

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

**CONTROLO DE TOALHAS FREÁTICAS SUSPENSAS
EM SOLOS ARGILUVIADOS**

ENSAIOS PRELIMINARES

*Dissertação apresentada como requisito
parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia do Solo e da Água*

Por

Isabel Cristina Castanheira e Silva

sob orientação de

Professor Doutor António G. Santos Júnior

ÉVORA
1998

*Este trabalho não inclui as
observações e críticas feitas
pelo júri*

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Professor Doutor António G. Santos Júnior agradeço a orientação e acompanhamento deste trabalho, a permanente disponibilidade, as suas sugestões e ensinamentos.

Ao Senhor Engenheiro Lino Lúcio agradeço a sua disponibilidade e importante colaboração.

Finalmente, quero agradecer à minha família, em particular à minha Filha e à minha Mãe, o permanente apoio que me deram e ao meu Marido a sua colaboração e a paciência que me dispensou ao longo do período de realização deste trabalho.

À MEMÓRIA DE MEU PAI

RESUMO

Com este trabalho pretende-se estudar o comportamento hidrológico de solos argiluvados de difícil drenagem interna, como são os solos do Alentejo, e das toalhas freáticas neles formadas após a instalação de estruturas de drenagem subsuperficial. Para isso, foram instalados ensaios de drenagem com drenos enterrados a 45 e 80 cm de profundidade na Herdade do Barrocal, próximo de Évora, foram feitas as observações necessárias e analisadas segundo os seguintes aspectos:

1. Formação e desenvolvimento das toalhas freáticas suspensas
2. Efeitos da subsolagem nos caudais e volumes de drenagem
3. Análise do escoamento interno através da avaliação da condutividade hidráulica nas várias camadas de solo e do balanço hídrico do horizonte superficial.

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que a drenagem subsuperficial, neste tipo de solos, tem efeitos positivos diminuindo significativamente o escoamento superficial e permitindo a descida mais rápida das superfícies freáticas.

INDÍCE

| | |
|--|-----------|
| 1 – INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 – ALGUNS ASPECTOS DA INVESTIGAÇÃO EM SOLOS | |
| ARGILOSOS DE DRENAGEM DIFÍCIL..... | 5 |
| 3 - SITUAÇÕES DE DRENAGEM NO ALENTEJO..... | 12 |
| 3.1 - IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO..... | 12 |
| 3.2- INVESTIGAÇÃO..... | 15 |
| 4 - ENSAIOS NA HERDADE DO BARROCAL..... | 21 |
| 4.1 - OBJECTIVOS..... | 21 |
| 4.2 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS..... | 22 |
| 4.2.1 – <u>Fisiografia</u> : topografia, solo e ocupação cultural..... | 22 |
| 4.2.2 - <u>Tratamentos</u> | 24 |
| 4.2.3 – <u>Equipamento</u> | 28 |
| 4.3 – OBSERVAÇÕES..... | 31 |
| 4.3.1 - <u>Dados disponíveis</u> | 31 |
| 4.3.2 – <u>Precipitação</u> | 35 |
| 4.3.3 - <u>Toalhas freáticas: formação, desenvolvimento</u> <u>e evolução</u> | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.3.1 - Primeiros trimestres dos anos..... | 36 |
| 4.3.3.2 – Últimos trimestres dos anos..... | 39 |
| 4.3.4 – <u>Caudais de drenagem</u> | 42 |
| 4.3.5 - <u>Evapotranspiração</u> | 43 |
| 4.4 – RESULTADOS..... | 45 |
| 4.4.1 - <u>Formação, desenvolvimento e evolução das toalhas freáticas suspensas</u> | 45 |
| 4.4.2 - <u>Efeito da subsolagem nos caudais e volumes de drenagem</u> | 48 |
| 4.4.3 – <u>Análise do escoamento interno</u> | 55 |
| 4.4.3.1 – Avaliação da condutividade hidráulica a partir dos caudais de drenagem e das alturas da superfície freática acima dos drenos..... | 55 |
| 4.4.3.2 – Balanço hídrico do horizonte superficial..... | 60 |
| 4.4.3.3 – Conclusões..... | 62 |
| 5 – CONCLUSÕES | 64 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |
| ANEXOS | 73 |

1

INTRODUÇÃO

A drenagem agrícola é um processo de remoção de excessos hídricos, por controlo das toalhas freáticas ou de águas de superfície.

Os sistemas de drenagem controlam, em tempo útil, estes excessos, através da instalação de estruturas enterradas ou a céu aberto. Os seus objectivos: são proporcionar condições apropriadas ao normal desenvolvimento das culturas, de modo a aumentar a sua produção; facilitar as operações culturais, diminuindo o escoamento superficial a que estão associados problemas de erosão; controlar a salinidade e, eventualmente, remover sais.

Associados aos sistemas de drenagem existem processos de mobilização profunda do solo, como a subsolagem, que visam o aumento da espessura efectiva do solo, da capacidade de armazenamento de água e o aprofundamento da zona de desenvolvimento radical e do perfil. Os estudos de drenagem poderão e, numa fase final, deverão ser parte de estudos integrados de exploração da terra. Estes estudos exigem uma investigação prévia que pretende identificar o sistema hidrológico em

presença de outros factores como a topografia, o solo, origem e movimento da água, regime pluviométrico, clima, culturas e equilíbrio ambiental a preservar (Santos Júnior, 1982).

Estudos de natureza teórica, fundamental, modelos físicos e matemáticos em meio poroso, constituem já base científica suficiente para realizar os projectos de drenagem. Contudo, presentemente, já há estudos específicos para situações especiais do solo, de drenagem particularmente difícil (Sinai et al., 1987; Groot, 1974; Bouma et al., 1977; German et al., 1981; Kneal et al., 1984; Leeds-Harrison et al., 1982; Jong, sem data; Russel G. Mein et al., 1973; Watson e Lees, 1975; Carbon et al., 1975; Skaggs et al, 1981; Skaggs, 1982).

Na prática, para cada caso, as soluções constam da formulação de critérios práticos e específicos que só pela investigação casuística podem ser elaborados e testados. Cada situação de drenagem é única (Santos Júnior, 1982).

Os estudos experimentais de drenagem referem-se ao comportamento hídrico do solo e ao conhecimento aprofundado do movimento da água no solo ou são parte de estudos integrados de sistemas mais complexos com vista à rendibilidade desses sistemas, envolvendo tecnologia do solo ajustada à economia da água no solo.

Com o presente trabalho pretende-se estudar o comportamento hidrológico de solos argiluvitados de difícil drenagem interna, como são os solos do Alentejo, e das toalhas freáticas neles formadas após a instalação de estruturas de drenagem subsuperficial com base na análise dos resultados dos ensaios preliminares efectuados entre 1980-1987, na Herdade do Barrocal, no âmbito do “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo” da DGHEA e da Universidade de Évora. Os ensaios foram

instalados de acordo com o “Plano de ensaios e observações” (Universidade de Évora, 1979) onde se refere que se previa, inicialmente, realizar um delineamento estatístico dos mesmos e que esse procedimento teria sido abandonado optando-se por instalar simples ensaios de sondagem em talhões de maior dimensão. Os resultados destes, obtidos entre 1980 e 1982, são descritos e analisados, estabelecendo-se as conclusões preliminares, num primeiro relatório intitulado “Talhões Experimentais de Drenagem, Herdade do Barrocal” (Santos Júnior et al., 1982).

Depois de 1982 foram recolhidos dados e informações que não foram sujeitos a análise e que serão utilizados neste trabalho para concluir essa análise, sem ultrapassar os objectivos iniciais, pretendendo-se apenas obter informações preliminares sobre o problema que permitam, posteriormente, a elaboração de modelos de drenagem e experimentação de sistemas, o que poderá constituir tema para outro trabalho.

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução que inclui algumas generalidades sobre o assunto que serve de base a esta dissertação, a definição dos objectivos e indicação da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo consta de uma breve recolha bibliográfica sobre a experimentação de sistemas de drenagem, em solos com difíceis condições de drenagem, seus efeitos e sua comparação sob vários aspectos; e ainda sobre o desenvolvimento de modelos de drenagem e avaliação da sua eficiência.

A identificação dos problemas de drenagem dos solos argiluvitados do Alentejo e sua caracterização é feita no terceiro capítulo, assim como a referência à investigação já realizada sobre drenagem subsuperficial, com drenos, drenagem toupeira e

subsolagem neste tipo de solos.

No quarto capítulo são definidos os objectivos dos ensaios de drenagem na Herdade do Barrocal; é feita a sua descrição; são referidas as observações realizadas e apresentados os resultados sob os aspectos considerados importantes para o estudo do comportamento hidrológico do solo:

1. Formação, desenvolvimento e evolução das toalhas freáticas suspensas
2. Efeitos da subsolagem nos caudais e volumes de drenagem
3. Análise do escoamento interno através da avaliação da condutividade hidráulica a partir dos caudais de drenagem e das alturas da superfície freática acima dos drenos, nas várias camadas do solo e do balanço hídrico do horizonte superficial.

No quinto capítulo resumem-se as principais conclusões a retirar deste trabalho, ao mesmo tempo que se perspectivam os desenvolvimentos que seria interessante ter em conta para a sua continuação.

2

ALGUNS ASPECTOS DA INVESTIGAÇÃO EM SOLOS ARGILOSOS DE DRENAGEM DIFÍCIL

Na Europa e nos Estados Unidos da América foi realizada alguma investigação teórica e experimental sobre o controlo do regime hídrico em solos argilosos expansivos ou com difíceis condições de drenagem interna.

Esses trabalhos incidem essencialmente sobre o estudo dos efeitos de tipos diferentes de sistemas de drenagem, e sua comparação, e sobre a elaboração de modelos que podem ter como objectivo prever volumes de água infiltrada e de escoamento e capacidade de infiltração, determinar como controlar o nível da toalha freática e descrever a “performance” dos sistemas de drenagem com base no balanço de água no solo.

No Cranfield Institute of Technology, em Silsoe College, e na Field Drainage Experimental Unit , em Cambridge, a partir da década de 70, realizaram-se alguns

trabalhos baseados em estudos comparativos, a nível técnico e económico, sobre o efeito da drenagem subsuperficial (mobilização profunda e drenagem toupeira) em solos argilosos pesados. O principal objectivo da drenagem subsuperficial nestes solos é remover a água do horizonte superficial, facilitando as operações culturais na primavera, a germinação, o desenvolvimento e saúde das raízes, preservando a estrutura do solo (Sinai et al., 1987).

Groot (1974) refere a investigação sobre métodos de drenagem também em solos argilosos pesados da Jugoslávia que apresentam uma camada superficial permeável por cima de camadas impermeáveis. Foram experimentados sistemas de drenagem subsuperficial com drenos enterrados e drenagem toupeira e superficial com diques abertos. Na selecção do método mais apropriado foram considerados aspectos como a mecanização, operações culturais e investimento inicial.

O movimento da água neste tipo de solos é, muitas vezes, dominado por fluxo nos poros de maior diâmetro. Trabalhos, em muitos países, sob condições climáticas e situações de diferente utilização do solo mostraram que enquanto o fluxo nos macroporos pode aumentar significativamente o fluxo de água nos drenos e pode também contribuir, de forma reduzida para a porosidade total do solo (Bouma et al. 1977, German et al. 1981 e Kneal et al. 1984).

Leeds - Harrison et al. (1982) mostraram que a resposta à drenagem é influenciada pela natureza das fendas e pelas alterações provocadas no solo no momento em que são feitos os drenos toupeira. A drenagem toupeira desenvolve fendas adjacentes e acima do dreno o solo tem uma mais rápida resposta à precipitação do que nos casos em que não há formação de fendas.

A capacidade das práticas de lavoura para alterar a densidade das unidades

estruturais do solo e, em particular, a proporção de poros de maior diâmetro no solo necessita ser considerada nos modelos e projectos de drenagem. A lavoura, usualmente, causa o aparecimento de fendas acima da profundidade de lavoura sendo pequenas as alterações verificadas abaixo dessa profundidade. Nestas circunstâncias, o fluxo para os drenos pode ser restringido pela baixa macroporosidade do solo entre a camada fragmentada e o dreno.

Nos solos argilosos o aumento de volume e a contracção do solo debaixo de regimes húmidos e secos, a acção do frio e a compactação provocada pelas rodas das máquinas contribuem para alterar a extensão, continuidade e tamanho dos macroporos. Assim, uma outra complicação a acrescentar ao projecto de drenagem é que qualquer ocorrência natural ou alterações provocadas às propriedades físicas do solo variam no tempo.

Leeds - Harrison e Jarvis (sem data) estudam os efeitos da lavoura e alterações do solo por ela provocadas na resposta à drenagem em solos argilosos pesados e concluíram que o comportamento da drenagem nestes solos mostrou ser dependente das fendas que estes apresentam depois de um período seco. A influência das alterações provocadas pela lavoura tem um efeito significativo no armazenamento de água no solo e na taxa de fluxo nos drenos. O projecto e a instalação do sistema de drenagem requer uma compreensão dos processos de fluxo de água nas fendas.

M.H. de Jong realizou um trabalho teórico, "Drainage of structured clay – soils" (sem data), sobre os solos argilosos que existem numa grande parte da costa da Holanda e no noroeste da Alemanha e que contribui com algumas sugestões para a criação de um modelo de drenagem para estes solos, baseadas essencialmente na drenagem subsuperficial. Estes solos têm permeabilidade vertical muito baixa não justificando a

drenagem subsuperficial, mas Jong considera que este tipo de drenagem tem um papel importante mantendo a toalha freática a um determinado nível e conseqüentemente o teor de humidade do solo durante muito tempo depois do Verão e ainda uma parte do Inverno. Para Jong o principal objectivo de um modelo de drenagem é encontrar quanto tempo, e com que frequência, a toalha freática pode exceder um determinado nível, estudando a complexa relação entre a toalha freática, humedecimento e teor de humidade do horizonte superficial para que seja possível a entrada de máquinas e gado.

Em 1973, Russell G. Mein e Curtis L. Larson, apresentam o desenvolvimento de um modelo de duas fases que considera o facto de que, inicialmente, a intensidade da precipitação seja inferior à capacidade de infiltração do solo e que pretende representar a infiltração como função de propriedades mensuráveis do solo, teor de humidade no solo inicial e intensidade de precipitação. A primeira fase prevê o volume água infiltrada até ao momento em que começa a haver escoamento superficial e o tempo que decorre até que esse escoamento se inicie. Na segunda fase prevê-se a capacidade de infiltração depois do escoamento superficial se iniciar. O modelo foi testado com uma ampla variedade de solos e mostrou ter capacidade de previsão excelente para as condições assumidas no estudo que eram intensidade de precipitação constante, solo homogéneo e teor de humidade no solo uniforme na zona de infiltração.

Watson e Lees (1975) descrevem a simulação do processo de precipitação - escoamento em solos arenosos usando um modelo de histerese de infiltração - redistribuição. Realizam uma aproximação numérica na qual o movimento de água dentro e ao longo do perfil do solo, juntamente com a determinação dos volumes de

escoamento, são continuamente monitorizados durante períodos com ou sem precipitação.

Em 1975, B. A. Carbon e K. A. Galbraith apresentam um modelo de simulação computacional do balanço da água para as plantas em crescimento em solos de estrutura grosseira que foi desenvolvido com base na seguinte equação:

precipitação = interceptão foliar da água + escoamento superficial + detenção de água à superfície + aumento no armazenamento de água no solo + drenagem em profundidade + evaporação

e testado relativamente a medições no campo. Os input deste modelo são parâmetros físicos susceptíveis de medição. Da concordância entre os dados simulados e os resultados observados concluiu-se que a evaporação, armazenamento de água no solo e drenagem em profundidade podem ser satisfatoriamente previstas.

Foram usados dados de uma experiência realizada em solos argilo-limosos, no North Central Ohio, para avaliar a eficiência do modelo de simulação de uso da água DRAINMOD (Skaggs et al,1981). DRAINMOD é um modelo de simulação para computador para descrever a “performance” do sistema de drenagem e baseia-se num balanço de água, para uma delgada secção de solo e por unidade de superfície, que se estende de uma camada impermeável até à superfície e que se localiza no meio de drenos adjacentes, que é determinado pela seguinte expressão:

$$\Delta Va = D + ET + DS - F$$

em que ΔVa é a variação da água livre no espaço dos poros volume de ar (cm), D é a

drenagem da secção (cm), ET é a evapotranspiração (cm), DS é a drenagem em profundidade (cm) e F é a infiltração (cm). Pode ainda ser calculado o balanço de água à superfície para cada intervalo de tempo Δt através da seguinte equação:

$$P = F + \Delta S + RO$$

em que P é a precipitação (cm), F é a infiltração (cm), ΔS é a variação do volume de água armazenada à superfície (cm) e RO é o escoamento (cm).

Ao longo de um período de oito anos, foram previstos e medidos os volumes de fluxo de água para o exterior e foram comparados para parcelas com drenagem superficial, drenagem subsuperficial e parcelas de combinação de drenagem superficial e subsuperficial. O modelo prevê continuamente a posição da toalha freática, teor de água no solo, drenagem, evapotranspiração e escoamento superficial com base nos dados climatológicos, propriedades do solo e da cultura e parâmetros do sistema de drenagem utilizado. Os volumes de água previstos para o escoamento superficial e drenagem subsuperficial estavam em concordância com os valores medidos para os três tratamentos de drenagem diferentes. DRAINMOD foi desenvolvido para solos com toalhas freáticas superficiais e é proposto como instrumento para otimizar o desenho do sistema de drenagem superficial ou subsuperficial que pode incluir previsões para irrigação (Skaggs et al, 1981).

Este modelo foi testado posteriormente e durante 5 anos, usando dados de campo de três lugares de N. C. Coastal Plain, em três tipos de solos diferentes e cinco sistemas de drenagem diferentes. Foram medidos continuamente a intensidade da precipitação e a elevação da toalha freática sendo estes últimos dados comparados com os valores previstos diariamente, encontrando-se em concordância. Foram recolhidos numerosos

dados de campo e de laboratório para cada solo para determinar as propriedades do solo e dados característicos do local. O modelo prevê com sucesso o efeito do sistema de drenagem e a elevação da toalha freática (Skaggs,1982).

Como já foi referido, a investigação experimental já desenvolvida em drenagem de solos fornece soluções práticas para problemas muito específicos não nos podendo servir de soluções padrão. As soluções constam da formulação de critérios práticos e específicos que só pela investigação casuística podem ser elaborados e testados.

3

SITUAÇÃO DE DRENAGEM NO ALENTEJO

3.1 – IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Em Portugal têm sido inventariadas e descritas situações que requerem intervenção técnica no controlo dos excessos hídricos superficiais e subsuperficiais (Sousa e Perdigão, 1985; Sobral e Sims, 1985). Refiro-me concretamente aos problemas de drenagem dos solos argiluvitados do Alentejo que possuem toalha freática permanente ou que sofrem temporariamente de encharcamento.

A remoção do excesso de água, destes solos será, em muitos casos, o suficiente para estabelecer o equilíbrio necessário entre o teor de humidade e o teor de ar na camada superior do perfil, embora o risco de salinização possa algumas vezes surgir em profundidade. O relevo côncavo pode ainda ser um obstáculo à drenagem de superfície mas isto não é um problema relacionado com as características do pédon.

Os horizontes argílicos compactos geralmente mostram pouca permeabilidade sendo o fluxo de água descendente muito lento através desses horizontes. Uma pequena chuvada com intensidade ou uma grande chuvada de pequena intensidade é suficiente para que uma toalha freática suspensa se eleve acima destes horizontes. Quando o relevo é côncavo o problema é agravado pelo fluxo de água das áreas vizinhas. O tipo de perfil dos solos do Alentejo apresenta um horizonte superficial com estrutura bastante destruída devido, provavelmente, à agricultura, enquanto um outro horizonte deficiente em espaços de ar se encontra entre 40 a 60 cm correspondendo ao horizonte argílico (Sousa e Perdigão,1985).

Sobral et al.(1985) identifica também os problemas de encharcamento dos solos argiluvitados do Alentejo e apresenta algumas soluções, envolvendo técnicas de drenagem superficial. Durante os meses de Inverno a precipitação é elevada e excede a evapotranspiração em cerca de 240 mm. Quando a precipitação se inicia o solo está lavrado e a descoberto. O horizonte arável está remexido e a macroporosidade aumentou, a taxa de infiltração e o volume total de poros são elevados. Assumindo uma altura de 25 cm para a camada arável e 30% de porosidade total os primeiros 75 cm de precipitação são absorvidos sem escoamento superficial. A camada arável está saturada . O horizonte B compacto, e eventualmente impermeável, impede a drenagem vertical da água que se encontra à superfície. As exceções são os cimos das colinas ou os sulcos onde a erosão drasticamente reduziu a espessura do solo ou expôs o horizonte C. Nestes pontos é considerável a entrada de água que desce pela encosta entre a rocha que se encontra a alguma profundidade e a camada impermeável.

Por volta do fim de Outubro, a precipitação deixa de ser absorvida pelo horizonte superior já saturado, não permanecendo à superfície e iniciando o escoamento

superficial. Desde que a paisagem seja ondulada haverá movimento de água das zonas mais altas para as mais baixas.

Poços pouco profundos são muito comuns nos vales e linhas de drenagem em todo o Alentejo e no Inverno o nível da água encontra-se quase sempre à superfície. Quando esses reservatórios são rodeados por colinas, a água flui para fora do poço nos períodos mais chuvosos do Inverno. Se for feito um dreno aberto, numa zona baixa através do horizonte B, a “pressão” liberta-se e aparece um fluxo vindo do exposto horizonte C, fenómeno a que se chama artesianismo (figura 1). Nos drenos mais antigos, a presença de água é indicada por juncos e vegetação similar ao longo dos lados do dreno que permanecem verdes durante o Verão, quando o solo nos campos está seco e com fendas.

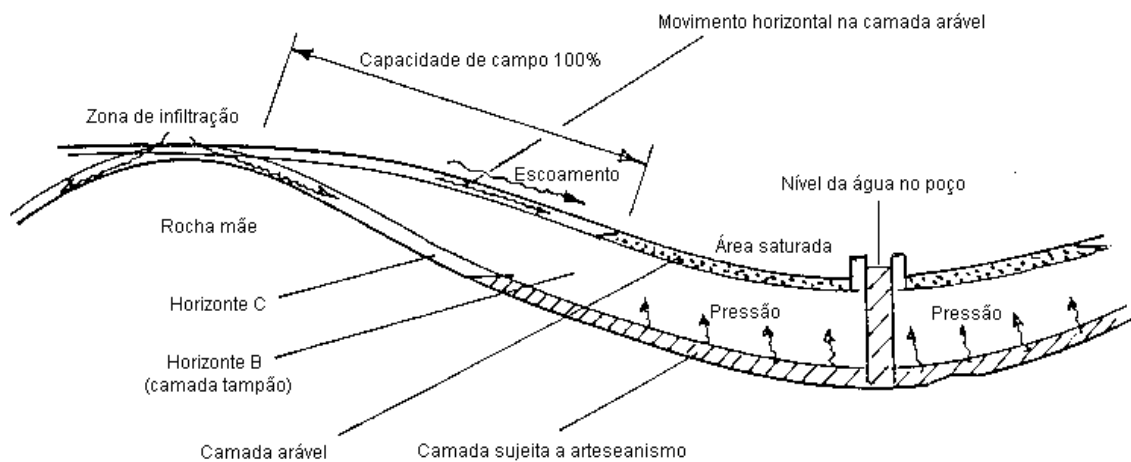


Figura 1 - Situação de drenagem no Alentejo (Sobral et al., 1985)

A figura apresentada é verdadeira para solos derivados de granito, para barros e com algumas modificações e restrições para solos xistos, ranhas e planossolos. Em todos

os casos, uma determinada situação num determinado local depende da topografia da profundidade e permeabilidade do horizonte B (que por sua vez depende da erosão e deposição e métodos de cultivo e do efeito na microtopografia da direcção da lavoura ao longo de um longo período). Nos solos de xisto e algumas ranhas o material é relativamente permeável comparado com o granito e as rochas debaixo dos Barros. O efeito de artesianismo não será tão pronunciado.

3.2 - INVESTIGAÇÃO

Em 1978 foi aprovado o “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo”, por acordo entre o Governo Português, a FAO e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). No âmbito deste projecto foram instalados, pelo Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, talhões experimentais de drenagem, para observação de sistemas de drenagem subsuperficial e de controlo de toalhas freáticas suspensas, em solos Argiluvitados na Herdade do Barrocal, sendo feita referência de maior detalhe a estes ensaios no capítulo seguinte (Universidade de Évora, 1979). Das observações feitas no período de Fevereiro de 1980 a Março de 1982 foi elaborado um relatório e retiradas conclusões preliminares (Santos Júnior et al., 1982). De entre estas conclusões destaca-se que:

- * a condutividade hidráulica do horizonte A é significativa,
- * as superfícies freáticas neste horizonte deslocam-se paralelamente a si mesmas acompanhando o declive do solo,
- * as linhas de corrente no horizonte B são verticais,
- * a velocidade de descida da superfície freática é maior nos talhões onde foram instalados drenos,

* as estruturas instaladas abaixo do horizonte A são ineficazes se não houver tratamento prévio do horizonte B e que

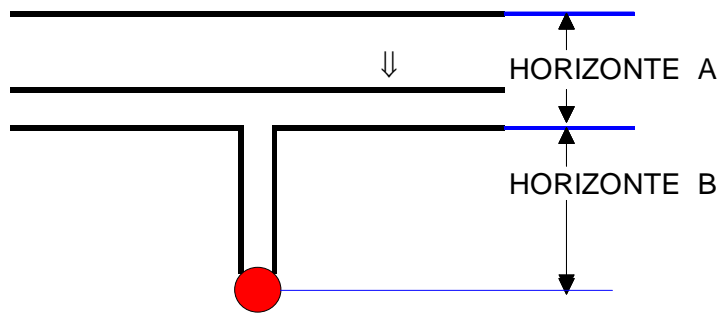
* quando a superfície freática se encontra abaixo do horizonte A o horizonte C constitui a única descarga natural da água livre do solo.

As observações prosseguiram até 1988, depois de ultimado o equipamento dos referidos talhões

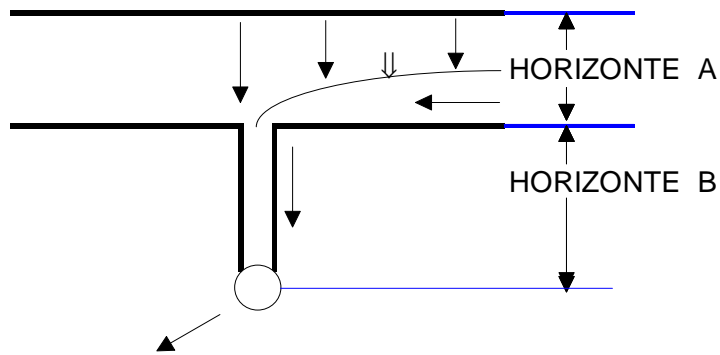
Na Herdade do Barrocal, em 1984, foi instalado pelo mesmo Departamento da Universidade de Évora um campo experimental para estudo do efeito da subsolagem na dinâmica da água no solo na produtividade das culturas, em solos argiluvitados. Foram feitas a observação dos perfis de humidade e a medição de caudais de drenagem durante dois anos, a partir dos quais foram elaboradas duas comunicações (Bless,1985; Bless,1989). Concluiu-se, também de forma preliminar, que a subsolagem feita abaixo do limite de plasticidade do solo pode aumentar a infiltração no horizonte B, diminuindo o escoamento de superfície, e aumentar a penetração das raízes na área dos sulcos, e também entre eles, usando a água armazenada no solo durante os períodos secos, levando a um mais rápido desenvolvimento da cultura. Devido a uma boa distribuição das raízes, será de esperar desenvolvimento, protecção e manutenção da estrutura frágil do solo subsolado. Os melhoramentos descritos podem também ser observados nos solos em que foi feita a subsolagem acima do limite de plasticidade mas os efeitos positivos são bastante mais fracos e limitados à zona subsolada (Bless, 1985).

Ainda sobre o mesmo assunto, em 1991, no Encontro Técnico “Água e Agricultura”, foram apresentadas, por Lucas e Lacerda, conclusões preliminares baseadas nas medições e observações realizadas num ensaio de drenagem toupeira em solo argiluvitado sujeito à cultura de arroz durante um largo período de tempo. Para além de

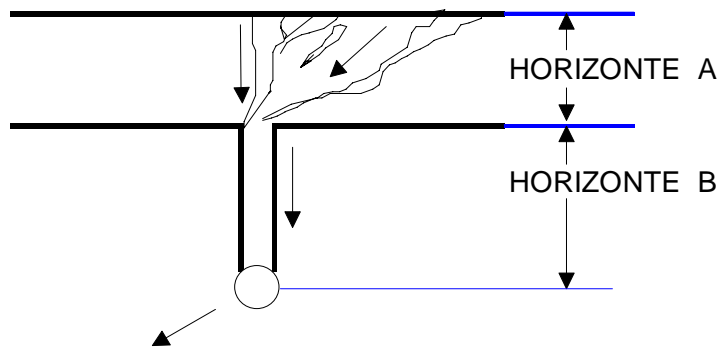
ser discutida a realização de drenagem toupeira, é ainda discutido o melhor conjunto de peças activas para a sua realização, assim como outras técnicas de mobilização profunda do solo. Concluiu-se que a possibilidade de sucesso de drenagem toupeira nos solos ensaiados depende fundamentalmente da estabilidade das galerias. Se as galerias não forem estáveis, observa-se a acumulação de água sobre o horizonte B durante longos períodos (toalha freática suspensa). Se as galerias se mantiverem estáveis, pode acontecer que não se processe a formação de fissuras ou serão de fraca magnitude, ou ainda podem ocorrer fissuras de forma significativa. No primeiro caso observa-se acumulação de água sobre o horizonte B durante cada chuvada algum tempo após esta. A condutividade hidráulica do horizonte A pode aumentar com a indução de fissuras através de operações de mobilização mais ou menos superficiais.



- Galerias não estáveis



- Galerias estáveis
- Galerias sem fissuras



- Galerias estáveis
- Galerias com fissuras

Figura 2 - Estabilidade das galerias (Lacerda, 1991)

Se ocorrer a formação de fissuras de forma significativa, e estas se mantiverem estáveis com o tempo, a drenagem toupeira constituirá um sistema de controlo de água por excelência, tal como se refere no trabalho de Leeds-Harrison já mencionado. Na presença de fissuras que conduzem rapidamente a água às galerias, o caudal de ponta será maior, pouco tempo após o pico da chuvada, e o tempo de descarga dos drenos substancialmente menor. Principalmente no último caso, a sequência de ciclos de humedecimento/secagem provocará, de forma mais ou menos acentuada, a formação de fissuras o que fará aumentar a condutividade hidráulica do solo. As características dos horizontes deste tipo de solos influenciam o crescimento radical e o aproveitamento da água pela cultura e as necessidades de rega.

Oliveira et al. (1994) estudou o desenvolvimento das raízes num solo mediterrânico sujeito a rega por sulcos e mostrou existir uma forte relação entre as propriedades físicas das camadas ou estratos do solo, o movimento de água nestes e o desenvolvimento radicular. No campo de ensaios do Divor, fizeram-se observações dos efeitos da mobilização profunda dum solo Pmg sujeito à rega por sulcos. Este trabalho teve como objectivo o estudo dos efeitos da subsolagem e respectiva quebra do horizonte B destes solos nas performances da rega por sulcos, desenvolvimento radical e o uso da água pela cultura.

Durante muitos anos o solo tinha sido cultivado com trigo mole, tendo sido semeado milho para se fazer este estudo. A quebra do horizonte B pela subsolagem foi comparada com a tradicional lavoura. Nas parcelas experimentais foram utilizados tensiómetros para controlar os efeitos da subsolagem no movimento da água com a profundidade durante a rega e o processo de redistribuição. A sonda de neutrões foi usada para medir o teor de humidade do solo entre duas regas admitindo uma estimativa para o balanço da água e o uso da água pela cultura. O processo de

irrigação foi controlado por equipamento eléctrico. Foram usados descarregadores para contabilizar a quantidade de água aplicada. O crescimento radical e a sua distribuição foram estudadas ao longo da estação de crescimento em lugares seleccionados para as plantas e sulcos. Os resultados preliminares (Oliveira et al. 1994; Serralheiro e Oliveira, 1994), mostram que a subsolagem incrementa a taxa de infiltração do solo e o armazenamento de água da rega ao longo de todo o perfil, o que não acontece nas parcelas sujeitas a lavoura. Por outro lado, nas parcelas sujeitas a lavoura as raízes não crescem abaixo dos 30 cm, ao contrário do que acontece nas parcelas com subsolagem onde as raízes foram encontradas abaixo dos 50 cm.

Conclui-se que a quebra do horizonte B através da subsolagem demonstra um melhoramento efectivo para a rega por sulcos em solos mediterrânicos, aumentando a penetração das raízes e da água no perfil. Observaram-se melhores performances do sistema de rega e maiores volumes de água aplicada. A percolação em profundidade não foi significativa excepto para as primeiras irrigações. Com a lavoura convencional o horizonte B compacto não permite a percolação mas conduz ao aumento de escoamento superficial.

Sousa (1989) refere o “desarranjo ou colapso” mecânico destes solos como uma medida de remediação possível para aumentar os volumes de drenagem e melhorar a estrutura destes solos parece ser essencial para assegurar melhores produções. O mesmo autor acrescenta que a fragmentação do horizonte B pode ser considerado como uma medida para prevenir a acumulação de água no horizonte A e que o seu efeito é provavelmente temporário excepto se forem desenvolvidas práticas como a subsolagem feita preferencialmente, segundo Bless (1985, 1989), abaixo do limite de plasticidade.

4

ENSAIOS DE DRENAGEM NA HERDADE DO BARROCAL

4.1 – OBJECTIVOS

Como já referido, foram instalados, no âmbito do “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo” da DGHEA e da Universidade de Évora iniciado em 1979, talhões experimentais de drenagem subsuperficial na Herdade do Barrocal, que serviram de suporte a ensaios de sondagem, visando o conhecimento do comportamento hidrológico de solos argiluvitados e das toalhas freáticas neles formadas face à instalação de estruturas de drenagem subsuperficial. Com estes ensaios esperava-se obter informações preliminares para a elaboração de modelos de drenagem e experimentação de sistemas de controlo das toalhas freáticas e dos excessos de água à superfície do solo (Santos Júnior et al., 1982) propiciando o aumento de espessura efectiva do solo e da sua capacidade de infiltração e de armazenamento de água.

4.2 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

4.2.1 – FISIOGRAFIA: TOPOGRAFIA, SOLO E OCUPAÇÃO CULTURAL

O ensaio situava-se numa folha de cultura no lado esquerdo da Estrada Nacional n.º 257 (no sentido Évora - Alcáçovas), a cerca de 13 km de Évora e ocupava cerca de 4 ha.

A ocupação do solo foi feita por uma rotação de culturas arvenses de sequeiro:

Prado ----- Prado ----- Prado ----- Prado ----- Trigo ----- Trigo/Forageira

em que a forrageira é aveia + vicia e o prado é trevo subterrâneo + serradela + azevém + panasco tendo em vista uma intensificação forrageira, com pastoreio directo (Universidade de Évora, 1979).

A área em estudo caracteriza-se pela existência de declives suaves apresentando um relevo de plano (declives de 0 a 2%) a ondulado suave (declives de 3 a 5%) e apresenta uma predominância de solos Pm e Pmg com capacidades de uso predominantemente Cs e nalgumas zonas restritas Bs (Cartas Militar, 1973; Solos e Capacidade de Uso, 1969; Agrícola e Florestal, 1964) .

Estes solos classificam-se como solos Mediterrânicos de Quartzodioritos e rochas afins (famílias Pm e Pmg), e caracterizam-se por possuírem limitações acentuadas que podem resultar da insuficiente infiltrabilidade, baixa capacidade de água utilizável, fraca espessura efectiva e a existência de impermees estruturais. Tudo isto leva a uma deficiência de água na Primavera - Verão e a excessos de água à superfície e/ou formação de toalhas freáticas suspensas e temporárias durante o Inverno, com consequências negativas para a erosão, a estrutura, o arejamento, a fertilidade do

solo e para a operabilidade e traficabilidade requeridas para a sementeira e granjeios das culturas de Outono e Inverno.

Os solos Mediterrânicos Pardos de Materiais Não Calcários Normais de Quartzodioritos (Pmg) e os Solos Mediterrânicos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Barros de Dioritos ou Quartzodioríticos ou Rochas Microfaneríticas ou Cristalofílicas Afins (Pm) são solos Argiluvitados pouco Insaturados e segundo a Classificação dos Solos de Portugal de Carvalho Cardoso (1965) correspondem aos “Alfisols” da nova classificação americana e aos “Luvisols” da legenda da FAO.

Os Solos Argiluvitados Pouco Insaturados são solos evoluídos de perfil **A**, **B_a** e **C** em que o horizonte **A**, com espessura de 15 - 35 cm, é de textura ligeira, com menos de 1% de matéria orgânica e o horizonte **B**, com uma espessura de cerca de 20 - 70 cm, é argílico (30 - 60% de argila) e denso. A diferenciação textural deste horizonte pode ser o resultado de acumulação iluvial de argila, o que se confirma pela presença de películas de argila nas faces dos agregados. A densidade aparente deste horizonte (+/- 1,7 g/cm³) é superior à do horizonte **A** por a maioria dos poros estarem preenchidos pela argila transportada para esta camada aumentando ainda no fim da Primavera / Verão (Bless, 1985).

A curva característica humidade - tensão mostra que cerca de 35% vol. do total do espaço dos poros somente 3% em volume é constituído por poros largos, maiores que 50 µ. O volume dos poros entre 50 e 100 µ é também muito pequeno. Isto significa que é difícil a drenagem interna, que é pequeno o volume para armazenar água disponível e que as raízes, crescendo somente em poros maiores que 10 µ, têm poucas possibilidades de entrar na camada compacta. A variação do teor de humidade do solo nos períodos húmidos ou secos ocorre principalmente no horizonte **A** e nos primeiros

15 a 20 cm do horizonte **B**. A densa camada argilosa abaixo da profundidade de 50 cm está mais ou menos ao mesmo teor de humidade de cerca de 30% em volume; somente a partir de Julho esta camada começa a secar também (Bless, 1985).

O horizonte **C** é constituído por material que resulta da desagregação da rocha-mãe.

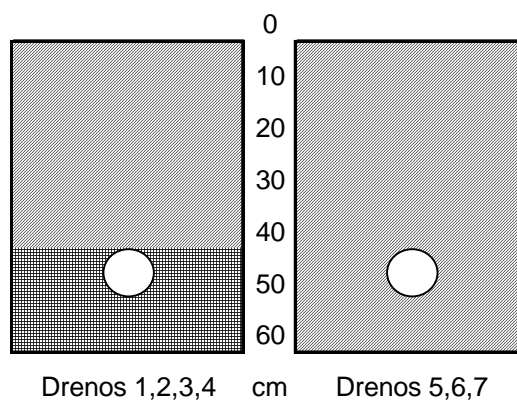
4.2.2 – TRATAMENTOS

O ensaio ocupou três talhões: (Anexo I e figuras seguintes)

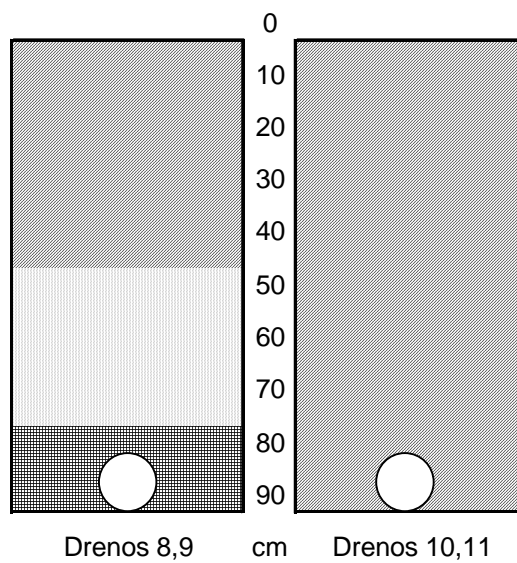
- no talhão A (1,06 ha) foram instalados sete drenos, de 5 cm de diâmetro interno, colocados a 45 cm de profundidade e espaçados 10 metros. Apenas os quatro primeiros drenos (drenos 1, 2, 3 e 4) tiveram uma envolvente de gravilha granítica com uma espessura de 7,5 cm; acima da envolvente até à superfície do solo a vala foi cheia com material do horizonte A. A envolvente dos três restantes drenos (drenos 5, 6 e 7) era constituída por material do horizonte A. Foram escolhidos para observações os drenos 1, 3 e 6 (figura 3)
- no talhão B (1,2 ha) foram instalados quatro drenos, de 10 cm de diâmetro interno, colocados a 80 cm de profundidade, espaçados de 20 metros e assentes directamente no material grosseiro do horizonte C. Os dois primeiros drenos (8 e 9) foram cobertos por um filtro de gravilha granítica de 7,5 cm de espessura, acima da qual foi colocada uma camada de areão, até 45 cm abaixo da superfície do solo e, sobre esta camada, material do horizonte A. Nos restantes drenos (10 e 11), a vala será cheia, acima dos drenos, exclusivamente com material do horizonte A (figura 3). Os drenos 9 e 11 foram escolhidos para observações.


Foi feita uma subsolagem, nas faixas de influência e perpendicularmente aos drenos, a 60 cm de profundidade e com intervalos de 1 m entre dentes.

Drenos no talhão "A"



Drenos no talhão "B"



 - Material do horizonte "A"

 - Areão

 - Grivilha


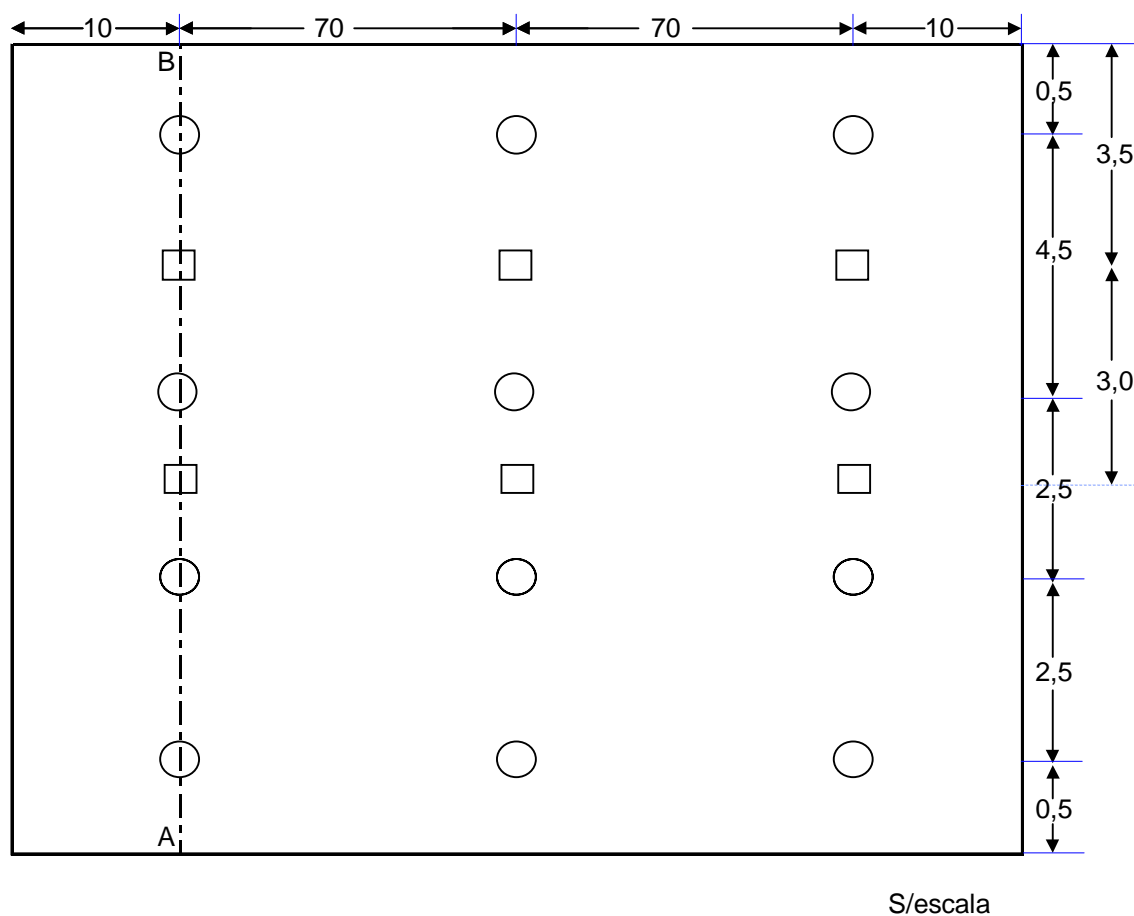
 - Dreno

Figura 3 - Instalação dos drenos nos talhões experimentais (Universidade de Évora, 1979)



- - Tubos de observação de toalha freática
- - Sonda para medição de teores de humidade

Figura 4 - Distribuição, em planta sem escala, de tubos de observação e de sondas, nas faixas entre drenos consecutivos (Universidade de Évora, 1979)

- o talhão C (1,8 ha), sem drenos, serviu de testemunha.

As valas para instalação dos drenos foram abertas com retroescavadoras, com balde de 30 cm de largura e às profundidades de 60 cm e 90 cm, respectivamente nos talhões A e B.

Usando nível topográfico e cruzetas, o assentamento dos drenos foi feito, sobre gravilha ou sobre solo, conforme os casos a um declive de 2%.

Os caudais de drenagem foram recolhidos num colector (carta em anexo).

No troço final dos drenos (último metro junto do colector) foi instalado, por baixo de cada dreno e sua envolvente, quando existia, uma calha de chapa metálica, com extremidade exterior moldada em bica, para medição directa dos caudais escoados.

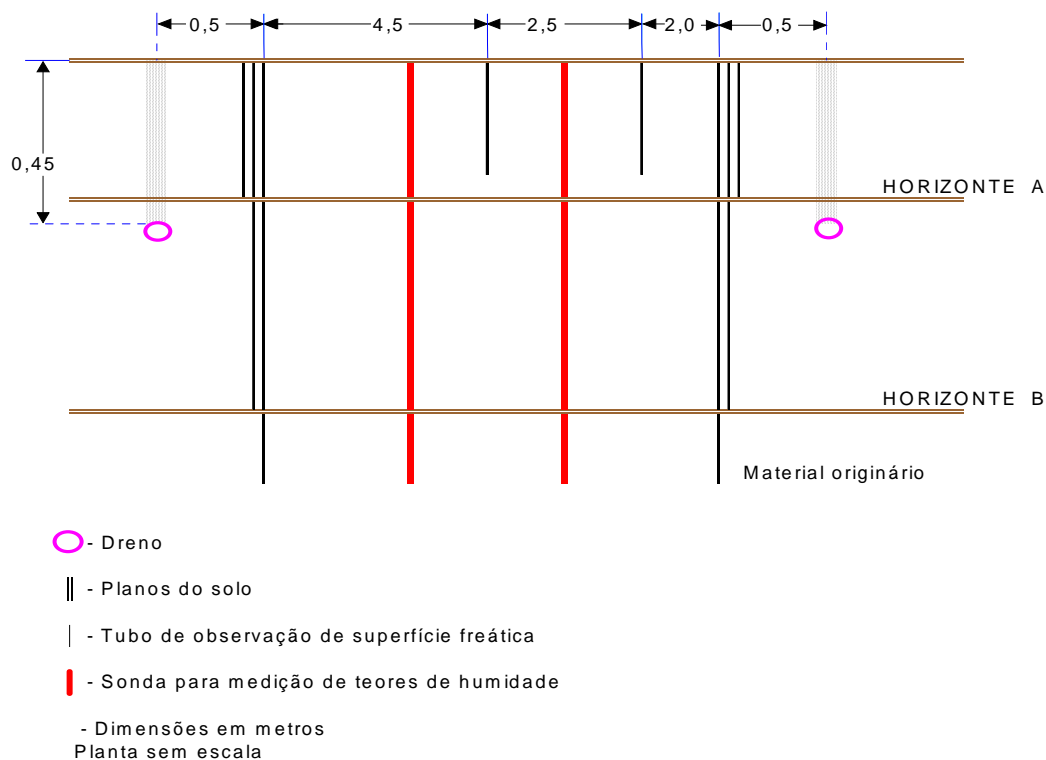
Os talhões foram limitados exteriormente por valas guarda-mato.

Nos talhões A e B, conforme se indica na carta, foram abertas valas para recolha de escoamentos de superfície (Anexo I – carta 2)

4.2.3 – EQUIPAMENTO

Toalhas freáticas. Perfis de humidade.

Entre os drenos foram instalados, no talhão A, uma bateria de três tubos de observação, um no horizonte A, outro no B e outro no C, dois tubos seguidos no horizonte A e de novo outra bateria de três tubos (figura 5). No talhão B foram instaladas quatro baterias de tubos de observação: a primeira de três tubos, um no horizonte A, outro no B e outro no C; a segunda e terceira com dois tubos, um no horizonte A e outro no C e a última idêntica à primeira (figura 6).



Figuras 5 - Corte AB referente à figura 4 - drenos a 45 cm (Universidade de Évora, 1979)

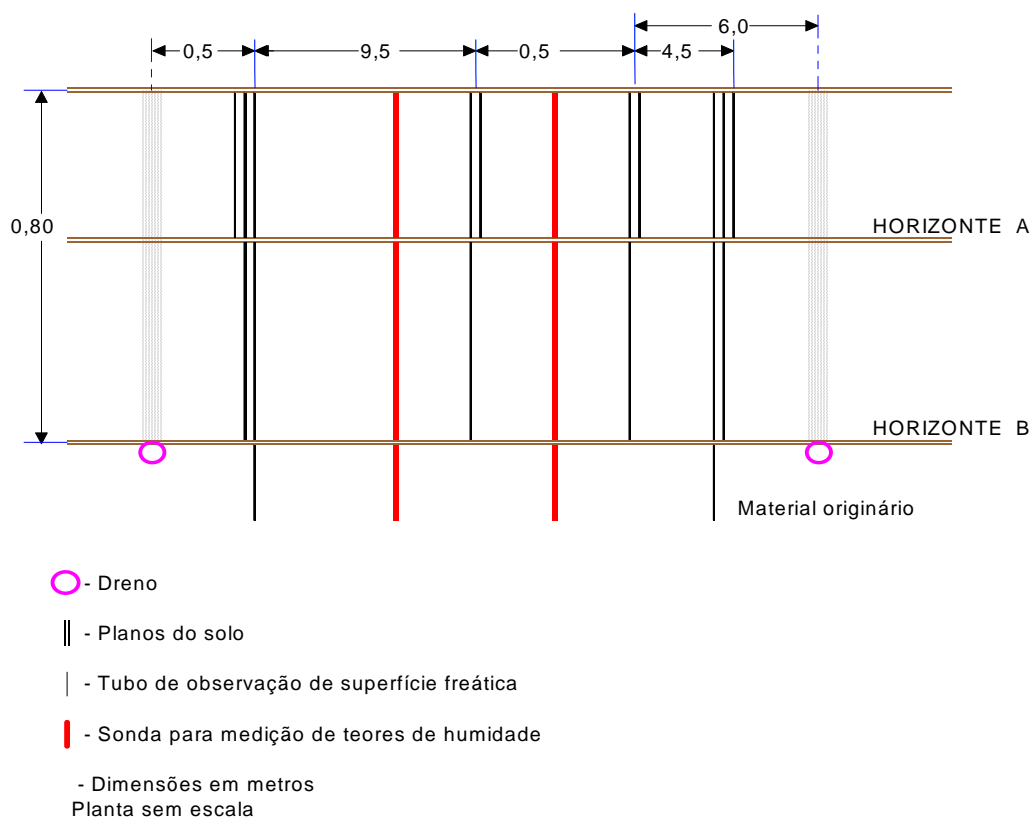


Figura 6 - Corte AB referente à figura 4 - drenos a 80 cm (Universidade de Évora, 1979)

Não se procedeu à instalação de sondas para medição de teores de humidade, representadas na figura tal como consta no Relatório de 1982 (Santos Júnior et al., 1982).

Nos talhões sem dreno foram instalados, em três locais escolhidos, tubos de observação a três profundidades, no fundo do horizonte A, no fundo do horizonte B e no material originário.

Seriam feitas observações de dois em dois dias nos períodos de chuva, e posteriormente a intervalos crescentes com a aproximação da época seca.

Caudais

Os caudais de superfície foram medidos em descarregadores tipo H à entrada do colector e no extremo jusante numa vala de recolha no talhão C (Anexo I). Os caudais dos drenos de observações foram medidos à proveta até 1982, de 1982 a 1985 com um medidor basculante, e em 1987/88 com um descarregador Sutro.

As observações seriam feitas periodicamente com períodos ajustados à sua variabilidade.

Precipitação

O Plano de 1979 refere-se à instalação de uma estação meteorológica na Herdade do Barrocal. Tem-se conhecimento apenas de registos de precipitação obtidos na estação meteorológica instalada na herdade do Mitra e em Évora.

4.3 - OBSERVAÇÕES

4.3.1 – DADOS DISPONÍVEIS

a) Período de 1980 a 1982

Durante este período foram observadas sistematicamente as profundidades das superfícies freáticas e as precipitações registadas no udógrafo da Estação Climatológica da Mitra (Quadro I)

Foram reproduzidas em gráficos as variações com o tempo das superfícies freáticas a as precipitações. Os resultados foram analisados e retiraram-se algumas conclusões (Santos Júnior et al, 1982) que serão confirmadas pelos resultados obtidos posteriormente.

b) Período de 1982 a 1985

As observações realizadas durante este período limitaram-se ainda às profundidades das toalhas freáticas, precipitação e caudais medidos por um medidor basculante.

Houve algumas dificuldades na compilação destes dados, havendo alguns que se teriam eventualmente perdido. Assim, existem anos em que não se têm as medições dos caudais dos drenos, de um dos trimestres (Quadro I).

Procuraremos tratar os dados registados depois de 1982 que ofereçam segurança e fiabilidade de registos, como segue:

- relacionar precipitação, variação da altura das toalhas freáticas e funcionamento dos drenos. Este estudo é feito nos primeiros e últimos trimestres de cada ano. No primeiro trimestre de 1983 não houve precipitação e no último de 1982 não corria água nos drenos C, não sendo possível fazer esse estudo nestes períodos;
- comparar os registos de caudais e volumes de drenagem dos drenos junto dos quais foi ou não realizada a subsolagem (8 e 10 - foi realizada a subsolagem e 9 - não foi realizada a subsolagem).
- calcular as condutividades dos horizontes A e B as condutividades dos horizontes A+B e C a partir das alturas das toalhas freáticas e dos caudais dos drenos respectivamente a 45 cm e a 80 cm utilizando a equação de Hoougdhout; este estudo não é possível nas áreas em que foi feita a subsolagem, por serem as áreas de influência dos drenos 8 e 10 e para estes não terem sido feitos registos das alturas das toalhas freáticas.

QUADRO I - RESUMO DAS OBSERVAÇÕES FEITAS NOS PERÍODOS DE 1982-1985 E 1987-1988

| Período | | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1987 | 1988 |
|------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|---|
| Registos | | | | | | | |
| Toalhas freáticas | | Drenos 1, 3, 6, 9 e 11 | Drenos 1, 3, 6, 9 e 11 | Drenos 1, 3, 6, 9 e 11 | Drenos 1, 3, 6, 9 e 11 | ————— | ————— |
| Precipitação | | Observ. Mitra | Observ. Mitra | Observ. Mitra | Observ. Mitra | Estação Meteorológica de Évora | Estação Meteorológica de Évora |
| Caudais dos Drenos | Drenos a 45 cm | Jan. e Fev. Drenos 1, 3 e 6 * | Nov. e Dez. Drenos 1, 3 e 6 | Jan. - Dreno 3 Março - Drenos 1, 3, 6 Nov. e Dez. Drenos 1, 3 e 6 | Jan. e Fev. Drenos 1, 3 e 6 | D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ e D ₇ | D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ e D ₇ |
| | Drenos a 80 cm com subsolagem | ————— | Nov. e Dez Drenos 8 e 10 | Março Drenos 8 e 10 Nov., Dez Drenos 8 e 10 | Jan. Fev. Drenos 8 e 10 | ————— | ————— |
| | Drenos a 80 cm sem subsolagem | Jan. e Fev. Drenos 9 e 11 * | Nov. Dez Dreno 9 | Jan. Dreno 9 Nov. Dez Dreno 9 | Jan. Fev. Dreno 9 | ————— | ————— |
| Caudais de superfície | | | | | | H ₁ – Nov. e Dez. H ₂ – Nov. e Dez. | H ₁ – Jan. e Fev. H ₂ – Jan. e Fev. |
| Evapotranspiração | | | | | | Temperatura Radiação global | Temperatura Radiação global |

* Nov. Dez./82 não corre água nos drenos

c) Período de 1985 a 1987

Desde o último trimestre de 1985 até ao primeiro trimestre de 1987 não foram encontrados registos de observações de toalhas freáticas ou caudais.

d) Período de 1987 a 1988

No último trimestre de 1987 e primeiro de 1988 fizeram-se as observações dos caudais dos drenos com um descarregador Suro e de superfície com um descarregador H (Quadro I). Foram também medidos os caudais de drenagem superficial no talhão testemunha (Anexo VIII).

Neste período utilizaram-se dados de precipitação, temperatura e radiação recolhidos na Estação Meteorológica de Évora.¹

Com todos os dados necessários para o cálculo da evapotranspiração pelo método de Turc (temperatura e radiação), os caudais e o escoamento superficial, no talhão A, pode fazer-se uma estimativa do balanço da água no horizonte superficial. Esta estimativa de balanço não é possível no segundo decêndio de Dezembro/87 e segundo e terceiro decêndio de Janeiro/88 por haver dificuldades na leitura devido à submersão do descarregador resultante do alagamento do solo.

No primeiro decêndio de Dezembro e último de Janeiro não foi feita leitura dos caudais no dreno 1. No segundo e no início do terceiro decêndios de Dezembro de 1987 não existem parte dos dados de escoamento superficial para o descarregador H₁, tendo

¹ Dados meteorológicos do I.N.M.G. – Divisão de observação

sido utilizados os valores existentes para somar aos de H_2 para o cálculo do balanço hídrico do horizonte superficial.

4.3.2 - PRECIPITAÇÃO

Os valores de precipitação utilizados foram medidos na estação meteorológica da Herdade da Mitra no período de 1982 a 1987, não existindo valores posteriores a este período. Por outro lado há pequenos períodos em que por qualquer razão não foi feita a leitura. Estas lacunas foram superadas calculando os valores em falta através de uma regressão linear¹ utilizando valores de uma estação próxima - Évora.

Encontram-se em anexo os quadros com todos os valores referidos (Anexo II) .

4.3.3. - TOALHAS FREÁTICAS: FORMAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO

As leituras feitas nos referidos tubos de observação foram mais frequentes durante os períodos chuvosos, aumentando-se os períodos entre as mesmas quando se aproximava a estação seca. Estudaram-se os primeiro e último trimestres de cada ano por serem os períodos com mais precipitação e em que as oscilações nas toalhas freáticas são mais significativas.

Através dos gráficos (anexo IV) que relacionam a precipitação com a altura das toalhas freáticas e das informações existentes sobre o funcionamento e caudais dos drenos estudaram-se o comportamento das toalhas freáticas, e a "eficácia" dos drenos e poder-se-á tirar conclusões acerca de algumas características do solo que nos poderão ser úteis mais tarde (como por exemplo para a determinação da condutividade hidráulica).

¹ Através de programa elaborado por Eng.º Lino Lúcio

4.3.3.1 - Primeiros trimestres dos anos

JAN. FEV. MAR./1982

Relativamente aos drenos 1, 3 e 6, tendo sido a precipitação acumulada do mês anterior (Dez. 81) de 125,3 mm e tendo o dreno funcionado três dias (1, 4 e 5) nos dez primeiros dias do mês de Janeiro de 1982, verificou-se uma descida da toalha freática cerca de 10 cm distinguindo-se inicialmente apenas a toalha freática dos horizontes B e C e passando depois a distinguir-se já as três. No 10º dia deste mês inicia-se a precipitação que atingiu os 24 mm e as toalhas freáticas sobem 20 cm e no 11º dia começa o dreno a funcionar, dia em que as toalhas freáticas se confundem.

Tendo parado a chuva e os drenos continuado a funcionar, a toalha freática desce abaixo dos 45 cm a que se encontra o dreno, voltando a subir cerca de 20 cm após se ter verificado uma precipitação de 20 mm. O dreno começou imediatamente a funcionar, o que faz novamente baixar a superfície freática 30 cm em três dias. Verificam-se alguns dias sem precipitação e as toalhas freáticas dos três horizontes passam a distinguir-se e mantêm-se os seus níveis abaixo do dreno.

A meados de Fev. após uma precipitação de 20 mm, os níveis das toalhas freáticas elevam-se cerca de 40 cm e passam a confundir-se. Ao 3º dia de precipitação (30 mm) e quando esta termina, os drenos passam a funcionar, o que se prolonga por quatro dias e o nível das toalhas freáticas baixa 20 cm passando para baixo do nível dos drenos a 45 cm.

Após isto deixa de haver variação no nível das toalhas freáticas nos horizontes A e B, enquanto o nível da toalha freática do horizonte C continua a baixar, o que pode denunciar alguma infiltração.

Relativamente aos drenos 9 e 11, verifica-se que o dreno 11 funciona durante mais tempo (2 dias) e que a toalha freática do horizonte C se distingue sempre. Comparando com o dreno 3, verifica-se que a descida do nível das toalhas freáticas dos horizontes A e B não é tão rápida. Contudo verifica-se que essa descida é mais rápida para a toalha freática do horizonte C.

O dreno 11 funciona menos vezes mas as diferenças para o dreno 9 não são significativas.

Quanto à testemunha verifica-se que as toalhas freáticas dos horizontes A, B e C, nos períodos chuvosos confundem-se e encontram-se sempre a níveis superiores. Por exemplo: após uma precipitação acumulada do mês anterior Dez./81 de 125,3 mm, as toalhas freáticas encontram-se 30 cm acima das superfícies freáticas do dreno 3, verificando-se uma descida nos primeiros 10 dias do mês de cerca de 20 cm. Quando se iniciam as chuvas no 2º decêndio as toalhas freáticas sobem bastante e ficam a 10 cm, confundindo-se. Verificam-se subidas logo após a chuvada e as toalhas freáticas nunca baixam dos 50 cm, a não ser que o período seco se prolongue mais de 10 dias, momento em que as toalhas freáticas passam a distinguir-se.

JAN. FEV. MAR./1983

No primeiro trimestre de 1983 quase não houve precipitação, não havendo mesmo escoamento nos drenos. Pode verificar-se ainda no gráfico que nos momentos em que há registo da altura das toalhas freáticas não há variação das mesmas.

JAN. FEV. MAR. /1984

Os drenos, no último decêndio de Janeiro, funcionam mas não temos dados das toalhas freáticas. Nos restantes períodos distinguem-se as toalhas freáticas dos três horizontes. No último decêndio de Março após uma precipitação de cerca de 35 mm as toalhas freáticas sobem 35/40 cm em quatro ou cinco dias, ao mesmo tempo que os drenos funcionam e as toalhas freáticas dos horizontes A e B confundem-se. A partir do dia 25, dia em que ocorreu maior precipitação, os drenos começam a funcionar, contudo é a partir do dia 28 (em que chove novamente) que os caudais dos drenos são superiores principalmente nos drenos a 45 cm.

No dia 28 as toalhas freáticas estão a 20 cm ou abaixo enquanto que na testemunha se encontra acima.

JAN. FEV. MAR. /1985

Após a precipitação verificada no início de Janeiro, os drenos 1, 3 e 6 começam a funcionar nos dias 7 e 8 fazendo baixar as superfícies freáticas cerca de 20 cm, o mesmo acontecendo a partir do dia 20. Em Fevereiro verifica-se a mesma situação e em Março a distinção das três superfícies freáticas é completa, sendo lenta a descida da toalha freática no horizonte C.

Nos drenos 9 e 11 a toalha freática do horizonte C distingue-se sempre e a sua descida é sempre mais rápida que nos outros casos. A água corre durante períodos mais longos nos drenos a 80 cm (neste caso dreno 9 por não haver leituras para o 11) do que nos outros drenos.

Na testemunha verifica-se que as superfícies freáticas se confundem quase sempre sendo lento o período de distinção das mesmas.

4.3.3.2 - Últimos trimestres de cada ano

OUT. NOV. DEZ / 1982

Durante este período, após o Verão, verificam-se subidas da toalha freática em Novembro após uma precipitação de 32 mm.

Nos casos dos drenos 1, 3, e 6 as variações das toalhas freáticas são idênticas subindo 4 a 6 cm no horizonte A e B e 20 a 25 cm no horizonte C. Os drenos não funcionaram e as toalhas freáticas voltaram à posição inicial nos horizontes A e B dois dias depois. No horizonte C isto aconteceu após 9 dias, baixando lentamente.

No caso dos drenos 9 e 11 após essas chuvadas mais intensas em Novembro, verifica-se que as toalhas freáticas subiram 8 a 10 cm no horizonte A e B e 40 cm no horizonte C. Só o dreno 9 funcionou, e tanto nesse como no dreno 11, a toalha freática do horizonte A voltou à posição inicial ao fim de dois dias, do horizonte B ao fim de 8 dias e horizonte C ao fim de 12 dias.

Em Dezembro após uma chuvada de 25 mm em 6 dias, as toalhas freáticas elevam-se cerca de 7 cm no horizonte A, 20 cm no horizonte B e 30 a 40 cm no C nos drenos 1, 3 e 6.

Nos drenos 9 e 11 verifica-se uma subida das toalhas freáticas logo no primeiro dia de chuva desses 25 mm, sendo a elevação da superfície freática no horizonte C sempre superior a 40 cm. Os drenos não funcionam. No fim do mês de Dezembro ocorre uma situação idêntica. Na testemunha verificam-se variações na toalha freática pouco significativas.

OUT. NOV. DEZ / 1983

Em Novembro, após as primeiras chuvas, verifica-se que as alterações nas alturas das toalhas freáticas não são significativas verificando-se que a toalha freática do horizonte C é a primeira a elevar-se.

No dia 14/Nov., após uma precipitação acumulada ocorrida ao longo do mês de Nov., de 35 mm as toalhas freáticas elevam-se rapidamente cerca de 30 cm para o horizonte A, 50 cm para o horizonte B e 75 cm para o horizonte C. Nesse dia os drenos 1, 6 e 9 começam funcionar e, apesar de continuar a chover, as toalhas freáticas baixam cerca de 20 cm num dia, por acção evidente dos drenos. Os drenos continuam a funcionar nos dias seguintes e as toalhas freáticas mostram-se bastante sensíveis às chuvadas subindo quando a precipitação se intensifica e encontrando-se as toalhas freáticas dos diferentes horizontes à mesma altura.

No dia 20 ocorre uma precipitação bastante elevada que ultrapassa os 50 mm, passando as toalhas freáticas a encontrar-se no dia 21 a menos de 20 cm da superfície do solo o que quer dizer que o solo se encontraria encharcado. Até dia 25 os drenos 1, 3 e 6 funcionam continuamente e com caudais elevados e as toalhas freáticas no dreno 1 baixam 23 cm no 1º dia e 22 cm nos três dias seguintes, estando todas à mesma altura. A partir do dia 27 as toalhas freáticas passam a diferenciar-se e a superfície freática do horizonte A está abaixo dos 45 cm, a do horizonte B estaciona passados 13 dias e a do horizonte C passados 15 dias. O dreno 9 funciona a partir do dia 22 até 25.

Nos drenos a 80 cm tudo se passa de forma idêntica aos anteriores verificando-se contudo que a toalha freática do horizonte C se diferencia sempre e que se encontra

abaixo das outras conseguindo mesmo baixar mais rapidamente do que nos outros drenos.

Mais tarde aparece uma outra situação idêntica em que há encharcamento e em que o tempo de descida das toalhas freáticas é o mesmo no caso dos drenos a instalados no talhão A e no talhão B. Depois da toalha freática do horizonte A ter passado para baixo dos 45 cm a do horizonte B e C continua a baixar sem que os drenos estejam a funcionar (no caso dos drenos a 80 cm).

Na testemunha as toalhas freáticas demoram mais tempo a baixar e neste último caso não se diferenciam e a toalha freática do horizonte C não baixa dos 60 cm.

OUT. NOV. DEZ / 1984

Após um período seco e fazendo uma interpretação do comportamento das toalhas freáticas no mês de Dezembro, uma vez que nos outros meses a colheita de dados é incompleta, pode verificar-se que no princípio de Dezembro, após terem chovido 48 mm durante cinco dias, e 35 desses 48 terem caído no último desses cinco dias, as toalhas freáticas elevam-se cerca de 20 a 30 cm em todos os drenos. Apenas no caso do dreno 1 as toalhas freáticas se diferenciam e sobem acima dos 20 cm.

Os drenos 1, 3, e 6 funcionaram durante dois ou três dias e as toalhas freáticas, continuando a confundir-se, baixaram cerca de 40 cm ou seja abaixo dos 45 cm a que se encontram estes drenos, mantendo-se mesmo a superfície freática do horizonte C. No dia 11 e 12 choveu 17 mm. No dia 13 choveu 4 mm que imediatamente fazem subir a toalha freática cerca de 25 cm no dreno 1, 15 cm no dreno 3 e 20 cm no dreno 6, fazendo os drenos funcionar durante dois dias o que baixa as toalhas freáticas

nesses drenos cerca de 10 cm . Depois as toalhas freáticas continuam a baixar, demorando mais seis dias para ficarem abaixo dos 45-50 cm.

No caso dos drenos 9 e 11 verifica-se que eles funcionam durante mais tempo para as toalhas freáticas se estabilizarem mais ou menos ao mesmo tempo que nos outros casos mas distinguindo-se sempre a superfície do horizonte C.

Na testemunha as toalhas freáticas mantêm-se mais elevadas e mais próximas.

4.3.4 – CAUDAIS DE DRENAGEM

No último trimestre de 1987 e primeiro trimestre de 1988 foram medidos os caudais de drenagem interna nos sete drenos do talhão A que se encontravam a 45 cm de profundidade pelo descarregador de Suro como já foi referido. Foi feita a calibração do descarregador no laboratório de Hidráulica da Universidade de Évora e, através de uma regressão linear, foi encontrada a seguinte equação que nos permite determinar o caudal do dreno a partir da altura, em mm, registada no tambor do descarregador:

$$Y = 0,418736X + 0,279196$$

X - altura de água em mm;

Y - caudal em l/min

Foram ainda calculados os volumes de água drenada na área de influência do dreno em mm de altura de água (Anexo VI).

Os caudais de drenagem superficial foram medidos, como já foi referido, por um descarregador H. Com base na calibração do descarregador ILRI (1974) apresenta

uma fórmula empírica que determina o caudal do descarregador em m³/s em função de altura de água em m:

$$\log Q = A + B \log h_a + C [\log h_a]^2$$

sendo $A = 0,0372$

$B = 2,6434$

$C = 0,2243$ (tabela 7.12; pag.273; ILRI, 1974)

Q = caudal do descarregador em m³/s

h_a = altura de água em m.

Na tabela em anexo VII encontram-se os valores dos caudais e volumes de água escoada nos descarregadores H_1 e H_2 que se encontram no talhão A.

4.3.5 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Como foi referido atrás, foi possível calcular a evapotranspiração potencial em Novembro e Dezembro de 1987 e Janeiro e Fevereiro de 1988.

Existem vários métodos para efectuar o cálculo da evapotranspiração: métodos empíricos, Blaney and Criddle (1950), Jensen and Haise (1963) e Turc (1954) e os métodos analíticos, Penman (1948) e Penman-Monteith (1965) (ILRI,1994).

Os métodos analíticos baseiam-se na análise física do fenómeno, conduzindo a modelos teóricos de determinação da evapotranspiração potencial que oferecem boas perspectivas para a utilização generalizada. Neste trabalho não é possível utilizar nenhum destes métodos por não estarem disponíveis todos os dados necessários

como a insolação, a velocidade do vento e resistência do ar e da canópia à difusão do vapor de água.

Os métodos empíricos baseiam-se na expressão matemática da relação de todos os factores influentes na evapotranspiração através de regressões lineares e outras equações estatísticas. As fórmulas obtidas não são generalizáveis a todas as regiões. Destes métodos um dos mais utilizados é o de Turc em que se efectua o cálculo da evapotranspiração a partir da radiação solar e temperatura do ar.

Por esses dados estarem disponíveis para o período em questão optou-se por esta forma de determinação da evapotranspiração. Assim, para isso utilizou-se a fórmula simplificada de Turc, para os casos em que a humidade relativa do ar é superior a 50%, que é a seguinte (ILRI, 1974)

$$ET_p = \frac{0,0133 * d * (I_g + 50) * t}{t + 15}$$

sendo ET_p = evapotranspiração potencial (mm)

d = número de dias do período em cálculo

I_g = radiação solar que atinge a superfície terrestre (cal/cm^2 dia)

Para o cálculo da evapotranspiração foram utilizados dados climatológicos da estação meteorológica de Évora, por não se terem recolhido no posto da Herdade da Mitra os dados necessários e por se considerar que a evapotranspiração terá valores muito próximos ou idênticos. Os resultados encontram-se na tabela do Anexo V.

4.4 - RESULTADOS

4.4.1 - FORMAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO DAS TOALHAS FREÁTICAS SUSPENSAS

Os primeiros resultados foram publicados no Relatório (Fevereiro 1980 - Março 1982)(Santos Júnior et al, 1982), apresentado ao “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo”, DGHEA.

Estes primeiros resultados referem-se a observações correspondentes ao período de Outubro de 1981 a Março de 1982 em que ocorreu uma conveniente sucessão de dias chuvosos e dias secos, permitindo uma análise da formação e desenvolvimento das toalhas freáticas e seu controlo pelos drenos.

Foram observadas sistematicamente as profundidades das superfícies freáticas e as precipitações registadas no udógrafo da Estação Climatológica da Herdade da Mitra e analisadas as suas variações com o tempo.

Os resultados obtidos nestes dois trimestres e que constam do Relatório de 1982 foram em resumo os seguintes:

a) As superfícies freáticas temporárias desenvolvidas no horizonte A parecem apresentar declive sensivelmente igual ao do solo, quer em situações de subida como de descida das mesmas; estas superfícies parecem deslocar-se paralelamente à superfície do solo, para além de um possível rebaixamento, já esperado, junto dos drenos e por influência destes.

b) Depois de um período seco, prolongado, observaram-se escoamentos nos drenos, (talhões A e B) após uma precipitação acumulada de cerca de 100 mm, ocorrendo, continuamente, embora com valores diários variáveis, durante um período de 13 dias (Dezembro, 1981); tendo-se prolongado o período chuvoso por mais 9 dias, a precipitação acumulada atingiu um valor total de 230 mm e assistiu-se ao encharcamento e submersões do solo, quer nos talhões A e B quer no talhão C.

As observações feitas não permitiram concluir quanto à eventual formação das toalhas freáticas separadas nos horizontes A, B e C no período de humedecimento do perfil; colocou-se a hipótese de que tal facto a verificar-se teria duração fugaz, pois ao iniciar-se o escoamento pelos drenos, o solo estaria saturado a toda a profundidade existindo uma só superfície freática no horizonte A.

c) Ao período chuvoso que levou à saturação e encharcamento do solo, seguiu-se um período seco ou de fraca intensidade de precipitação, e iniciou-se a descida da superfície freática: os caudais de drenagem diminuíram progressivamente e anularam-se, praticamente ao mesmo tempo, nos talhões A e B, quando a superfície freática se aproximou do fundo do horizonte A.

d) A descida da superfície freática, observada em sucessivas situações ocorridas nos meses de Janeiro e Fevereiro de 1982, fez-se, no horizonte A, a uma velocidade média de 12 a 15 cm/dia nos talhões A e B e da ordem de 4 cm/dia na testemunha, sem drenos. Percorrido o horizonte A e cessado o escoamento pelos drenos, continuou a verificar-se a descida da superfície freática, mas a velocidades médias de 1,5 a 3 cm/dia, quer nos talhões com drenos a 45 cm e a 80 cm quer no talhão testemunha.

Eventualmente poderá ter ocorrido, na fase final da dessaturação do perfil, a

separação de toalhas freáticas nos horizontes B e C.

Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos posteriormente respeitantes aos 1^{os} trimestres de 1982, 83 e 84 e 4^{os} trimestres de 1983 e 1985 . As profundidades das superfícies freáticas e as precipitações registadas na estação climatológica da Herdade da Mitra foram registadas em folhas trimestrais (Anexo IV) relativas aos drenos de ensaio (drenos 1, 3, 6 – talhão A; drenos 9, 11 – talhão B).

A seguir a períodos chuvosos a precipitação leva à saturação e encharcamento do solo. Com os drenos a funcionar verifica-se a descida das toalhas freáticas e anulam-se os caudais de drenagem quando a superfície freática se aproxima do fundo do horizonte A (Talhões A e B). A velocidade de descida das toalhas freáticas nos talhões A e B são respectivamente 10 cm/dia a 15 cm/dia (média) e na testemunha 3 a 4 cm/dia.

Nos períodos chuvosos a seguir a estações secas o nível das toalhas freáticas varia mais rapidamente e a toalha freática do horizonte C distingue-se quase sempre principalmente nos talhões com os drenos a 80 cm. Estes últimos apresentam caudais sempre inferiores aos drenos a 45 cm.

Observa-se ainda que no período de humedecimento do perfil as toalhas freáticas dos diferentes horizontes se encontram separadas no início, passando a confundir-se rapidamente. Na fase de dessaturação do perfil a separação das toalhas freáticas parece iniciar-se nos horizontes B e C, passando depois a distinguir-se as toalhas freáticas dos três horizontes.

De uma forma geral, no mesmo período e quando há chuvadas intensas, o nível freático do horizonte C é aquele que mais se eleva ou a que se eleva mais rapidamente fazendo com que os drenos a 80 cm comecem a funcionar primeiro mas quase sempre com caudais mais baixos que os drenos a 45 cm. Os drenos a 45 cm fazem baixar as toalhas freáticas do horizonte A distinguindo-se posteriormente as dos horizontes B e C talvez por haver alguma infiltração profunda.

4.4.2 - EFEITO DA SUBSOLAGEM NOS CAUDAIS E VOLUMES DE DRENAGEM

As áreas de influência dos drenos 8 e 10 foram sujeitas a subsolagem. São conhecidos os registos dos seus caudais ao longo do tempo; foi assim possível calcular os volumes e caudais de drenagem desses drenos e compará-los com os valores correspondentes do dreno 9, cuja área de influência não foi drenada.

Os quadros II e III indicam os volumes e caudais de drenagem nos meses de Novembro e Dezembro de 1984. Nos dias 7 e 8 de Novembro (Quadro II) ocorrem chuvadas de, respectivamente, 19,6 e 18,6 mm (Anexo II), verificando-se a existência de caudal, simultaneamente, nos três drenos nos dias 8, 9 e 10 do mesmo mês. Nos drenos 8 e 10 o volume de água escoada é maior, do que no dreno 9, sendo também maior o caudal no primeiro desses dias. Há ainda a salientar que neste dreno, cuja área de influência não foi subsolada, a água continua a correr durante mais um dia, ou seja o tempo de descarga do dreno é maior.

Em Dezembro de 1984 (Quadro III), no dia 6 o valor da precipitação atinge 33,6 mm. Nesse mesmo dia, verifica-se que há caudal apenas nos drenos 8 e 10. Nos dias seguintes (7, 8 e 9) os valores dos caudais e volumes de drenagem são da mesma ordem de grandeza nos drenos 8 e 10 diferindo dos do dreno 9 que são inferiores.

Conclui-se que a subsolagem pode aumentar os caudais e volumes de drenagem.

QUADRO II – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Novembro/1984

| Drenos | Dias | Caudal l/s | Volume de água (l) | TOTAL(l) | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------|------|-----|
| Dreno 8 Com subsolagem | 7 | $0,2 \cdot 10^{-2}$ | 43 | 43 | | |
| | 8 | $1,33 \cdot 10^{-2}$ | 1050 | 2280,3 | | |
| | 9 | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | 969 | | | |
| | 10 | $0,4 \cdot 10^{-2}$ | 261,3 | | | |
| | Dreno 8 Com subsolagem | 16 | $3,7 \cdot 10^{-2}$ | 1577 | 5733 | |
| | | 17 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 1002 | | |
| | | 18 | $2,3 \cdot 10^{-2}$ | 1206 | | |
| | | 19 | $2 \cdot 10^{-2}$ | 1686,3 | | |
| | | 20 | $0,3 \cdot 10^{-2}$ | 261,3 | | |
| Dreno 9 Sem subsolagem | | 7 | $0,5 \cdot 10^{-2}$ | 285 | | 285 |
| | | 8 | $0,5 \cdot 10^{-2}$ | 76 | | 641 |
| | 9 | $0,96 \cdot 10^{-2}$ | 370 | | | |
| | 10 | $0,2 \cdot 10^{-2}$ | 195 | | | |
| | Dreno 9 Sem subsolagem | 11 | $0,05 \cdot 10^{-2}$ | 38 | 233 | |
| | | 14 | $0,1 \cdot 10^{-2}$ | 90 | | |
| | | 15 | $0,12 \cdot 10^{-2}$ | 104,5 | | |
| Dreno 10 Com subsolagem | 8 | $0,8 \cdot 10^{-2}$ | 394 | 826 | | |
| | 9 | $0,7 \cdot 10^{-2}$ | 342 | | | |
| | 10 | $0,3 \cdot 10^{-2}$ | 90 | | | |
| | Dreno 10 Com subsolagem | 19 | $0,7 \cdot 10^{-2}$ | 342 | 537 | |
| | | 20 | $0,4 \cdot 10^{-2}$ | 195 | | |

QUADRO III – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Dezembro/1984

| Drenos | Dias | Caudal l/s | Volume de água (l) | TOTAL(l) |
|----------------------------|-------|----------------------|-----------------------|----------|
| Dreno 8 Com subsolagem | 6 | $18 \cdot 10^{-2}$ | 6517 | 9519 |
| | 7 | $2,4 \cdot 10^{-2}$ | 2000 | |
| | 8 | $0,75 \cdot 10^{-2}$ | 646 | |
| | 9 | $0,4 \cdot 10^{-2}$ | 356 | |
| | 2066 | 10 | $0,83 \cdot 10^{-2}$ | 71 |
| | | 12 | $9,2 \cdot 10^{-2}$ | 1995 |
| | 4086 | 13 | $3,77 \cdot 10^{-2}$ | 3254 |
| | | 14 | $0,87 \cdot 10^{-2}$ | 594 |
| | 252 | 15 | $0,27 \cdot 10^{-2}$ | 238 |
| | | 16 | $0,27 \cdot 10^{-2}$ | 238 |
| | | 17 | $0,025 \cdot 10^{-2}$ | 14 |
| Dreno 9 Sem subsolagem | 3 | $0,42 \cdot 10^{-2}$ | 114 | 171 |
| | 5 | $0,01 \cdot 10^{-2}$ | 57 | |
| | 2019 | 7 | $1,75 \cdot 10^{-2}$ | 1382 |
| | | 8 | $0,43 \cdot 10^{-2}$ | 371 |
| | 2328 | 9 | $0,31 \cdot 10^{-2}$ | 266 |
| | | 10 | $0,6 \cdot 10^{-2}$ | 138 |
| | | 11 | $0,077 \cdot 10^{-2}$ | 67 |
| | 3967 | 12 | $2,46 \cdot 10^{-2}$ | 2123 |
| | | 13 | $3,1 \cdot 10^{-2}$ | 2660 |
| | | 14 | $0,74 \cdot 10^{-2}$ | 637 |
| | | 15 | $0,78 \cdot 10^{-2}$ | 670 |
| | | | | 15923 |
| Dreno 10 Com subsolagem | 3 | $0,2 \cdot 10^{-2}$ | 57 | 266 |
| | 4 | $0,2 \cdot 10^{-2}$ | 209 | |
| | 10060 | 6 | $16,8 \cdot 10^{-2}$ | 6650 |
| | | 7 | $2,9 \cdot 10^{-2}$ | 2503 |
| | | 8 | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | 850 |
| | | 9 | $0,1 \cdot 10^{-2}$ | 57 |
| | 1677 | 13 | $1,85 \cdot 10^{-2}$ | 798 |
| | | 14 | $0,77 \cdot 10^{-2}$ | 418 |
| | | 15 | $1,06 \cdot 10^{-2}$ | 461 |
| | 17 | $0,19 \cdot 10^{-2}$ | 57 | 57 |

Seguidamente apresentam-se os quadros IV, V e VI que se referem aos meses de Março de 1984 e Janeiro e Fevereiro de 1985. Verifica-se que, de uma forma geral, os valores de volumes de água drenada variam de dreno para dreno e nos diversos períodos, notando-se em alguns casos valores maiores para o dreno 9.

QUADRO IV – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Março/1984

| Drenos | Dias | Caudal l/s | Volume de água (l) | TOTAL (l) |
|----------------------------|------|----------------------|--------------------|-----------|
| Dreno 8 Com subsolagem | 24 | $0,19 \cdot 10^{-2}$ | 52,3 | 408,6 |
| | 28 | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | 356,3 | |
| Dreno 9 Sem subsolagem | 24 | $4,9 \cdot 10^{-2}$ | 3192 | 4892 |
| | 25 | $1,6 \cdot 10^{-2}$ | 1420 | |
| | 26 | $0,3 \cdot 10^{-2}$ | 280 | |
| | 27 | $0,07 \cdot 10^{-2}$ | 47,5 | 3187,3 |
| | 28 | $2,9 \cdot 10^{-2}$ | 2056,8 | |
| | 29 | $1 \cdot 10^{-2}$ | 850,3 | |
| | 30 | $0,3 \cdot 10^{-2}$ | 232,8 | |
| Dreno 10 Com subsolagem | 27 | $0,06 \cdot 10^{-2}$ | 33,3 | 888,3 |
| | 28 | $1,22 \cdot 10^{-2}$ | 484,5 | |
| | 29 | $0,8 \cdot 10^{-2}$ | 228 | |
| | 30 | $0,3 \cdot 10^{-2}$ | 142,5 | |

QUADRO V – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Janeiro/1995

| Drenos | Dias | Caudal l/s | Volume de água (l) | TOTAL(l) |
|----------------------------|------|-----------------------|--------------------|----------|
| Dreno 8 Com subsolagem | 4 | $0,8 \cdot 10^{-2}$ | 29 | 1459 |
| | 5 | $3,6 \cdot 10^{-2}$ | 1430 | |
| | 7 | $0,7 \cdot 10^{-2}$ | 304 | |
| | 8 | $0,15 \cdot 10^{-2}$ | 133 | 466 |
| | 9 | $0,022 \cdot 10^{-2}$ | 19 | |
| | 10 | $0,011 \cdot 10^{-2}$ | 10 | |
| | 17 | $1,6 \cdot 10^{-2}$ | 380 | |
| | 18 | $1,03 \cdot 10^{-2}$ | 893 | 1929 |
| | 19 | $0,76 \cdot 10^{-2}$ | 656 | |
| | 20 | $4,55 \cdot 10^{-2}$ | 1311 | 32795 |
| | 21 | $20,5 \cdot 10^{-2}$ | 8123 | |
| | 22 | $22,4 \cdot 10^{-2}$ | 12920 | |
| | 23 | $5,6 \cdot 10^{-2}$ | 4845 | |
| | 24 | $2,9 \cdot 10^{-2}$ | 2565 | |
| | 25 | $3,8 \cdot 10^{-2}$ | 3031 | |
| Dreno 9 Sem subsolagem | 4 | $3,28 \cdot 10^{-2}$ | 827 | |
| | 5 | $17,6 \cdot 10^{-2}$ | 13300 | |
| | 6 | $3,3 \cdot 10^{-2}$ | 2864 | 2864 |
| | 7 | $0,87 \cdot 10^{-2}$ | 793 | 1097 |
| | 8 | $0,22 \cdot 10^{-2}$ | 190 | |
| | 9 | $0,09 \cdot 10^{-2}$ | 76 | |
| | 10 | $0,04 \cdot 10^{-2}$ | 38 | |
| | 16 | $0,94 \cdot 10^{-2}$ | 442 | 442 |
| | 17 | $0,54 \cdot 10^{-2}$ | 466 | 9278 |
| | 18 | $4,4 \cdot 10^{-2}$ | 3824 | |
| | 19 | $13,9 \cdot 10^{-2}$ | 4988 | |
| | 21 | $28 \cdot 10^{-2}$ | 11951 | |
| | 22 | $23 \cdot 10^{-2}$ | 11628 | 570 |
| | 24 | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | 570 | |
| Dreno 10 Com subsolagem | 4 | $4,1 \cdot 10^{-2}$ | 884 | 2879 |
| | 5 | $4,6 \cdot 10^{-2}$ | 1995 | |
| | 7 | $0,95 \cdot 10^{-2}$ | 447 | 708 |
| | 8 | $0,45 \cdot 10^{-2}$ | 261 | |
| | 17 | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | 836 | 2375 |
| | 18 | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | 1007 | |
| | 19 | $0,9 \cdot 10^{-2}$ | 532 | |
| | 24 | $2,8 \cdot 10^{-2}$ | 1330 | 2641 |
| | 25 | $2 \cdot 10^{-2}$ | 1311 | |

QUADRO VI – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Fevereiro/1985

| Dreno | Dias | Caudal (l/s) | Volume de água (l) | TOTAL |
|---------------------------|-----------------------|--|--------------------|-------|
| Dreno 8 Com subsolagem | 1 | $0,099 \cdot 10^{-2}$ | 43 | 67 |
| | 2 | $0,027 \cdot 10^{-2}$ | 24 | |
| | 7 | $10,78 \cdot 10^{-2}$ | 1164 | 4257 |
| | 8 | $5,4 \cdot 10^{-2} + 4,12 \cdot 10^{-2}$ | 1164+1929 | |
| | 9 | $21,5 \cdot 10^{-2}$ | 14725 | 28025 |
| | 10 | $23,1 \cdot 10^{-2}$ | 13300 | |
| | 11 | $29,2 \cdot 10^{-2}$ | 7363 | 23201 |
| | 12 | $18,2 \cdot 10^{-2}$ | 5235 | |
| | 13 | $9,6 \cdot 10^{-2}$ | 4133 | 894 |
| | 14 | $6,5 \cdot 10^{-2}$ | 2902 | |
| | 15 | $4,2 \cdot 10^{-2}$ | 2404 | 24 |
| | 16 | $3,6 \cdot 10^{-2}$ | 1164 | |
| | 22 | $0,9 \cdot 10^{-2}$ | 285 | 124 |
| | 23 | $0,53 \cdot 10^{-2}$ | 461 | |
| | 24 | $0,14 \cdot 10^{-2}$ | 124 | 20 |
| 25 | $0,03 \cdot 10^{-2}$ | 24 | | |
| Dreno 9 Sem subsolagem | 1 | $0,022 \cdot 10^{-2}$ | 10 | 8527 |
| | 2 | $0,011 \cdot 10^{-2}$ | 10 | |
| | 7 | $11,7 \cdot 10^{-2}$ | 3373 | 34552 |
| | 8 | $6,0 \cdot 10^{-2}$ | 5154 | |
| | 11 | $5,0 \cdot 10^{-2}$ | 7980 | 14274 |
| | 12 | $6,5 \cdot 10^{-2}$ | 5586 | |
| | 13 | $6,5 \cdot 10^{-2}$ | 5586 | 3136 |
| | 14 | $5,2 \cdot 10^{-2}$ | 4456 | |
| | 15 | $2,4 \cdot 10^{-2}$ | 1976 | 955 |
| | 16 | $10,4 \cdot 10^{-2}$ | 8968 | |
| | 17 | $11,02 \cdot 10^{-2}$ | 9529 | 983 |
| | 18 | $3,9 \cdot 10^{-2}$ | 3344 | |
| | 19 | $1,6 \cdot 10^{-2}$ | 1401 | 390 |
| 20 | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | 955 | | |
| 21 | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | 983 | 299 | |
| 22 | $0,45 \cdot 10^{-2}$ | 390 | | |
| 23 | $0,35 \cdot 10^{-2}$ | 299 | 223 | |
| 24 | $0,26 \cdot 10^{-2}$ | 223 | | |
| 25 | $0,14 \cdot 10^{-2}$ | 119 | 67 | |
| 26 | $0,077 \cdot 10^{-2}$ | 67 | | |
| 27 | $0,055 \cdot 10^{-2}$ | 48 | 52 | |
| 28 | $0,06 \cdot 10^{-2}$ | 52 | | |

QUADRO VI – Caudais e volumes de drenagem dos drenos cuja área de influência foi sujeita ou não a subsolagem em Fevereiro/1985 (continuação)

| | | | | |
|----------------------------|----|-----------------------|------|-------|
| Dreno 10 Com subsolagem | 1 | $0,22 \cdot 10^{-2}$ | 95 | 238 |
| | 2 | $0,07 \cdot 10^{-2}$ | 143 | |
| | 3 | $0,12 \cdot 10^{-2}$ | 105 | |
| | 4 | $0,099 \cdot 10^{-2}$ | 86 | 16508 |
| | 7 | $4,6 \cdot 10^{-2}$ | 2328 | |
| | 8 | $4,7 \cdot 10^{-2}$ | 3800 | |
| | 9 | $18,8 \cdot 10^{-2}$ | 6797 | |
| | 10 | $11,7 \cdot 10^{-2}$ | 3392 | |
| | 11 | $15,9 \cdot 10^{-2}$ | 4285 | |
| | 12 | $15,1 \cdot 10^{-2}$ | 5453 | 30601 |
| | 13 | $11,4 \cdot 10^{-2}$ | 9833 | |
| | 14 | $9,0 \cdot 10^{-2}$ | 7781 | |
| | 15 | $4,8 \cdot 10^{-2}$ | 3249 | |

Conclui-se que seguir a um período seco, a água movimenta-se mais facilmente em direcção aos drenos cuja área de influência foi subsolada. A desfragmentação do horizonte B e a indução de fissuras provocadas pela subsolagem tem um papel fundamental no aumento da infiltração da água do horizonte A para o B.

Atrás foi referido que Leeds – Harrison (1982) considera alguns factores importantes, como as alterações físicas do solo resultantes de fenómenos de ocorrência natural ou da intervenção do homem, na realização de um projecto de drenagem em solos argilosos. Esses factores podem ser o aumento de volume e contracção do solo debaixo de regimes húmidos e secos, a acção do frio e a compactação provocada pelas rodas das máquinas e podem alterar a extensão, continuidade e tamanho dos macroporos. Assim explica-se que, após terem ocorrido precipitações elevadas, as fissuras induzidas no horizonte B pela subsolagem já se terão alterado não facilitando a passagem da água para o dreno.

4.4.3 – ANÁLISE DE ESCOAMENTO INTERNO

4.4.3.1 – Avaliação da condutividade hidráulica a partir dos caudais de drenagem e das alturas da superfície freática acima dos drenos

Descrição do método

Este método utiliza observações dos caudais instantâneos dos drenos e respectivos valores da altura da toalha freática. A partir destes dados os valores da condutividade hidráulica podem ser determinados usando uma equação de drenagem apropriada para as condições sob as quais os drenos funcionam, ou seja, solo estratificado com o dreno na interface (Figuras 7 e 8)(ILRI,1994). Considera-se como aproximação que o regime é permanente em cada instante da medição. A equação utilizada é a de Hooghoudt

$$q = 8K_2dh/L^2 + 4K_1h^2/L^2 \quad (1)$$

K_1 - condutividade hidráulica acima do dreno (m/dia)

K_2 - condutividade hidráulica abaixo do dreno (m/dia)

h - altura da toalha freática acima do nível de água no dreno (m) a meia distância entre drenos

L - espaço entre os drenos (m)

d – profundidade equivalente (m) dependente do espaço entre drenos, L , distância do dreno à camada impermeável D , e o perímetro molhado do dreno

q - caudal do dreno (m/dia)

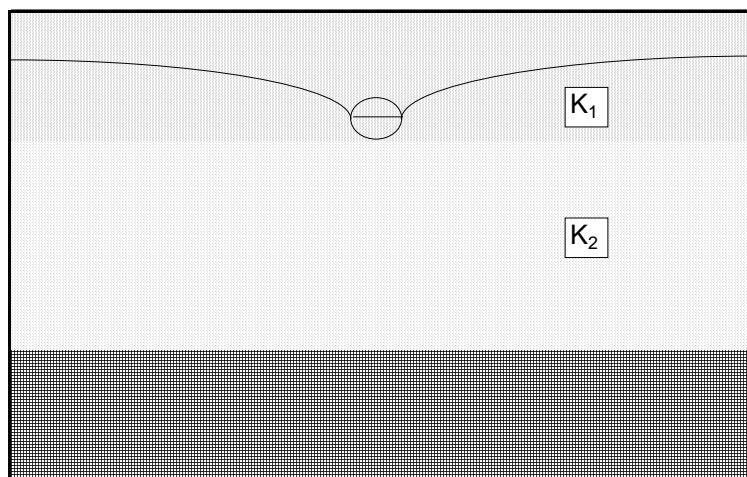


Figura 7 - Posição do dreno colocado na interface do horizonte A com o horizonte B (ILRI, 1994)

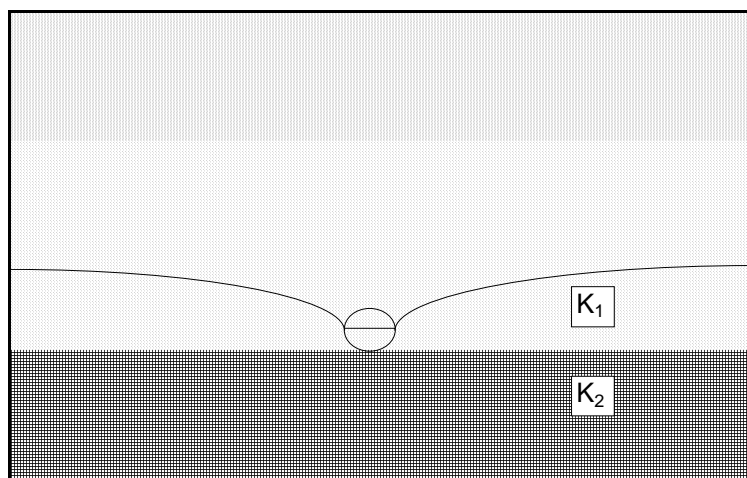
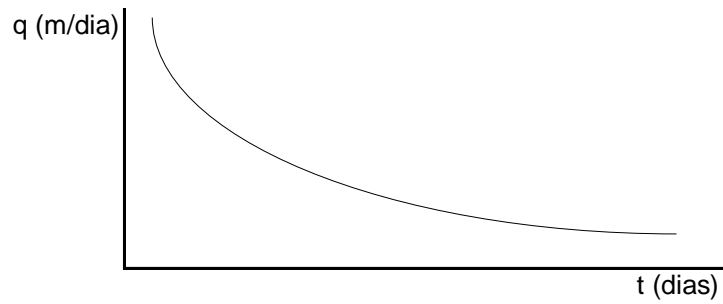


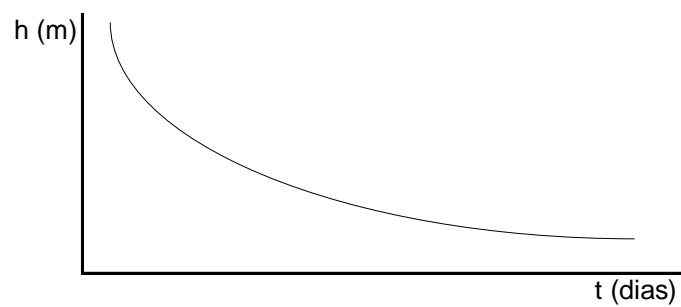
Figura 8 - Posição do dreno colocado na interface do horizonte B com o horizonte C (ILRI, 1994)

Procedimento (ILRI, 1974)

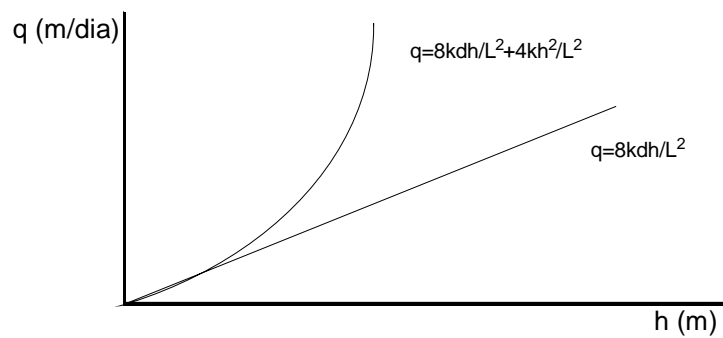
- converter q em m/dia e desenhar a curva de variação com o tempo (dias)



- converter profundidades de toalhas freáticas em carga hidráulica (m) e desenhar a curva de variação com o tempo (dias) (gráfico)



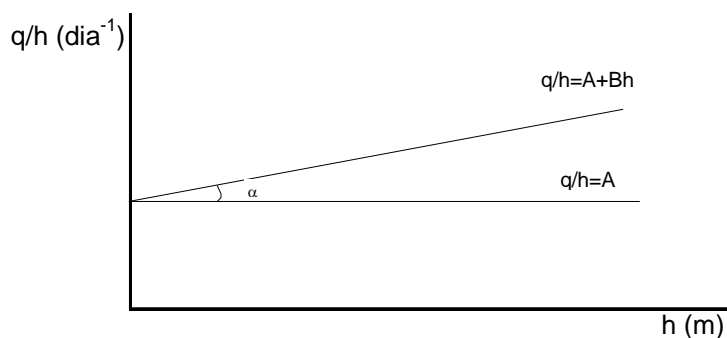
- desenhar curvas de variação do caudal q com as cargas hidráulicas (h)



Posso substituir a equação (1) por

$$q = Ah + Bh^2 \text{ ou } q/h = A + Bh$$

e para melhor visualizar a variação de q com h estabelece-se a variação de q/h com h



Assim, conhecidos os valores de q e de h podem traçar-se as curvas acima referidas e após medições à escala conhecer A e $\text{tang } \alpha = B$ sendo

$$A = \frac{8K_2d}{L^2} \quad \text{e} \quad B = \frac{4K_1}{L^2}$$

Conhecendo ainda os valores de L e d, calculam-se as condutividades K_1 e K_2 .

Resultados

Depois de realizados todos os cálculos pôde-se construir a seguinte tabela com valores aproximados das condutividades dos horizontes A e B, conhecidas através da altura da toalha freática e dos caudais dos drenos a 45 cm que se podem tomar aproximadamente como colocados entre as duas camadas de solo, horizontes A e B; e as dos horizontes A+B e C calculadas a partir da altura da toalha freática e dos caudais dos drenos a 80 cm.

Foram consideradas apenas as situações de descida da toalha freática.

Volta-se a referir o facto de se tratarem de valores aproximados pelo facto de não serem muitos os pontos para a construção das curvas de variação do caudal e da carga hidráulica com o tempo, pois devido à irregularidade das medições em campo são raros os dias em que fizeram simultaneamente a medição dos caudais dos drenos e da altura das toalhas freáticas.

QUADRO VII – Condutividades hidráulicas dos horizontes **A, B, A+B e C** (m/dia)

| | Drenos na interface dos horizontes A e B (45 cm) | | Drenos na interface dos horizontes A+B e C (80 cm) | |
|-----------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | K ₁ - Horiz. A | K ₂ - Horiz. B | K ₁ - Horiz. A+B | K ₂ - Horiz. C |
| Fev. 1982 | 2,56 | 0,06 | 0,87 | 1,66 |
| Nov. 1983 | 1,57 | 0,07 | | |
| Dez. 1983 | 2,60 | 0,07 | 0,87 | 1,25 |
| Dez. 1984 | 0,60 | 0,02 | 0,79 | 1,25 |

Conclusões

Da tabela podemos concluir que:

- de uma maneira geral, e relativamente aos horizontes A e B (drenos a 45 cm) a condutividade hidráulica no primeiro é muito superior ao do segundo o que parece normal devido às características do solo (horizonte A de textura grosseira e horizonte B argílico);
- a condutividade do horizonte A difere nos diferentes períodos considerados por estar com certeza sujeito a diferentes condições, como por exemplo, de estruturação do solo e tipo de rotação e cultura praticada;
- em relação aos horizontes A+B e C (drenos a 80 cm) verifica-se que a condutividade do horizonte A+B, comparada com a do horizonte A calculada nos drenos a 45 cm é inferior, e é ainda inferior à do horizonte C (que é quase o dobro da do anterior). O horizonte C é constituído por material mais

ou menos grosseiro que resulta da desagregação da rocha-mãe apresentando uma condutividade moderada. Por este horizonte pode passar a água que infiltra em zonas de cotas mais elevadas e onde existem solos um pouco mais delgados que permitem essa infiltração tal como já foi referido;

- os valores da condutividade do horizonte B diferem bastante dos valores do horizonte A+B sendo maior o valor deste último; é de referir que o facto se justifica por a condutividade do horizonte A+B, representar as condutividades dos horizontes A e B. A condutividade do horizonte A+B é 0,81 m/dia idêntica à média aritmética ponderada das condutividades dos horizontes A e B o que leva a concluir pelo predomínio do movimento horizontal em relação ao vertical.

4.4.3.2 - Balanço hídrico do horizonte superficial

O objectivo deste balanço é, de uma forma muito simplista, avaliar a infiltração vertical no horizonte B. Uma vez que temos a precipitação - o *input* -, os escoamentos superficial e subsuperficial e a evapotranspiração, calculada a partir da fórmula de Turc para o período de 10 dias - os *output* - pode proceder-se ao cálculo da quantidade de água que passa para a zona insaturada através da seguinte equação:

$$R = P - E - E_s - E_{sb}$$

R - percolação (mm)

P - precipitação (mm)

E - evapotranspiração (mm)

Es - escoamento superficial (mm)

Esb - escoamento subsuperficial (mm)

No último dia de Outubro de 1987 verificou-se uma precipitação de 28,4 mm, sendo a soma do último decêndio de 49,1 mm. Neste período quer o escoamento superficial quer o escoamento subsuperficial foram muito baixos e ocorrendo apenas nos últimos dois dias do mês. Assim, explica-se o elevado valor (Quadro VIII) de escoamento subsuperficial no 1º decêndio de Novembro, que é superior à precipitação do mesmo período, por a água começar a correr nos drenos algum tempo depois da chuvada e se estar a drenar a água que provém das chuvas do último dia do mês de Outubro.

QUADRO VIII – BALANÇO DE ÁGUA NO HORIZONTE SUPERFICIAL DO SOLO NO ÚLTIMO TRIMESTRE DO ANO DE 1987
(Unidades em mm)

| | Precipitação | Evapotranspiração potencial | Escoamento superficial | Escoamento subsuperficial | Percolação |
|-----------------|--------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|------------|
| NOVEMBRO | | | | | |
| 1º decêndio | 33,9 | 16,0 | 1,6 | 41,7 | 0 |
| 2º decêndio | 1,8 | 22,1 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| 3º decêndio | 2,0 | 15,5 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| DEZEMBRO | | | | | |
| 1º decêndio | 61,7 | 7,6 | 2,0 | 46,4 | 5,7 |
| 2º decêndio | 93,0 | 10,5 | 46,9 | | |
| 3º decêndio | 0,0 | 15,8 | 0,1 | 0 | 0 |

No 1º decêndio do mês de Dezembro verifica-se que houve infiltração do horizonte A para o B, apesar do escoamento subsuperficial ser elevado. É de notar que no último decêndio do mês anterior houve precipitações muito baixas e não houve escoamentos superficial e subsuperficial. Neste caso, a evapotranspiração potencial corresponde à evapotranspiração real e após a realização do balanço verifica-se que este é positivo.

No quadro IX encontra-se o balanço para o horizonte superficial no primeiro trimestre de 1988. Verifica-se que em qualquer uma das situações descritas pelo quadro o respectivo balanço é negativo, isto é, não há infiltração ao nível do horizonte B.

Atendendo ao facto de que no talhão testemunha foram instalados descarregadores H para medir os volumes de água escoada superficialmente (Anexo VII), verificaremos que estes são sempre superiores aos volumes de água escoada no talhão A. O que quer dizer que se a água não for escoada subsuperficialmente o será à superfície e aumentar-se-á a infiltração ao nível do horizonte B.

QUADRO IX - BALANÇO DE ÁGUA NO HORIZONTE SUPERFICIAL DO SOLO NO PRIMEIRO TRIMESTRE DO ANO DE 1988
(Unidades em mm)

| | Precipitação | Evapotranspiração potencial | Escoamento superficial | Escoamento subsuperficial | Percolação |
|-------------|--------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|------------|
| JANEIRO | | | | | |
| 1º decêndio | 16,5 | 12,4 | 1,4 | 3,4 | 0 |
| 2º decêndio | 62,4 | 10,6 | 21,4 | | |
| 3º decêndio | 74,6 | 12,0 | 20,2 | | |
| FEVEREIRO | | | | | |
| 1º decêndio | 14,8 | 15,7 | 0,9 | 15,6 | 0 |
| 2º decêndio | 6,7 | 18,0 | 0,0 | 5,7 | 0 |
| 3º decêndio | 4,3 | 15,0 | 0,0 | 2,2 | 0 |

4.4.3.3 – Conclusões

A condutividade do horizonte B é inferior á do horizonte A e esta última varia ao longo do tempo, devido a factores externos. O horizonte A+B apresenta condutividade inferior à dos horizontes A e C. A condutividade do horizonte A+B é, ainda, maior do que a do horizonte B, sendo esta última idêntica à média aritmética ponderada das

condutividades dos horizontes A e B, o que permite concluir que o movimento horizontal predomina em relação ao vertical.

A comparação dos valores de escoamento superficial nos talhões A e testemunha leva-nos a concluir que a implementação do sistema de drenagem por drenos enterrados diminui significativamente o escoamento superficial.

Ao realizar o balanço hídrico do horizonte superficial, apesar de existir apenas um exemplo para ilustrar esta ideia, verificou-se que em situações de precipitação elevada há infiltração ao nível do horizonte B.

Infelizmente não foi possível obter mais exemplos por, como já foi referido atrás, o descarregador ficar submerso quando as precipitações eram elevadas.

5

CONCLUSÕES

Com base no estudo feito sobre a informação disponível durante o período de 1982 a 1985 pode concluir-se que:

- mesmo após a instalação dos drenos o período de humedecimento do perfil é rápido, as toalhas freáticas dos diferentes horizontes encontram-se inicialmente separadas passando a confundir-se rapidamente e o período de dessaturação é lento;
- a descida das toalhas freáticas, no horizonte A faz-se à mesma velocidade em ambos os talhões (12 a 15 cm/dia) e a uma velocidade inferior no talhão testemunha (4 cm/dia);
- os drenos instalados a 45 cm fazem baixar as superfícies freáticas do horizonte A distinguindo-se posteriormente as dos horizontes B e C devido à existência de infiltração profunda que o balanço hídrico do horizonte superficial comprova;
- após se ter realizado uma subsolagem na zona de influência de alguns drenos a 80 cm verificou-se que depois de um período seco os caudais

- desses drenos eram superiores aos dos outros e que depois de período húmido esses caudais tornaram-se inferiores aos caudais dos drenos em que a mesma não foi feita. A subsolagem em pouco vem alterar a situação, principalmente a seguir a períodos de precipitação intensa;

Relativamente ao estudo realizado com base na informação recolhida no período de 1987 a 1988 podemos concluir que o movimento da água no horizonte B é predominantemente horizontal por a média aritmética ponderada dos horizontes A e B ser aproximada da condutividade do horizonte A+B.

Os resultados do balanço no horizonte superficial indicam que existe infiltração profunda o que está de acordo com o facto de se formar toalha freática no horizonte B e esta continuar a descer ao longo deste até ao horizonte C.

Pode-se, finalmente, concluir que a drenagem dos solos argiluviosos tem efeitos bastante positivos pois diminui significativamente o escoamento superficial e permite a descida mais rápida das superfícies freáticas.

A abertura de valas e eventualmente a drenagem toupeira, em vez da instalação de drenos pode constituir uma solução mais favorável ao agricultor por acarretar menores custos e, provavelmente, ser tão eficaz quanto a drenagem por drenos enterrados. Esta solução poderá apresentar inconvenientes para a utilização de maquinaria pesada na agricultura.

Muito se deverá ainda fazer-se neste campo do conhecimento como averiguar acerca dessa infiltração profunda, através da instalação no mesmo talhão de ensaio de

drenos a 80 cm e drenos a 45 cm e estudar a eficiência do sistema de drenagem por valas abertas nos solos argiluvitados do Alentejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bless, H.G., 1985 - Subsolagem de Solos Mediterrânicos Pardos Derivados de Quartzodioritos no Alentejo. Seminário sobre Drenagem em Portugal, Programa de Cooperação Luso-Alemã. Lisboa.

Bless, H.G., 1989 – Deep-loosening of Brown Mediterranean soils in the Évora-District/South Portugal. Effect of soil moisture, soil cultivation and crops on soil physical characteristics, hydrology and yield. In, “Results of agricultural investigation projects”, Portuguese-German Cooperation in Applied Agricultural Research, 1982-1989. Vila Real.

Bouma, J.; Jongerius, A ; Boersma, O ; Jager, A; Schoonderbeek, D., 1977 – The Function of Different Types of Macropores During Saturated Flow Through Four Swelling Clay Soil Horizons. Soil Sci. Soc. America Proc. 41: 945-950..

Carbon, B.A.; Galbraith, K.A., 1975 – Simulation of the Water Balance for Plants Growing on Coarse-textured Soils. Aust. J. Soil Res. 13: 21-31.

Carvalho Cardoso, J.V.J., 1965 - Os Solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.

Cruciani, D.E., 1940 - A Drenagem na Agricultura (4ª edição), Nobel, São Paulo.

German, P.; Beven K., 1981 – Water Flow in Soil Macropores. J. Soil Sci. 32: 1-13.

Groot, J.M., 1974 – The performance of surface and subsurface drainage on heavy clay soils in Yugoslavia. Neth. J. Agric. Sci. 22:160-174.

ILRI / International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1974 – Drainage Principles and Applications, vol. III “Surveys and Investigations”, ILRI Publication 16, Wageningen, The Netherlands.

ILRI / International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1994 – Drainage Principles and Applications, ILRI Publication 16, 2ª Edition Wageningen, The Netherlands.

Jong, M.H., sem data – Drainage of structured clay-soils.

Kneal, W. R.; White, R.E., 1984 – The Movement of Water Through Cores of Dry (Cracked) Clay Loam Grassland Topsoil. *J. Hydrlogy* 67:361-365.

Leeds-Harrison, P.B.; Jarvis, N.J., sem data – Soil and Water Management in Drained Clay Soils.

Leeds-Harrison, P.B.; Spoor, G.; Godwin, R.J., 1982 – Water flow to mole drains. *J. Agric. Engrn Res.* 27:81-91.

Lucas, A.; Lacerda, M.A., 1991 - Ensaio de drenagem toupeira num solo argiluvado. Encontro Técnico “Água e Agricultura”, UTL, Lisboa.

Mein, R.G.; Larson, C. L., 1973 – Modeling Infiltration during a Steady Rain. *Water Resour. Res.*, 9(2), 384-394.

Santos Júnior, A.G., 1982 - Rehabilitation and modernisation of drainage systems: conclusions and recomendations. 13th Regional European Conference, Portuguese National Committe on Irrigation and Drainage, Lisboa.

Santos Júnior, A.G.; Lúcio, J.L., 1982 - Talhões experimentais de drenagem; Relatório. Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo, Universidade de Évora, Évora.

Serralheiro, R.P.; Oliveira M.R., 1994 – Furrow irrigation on a subsoiled Mediterranean brown soil: water balance and root growth. Report n. 94-A-022 to the XII CIGR World Congress and AgEng '94 Conference. Milano, Italy.

Serviços Cartográficos do Exército, 1973 – Carta Militar de Portugal: 1/25000, 459, 470, Lisboa.

Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 1964 – Carta Agrícola e Florestal de Portugal: 1/25000, 459, 470, Lisboa.

Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 1969 – Carta de Capacidade de Uso do Solo: 1/50000, 40-A, Lisboa.

Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 1969 – Carta de Solos de Portugal: 1/50000, 40-A, Lisboa.

Sinai, G.; Fry, R.K.; Spoor, G., 1987 – The feasibility of shallow, “dense drainage” in heavy clay soils. Silsoe College.

Skaggs R.W.; Fausey, N.R.; Nolte, B.H., 1981 – Water Management Model Evaluation for North Central Ohio. Transactions of the ASAE 24(4):922-928.

Skaggs, R.W., 1982 – Field Evaluation of a Water Management Simulation Model. Transactions of the ASAE 25 (3):666-674.

Smedema, L.; Rycroft, D., 1983 - Land Drainage, Ancho Brendon, Ltd, Tiptree Essex, Great Britain.

Sobral, M.C.; Sims, D.A., 1985 - Winter waterlogging problems in the Alentejo and some solutions involving surface drainage. Seminars on Drainage, ICID national committees of Portugal and Federal Republic of Germany, Lisboa.

Sousa, E.C., 1989 – The Brown Mediterranean soils of Portugal. A case study. In “Portuguese-German Co-operation in Applied Agricultural Research: Results of Agricultural Investigation Projects”. Vila Real (Portugal),UTAD.

Sousa, E.C.; Perdigão, A.M., 1985 - Soils with drainage problems in Portugal. Seminars on Drainage, ICID national committees of Portugal and Federal Republic of Germany, Lisboa.

Oliveira, M.R.; Serralheiro, R.P.; Reis, M.P.; Santos, F.L., 1994 – Maize root system response to surface irrigation in a Mediterranean Brown soil; root growth related to water distribution along the furrow. Report n. 94-A-019 to the XII CIGR World Congress and AgEng'94 Conference. Milano, Italy.

Universidade de Évora, 1979 - Bacias e Talhões Experimentais: Plano de Ensaios e Observações in “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo”, Direcção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola, Évora.

Universidade de Évora, 1981 - Bacias e Talhões Experimentais: situação actual e proposta de desenvolvimento (2ª fase), in “Projecto de Drenagem e Conservação do Solo no Alentejo”, Évora.

Watson, K.K.; Lees, S.J., 1975 – Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using a Hysteretic Infiltration- Redistribution Model. Aust. J. Soil Res.,13,133-140.

ANEXOS

ANEXO I
PLANTAS TOPOGRÁFICAS

ANEXO II

PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO PERÍODO DE 1982/85

ANEXO III

RELAÇÃO DOS DIAS EM QUE FOI OBSERVADO O **ESCOAMENTO NO PERÍODO DE 1982/85**

ANEXO IV

PROFUNDIDADES DAS TOALHAS FREÁTICAS NO PERÍODO DE

1982/85

Nas figuras que se anexam estão indicadas, na metade superior as variações com o tempo das precipitações diárias. As precipitações são lidas no eixo das ordenadas graduado em milímetros, de 0 a 50 mm, e o tempo no eixo das abcissas graduado em dias e decêndios.

Na metade inferior das figuras estão indicadas as profundidades das superfícies freáticas lidas nos tubos instalados no horizonte A (□), no horizonte B (■) e no horizonte C (τ).

Em cada figura está indicado o dreno a que se refere; e, em linha vertical junto do eixo das ordenadas, está inscrito o trimestre.

ANEXO V

CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 1987

JANEIRO E FEVEREIRO DE 1988

ANEXO VI

DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 1987

JANEIRO E FEVEREIRO DE 1988

ANEXO VII

DRENAGEM SUPERFICIAL

NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 1987

JANEIRO E FEVEREIRO DE 1988

