Finite Element Model of Nitrogen Species Transformation and Transport the Unsaturated Zone*”. Journal of Hydrology, 103 (1988) 249-274.

LARSBO M. (2005) – “*An Improved Dual-Permeability Model of Solute Transport in Structured Soils. Model Development and Parameter Identification in Laboratory and Field Experiments*”. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Soil Sciences. Uppsala.

LEITÃO, T.E., LARANJEIRA, I., HENRIQUES, M.J. e PARALTA, E. (2007) – “*Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa*”. 2.º Relatório 75/07 - NAS, LNEC, 65 pp.

LETCHER R.A.; JAKEMAN A.J.; MERRITT W.S.; McKEE L.J.; EYRE B.D.; BAGINSKA B. (1999) – “*Review of Techniques to Estimate Catchment Exports*”. Technical Reports. NSW Environment Protection Authority.

MANNOCCHI F.; MECARELLI P. (1994) – “*Optimization Analysis of Deficit Irrigation System*”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 120, No. 3.

MAILHOL J.C.; RUELLE P.; NEMETH I. (2001) – “*Impact of fertilisation practices on nitrogen leaching under irrigation*”. Irr. Sci (2001) 20: 139-147.

MAILHOL J.C. (2001) – “*Contribution à l'amélioration des pratiques d'irrigation à la raie par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et de la saison*”. These pour obtenir le grade de docteur ou Sciences de l'eau dans l'environnement continental. Université de Montpellier II.

MAILHOL J.C. ; CREVOISIER D. ; TRIKI K. (2007) – “*Impact of water application conditions on nitrogen leaching under furrow irrigation : Experimental and modelling approaches*”. Agricultural Water Management 87 (2007) 275 – 284.

MATOS L.; SERRALHEIRO R. (2002) – “*Verificação do modelo HYDRUS-2D num solo argiloso sujeito a mobilização profunda*”. Acta das comunicações apresentadas no Seminário “Conservação do Solo e da Água em Regadio – Projectos POCTI 34149/AGR/2000 & POCTI 34847/AGR/2000; AGRO 14 & AGRO 217”. Universidade de Évora.

MENDES N. (1997) – “*Modelos para previsão de transferência de calor e humidade em elementos porosos de edificações*”. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de doutor em Engenharia Mecânica.

NAKAMURA K.; HARTER T.; HIRONO Y.; MITSUNO T. (2004) – “*Assessment of Root Nitrogen Leaching as Affected by Irrigation and Nutrient Management Practices*”. Vadose Zone Journal 3:1353-1366 (2004).

- NDIAYE B.; MOLÉNAT J.; HALLAIRE V.; GASCUEL C.; HAMON Y. (2007) – “*Effects of agricultural practices on hydraulic properties and water movement in soils in Brittany (France)*”. *Soil and Tillage Research* 93 (2007) 251-263.
- NEVES R.; CHAMBEL-LEITÃO P.; LEITÃO P.C. (2000) – “*Modelação numérica da circulação da água no solo. O modelo MOHID*”. *Pedologia*, Oeiras 28: 46-55.
- NIELSEN D.R.; van GENUCHTEN M.; BIGGAR J.W. (1986) – “*Water Flow and Solute Transport Processes in the Unsaturated Zone*”. *Water Resources Research*, vol. 22, No. 9, Pages 89S-108S.
- NG H.Y.F.; DRURY C.F.; SEREM V.K.; TAN C.S.; GAYNOR J.D. (1999) – “*Modeling and testing of the effect of tillage, cropping and water management practices on nitrate leaching in clay loam soil*”. *Agricultural Water Management* 43 (2000) 111-131.
- NUNES J.M.; COELHO J.P.; LÓPEZ-PIÑEIRO A.; DIAS S.; RASQUILHA M.P. (20) – “*A Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica como Auxílio para uma Fertilização Mais Racional*”. Comunicação apresentada ao 1º Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agro-Pecuária.
- OLIVEIRA, MANUEL (2004) – “*Recarga de águas subterrâneas. Métodos de avaliação*”. Tese de doutoramento em Geologia pela Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências.
- OLSSON J.; ARHEIMER B. (2001) – “*Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Applications in Europe*”. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). Sweden.
- PARAÍBA L.C.; PULINO P. (2003) – “*Simulação numérica da dispersão-advecção de pesticidas no solo sob efeito da temperatura*”. Documento 35. ISSN 1516-4691.
- PARAMASIVAM S.; ALVA A.K.; FARES A.; SAJWAN (2002) – “*Vadose Zone Processes and Chemical Transport. Fate of Nitrate and Bromide in a Unsaturated Zone of a Sandy Soil under Citrus Production*”. *J. Environ. Qual.* 31:671-681.
- PEREIRA L.; SANTOS J.Q. (1999) – “*Fertilizer and water application and control of nitrate pollution: management issues*”. NATO ASI series. Vol. G 30: 142-162.
- POCH R.; MAILHOL J.C.; CANDELA L.; CARTAGENA F.M. (2005) – “*Estimación de los Riesgos de Lixiviación de Nitratos en Suelos Agrícolas. Enfoque Numérico ou Funcional*”. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VII.
- RAMOS T.C.B. (2003) – “*Propriedades Hidráulicas de Solos Regáveis do Alentejo e Avaliação do Escoamento e da Erosão num Solo Regado por Rampa Rotativa*”. Trabalho de Fim de Curso em Engenharia dos Recursos Hídricos. Universidade de Évora.
- REN L.; MA J.; ZHANG R. (2003) – “*Estimating Nitrate Leaching with a Transfer Function Model Incorporating Net Mineralization and Uptake of Nitrogen*”. Published in *J. Environ. Qual.* 32:1455-1463.
- RUBIO C.; LLORENS P.; GENUCHTEN M. Th. Van (2005) – “*Modelización del Flujo Transitório en Suelos Franco-Limosos Utilizando HYDRUS-1D*”. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol VII. 2005.
- SCANLON B.R.; TYLER S.W.; WIERENGA P.J. (1997) – “*Hydrologic Issues un Arid Systems and Implications for Contaminant Transport*”. *Rev. Geophys.*, 35(4): 461-490.
- SAMPER F.J. (1995) – “*Modelos de Transporte de Masa em Nedios No Saturados*”. *Avances en la Investigation en Zona No Saturada*. pp: 127-146.
- SANTOS F.L.; GONÇALVES M.C; NEVES R.; LEITÃO T.; GUERREIRO C. (2008) – “*Relatório Final do período de Janeiro de 2004 – Outubro de 2007 do Projecto AGRO 727 – Demonstração e divulgação de gestão integrada da salinidade e da fertilização azotada em solos regáveis do Alentejo*”. Programa AGRO, Medida 8, Acção 8.1, 214 pp.
- SHANGGUAN Z.; SHAO M.; HORTON R.; LEI, T.; QIN, I.; MA, J. (2002) – “*A Model for Regional Optimal Allocation of Irrigation Water Resources Under Deficit Irrigation and its Applications*”. *Agricultural Water Management* 52 (2002) 139 – 154.

SANCHEZ J. (2000) – “*Fertirrigacion. Principios, factores, aplicaciones*”. Seminário de Fertirrigation: Apukai-Comex Perú.

SKAGGS T.H.; TROUT T.J.; SIMUNEK J.; SHOUSE P.J. (2004) – “Comparasion of HYDRUS-2D Simulations of Drip Irrigation with Experimental Observations”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*/JULY/AUGUST 2004.

SANSOULET J. (2007) – “*Transferts d'eau et des ions potassium et nitrate dans un sol à capacité d'échange anionique sous un couvert redistributeur de la pluie*”. These présentée au Institut National Agronomique Paris Grignon pour l'obtention du titre de docteur en Sciences du Sol-Plante-Atmosphère. Ecole Doctorale Abies.

SANTOS I.P.; SOUSA P.L. (2000) – “*Aplicação de fertilizantes na água de rega. Monitorio do azoto em rega de gravidade*”. Acta das comunicações apresentadas no Seminário “Estudo Comparativo de Métodos de Rega no Alentejo - Projecto PAMAF 4063”. Universidade de Évora.

SANTOS, J.Q. (1983) – “*Fertilização e aspectos práticos da sua aplicação*”. 3ª Ed., Publicações Europa-América, 245 pp.

SANTOS, J.Q. (1996) – “*Fertilização – Fundamentos de utilização dos adubos e correctivos*”. 2ª Ed., Publicações Europa-América, 441 pp.

SAMPER, F.J. (1995) – “*Modelos de Transporte de Masa em Medios no Saturados*”. *Avances en la Investigación en Zona no Saturada*. pp. 127-146.

SIMUNEK J.; SEJNA M.; Th. van GENUCHTEN (1998) – “*The HYDRUS-1D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media*”. Version 2.02. International Ground Water Modeling Center (IGWMC) – TPS – 70. Colorado School of Mines. Golden. Colorado. 202 pp.

SIMUNEK J.; Th. van GENUCHTEN M.; SEJNA M. (2007) – “Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes”. *Special Section: Vadose Zone Modeling. Vadose Zone Journal* 7:587-600.

SIMUNEK J.; SEJNA M.; SAITO H.; SAKAI M.; van GENUCHTEN M. (2008) – “The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media – Version 4.0”. Department of Environmental Sciences. University of California Riverside. California.

SPI (2005) – “*Tecnologias limpas em agro-pecuária*”. 1ª Edição. 104 pp.

VAUCLIN M. (1999) – “Modeling solute transport in the vadose zone”. *Revue des Sciences de l'eau* 7:81-102.

VAZIFEDOUST M.; DAM J.C.; FEDDES R.A.; FEIZI M. (2008) – “Increasing Water Productivity Of Irrigated Crops Under Limited Water Supply at Field Scale”. *Agricultural Water Management* 95 (2008) 89 – 102.

VENTURA A.A. (2003) – “*HIDROFEM: Un Modelo Tridimensional para la Simulación del Flujo de Agua en Medios Porosos de Saturación Variable*”. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VI.

WAGENET R. J.; HUTSON J.L. (1987) – “LEACHM: Leaching Estimation And Chemistry Model. A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone”. *Continuum 2. Water Resour. Inst., Cornell University, Ithaca, New York*.

WENDLAND F.; KUNKEL R.; GRIMVALL A.; KRONVANG B.; MULLER-WOHLFEIL D.I. (2001) – “Model System for the Management of Nitrogen Leaching at the Scale of River Basins and Regions”. *Water Science and Technology* Vol 43 No 7 pp 215-222.

WENDLAND F.; BOGENA H.; GOEMANN H.; HAKE J.F.; KREINS P.; KUNKEL R. (2005) – “Impact of Nitrogen Reduction Measures on The Nitrogen Loads of the River Ems and Rhine (Germany)”. *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005) 527 – 541.

WARRICK A.W.; BIGGAR J.W.; NIELSEN D.R. (1971) – “Simultaneous Solute and Water Transfer for an Unsaturated Soil”. *Water Resources Research* Vol.7, No. 5

APÊNDICES DO ANEXO 6

Quadro 73 – Parâmetros a utilizar para o cálculo da evapotranspiração de acordo com o método de Penman-Monteith da FAO, em função da ocupação do solo

Tabela e título em Allen et al. (1998) ->		Tabela 11 (*) - Duração dos estádios de desenvolvimento* para vários períodos de plantação e regiões climáticas (dia)							Tabela 12 - Coeficientes culturais simples (ponderados pelo tempo) , Kc, e média das alturas máximas das plantas, para culturas sem stress e bem geridas, em climas sub-húmidos (RHminaprox. 45%, u2 aprox. 2 m/s) para utilizar na Eto calculada pelo método de Penman-Monteith da FAO				Tabela 17 - Coeficientes culturais basais, Kcb, para culturas sem stress e bem geridas, em climas sub-húmidos (RHmin aprox. 45%, u2 aprox. 2 m/s) para utilizar na Eto calculada pelo método de Penman-Monteith da FAO			Tabela 22 - Intervalos de profundidade máxima efectiva das raízes das plantas (rp), e fracção de depleção de água do solo para culturas comuns sem stress (p)		
Nome (em português)	Nome referido em Allen et al. -1988	Inicial (Lini)	Desenvolvimento (Ldev)	Médio (Lmid)	Final (Llate)	Total	Plantação	Região	Kc inicial (6)	Kc médio	Kc final	Altura máxima da cultura	Kcb inicial (31)	Kcb médio (31)	Kcb final (31)	Profundidade máxima das raízes	p: Fração de depleção (57) (para ET » 5	
1. Culturas oleaginosas									0,35	1,15	0,35		0,15	1,1	0,25			
Girassol	Sunflower	25	35	45	25	135	Abr/Mai	Medit; California		1,0 - 1,15 (14)	0,35	2		0,95 - 1,10 (39)	0,25	0,8-1,5	0,45	
Milho	Maize (grain)	30	50	60	40	180	Abril	África Oriental (alt.)		1,2	0,60-0,35 (16)	2	0,15	0,15	0,5; 0,15 (42)	1,0- 1,7	0,55	
		25	40	45	30	140	Dez-Jan	Climas Áridos										
		20	35	40	30	125	Jun	Nigéria (húmido)										
		20	35	40	30	125	Out	Índia (seco,frio)										
		30	40	50	30	150	Abril	Espanha (Primavera,Verão); Calif.										
		30	40	50	30	170	Abril	Idaho, EUA										
Sorgo	Sorghum (grão)	20	35	40	30	130	Mai-Jun	EUA, Paquis., Med.										
2. Culturas de fibras									0,35				0,15					
Algodão	Cotton	30	50	60	55	195	Mar-Mai	Egipto; Paquistão; Calif.		1,15-1,20	0,70-0,50	1,2-1,5		1,10 - 1,15	0,50 - 0,40	1,0 - 1,7	0,65	
		45	90	45	45	225	Mar	Calif. Desert, EUA										
		30	50	60	55	195	Set	Iémen										
		30	50	55	45	180	Abr	Texas										
3. Cereais																		
Trigo	Wheat	20 (2)	60 (2)	70	30	180	Dez	Calif., EUA		0,4 0,7	1,15	0,25-0,4 (15)	1	0,15-0,5 (41)	1,1	0,15-0,3 (40)	1,5-1,8	0,55
		30	140	40	30	240	Nov	Mediterrâneo										
		160	75	75	25	335	Out	Idaho, EUA										
4. Vegetais (Solanaceae)									0,6	1,15	0,8		0,15	1,1	0,7			
Tomate	Tomato	30	40	40	25	135	Jan	Região Árida		1,15 (7)	0,70 - 0,90	0,6		1,10 (32)	0,60 - 0,80	0,7 - 1,5	0,4	
		35	40	50	30	155	Abr-Mai	Calif., EUA										
		25	40	60	30	155	Jan	Calif. Desert, EUA										
		35	45	70	30	180	Out-Nov	Região Árida										
		30	40	45	30	145	Abr-Mai	Mediterrâneo										
5. Vegetais (Curcubitaceae)																		
Melão	Sweet melons	25	35	40	20	120	Mai	Mediterrâneo		1,05	0,75	0,4		1	0,7	0,8 - 1,5	0,4	
		30	30	50	30	140	Mar	Calif., EUA										
		15	40	65	15	135	Ago	Calif. Desert, EUA										
		30	45	65	20	160	Dez-Jan	Região Árida										
6. Tubérculos									0,5	1,1	0,95		0,15	1	0,85			
Beterraba	Beets, table	15	25	20	10	70	Abr-Mai	Mediterrâneo		1,05	0,95	0,4		0,95	0,85	0,6 - 1,0	0,5	
		25	30	25	10	90	Fev-Mar	Mediterrâneo e Árida										

(*) A duração dos estádios de desenvolvimento desta tabela são apenas indicativos de condições gerais, mas podem variar substancialmente de região para região, com as condições de clima e de colheita, e com a variedade da cultura. O utilizador é fortementeteta tabela são apenas indicativos de condições ger (7) + (32) Feijões, ervilhas, legumes, tomates, pimentos e pepinos são por vezes criados em varas atingindo 1,5 a 2 m de altura. Nesses casos, devem-se utilizar valores superiores de Kc e de Kcb. Para feijões verdes, pimentos e pepinos, pode-se utilizar Kc = 1,15 e Kcb = 1,10; para tomates, feijões secos e ervilhas, Kc = 1,20 e Kcb = 1,15. Nestas condições h também deve se aumentado (14) + (39) Os valores mais baixos são para culturas regadas pela água da chuva tendo populações de plantas menos densas. (15)+(40) Os valores mais altos são para colheitas manuais (16) + (42) O primeiro Kc final é para colheita com humidade do cereal elevada. O segundo Kc final é para colheita após secagem completa do terreno do cereal (até cerca de 18% de humidade, base de massa de humidade). As mesmas situações aplicam-se para o K2) O prim (41) Os dois valores de Kc inicial para o trigo de Inverno são para os casos de cobertura do terreno inferior a 10% ou para o período de dormência, de Inverno, se a vegetação cobre completamente o terreno mas as condições não são de gelo no solo.

Quadro 74 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e Etc) e dotações das regas efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Abril de 2006

MANCOCA Abril 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)		REGA N°	Irrigação (mm)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	15,80	23,70	9,40	0,00			3,10	0,00	0,00
2	15,20	23,60	7,70	0,00			3,40	0,00	0,00
3	19,20	26,90	13,30	0,00			4,00	0,00	0,00
4	16,80	21,40	11,40	0,00			3,80	0,00	0,00
5	14,90	18,90	11,60	6,40			2,30	0,00	0,00
6	14,30	18,50	11,50	3,40			2,00	0,00	0,00
7	14,90	22,90	9,00	0,00			2,20	0,00	0,00
8	14,80	27,30	6,00	0,10			3,60	0,00	0,00
9	14,00	22,40	8,00	0,00			3,00	0,00	0,00
10	15,20	25,70	8,20	0,00			3,10	0,00	0,00
11	15,00	25,90	6,50	1,30			3,30	0,00	0,00
12	15,00	24,00	8,20	0,00			3,80	0,00	0,00
13	16,30	27,10	6,30	0,10			3,70	0,00	0,00
14	13,80	19,40	9,90	5,50			1,60	0,00	0,00
15	14,30	21,60	6,90	0,10			3,10	0,00	0,00
16	13,70	21,20	8,50	0,00			3,10	0,00	0,00
17	13,80	20,40	7,30	0,00			3,00	0,00	0,00
18	14,80	23,60	6,70	0,70			3,30	0,00	0,00
19	14,30	22,20	6,50	0,00			3,90	0,00	0,00
20	16,10	22,30	10,70	0,00			2,40	0,00	0,00
21	14,20	19,40	8,30	3,30			2,70	0,00	0,00
22	13,10	18,30	9,00	4,40			2,80	0,00	0,00
23	15,30	23,20	7,20	0,00			2,30	0,00	0,00
24	19,10	26,50	10,30	0,00			4,10	0,00	0,00
25	20,60	30,60	11,10	0,00			4,40	0,00	0,00
26	20,50	30,60	11,40	0,00			4,60	0,00	0,00
27	18,10	27,60	10,00	0,00			4,80	0,00	0,00
28	18,20	28,20	8,90	0,60			4,80	0,00	0,00
29	18,10	28,70	8,10	0,00	SEMENTEIRA		4,70	0,00	0,00
30	18,40	29,50	7,40	0,00			4,50	0,00	0,00
TOTAL				25,90			101,40		0,00

Quadro 75 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e Etc) e dotações das regas efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Maio de 2006

MANCOCA Maio 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)		REGA N°	Irrigação (mm) (l/m2)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	18,30	30,00	8,00	0,00			4,70	0,00	0,00
2	16,50	25,20	8,30	0,00			4,00	0,00	0,00
3	15,50	21,50	10,30	0,00			3,20	0,00	0,00
4	15,70	23,10	8,30	0,00			4,10	0,00	0,00
5	15,70	24,60	6,60	0,00			3,70	0,00	0,00
6	16,60	25,70	7,40	0,00			4,60	0,00	0,00
7	15,40	24,00	6,30	0,00			4,40	0,00	0,00
8	15,60	23,90	6,10	0,00			4,20	0,00	0,00
9	18,40	30,50	6,40	0,00			4,70	0,00	0,00
10	20,00	31,80	8,60	0,00	EMERGÊNCIA		4,70	0,00	0,00
11	19,50	29,20	10,90	0,00			4,90	0,00	0,00
12	18,50	29,00	9,30	0,00			5,00	0,00	0,00
13	19,60	30,80	7,70	0,00			4,80	0,00	0,00
14	19,10	29,70	8,70	0,00			4,60	0,00	0,00
15	20,30	31,30	8,80	0,00			4,60	0,00	0,00
16	23,40	36,60	10,40	0,00			4,80	0,00	0,00
17	23,30	33,40	14,30	0,20			4,90	0,00	0,00
18	20,80	29,50	13,70	0,00			5,70	0,00	0,00
19	19,60	28,60	10,80	0,00			6,20	0,00	0,00
20	19,40	29,60	9,50	0,00			5,40	0,00	0,00
21	18,70	26,30	11,60	0,00			5,10	0,00	0,00
22	17,60	24,80	11,50	0,00			4,80	0,00	0,00
23	17,00	24,70	8,10	0,00			5,70	0,00	0,00
24	19,40	29,80	7,70	0,00	I	9	5,90	0,10	0,59
25	21,90	33,50	7,70	0,00	II	10	6,30	0,10	0,63
26	22,20	32,40	11,30	0,00	III	10	6,00	0,10	0,60
27	24,60	35,50	13,90	0,00			6,30	0,10	0,63
28	27,10	38,50	15,00	0,00			6,60	0,10	0,66
29	25,80	35,00	17,00	0,00			6,20	0,10	0,62
30	22,10	31,10	17,30	0,00	IV	10	5,50	0,10	0,55
31	19,60	24,50	14,30	0,00			2,70	0,10	0,27
TOTAL				0,20		39,00	45,50		4,55

Quadro 76 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e Etc) e dotações das regas

efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Junho de 2006

MANCOCA Junho 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	REGA Nº	Irrigação (mm) (l/m2)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	19,70	27,50	12,60	0,00			3,20	0,30	0,96
2	23,50	34,10	11,70	0,00			5,60	0,30	1,68
3	24,80	36,70	11,40	0,00	V	10	6,00	0,30	1,80
4	23,90	35,80	12,30	0,00			6,30	0,30	1,89
5	24,30	36,50	12,40	0,00			6,30	0,30	1,89
6	24,30	34,20	12,90	0,00	VI	11	6,50	0,30	1,95
7	22,80	33,30	13,80	0,00			5,90	0,30	1,77
8	22,40	31,70	15,90	0,00	VII	5	5,80	0,30	1,74
9	21,20	28,10	15,40	0,00	VIII	10	4,90	0,30	1,47
10	21,50	30,90	13,80	0,00			5,10	0,30	1,53
11	24,10	35,60	13,30	0,00	IX	10	5,90	0,60	3,54
12	24,40	33,40	14,70	0,00			5,30	0,60	3,18
13	22,70	27,10	17,90	0,00			2,90	0,60	1,74
14	21,10	27,80	17,20	11,70			4,40	0,60	2,64
15	21,00	28,00	17,00	0,40			4,50	0,60	2,70
16	19,40	27,30	16,00	46,10			3,30	0,60	1,98
17	20,90	27,50	15,30	0,10			4,50	0,60	2,70
18	22,20	31,10	14,70	0,00			5,10	0,60	3,06
19	23,50	31,70	15,90	0,00			6,10	0,60	3,66
20	22,20	30,90	14,90	0,00	X	10	6,20	0,60	3,72
21	23,50	34,80	13,50	0,00	XI	10	6,40	0,75	4,80
22	26,50	38,60	15,20	0,00	XII	10	6,50	0,75	4,88
23	25,20	34,90	17,10	0,00	XIII	5	6,80	0,75	5,10
24	20,70	26,90	16,10	0,00			5,30	0,75	3,98
25	20,20	25,90	15,80	0,00			4,20	0,75	3,15
26	19,80	26,70	13,70	0,00	XIV	5	5,10	0,75	3,82
27	19,60	26,90	12,40	0,00			4,80	0,75	3,60
28	19,40	26,20	12,60	0,00	XV	10	5,10	0,75	3,82
29	21,20	30,90	11,50	0,00	XVI	9	5,50	0,75	4,13
30	21,80	32,10	13,00	0,00	XVII	5	5,60	0,75	4,20
TOTAL				58,30		110,00	159,10		87,08

Quadro 77 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e Etc) e dotações das regas efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Julho de 2006

MANCOCA Julho 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	REGA Nº	Irrigação (mm) (l/m2)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	20,10	27,60	14,30	0,00			4,60	1,00	4,60
2	19,90	26,80	14,20	0,00	XVIII	5	4,60	1,00	4,60
3	21,30	30,20	11,90	0,00			4,90	1,00	4,90
4	20,90	27,50	14,30	0,00	XIX	10	4,80	1,00	4,80
5	21,70	29,30	14,00	0,00			6,00	1,00	6,00
6	23,10	32,90	13,10	0,00			6,50	1,00	6,50
7	26,40	38,80	14,50	0,00	XX	10	6,50	1,00	6,50
8	25,90	36,70	15,90	0,00	XXI	10	6,90	1,00	6,90
9	27,20	40,70	15,80	0,00			6,50	1,00	6,50
10	27,30	38,30	15,50	0,00	XXII	5	4,30	1,00	4,30
11	30,00	38,90	21,00	0,00			5,70	1,00	5,70
12	30,00	40,50	20,50	0,00	XXIII	10	6,70	1,00	6,70
13	28,40	39,40	19,00	0,00			7,10	1,10	7,81
14	28,70	39,60	18,00	0,00	XXIV	5	6,60	1,10	7,26
15	29,00	40,10	18,10	0,00	XXV	10	6,60	1,10	7,26
16	29,70	41,20	19,20	0,00	XXVI	5	6,80	1,10	7,48
17	29,10	39,60	17,80	0,00			7,50	1,10	8,25
18	26,20	36,40	20,70	1,00	XXVII	10	5,70	1,10	6,27
19	23,20	30,30	17,70	0,00			6,00	1,10	6,60
20	24,20	36,60	14,70	0,00			5,90	1,10	6,49
21	24,20	33,90	15,30	0,00			6,30	1,10	6,93
22	23,70	33,20	13,30	0,00	XXVIII	5	6,60	1,10	7,26
23	24,60	34,40	17,10	0,00	XXIX	10	6,30	1,10	6,93
24	23,40	32,90	14,00	0,00			6,20	1,10	6,82
25	24,50	34,50	14,70	0,00	XXX	10	6,10	1,10	6,71
26	23,90	32,70	15,30	0,00	XXXI	10	6,50	1,10	7,15
27	23,40	31,30	16,30	0,00			6,60	1,10	7,26
28	23,80	34,10	15,40	0,00	XXXII	10	6,80	1,10	7,48
29	24,70	35,50	14,00	0,00			6,60	1,10	7,26
30	25,10	34,90	15,60	0,00	XXXIII	10	6,30	1,10	6,93
31	25,10	33,00	17,80	0,00	XXXIV	10	6,60	1,10	7,26
TOTAL				1,00		145,00	191,10		203,41

Quadro 78 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e Etc) e dotações das regas

efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Agosto de 2006

MANCOCA Agosto 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	REGA Nº	Irrigação (mm) (l/m ²)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	25,30	33,80	17,80	0,00			6,80	1,10	7,48
2	25,60	35,70	16,70	0,00	XXXV	10	6,40	1,10	7,04
3	25,00	33,00	17,30	0,00	XXXVI	10	6,20	1,10	6,82
4	26,20	38,80	16,00	0,00			6,00	1,10	6,60
5	27,50	38,60	17,60	0,00	XXXVII	10	6,20	1,10	6,82
6	27,90	41,00	16,20	0,00			6,20	1,10	6,82
7	28,00	39,20	19,50	0,00	XXXVIII	10	6,60	1,10	7,26
8	26,20	38,10	18,00	0,00			6,20	1,10	6,82
9	27,00	39,60	16,20	0,00			6,30	1,10	6,93
10	27,40	39,30	16,30	0,00			6,10	1,10	6,71
11	27,90	39,70	16,80	0,00	XXXIX	10	5,80	1,10	6,38
12	26,30	37,80	16,70	0,00			6,30	1,10	6,93
13	23,00	33,10	15,60	0,00	XL	10	5,80	1,10	6,38
14	22,10	30,30	15,50	0,00	XLI	10	5,30	1,10	5,83
15	20,10	27,90	13,70	0,00			5,00	1,10	5,50
16	20,80	26,00	15,60	0,50			4,00	1,10	4,40
17	20,20	25,60	15,70	4,40	XLII	10	4,30	1,10	4,73
18	19,50	26,30	14,60	2,60	XLIII	10	3,90	1,10	4,29
19	20,40	28,50	11,80	0,00	XLIV	10	4,90	1,10	5,39
20	24,40	34,90	13,00	0,00			6,50	1,10	7,15
21	27,30	39,20	13,30	0,00	XLV	10	5,50	1,00	5,50
22	26,30	37,80	17,40	0,00	XLVI	10	5,80	1,00	5,80
23	25,00	35,80	17,10	0,00	XLVII	10	6,30	1,00	6,30
24	23,50	33,90	14,50	0,00	XLVIII	10	6,50	1,00	6,50
25	25,50	37,10	15,60	0,00	XLIX	10	7,40	1,00	7,40
26	24,80	35,40	16,50	0,20			7,60	1,00	7,60
27	26,80	38,40	15,70	0,00	L	10	6,80	1,00	6,80
28	27,10	38,70	16,30	0,00	LI	10	6,60	1,00	6,60
29	27,90	40,50	14,20	0,00	LII	10	6,70	1,00	6,70
30	28,80	42,10	15,40	0,00	LIII	10	6,00	1,00	6,00
31	26,50	38,90	14,90	0,00			5,90	1,00	5,90
TOTAL				7,70		190,00	185,90		197,38

Quadro 79 - Valores de precipitação (P), evapotranspiração (ET0 e ETc) e dotações das regas efectuadas no Monte da Mancoca para a cultura do milho em Julho de 2006

MANCOCA Setembro 2006/milho									
Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	REGA Nº	Irrigação (mm) (l/m ²)	Eto (mm/dia)	Kc	ETc (mm/dia)
1	25,00	39,50	14,20	0,00	LIV	10	5,60	0,60	3,36
2	26,30	38,30	15,40	0,00	LV	10	5,80	0,60	3,48
3	27,30	40,30	13,30	0,00			5,70	0,60	3,42
4	28,20	42,80	14,90	0,00	LVI	10	5,40	0,60	3,24
5	26,60	37,90	16,90	0,00	LVII	10	5,20	0,60	3,12
6	26,70	38,20	18,10	0,00	LVIII	10	5,40	0,60	3,24
7	26,10	37,10	17,10	0,00	LIX	10	5,20	0,60	3,12
8	26,70	39,00	16,20	0,00	LX	10	5,10	0,60	3,06
9	27,40	38,20	17,40	0,00			5,40	0,60	3,24
10	24,20	34,50	15,00	0,00	LXI	10	5,40	0,60	3,24
11	21,70	29,90	14,50	0,00	LXII	10	4,00	0,60	2,40
12	22,00	29,30	16,20	0,00			4,50	0,60	2,70
13	19,30	26,60	13,60	1,60			3,30	0,60	1,98
14	19,10	25,60	14,10	0,20			4,00	0,60	2,40
15	18,80	26,10	11,90	0,00			3,60	0,60	2,16
16	19,30	27,80	10,90	0,00			4,50	0,60	2,70
17	20,30	29,40	11,00	0,00			4,20	0,60	2,52
18	21,80	31,20	14,70	0,00			4,30	0,60	2,58
19	21,60	31,90	13,50	0,00	COLHEITA		4,20	0,60	2,52
20	21,50	33,10	12,20	0,00			4,20	0,35	1,47
21	18,90	24,20	15,20	18,60			2,60	0,35	0,91
22	18,90	26,20	13,00	0,00			3,30	0,35	1,15
23	19,40	26,20	14,40	1,10			3,30	0,35	1,15
24	19,20	25,80	13,00	0,30			3,10	0,35	1,08
25	22,10	28,80	18,10	1,40			2,70	0,35	0,95
26	21,50	31,80	15,20	0,00			3,70	0,35	1,30
27	19,80	28,20	16,50	0,00			3,10	0,35	1,08
28	20,00	26,00	15,50	0,60			2,30	0,35	0,80
29	19,50	26,80	13,80	0,20			2,00	0,35	0,70
30	20,80	26,70	15,60	1,10			2,00	0,35	0,70
TOTAL				25,10		90,00	123,10		54,48

2006	Transpiração da cultura	Evaporação do solo	Evapotranspiração cultural (Etc)
	mm/dia	mm/dia	mm/dia
29-Abr	3,76	0,94	4,70
30-Abr	3,60	0,90	4,50
1-Mai	3,76	0,94	4,70
2-Mai	3,20	0,80	4,00
3-Mai	2,56	0,64	3,20
4-Mai	3,28	0,82	4,10
5-Mai	2,96	0,74	3,70
6-Mai	3,68	0,92	4,60
7-Mai	3,52	0,88	4,40
8-Mai	3,36	0,84	4,20
9-Mai	3,76	0,94	4,70
10-Mai	3,76	0,94	4,70
11-Mai	3,92	0,98	4,90
12-Mai	4,00	1,00	5,00
13-Mai	3,84	0,96	4,80
14-Mai	3,68	0,92	4,60
15-Mai	3,68	0,92	4,60
16-Mai	3,84	0,96	4,80
17-Mai	3,92	0,98	4,90
18-Mai	4,56	1,14	5,70
19-Mai	4,96	1,24	6,20
20-Mai	4,32	1,08	5,40
21-Mai	4,08	1,02	5,10
22-Mai	3,84	0,96	4,80
23-Mai	4,56	1,14	5,70
24-Mai	4,72	1,18	5,90
25-Mai	5,04	1,26	6,30
26-Mai	4,80	1,20	6,00
27-Mai	5,04	1,26	6,30
28-Mai	5,28	1,32	6,60
29-Mai	4,96	1,24	6,20
30-Mai	4,40	1,10	5,50
31-Mai	2,16	0,54	2,70
1-Jun	0,77	0,19	0,96
2-Jun	1,34	0,34	1,68
3-Jun	1,44	0,36	1,80
4-Jun	1,51	0,38	1,89
5-Jun	1,51	0,38	1,89
6-Jun	1,56	0,39	1,95
7-Jun	1,42	0,35	1,77
8-Jun	1,39	0,35	1,74
9-Jun	1,18	0,29	1,47
10-Jun	1,22	0,31	1,53
11-Jun	2,83	0,71	3,54
12-Jun	2,54	0,64	3,18
13-Jun	1,39	0,35	1,74
14-Jun	2,11	0,53	2,64
15-Jun	2,16	0,54	2,70
16-Jun	1,58	0,40	1,98
17-Jun	2,16	0,54	2,70
18-Jun	2,45	0,61	3,06
19-Jun	2,93	0,73	3,66
20-Jun	2,98	0,74	3,72
21-Jun	3,84	0,96	4,80
22-Jun	3,90	0,98	4,88
23-Jun	4,08	1,02	5,10
24-Jun	3,18	0,80	3,98
25-Jun	2,52	0,63	3,15
26-Jun	3,06	0,76	3,82
27-Jun	2,88	0,72	3,60
28-Jun	3,06	0,76	3,82
29-Jun	3,30	0,83	4,13
30-Jun	3,36	0,84	4,20

2006	Transpiração da cultura mm/dia	Evaporação do solo mm/dia	Evapotranspiração cultural (Etc) mm/dia
1-Jul	3,68	0,92	4,60
2-Jul	3,68	0,92	4,60
3-Jul	3,92	0,98	4,90
4-Jul	3,84	0,96	4,80
5-Jul	4,80	1,20	6,00
6-Jul	5,20	1,30	6,50
7-Jul	5,20	1,30	6,50
8-Jul	5,52	1,38	6,90
9-Jul	5,20	1,30	6,50
10-Jul	3,44	0,86	4,30
11-Jul	4,56	1,14	5,70
12-Jul	5,36	1,34	6,70
13-Jul	6,25	1,56	7,81
14-Jul	5,81	1,45	7,26
15-Jul	5,81	1,45	7,26
16-Jul	5,98	1,50	7,48
17-Jul	6,60	1,65	8,25
18-Jul	5,02	1,25	6,27
19-Jul	5,28	1,32	6,60
20-Jul	5,19	1,30	6,49
21-Jul	5,54	1,39	6,93
22-Jul	5,81	1,45	7,26
23-Jul	5,54	1,39	6,93
24-Jul	5,46	1,36	6,82
25-Jul	5,37	1,34	6,71
26-Jul	5,72	1,43	7,15
27-Jul	5,81	1,45	7,26
28-Jul	5,98	1,50	7,48
29-Jul	5,81	1,45	7,26
30-Jul	5,54	1,39	6,93
31-Jul	5,81	1,45	7,26
1-Ago	5,44	1,36	6,80
2-Ago	5,12	1,28	6,40
3-Ago	4,96	1,24	6,20
4-Ago	4,80	1,20	6,00
5-Ago	4,96	1,24	6,20
6-Ago	4,96	1,24	6,20
7-Ago	5,28	1,32	6,60
8-Ago	4,96	1,24	6,20
9-Ago	5,04	1,26	6,30
10-Ago	4,88	1,22	6,10
11-Ago	4,64	1,16	5,80
12-Ago	5,04	1,26	6,30
13-Ago	4,64	1,16	5,80
14-Ago	4,24	1,06	5,30
15-Ago	4,00	1,00	5,00
16-Ago	3,20	0,80	4,00
17-Ago	3,44	0,86	4,30
18-Ago	3,12	0,78	3,90
19-Ago	3,92	0,98	4,90
20-Ago	5,20	1,30	6,50
21-Ago	4,40	1,10	5,50
22-Ago	4,64	1,16	5,80
23-Ago	5,04	1,26	6,30
24-Ago	5,20	1,30	6,50
25-Ago	5,92	1,48	7,40
26-Ago	6,08	1,52	7,60
27-Ago	5,44	1,36	6,80
28-Ago	5,28	1,32	6,60
29-Ago	5,36	1,34	6,70
30-Ago	4,80	1,20	6,00
31-Ago	4,72	1,18	5,90
1-Set	4,48	1,12	5,60
2-Set	4,64	1,16	5,80
3-Set	4,56	1,14	5,70
4-Set	4,32	1,08	5,40
5-Set	4,16	1,04	5,20
6-Set	4,32	1,08	5,40
7-Set	4,16	1,04	5,20
8-Set	4,08	1,02	5,10
9-Set	4,32	1,08	5,40
10-Set	4,32	1,08	5,40
11-Set	3,20	0,80	4,00
12-Set	3,60	0,90	4,50
13-Set	2,64	0,66	3,30
14-Set	3,20	0,80	4,00
15-Set	2,88	0,72	3,60
16-Set	3,60	0,90	4,50
17-Set	3,36	0,84	4,20
18-Set	3,44	0,86	4,30
19-Set	3,36	0,84	4,20

Quadro 80 – Teores de humidade do solo no Monte da Mancoca

Estação 1			Média	
R1	R2	R3	25-05-2006	Profundidade
19,10			19,10	0
24,00			24,00	15
27,60			27,60	30
28,30			28,30	45
28,4			28,4	60
29,10			29,10	75

Estação 2			Média	
R1	R2	R3	25-05-2006	Profundidade
19,10			19,10	0
19,90			19,90	15
20,60			20,60	30
21,00			21,00	45
22,80			22,80	60
22,90			22,90	75

Estação 1			Média	
R1	R2	R3	31-05-2006	Profundidade
17,7	18,3		18,00	0
23,6	20,30		21,95	15
27,5	21,60		24,55	30
29,0	23,60		26,30	45
29,7	23,80		26,75	60
30,10			30,10	75

Estação 2			Média	
R1	R2	R3	31-05-2006	Profundidade
				0
				15
				30
				45
				60
				75

Estação 1			Média	
R1	R2	R3	08-06-2006	Profundidade
19,1			19,10	0
23,9			23,90	15
27,5			27,50	30
28,7			28,70	45
29,7			29,70	60

Estação 2			Média	
R1	R2	R3	08-06-2006	Profundidade
19,5			19,50	0
21,3			21,30	15
21,6			21,60	30
22,5			22,50	45
23,2			23,20	60

Estação 1			Média	
R1	R2	R3	22-06-2006	Profundidade
15,30			15,30	0
18,3			18,30	15
23,8			23,80	30
25,8			25,80	45
26,7			26,70	60
27,3			27,30	75

Estação 2			Média	
R1	R2	R3	22-06-2006	Profundidade
14,3			14,30	0
17,9			17,90	15
19,4			19,40	30
19,9			19,90	45
21,6			21,60	60
23,1			23,10	75

Estação 1			Média	
R1	R2	R3	22-08-2006	Profundidade
17,0			17,00	0
15,3			15,30	15
16,5			16,50	30
21,3			21,30	45
21,5			21,50	60
23,0			23,00	75

Estação 2			Média	
R1	R2	R3	22-08-2006	Profundidade
18,0			18,00	0
19,6			19,60	15
22,5			22,50	30
24,4			24,40	45
26,7			26,70	60
27,2			27,20	75

Quadro 81 – Output do HYDRUS-1D (Teores de humidade e potencial de água no solo)

```

***** Program HYDR US
*****
Welcome to HYDR US-1D
Date: 29. 5. Tim e: 16: 01:43
Units: L = cm , T #NAME? , M = mm ol

Node( 16) Node( 87)
time h theta Temp h theta Temp
0.0010 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0020 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0033 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0050 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0072 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0100 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0138 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0186 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0249 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0330 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0436 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0574 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0753 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.0986 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.1289 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.1683 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.2195 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.2860 -151.79 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.3753 -151.78 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.4794 -151.73 0.2000 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.6095 -151.58 0.2001 20.000 -183.71 0.3002 20.000
0.8048 -151.01 0.2003 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.000 -149.91 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.010 -149.90 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.023 -149.89 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.040 -149.88 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.062 -149.87 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.090 -149.85 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.128 -149.83 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.176 -149.80 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.239 -149.76 0.2007 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.320 -149.71 0.2008 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.426 -149.65 0.2008 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.564 -149.56 0.2008 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.743 -149.44 0.2009 20.000 -183.71 0.3002 20.000
10.976 -149.27 0.2009 20.000 -183.71 0.3002 20.000
11.279 -149.04 0.2010 20.000 -183.71 0.3002 20.000
11.673 -148.71 0.2011 20.000 -183.71 0.3002 20.000
12.185 -148.23 0.2013 20.000 -183.71 0.3002 20.000
12.850 -147.55 0.2015 20.000 -183.71 0.3002 20.000
13.744 -146.50 0.2019 20.000 -183.71 0.3002 20.000
14.787 -145.16 0.2024 20.000 -183.71 0.3002 20.000
16.090 -143.35 0.2030 20.000 -183.71 0.3002 20.000
18.045 -140.44 0.2041 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.000 -137.47 0.2051 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.010 -137.46 0.2051 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.023 -137.44 0.2051 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.040 -137.41 0.2051 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.062 -137.38 0.2052 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.090 -137.34 0.2052 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.128 -137.28 0.2052 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.176 -137.21 0.2052 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.239 -137.11 0.2052 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.320 -136.99 0.2053 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.426 -136.82 0.2054 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.564 -136.61 0.2054 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.743 -136.34 0.2055 20.000 -183.71 0.3002 20.000
20.976 -135.98 0.2057 20.000 -183.71 0.3002 20.000
21.279 -135.52 0.2058 20.000 -183.71 0.3002 20.000
21.673 -134.92 0.2060 20.000 -183.71 0.3002 20.000
22.185 -134.15 0.2063 20.000 -183.70 0.3002 20.000
22.850 -133.17 0.2067 20.000 -183.70 0.3002 20.000
23.744 -131.92 0.2071 20.000 -183.70 0.3002 20.000
24.787 -130.57 0.2076 20.000 -183.70 0.3002 20.000

```

