

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Resumo

forragens

Culturas pratenses

Culturas forrageiras

Alentejo

Descritores

Agricultura

**COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICAL DE ALGUMAS
ESPÉCIES FORRAGEIRAS E PRATENSES COM INTERESSE
PARA A MODERNIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AGRICULTURA
NO ALENTEJO**



53 867

Maria do Rosário Gamito de Oliveira

Dissertação apresentada à Universidade
de Évora para obtenção do grau de
Doutor em Ciências Agrárias.

ÉVORA

1988

633.2

OL1 e

ex. 1

ÍNDICE

1- INTRODUÇÃO	7
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1- Aspectos genéticos, anatómicos e morfológicos das raízes.....	18
2.2- Factores ambientais da rizosfera que afectam o crescimento e desenvolvimento dos sistemas radicais	22
2.2.1- Estrutura e resistência mecânica	22
2.2.2- Arejamento	29
2.2.3- Temperatura	31
2.2.4- Água	34
2.2.5- Toxicidade do alumínio	45
2.2.6- Interação dos diferentes factores	47
2.3- Métodos usados em estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais	49
2.3.1- Métodos	49
2.3.2- Características radicais	50
2.3.2.1- Comprimento radical	53
2.3.2.2- Peso radical	56
2.3.2.3- Número de nódulos	59
2.4- Comportamento da parte aérea das plantas nas suas relações com o sistema radical	62
2.4.1- Relação entre os pesos secos das partes aérea e radical	62

2.4.2-	Área foliar	65
2.5-	Eficiência do uso da água pelas plantas	67
3-	MATERIAL E MÉTODOS	75
3.1-	Caracterização Geral da Herdade da Mitra	75
3.1.1-	Clima	75
3.1.2-	Solo	76
3.1.3-	Vegetação	77
3.2-	Espécies estudadas	78
3.2.1-	Gramíneas	78
3.2.2-	Leguminosas	83
3.3-	Instalação do ensaio	87
3.4-	Observações efectuadas	90
3.4.1-	No solo	90
3.4.1.1-	Descrição das condições edáficas correspondentes ao início e fim do ensaio	90
3.4.1.2-	Observação das condições hídricas e de temperatura do solo ao longo do ensaio	92
3.4.2-	No sistema radical	96
3.4.2.1-	Comprimento radical	99
3.4.2.2-	Peso radical	100
3.4.2.3-	Número de nódulos	100
3.4.2.4-	Observação directa das raízes em perfis	101

3.4.3-	Na parte aérea das plantas	101
3.4.3.1-	Peso da matéria seca	101
3.4.3.2-	Área foliar	102
3.5-	Material e métodos usados no ensaio comple- mentar efectuado em caixa acrílica	102
3.6-	Análise estatística	105
4-	RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
4.1-	Elementos edáficos referentes a condições iniciais e finais de ensaio	107
4.2-	Elementos edáficos observados ao longo do ensaio de campo	118
4.2.1-	Água	118
4.2.2-	Temperatura	142
4.3-	Comportamento dos sistemas radicais	146
4.3.1-	Densidade e peso radical	146
4.3.2-	Comprimento específico das raízes	189
4.3.3-	Número de nódulos	193
4.3.4-	Observação directa das raízes em perfis e em caixa acrílica	201
4.4-	Elementos relativos à parte aérea das plantas	205
4.4.1-	Produção de matéria seca	205
4.4.2-	Índice de área foliar	210
4.5-	Relação entre os pesos da parte aérea e da parte radical	213
4.6-	Eficiência do uso da água	221

4.7- Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical	236
5- CONCLUSÕES GERAIS	241
RESUMO	253
SUMMARY	259
BIBLIOGRAFIA	263
NOTA FINAL	305
ANEXO	307

1- INTRODUÇÃO

1.1- A agricultura alentejana de sequeiro nos solos de capacidade de uso B/C, C, D e E tem sido caracterizada, sobretudo nos últimos quatro decénios, por um sistema de cultura⁽¹⁾ de que é parte essencial uma rotação-tipo trienal a hexanal, onde para além do trigo como cultura principal se incluem o alqueive, outro cereal correspondendo à cultura liquidadora e quase sempre o pousio, em número variável de anos.

Esta rotação, bem inserida na tradição agrícola alentejana, apresenta normalmente uma configuração diferente consoante o tipo de solo em que é instalada. Em solos de textura fina, mais férteis e profundos - por exemplo, os Para-barros - o alqueive é revestido por uma cultura de Primavera, o grão-de-bico ou o girassol, a que se seguem um ano de trigo e um ano de cevada. Mas na maioria das áreas com solos delgado a

(1) - Os sistemas de cultura "reflectem a maneira pela qual os agricultores podem manter ou aumentar a fertilidade dos seus campos, seja fazendo suceder as culturas, seja cedendo adubos, seja pelo contrário orientando a produção para produtos de fracas exportações". Nomenclatura de HÉNIN (1972) adaptada por AZEVEDO et al. (1972) e PORTAS (1985).

esqueléticos, de baixa capacidade produtiva, o alqueive é nú e à cultura do trigo seguem-se um ano de aveia e dois a três anos de pousio. Neste último quinquénio, o aparecimento do triticale a substituir nalguns casos os cereais secundários (aveia e cevada) na rotação, é justificado pela sua precocidade, importante em anos de Primavera seca, pela sua melhor adaptação a condições de excesso de água e de acidez no solo e por ter preço relativamente mais alto que aqueles.

Esta rotação-tipo tem vindo a ser contestada pelo seu desequilíbrio quer no que diz respeito à marginalidade económica das produções, a agravar-se com a adesão de Portugal aos países da Comunidade Económica Europeia, quer quanto à componente sistema de cultura. As condições de fertilidade em que deixa o solo, sobretudo pelas mobilizações requeridas que aceleram a erosão, reduzem o horizonte antrópico, diminuem a matéria orgânica, deterioram a estrutura e aumentam a acidez, dando origem a condições que tendem a ser expressas internacionalmente pela designação "acid, ill-structured and shallow soils", os quais vão sendo abandonados nos países desenvolvidos.

Com efeito, as principais justificações tradicionais para a inclusão do pousio e do alqueive na rotação - o controlo de infestantes, a redução da "fadiga", "cansaço" ou "esgotamento" da folha de cultura e um maior armazenamento das águas das chuvas, visando a criação de condições favoráveis à cultura do trigo (ALVES, 1961), não têm mostrado uma acção

positiva em termos de rendimentos físicos unitários, enquanto que alargam as áreas de solos marginais para a cultura cerealífera.

Assim, nos últimos três decénios começaram a surgir sistemas alternativos tendo como característica principal a substituição do alqueive ou do pousio por culturas ditas melhoradoras que, para além de aumentarem a produtividade da rotação, iriam beneficiar o estado do solo para as culturas subsequentes e por conseguinte reduzir as mobilizações necessárias à sua instalação. Entre aquelas culturas figuram as forrageiras e pratenses herbáceas temporárias cuja acção benéfica resultaria não só dos detritos vegetais que incorporam no solo, podendo contribuir para um ligeiro aumento da matéria orgânica ou pelo menos para a melhoria das características físicas do solo, como também do enriquecimento deste em azoto resultante da acção simbiótica entre o Rhizobium spp e as plantas leguminosas.

No caso dos sistemas de agricultura de regadio não é determinante a acção melhoradora das forragens para justificar a sua instalação mas sim a sua indispensabilidade em termos de produção de biomassa para alimentação intensiva de algumas espécies animais, essencialmente bovinos leiteiros. Como no caso alentejano a deficiência hídrica é um factor limitante da produção vegetal no período estival, aquele em que em termos de energia solar as condições para o crescimento vegetativo são mais propícias, o regadio pode aumentar substancialmente a produção forrageira. No entanto, quando se introduz no sistema

de produção um bem como é a água - tão precioso e caro, por escasso e por carecer de muita energia - há que saber doseá-la de acordo com o tipo de solo e com as exigências e capacidade de absorção da cultura nele instalada.

Ora de uma forma geral, o crescimento de uma planta é o resultado da interacção de dois processos - a elaboração de metabolitos pela parte aérea e a absorção de água e nutrientes pelo sistema radical. Uma fraca utilização do dióxido de carbono afecta o desenvolvimento das raízes da mesma maneira que uma absorção de água e nutrientes abaixo das necessidades da planta vai ter reflexos no crescimento da sua parte aérea. Isto significa que os fenómenos observados na parte visível da planta podem resultar de condições do solo, que directa ou indirectamente afectem a sua capacidade de absorção. O interesse crescente que os estudos sobre sistemas radicais têm vindo a suscitar por todo o mundo científico, resulta do reconhecimento da sua importância básica na investigação aplicada à agricultura, nomeadamente nos estudos sobre a introdução ou a melhoria de técnicas culturais.

Este conhecimento é particularmente importante no caso das pastagens, quando se pretende aumentar a sua produtividade física e/ou a intensidade da sua exploração. Com efeito nas plantas forrageiras, nomeadamente nalgumas espécies vivazes, as raízes para além das suas funções gerais de fixação das plantas e de absorção de água e nutrientes, têm um papel fundamental como depósitos dos fotossintetizados. Estas reservas, após cada

parte aérea, vão ser mobilizadas pela planta para a renovação da parte aérea.

Noutros casos, como o das espécies anuais de que é exemplo o trevo subterrâneo, as reservas são armazenadas nas sementes e a rebentação após corte faz-se a partir da energia resultante da actividade fotossintética das folhas intactas. No entanto, também para estas espécies o tipo de distribuição do sistema radical no perfil do solo, ao determinar o volume de solo a partir do qual as plantas vão absorver água e nutrientes, condiciona a capacidade produtiva da cultura quer em termos de biomassa para o gado, quer em termos de quantidade e qualidade das sementes produzidas.

1.2- Duas opções, pelo menos, poderiam ser tomadas no que diz respeito aos objectivos imediatos deste trabalho: ou incidir apenas sobre uma ou duas culturas forrageiras mas sujeitar estas a diferentes tratamentos, como por exemplo técnicas culturais distintas ou várias tecnologias de solo; ou abranger um maior número de culturas, instaladas em condições o mais uniformes possível, procurando-se conhecer e quantificar a sua evolução, durante um período mais ou menos longo, de acordo com as variações climáticas e com o ritmo de extracção da biomassa recomendado.

Dado o pouco conhecimento que se tem dos hábitos de radicação destas espécies, especialmente nas condições edafoclimáticas do Centro-Sul de Portugal, considerou-se de primeira

prioridade a segunda opção apresentada, reservando a primeira para os ensaios a desenvolver ulteriormente.

Nos estudos dos sistemas radicais o acento tónico pode estar quer nos aspectos eco-morfológicos quer nos fisiológicos, ambos dependentes do germoplasma e do sistema solo-planta-atmosfera envolvidos. No presente trabalho o estudo da interacção das raízes com as condições ambientais e as técnicas culturais, buscou fundamentalmente a componente eco-morfológica.

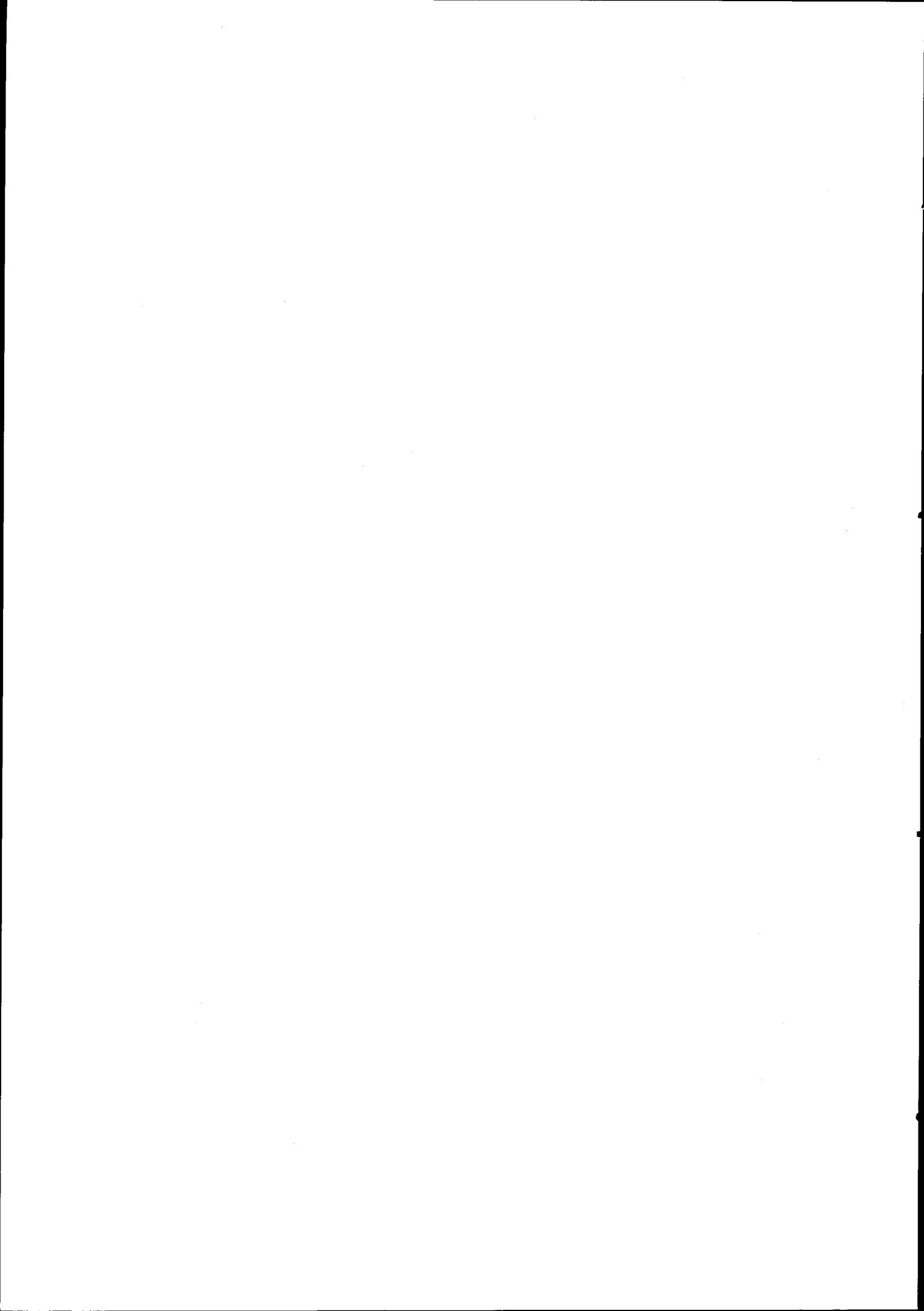
De harmonia com este princípio, entre os métodos utilizados em estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais das plantas, foram seleccionados aqueles que permitiam uma avaliação quantitativa das raízes recorrendo-se sempre que possível a observações feitas directamente em perfis abertos no solo.

Embora as raízes constituam o objectivo primeiro deste trabalho, dadas as suas estreitas relações com o resto da planta, foram também efectuadas várias observações respeitantes à sua parte aérea.

1.3- O presente estudo insere-se num projecto de investigação denominado "Estudo dos Sistemas Radicais de Espécies Herbáceas com Interesse no Sul do Alentejo" no âmbito do qual já foram realizados dois trabalhos sobre culturas regadas. No primeiro (OLIVEIRA e PORTAS, 1982b) foi estudado o

crescimento do sistema radical do sorgo forrageiro (Sorghum vulgare L., var. sudanensis) em folha de cultura compactada. No segundo (OLIVEIRA e PORTAS, 1987) é apresentada a distribuição de raízes em dois prados, um constituído por uma mistura de festuca (Festuca arundinacea Schreb. cv. Demeter), azevém (Lolium perenne L. cv. Arika) e trevo branco (Trifolium repens L. cv. Ladino e cv. Huia) e outro com luzerna (Medicago sativa L. cv. Moapa).

Anteriormente os memos autores tinham efectuado o estudo laboratorial da relação entre resistência mecânica, densidade aparente e teor de água num solo Hb14 (OLIVEIRA e PORTAS, 1982a).



2- REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Embora existam referências mais antigas a estudos sobre raízes, só nos anos 20 estes tiveram um carácter mais científico a partir dos trabalhos de J. E. WEAVER e colaboradores da Universidade de Nebraska (E.U.A.) (PORTAS, 1970) que, usando predominantemente o método da escavação, estudaram os sistemas radicais de várias culturas herbáceas (WEAVER, 1926; WEAVER e BRUNER, 1927).

Os trabalhos de J. E. WEAVER provocaram um novo interesse no campo dos estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais, ou seja, em estudos sobre a influência dos factores ambientais no desenvolvimento das raízes. Reconheceu-se que, para a concretização de algumas observações de natureza puramente fisiológica, era importante conhecer o comportamento das raízes em relação a diferentes tipos de terreno e de clima.

No entanto, quer devido à variabilidade dos sistemas radicais, a qual torna bastante difícil o seu estudo num meio tão complexo como o solo, quer devido à morosidade dos métodos utilizados na colheita e tratamento das amostras, a investigação sobre raízes foi durante muito tempo relegada para um segundo plano.

Quaisquer que tenham sido as razões que levaram a esta situação, tem-se vindo a assistir nos últimos dois decénios a um renovar do interesse em estudos deste tipo. O facto de



recentemente terem vindo a ser publicados vários livros sobre sistemas radicais e suas funções (WHITTINGTON, 1969; CARSON, 1974; TORREY e CLARKSON, 1975; RUSSELL, 1977; HARLEY E RUSSELL, 1979; RUSSELL et al., 1981; ARKIN e TAYLOR, 1981; BROUWER et al., 1981) é uma prova concreta de tal. Para isso deverá ter contribuído, em parte, a descoberta (AUDUS, 1972) de serem as raízes fonte de substâncias reguladoras do crescimento das plantas. Nas raízes são sintetizados alguns destes reguladores, como por exemplo citoquininas e giberelinas, cuja acção pode ser responsável por alterações no comportamento da parte aérea das plantas.

Na bibliografia portuguesa destacam-se vários trabalhos sobre sistemas radicais (revisão feita em PORTAS, 1970) incidindo a sua maioria em culturas arbóreas e arbustivas.

Iniciados com o estudo da oliveira (Olea europae L. var. sativa) feito por DURÃO (1943) referem-se ainda os trabalhos de CORREIA (1962) em raízes de macieira (Malus communis L.), de SILVA (1960) em raízes de cacaueteiro (Theobroma cacao L.) e de cafeeiro (Coffea arabica L.), de VAZ (1961) e de MOREIRA (1961) ambos sobre os sistemas radicais do cafeeiro (Coffea canephora Pierre) e de COUTINHO e SEQUEIRA (1968) num estudo sobre o sistema radical da laranjeira (Citrus sinensis L., Osbeck).

Em culturas lenhosas, os trabalhos de FABIÃO (FABIÃO et al., 1985 e 1987; FABIÃO, 1986) sobre o eucalipto (Eucalyptus

globulus Labill) representam uma nova óptica em estudos dos sistemas radicais, a da quantificação da biomassa radical em povoamentos florestais.

O trabalho realizado por PORTAS (1970) sobre o comportamento dos sistemas radicais de algumas culturas hortícolas em diferentes condições de solo, foi o pioneiro nos estudos de raízes em plantas herbáceas. PORTAS e TAYLOR (1976) estudaram os sistemas radicais do milho (Zea mays L.) e do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill) e ainda sobre este último PORTAS (1979) estudou o crescimento radical em condições de sementeira directa.

A influência de diversas técnicas de mobilização do solo no desenvolvimento das raízes de beterraba (Beta vulgaris L. var. conditiva Alef.) foi objecto de um estudo efectuado por ALBUQUERQUE (1980).

No que diz respeito a culturas forrageiras e pratenses apontam-se os trabalhos realizados por M.R. OLIVEIRA e C.A. PORTAS, aos quais foi anteriormente feita referência.

Uma revisão de toda a bibliografia existente sobre raízes tornar-se-ia bastante longa pelo que se optou por referir principalmente as publicações que, focando o estudo dos sistemas radicais de espécies forrageiras e pratenses e sua interacção com a parte aérea e com o meio, estão mais relacionadas com o tema deste trabalho.

Dada a escassez de publicações em português, depois da

revisão de PORTAS (1970) sobre os métodos e elementos a registrar em estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais, considerou-se oportuno apresentar, de uma forma sintética, alguns dos aspectos básicos mais importantes em estudos desta natureza e nos quais se enquadram os procedimentos e a metodologia seguida no presente estudo, procurando-se reunir informação essencial sobre as espécies agrícolas com que se trabalhou.

2.1- Aspectos genéticos, anatómicos e morfológicos das raízes

Os sistemas radicais das plantas apresentam configurações diferentes em resultado de factores de ordem ambiental e também genética (CANNON, 1949; WEAVER, 1958; PEARSON, 1974; ZOBEL, 1975; RUSSELL, 1977). Quando as condições para o crescimento são favoráveis e homoganeamente distribuídas, a forma final do sistema radical é fundamentalmente determinada por factores genéticos.

No entanto, quer se trate de monocotiledóneas ou dicotiledóneas, de raízes primárias ou secundárias, todas têm uma característica comum: o crescimento contínuo das raízes faz-se a partir da divisão e subsequente extensão ou alongação das células dos meristemas apicais (ESAU, 1977; RUSSELL, 1977).

A diferenciação de células nas extremidades das raízes é o processo que em primeiro lugar é responsável pelo estabelecimento do sistema radical e pela sua contínua

actividade de absorção de água e nutrientes. Este processo vai determinar a taxa de crescimento da raiz e por conseguinte o volume de solo potencialmente disponível para a planta. A capacidade para explorar novas zonas do solo é particularmente importante porque permite à planta tirar rápido partido de mais água e nutrientes, cuja mobilidade é em geral menor do que a de uma raiz activa. Com efeito, a taxa de alongação das extremidades das raízes em crescimento é muitas vezes superior às taxas de movimentação da água no solo (HUCK, 1981).

As raízes das monocotiledóneas diferem das das dicotiledóneas no que diz respeito ao seu desenvolvimento. Nas primeiras, caso das gramíneas, todo o sistema radical se desenvolve a partir de meristemas apicais cujas células, ao atingirem a sua dimensão máxima, determinam o diâmetro das raízes. Como tal, o sistema radical das monocotiledóneas é caracterizado pelo diâmetro mais ou menos uniforme das suas raízes.

Nas dicotiledóneas, por exemplo na luzerna, o diâmetro das raízes continua a aumentar em resultado do crescimento secundário, verificado por divisão radial e tangencial das células do câmbio vascular e do câmbio subero-felodérmico (ESAU, 1977). Neste caso, as raízes mais velhas, normalmente localizadas nas camadas superficiais, são mais grossas do que as raízes jovens, mais profundas no perfil cultural. Esta não uniformidade no diâmetro das raízes das dicotiledóneas torna-se um problema em estudos que utilizem como índice do crescimento

o peso radical.

Um outro aspecto de interesse diz respeito à ramificação das raízes. Na maior parte das plantas as raízes laterais são formadas a partir da divisão celular verificada no periciclo da raiz-mãe e algumas vezes em parte da endoderme, acabando o primórdio de raiz assim formado por atravessar a zona cortical em direcção ao solo (McCULLY, 1975; ESAU, 1977; RUSSELL, 1977; FAHN, 1978).

Este tipo de ramificação das raízes tem implicações no que diz respeito à sua capacidade de sobrevivência em condições adversas (de "stress").

Devido ao facto de se localizarem no periciclo, as células meristemáticas não são facilmente afectadas pelos fenómenos exteriores, podendo a emissão de raízes ser retardada até que as condições se tornem mais favoráveis. Deste facto resulta que a ramificação das raízes é mais prolífera em camadas em que as condições são melhores do que noutras em que existam quaisquer obstáculos ao seu desenvolvimento. Este fenómeno, referido como crescimento compensatório (RUSSELL, 1977) foi detectado em condições desfavoráveis de temperatura (GROSSET et al., 1975) e de concentração de nutrientes (WEAVER, 1926; DREW e SAKER, 1975) e em situações de existência de camadas compactadas (RUSSELL e GOSS, 1974).

A massa das raízes que é observada num determinado momento, através da escavação ou da observação directa nas paredes envidraçadas de um rizotráo, por exemplo, traduz a diferença entre o total de raízes vivas e o de raízes mortas

representando este valor uma pequena percentagem do total de raízes produzidas pela planta até aquele momento (HUCK, 1981). Só as raízes primárias são mantidas durante períodos de tempo mais ou menos longos enquanto que as laterais e outras raízes adventícias são regeneradas de acordo com as condições de solo verificadas em cada camada ou horizonte ocupado pelo sistema radical. HUCK (1981) refere que as taxas de morte e decomposição das raízes variam de espécie para espécie devido provavelmente a diferenças verificadas quer na susceptibilidade ao ataque de microorganismos, quer nos sistemas enzimáticos originados nas próprias raízes, quer na estrutura da parede celular.

A longevidade das raízes, interpretada como o seu tempo de vida, é um factor de difícil avaliação por não ser fácil a distinção entre raízes vivas e mortas. Para além disso a morte de uma raiz não se verifica simultaneamente em toda a sua extensão. Em geral, inicia-se na zona cortical da parte mais velha, que fica apenas com os vasos condutores rodeados pela endoderme, estendendo-se gradualmente para a extremidade (TROUGHTON, 1973).

As condições da rizosfera são determinantes da taxa à qual se processa a decomposição das raízes. A correcção do pH e a aplicação de azoto ao solo levam a que o processo seja acelerado, em virtude de favorecerem a actividade microbiológica.

Em relação a estudos sobre a longevidade das raízes de

espécies forrageiras salientam-se os trabalhos de JACQUES e SCHWASS (1956); GARWOOD (1967b) e TROUGHTON (1973, 1981 a).

2.2- Factores ambientais da rizosfera que afectam o crescimento e desenvolvimento dos sistemas radicais

É sabido que a configuração dos sistemas radicais, embora controlada por factores genéticos, pode ser modificada por condições ambientais, principalmente pelas da rizosfera, cuja acção sobre a morfologia e função das raízes tem sido largamente estudada.

De entre as numerosas características do solo que afectam o sistema radical, apenas se referem de uma forma mais detalhada aquelas que mais se relacionam com o propósito deste estudo e que são a estrutura, a resistência mecânica, o arejamento, a temperatura, a água e a reacção química do solo relativa à toxicidade do alumínio.

2.2.1- Estrutura e resistência mecânica

TAYLOR (1974) define resistência ou impedância mecânica do solo como a sua capacidade para resistir a forças de deformação que lhe são aplicadas, incluindo forças a microescala como as resultantes do crescimento radial e axial das raízes. Para um determinado ponto da raiz, a impedância

mecânica é definida como a relação entre a força que se exerce nesse ponto e a sua velocidade de deslocamento (PORTAS, 1970).

A penetração das raízes no solo faz-se normalmente através de poros com diâmetro igual ou superior ao das suas extremidades. A maior parte das raízes excede os 60 μm de diâmetro e por exemplo nos cereais, as raízes principais e as laterais de primeira ordem têm diâmetros compreendidos entre 150 e 750 μm (RUSSELL, 1977). Em relação às raízes finas absorventes, PORTAS (1984) refere que os seus diâmetros variam entre 1 mm e 80-100 μm , apresentando para os pêlos radicais um diâmetro médio de 10-15 μm . Relacionando com estes valores, o mesmo autor recorda que a macroporosidade do solo é constituída por poros de diâmetro superior a 8-10 μm constituindo os de diâmetro inferior a porosidade capilar.

Quando o diâmetro do poro é inferior ao da raiz, desde que o solo seja facilmente deformável, esta exerce uma certa pressão sobre as partículas que a rodeiam aumentando o diâmetro do poro e assim vai crescendo até que surja qualquer outro factor que não a impedância mecânica (TAYLOR e GARDNER, 1960). Quando a estrutura do solo manifesta uma certa rigidez que impossibilita a deslocação das partículas, a raiz não penetra e verifica-se o seu engrossamento e ramificação (WIERSUM, 1957; PORTAS, 1970; RUSSELL e GOSS, 1974). Em condições em que o tamanho dos poros é tal que impossibilita até o crescimento de raízes laterais todo o sistema radical fica atrofiado.

Como implicação imediata deste fenómeno tem-se que

qualquer processo ou técnica que leve a uma alteração da estrutura do solo da qual resulte uma diminuição do tamanho dos poros, vai interferir com a capacidade de penetração das raízes.

Embora tenha sido constatado que a taxa de crescimento das raízes, primárias ou secundárias, diminui à medida que a resistência mecânica do solo aumenta, os resultados obtidos com várias espécies mostram que estas diferem na sua resposta a valores específicos da resistência mecânica do solo (RUSSELL e GOSS, 1974). Segundo TAYLOR (1983) esta diferença resulta de variações não só na regulação osmótica das células como também na alteração da parede celular, por substâncias reguladoras do crescimento originadas nas raízes, que possibilita o alargamento das células em crescimento.

Num trabalho efectuado por OLIVEIRA e PORTAS (1982) a existência de uma camada compactada foi considerada determinante do tipo de radicação do sorgo forrageiro (Sorghum vulgare L.). O'NEIL e CARROW (1983) concluíram que a distribuição ao longo do perfil cultural das raízes de azevém perene (Lolium perenne L.) foi também afectada pela compactação do solo. O efeito conjunto da compactação e de teores elevados de azoto foi estudado por SILLS e CARROW (1982) e considerado prejudicial ao crescimento das raízes da festuca alta (Festuca arundinacea Schreb). Ainda no campo das culturas forrageiras, GRIMES et al. (1978) verificaram que os valores crescentes de compactação do solo, resultantes do tráfego de máquinas, levavam a decréscimos da densidade radical da luzerna (Medicago

sativa L.) na camada de 15-30 cm de profundidade.

No entanto, parece ser mais fácil provar a existência de uma relação directa de causa-efeito entre a presença de camadas compactadas, com elevada impedância mecânica, e fenómenos como o crescimento e distribuição das raízes ou a emergência das plantas, do que provar que tal relação exista com a produção das culturas. Desde que a água e os nutrientes estejam presentes no solo em quantidades que satisfaçam as necessidades das plantas, a redução do volume do solo explorado pelas raízes deixa de ser determinante da produção (TAYLOR e BRUCE, 1968; RUSSELL, 1978; BOWEN, 1981).

Com excepção de casos extremos - por exemplo, em Portugal os solos Pag em regadio (PORTAS, 1970) - a acção de camadas compactadas com elevada resistência à penetração das raízes tem sido mais frequentemente notada em sistemas de agricultura de sequeiro e em climas semi-áridos, o que seria de esperar dado que a água ao aumentar a plasticidade do solo reduz a sua resistência.

Do mesmo modo as plantas perenes, a partir do seu estabelecimento, parecem ser menos afectadas pela impedância mecânica do solo do que as anuais (FRYREAR e McCULLY, 1972). Tal deve-se em parte ao facto de nas plantas perenes algumas raízes conseguirem finalmente penetrar as camadas compactadas o que não se verifica nas anuais, cujo ciclo vegetativo é mais limitado. Por outro lado as raízes das plantas perenes podem penetrar através dos canais formados pelas raízes velhas,



desenvolvidas em anos anteriores, canais esses que em culturas anuais são normalmente destruídos pelas mobilizações (RUSSELL, 1977).

A maior parte das gramíneas perenes, que têm estas características, são importantes como melhoradoras das condições do solo, para as culturas que se lhes seguem na rotação. Um aumento significativo na estabilidade dos agregados, em solo franco-arenoso e franco-limoso, em resultado da actividade das raízes de azevém perene e de luzerna é referido por REID e GOSS (1980, 1981).

No entanto, alguns trabalhos existem que relacionam o factor de produção com a resistência mecânica do solo, em situações em que esta atinja valores que representem um obstáculo à penetração das raízes das plantas. SHEESLEY et al. (1974), mostraram que tanto a produção como a longevidade de uma população de luzerna diminuíram proporcionalmente ao aumento da impedância mecânica causada pelo tráfico de máquinas com pneumáticos.

Segundo TAYLOR (1983) os efeitos de camadas com elevada resistência mecânica devem ser preferencialmente analisados em termos da sua acção sobre os teores de água e nutrientes, a sustentação da planta e outros factores que directamente afectem o crescimento da sua parte aérea.

A relação entre resistência mecânica, densidade aparente e tensão de água no solo é analisada por TAYLOR e GARDNER (1963) e OLIVEIRA e PORTAS (1982).

A influência do teor de água do solo sobre a resposta

das raízes em zonas compactadas foi estudada por TAYLOR et al. (1964) tendo verificado que a chuva ou a rega podem provocar um decréscimo da resistência do solo em camadas compactadas, permitindo a penetração das raízes nessas camadas. Nestes casos a rega pode ser utilizada como um instrumento que, para além de elevar a humidade do solo, vai permitir que seja maior a quantidade de água disponível para as plantas através do aumento da penetração das raízes em camadas do solo com elevada impedância (BOWEN, 1981)

Para além do teor de água, a compactação está também relacionada com o arejamento, aspecto a que se faz referência no ponto seguinte (2.2.2).

A medição da resistência oferecida pelo solo à penetração das raízes é normalmente feita com o recurso a penetrómetros que, por serem dos instrumentos mais práticos na avaliação directa da impedância mecânica, têm tido uso mais ou menos generalizado. TAYLOR (1974) chama no entanto a atenção para o facto de, em condições de campo, o uso do penetrómetro revestir certas dificuldades na interpretação da resistência oferecida à penetração das raízes. Essas dificuldades resultam antes de mais das características do próprio instrumento, nomeadamente do facto de terem pontas com diâmetros superiores aos das raízes e de as medições efectuadas variarem com o tipo de aparelho utilizado.

Por outro lado, as raízes deformam-se com relativa facilidade e o mucigel que reveste a sua extremidade (LEISER,

1968) reduz o coeficiente de atrito entre a raiz e o solo, o que não pode ser simulado através do penetrómetro. As raízes podem também crescer através de fendas ou outras aberturas não detectadas pelo penetrómetro.

Embora haja que encarar os dados obtidos por estes aparelhos com certas limitações, a sua utilidade prática resulta do facto de permitirem fazer numerosas leituras de uma forma rápida o que leva a valores médios realísticos, para além de permitirem detectar zonas ou camadas compactadas, como por exemplo as referentes ao calo de lavoura (BAVER et al., 1972; TAYLOR, 1974; RUSSELL, 1977; OLIVEIRA e PORTAS, 1982).

Em relação ao método que se apoia na determinação da densidade aparente, o penetrómetro tem a vantagem de detectar variações da resistência mecânica do solo resultantes, por exemplo, de alterações na humidade (TAYLOR e GARDNER, 1963).

Desde que o teor de água no solo varie, a relação entre densidade aparente, que é normalmente determinada em referência ao solo seco e a penetração das raízes pode ser afectada, em resultado de alterações na resistência do solo (RUSSELL, 1977). No entanto, a densidade aparente pode ser útil na avaliação da impedância mecânica, em casos em que seja difícil determinar a resistência do solo no campo, como por exemplo em perfis de deficiente drenagem interna (PORTAS, 1970).

2.2.2- Arejamento

O arejamento do solo afecta a penetração das raízes através do teor de oxigénio que põe à sua disposição para o processo respiratório e do qual vai depender o seu normal crescimento.

Em solos bem arejados, o O₂ utilizado pelas raízes e organismos do solo é renovado por difusão através de poros contínuos preenchidos com ar (GRABLE, 1971). São verificadas condições de anaerobiose quando a taxa a que o O₂ é utilizado pelas raízes excede a taxa a que se processa a sua renovação num determinado volume de solo. Embora dependendo da distribuição e continuidade dos poros, quando a porosidade preenchida por ar é inferior a cerca de 10% há anaerobiose, ou seja, as condições são críticas para a necessária renovação de O₂, CO₂ e etileno no solo (GREENWOOD, 1968; CANNEL, 1977; GLINSKI e STEPNIEWSKI, 1985).

As combinações do O₂ do solo com a densidade aparente (TACKETT e PEARSON, 1964) ou com a resistência mecânica do solo (EAVIS e PAYNE, 1969) são referidas como condicionantes do crescimento radical. Segundo EAVIS e PAYNE (1969), em zonas em que o teor de O₂ é limitante, o efeito da pressão externa no crescimento das raízes é realçado. HOPKINS e PATRICK (1969) demonstraram que para os valores mais elevados da resistência mecânica ou para os mais baixos teores de O₂ pouca ou nenhuma

penetração se verificava, mas que a níveis intermédios de compactação e de teor de O₂ ambos os factores eram eficazes, determinando a penetração das raízes. Resultados similares foram obtidos por SCOTT e ERICKSON (1964) para a luzerna cujas raízes foram capazes de penetrar camadas densas, não cimentadas, de elevada densidade aparente ($\approx 1,90$), mas não proliferaram até que O₂ extra lhes fosse fornecido.

O deficiente arejamento do solo está quase sempre associado a condições de encharcamento, normalmente resultantes ou de uma má drenagem ou da presença de uma toalha freática próxima da superfície. Inicialmente a água é uma fonte de O₂ para as raízes e microorganismos, que no entanto pode ser esgotado em dois ou três dias, em solo nú, ou mais rapidamente se sujeito a qualquer cultura (CANNEL e JACKSON, 1981).

A adaptação das raízes a condições de anaerobiose consiste nalguns casos como o do arroz no desenvolvimento de um aerênquima, formado pelo considerável desenvolvimento dos espaços intercelulares da zona cortical, que permite suprir em grande parte as necessidades em O₂ das raízes (BIDWELL *et al.*, 1968). Noutras espécies como o tomateiro (JACKSON, 1955), a adaptação faz-se através do desenvolvimento de raízes adventícias em camadas superficiais do solo, onde o O₂ é rapidamente renovado após encharcamento.

De uma forma geral, as espécies variam no que diz respeito à sua sensibilidade ao arejamento do solo e para uma determinada espécie a reacção pode depender do seu estágio de desenvolvimento e das condições ambientais verificadas.

2.2.3- Temperatura

No que diz respeito à parte aérea das plantas, a acção da temperatura do solo é detectada fundamentalmente na altura, área foliar e acumulação de matéria seca e, de acordo com WATTS (1972,1973), RUSSELL (1977) e CORNILLON (1980), parece resultar do seu efeito sobre a capacidade de absorção de água e nutrientes, sobre a produção de substâncias de crescimento, ou sobre o meristema apical do caule da planta.

As baixas temperaturas do solo actuam sobre o crescimento da planta principalmente através de uma redução na absorção de água (EHLER, 1963; KRAMER, 1969; CROOKSTON *et al.*, 1974). Tal facto resulta de um aumento na viscosidade da água, de um decréscimo da condutividade hidráulica no sistema solo-raiz e de uma menor permeabilidade da membrana celular (VOORHEES *et al.*, 1981). Outros efeitos das baixas temperaturas são, segundo o mesmo autor, a redução da actividade metabólica e por conseguinte do crescimento das raízes.

WILLIAMS (1972) e VALENTINE e BARLEY (1976) referem aumentos na taxa de crescimento das plantas, em resultado de acréscimos da temperatura do solo, respectivamente para algumas linhas de trevo subterrâneo e para o trevo subterrâneo e uma gramínea anual, o bromo (Bromus rigidus Roth.) em monocultura e em cultura mista. Neste último trabalho foi verificado que, para além do aumento de produção, o trevo subterrâneo manifestava também maior capacidade para em consociações

competir com as gramíneas, o que justifica o facto de na Austrália, onde os ensaios foram conduzidos, o trevo subterrâneo acabar por ser a espécie dominante em Primaveras e Outonos mais quentes. Esta maior capacidade do trevo subterrâneo não foi no entanto atribuída ao facto de o Rhizobium fixar mais azoto a altas temperaturas.

UENO e YOSHIHARA (1967) atribuem a baixa produtividade de forragem de azevém perene e de azevém italiano (Lolium multiflorum, Lam.), verificada nos meses de Verão, à redução drástica da quantidade de raízes funcionais, resultante das altas temperaturas do solo durante aquele período.

O regime térmico do solo, embora sujeito a amplitudes menores do que as do ar ambiente, vai também influenciar as características fisiológicas e conseqüentemente as morfológicas dos sistemas radicais. Para além de o seu óptimo de temperatura ser inferior ao da parte aérea, as raízes adaptam-se pior a valores extremos e por conseguinte são mais sensíveis a variações bruscas de temperatura (NIELSEN, 1974). Alterações na actividade meristemática são frequentemente as conseqüências mais evidentes das temperaturas desfavoráveis.

A taxa de crescimento das raízes aumenta quase que linearmente com a temperatura (WALKER, 1969) até um valor máximo a partir do qual diminui rapidamente. Para a maior parte das espécies existe um óptimo de temperatura do solo, ao qual corresponde a taxa máxima de crescimento radical (NIELSEN e HUMPHRIES, 1966; COOPER, 1973). Esse valor, embora variável de espécie para espécie, está geralmente compreendido entre 20

e 30°C (VOORHEES et al., 1981).

As variações diurnas da temperatura do solo, que em condições de campo chegam a verificar-se até cerca de 50 cm de profundidade, podem levar a que também o crescimento radical varie ao longo do dia (TAYLOR et al., 1972). No entanto, as alterações mais amplas verificam-se com as estações e, ao longo do perfil cultural, com a profundidade. A influência das flutuações estacionais de temperatura e humidade do solo na produção de raízes de festura alta foi considerada significativa nos 45 cm superficiais do solo (ASH et al., 1975).

Os estudos sobre a variação estacional da produção de raízes, como os de CARADUS e EVANS (1977) e CARADUS (1981), têm interesse não só pela sua relação com a persistência e tolerância à seca das plantas como também por permitirem avaliar os períodos críticos das plantas em termos de fertilização.

Importa salientar que no estabelecimento de relações de causa-efeito entre a temperatura do solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas é essencial ter em atenção as interações existentes com outros factores edáficos, fundamentalmente em condições de campo. É o caso do teor de água em solos normalmente designados por "solos frios" - solos mal drenados por razões ou de textura (solos argilosos), ou de sujeição a uma toalha freática mais ou menos superficial ou de situação profundante. Nestes solos, a maior parte da energia

radiante que sobre eles incide é utilizada no aquecimento ou na evaporação da água, conduzindo a um abaixamento da temperatura do solo (VOORHEES et al., 1981). Com efeito, a temperatura na camada superficial de um solo bem drenado pode ser 3 a 7°C superior à de uma camada com deficiente drenagem (BRADY, 1974).

2.2.4- Água

A maior parte do peso de uma raiz viva diz respeito à água nela contida (TAYLOR, 1983) a qual é absorvida em quantidade superior à que a raiz retém, para fazer face às suas necessidades de crescimento e principalmente para compensar as perdas por transpiração.

O facto de a água ser essencial para a manutenção da turgescência das células, da qual depende a elongação destas, tem levado a concluir que as taxas de crescimento das raízes sofrem uma redução drástica quando se verificam decréscimos no potencial hídrico da planta. Porém tem sido provado que nem o potencial hídrico do solo nem o potencial hídrico da planta, por si, afectam grandemente o crescimento das raízes primárias desde que sejam superiores a -1000 a -1500 kPa (TAYLOR 1983).

Até aos - 1500 kPa de potencial mátrico há proliferação normal de raízes (TAYLOR e KLEPPER, 1974). Abaixo desse valor o enraizamento é aparentemente insignificante (KRAMER, 1969). Algumas raízes são no entanto capazes de crescer ou manter as

suas extremidades vivas em condições de extrema secura do solo como foi observado por PORTAS e TAYLOR (1976) em raízes de milho e tomate e para potenciais hídricos inferiores a -4000 kPa. Para a luzerna BRUN e WORCESTER (1975) detectaram extracção de água em camadas do solo com tensões superiores a 1500 kPa.

A potenciais superiores a-1000 kPa, a influência da humidade do solo no crescimento radical tem sido explicada de forma algo controversa, em parte por o teor de água no solo condicionar outros factores edáficos como resistência mecânica, arejamento, temperatura, etc., que por sua vez afectam o enraizamento, em parte por não haver uniformidade nas características radicais usadas para explicar o fenómeno. De acordo com GARDNER e DANIELSON (1964) e COLE e ALSTON (1974) o peso fresco das raízes é mais afectado do que o seu comprimento quando se verificam decréscimos de humidade no solo.

De uma maneira geral, o perfil hídrico do solo é um dos factores que mais determinam a distribuição das raízes e por conseguinte a configuração do sistema radical. A taxa máxima de crescimento radical verifica-se para os mais altos teores de água, sem prejuízo do arejamento, e para os mais baixos valores da resistência mecânica do solo. Do mesmo modo, a senescência das raízes, que se processa normalmente durante o ciclo cultural da planta, pode ser acelerada quando o potencial hídrico do solo baixa a níveis críticos (TAYLOR, 1983). No entanto, a variação estacional da produção de novas raízes

adventícias parece ser mais afectada por factores como por exemplo a temperatura do solo, do que com o seu teor de água, como foi demonstrado para algumas gramíneas e trevos (GARWOOD, 1968).

Desde os estudos de WEAVER (1926) que têm vindo a ser publicados dados demonstrativos de que a proliferação das raízes é maior nas zonas mais húmidas do solo, desde que as outras condições ambientais não sejam limitantes. WEAVER (1926) defendia que quando a parte superior do perfil era mantida humedecida pelas chuvas ou pela rega, o sistema radical tinha tendência para se concentrar nas camadas superficiais. Esta observação é também feita por DOSS et al. (1960) para algumas espécies forrageiras de estação quente e por CLAPP et al. (1984) para várias gramíneas perenes.

Quando se parte para a quantificação de algumas características referentes a sistemas radicais sujeitos a diferentes regimes hídricos, verifica-se no entanto alguma discordância nos dados publicados. Este facto pode ser atribuído a diferenças nos níveis de água ensaiados, na frequência das regas, ou nas características das plantas e dos solos utilizados.

Em prados consociados à base de gramíneas, GARWOOD (1967a) observou que o peso radical em todos os horizontes estudados foi menor quando o prado era regado do que quando estava sujeito apenas à precipitação natural, o que foi explicado pela rápida decomposição das raízes mortas verificada na situação de maior humidade no solo.

Num estudo sobre o enraizamento do trevo branco, trevo subterrâneo e azevém perene sob diferentes regimes hídricos, CULLEN et al. (1972) concluíram que as diferenças entre tratamentos no peso total de raízes não foram significativas, embora a profundidade atingida pelas raízes estivesse estreitamente relacionada com a espessura de solo humedecida.

Também para luzerna, uma das culturas forrageiras mais utilizadas em estudos deste tipo, a relação entre água do solo e produção e/ou distribuição das raízes é referida de modo controverso. Para CARTER et al. (1982) e JODARI-KARIMI et al. (1983) a relação água/produção de raízes não é significativa. No entanto ABDUL-JABBAR et al. (1982) obtiveram para algumas cultivares uma maior massa radical nos níveis mais elevados de aplicação de água ao solo.

A espessura de solo humedecida pela rega é referida como determinante da distribuição e profundidade efectiva de enraizamento da luzerna (ABDUL-JABBAR et al., 1982; JODARI-KARIMI et al., 1983). Os dados de BENNETT e DOSS (1960) mostram, pelo contrário, uma maior profundidade atingida pelas raízes para as mais baixas dotações de rega.

Ora a profundidade de enraizamento é uma característica que, em conjunto com a largura, define o volume de expansão do sistema radical - volume de expansão radical (PORTAS, 1970) - o qual condiciona a capacidade da planta para fazer face a períodos de "stress" hídrico. GARWOOD e SINCLAIR (1979) associam a resistência à seca manifestada por algumas gramíneas, como a

festuca alta, com a capacidade de aprofundar o seu sistema radical, da qual resulta um maior volume de solo explorado pelas raízes. ASHER e OZANNE (1966) referem uma maior resistência à seca manifestada pelo trevo subterrâneo, quando estabelecido em condições que permitam uma elevada taxa de penetração das suas raízes. Num estudo com várias culturas entre as quais algumas forrageiras, EVANS (1978) constatou que as espécies de enraizamento profundo, como a luzerna, capazes de extrair água uniformemente ao longo do perfil cultural, mantêm mais facilmente o seu rendimento em períodos de deficiência hídrica do que espécies de enraizamento mais superficial como azevéns, trevos, etc..

Em geral e nas culturas herbáceas, os programas de melhoramento desenvolvidos com a finalidade de promover a formação de um sistema radical profundo têm mostrado uma maior eficácia na supressão dos efeitos do "stress" hídrico do que os programas desenvolvidos visando o aumento da densidade radical (PORTAS, 1984). No entanto, uma densidade elevada de raízes nas camadas superficiais pode ser importante para o aproveitamento da água de pequenas precipitações que não chegam a atingir as camadas mais profundas do perfil. WEAVER (1982) refere que a quase ausência de raízes nas camadas superficiais do solo de algumas espécies como a luzerna, impede-as de tirar partido daquela água.

Assim, o sistema radical ideal, ainda não definido correctamente (UNGER et al., 1981), parece corresponder a tipos diferentes consoante as condições do meio que deve explorar.

Por um lado, a vantagem de sistemas radicais profundos é sobretudo notada em culturas de sequeiro em que, mesmo com chuvas bem distribuídas, há normalmente dias com uma evapotranspiração potencial superior à precipitação, podendo as camadas profundas e húmidas do solo suprir as necessidades hídricas das plantas, desde que alcançadas pelas suas raízes (PORTAS, 1984; SERRALHEIRO, 1985). Por outro, em sistemas de regadio, com regas frequentes e fertilização intensiva, o interesse de um sistema radical profundo pode ser discutível, especialmente em culturas destinadas à produção de massa foliar, como as forrageiras, dado que o desvio de energia para o crescimento radical vai afectar o da parte aérea (PEARSON, 1974). No entanto, mesmo em culturas regadas, a existência de um certo número de raízes profundantes, abaixo da zona atingida pela rega, pode ser essencial para evitar a morte da planta num período accidental de escassez hídrica, por exemplo por atraso ou avaria na rega, o que é frequente a nível da empresa agrícola.

O facto de a distribuição das raízes seguir de perto os níveis de extracção de água no solo, é a base para o uso deste factor na estimativa da quantidade de raízes activas presentes no solo (LONG e FRENCH, 1967; DRAYCOTT e DURRANT, 1971; TROUGHTON, 1981b) e que constitui um dos métodos indirectos de avaliação dos sistemas radicais.

Contudo, a relação entre raízes e água do solo não pode ser estritamente entendida como "mais água, mais raízes". O

excesso de água no solo, ao reduzir o arejamento, pode ser tão prejudicial ao enraizamento como a deficiência hídrica (KRAMER, 1969).

Do ponto de vista da anatomia das raízes, o excesso de água no solo pode originar alterações que dificultam o normal acesso de água e nutrientes ao cilindro central e reduzem a taxa de difusão do O₂ nos tecidos.

Com algumas exceções, - como o arroz e plantas com sistema respiratório profundo, adaptadas a condições de excesso de água - na maior parte das culturas a presença de uma toalha freática próxima da zona radical limita o desenvolvimento das raízes às camadas acima do nível da água.

Na prática, a profundidade da toalha freática raramente é fixa e o efeito do encharcamento vai depender da sua posição relativamente à do sistema radical (CANNELL e JACKSON, 1981). De uma maneira geral toalhas freáticas superficiais são consideradas prejudiciais para as plantas, embora a profundidade à qual o nível da água começa a afectar as culturas e fundamentalmente a sua produção, seja variável com as espécies, com o seu estado de desenvolvimento e com as condições ambientais a que estão sujeitas.

Para algumas espécies tem sido notada uma capacidade própria de adaptação a alterações do meio que pode minimizar os efeitos do excesso de água. A festuca alta, que é geneticamente capaz de desenvolver um sistema radical para além dos 60 cm de profundidade, tem o seu enraizamento condicionado à altura da toalha freática. No entanto, a elevada densidade de raízes

concentrada nas camadas superficiais e verificada mesmo em condições de boa drenagem de solo, é suficiente para suprir as necessidades de arejamento da planta permitindo-lhe adaptar-se e manter os níveis normais de produção com toalhas freáticas tão próximas da superfície como os 40 cm (WILLIAMSON e WILLEY, 1964).

A comparação entre algumas gramíneas forrageiras no que diz respeito à sua tolerância ao encharcamento é objecto de vários estudos (FINN et al., 1961; RHOADES, 1964; ANDERSON, 1970; MARSHALL e MILLINGTON, 1967; FRANCIS e POOLE, 1973).

A luzerna, cultura que tem sido referida na bibliografia como das mais exigentes em termos de drenagem do solo, parece ser capaz de suportar temporariamente condições de encharcamento e de taxa de difusão de O₂ baixa (BORNSTEIN et al., 1984). Já TOVEY (1964) num estudo em lisímetro observou que a luzerna foi capaz de se adaptar a toalhas freáticas estáticas, superficiais ou profundas, mantendo-se em produção, embora só manifestasse o máximo do seu potencial produtivo nos tratamentos em que o nível da água descia para os 60 cm de profundidade. Em termos de produção de raízes, a influência da toalha freática não foi significativa.

Num ensaio semelhante, para o qual foram utilizados cilindros de observação de raízes, BORNSTEIN e HEDSTROM (1977) concluíram que as raízes da luzerna se adaptavam a toalhas freáticas estáticas mantidas a profundidade entre 15 e 75 cm e que as diferenças de produção verificadas entre os tratamentos

estudados desapareciam entre o 2º e 6º ciclos anuais da cultura. A propósito, as luzernas podem ter sete a oito ciclos anuais. Já RAI et al. (1971), determinando para algumas cultivares de luzerna os estádios do ciclo cultural aos quais correspondia uma maior sensibilidade das plantas ao excesso de água no solo, verificaram que a influência da toalha freática era mais marcada nos primeiros dias após corte. Nesta fase e segundo THOMPSON e FICK (1981) o encharcamento do solo leva a um decréscimo do potencial de rebentação das plantas e, nas mais atingidas pelo excesso de água, a raiz principal profundante desaparece e o sistema radical fica reduzido a um conjunto de raízes adventícias, formadas a partir da coroa.

Para além da capacidade de adaptação manifestada por algumas espécies, o efeito do encharcamento do solo pode ser minimizado por outros factores ambientais. O decréscimo de produção verificado em culturas instaladas num solo argiloso com uma toalha freática a 40 cm de profundidade, foi praticamente anulado pela aplicação de azoto extra ao solo (VAN HOORN, 1958). Do mesmo modo num ensaio com luzerna, THOMPSON e FICK (1981) demonstraram que a acção do excesso de água do solo sobre o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas foi significativamente marcada pela temperatura do ar. Quanto mais baixa a temperatura do ar, maior o número de dias em que as plantas suportaram o encharcamento.

O abaixamento da toalha freática, através da drenagem do solo, é uma prática que ao longo dos séculos tem sido referida como essencial para o sucesso da maior parte das

culturas. Recentemente tem sido considerado como vantajoso manter a toalha freática a uma profundidade que permita à planta tirar partido dela, utilizando a sua água como uma forma de rega sub-superficial ("subirrigation"). Uma das particularidades desta é que fornece continuamente água ao solo evitando os ciclos intermitentes de humedecimento e secagem, característicos da rega superficial e que dificultam o estabelecimento de relações entre crescimento radical, tensão e arejamento do solo.

Acima da toalha freática, a tensão hídrica do solo é uma função das características deste, nomeadamente da textura, da altura acima dela e da taxa à qual o solo perde água. As necessidades hídricas da planta vão em geral aumentando à medida que esta vai crescendo e que, em resultado da subida de temperatura, aumenta a sua taxa de transpiração por unidade de superfície. Deste modo, a frente do gradiente de humidade vai-se deslocando para baixo, deixando uma zona na qual o espaço de poros preenchidos com ar é o suficiente para novas raízes se desenvolverem e penetrarem mais fundo no perfil.

Num ensaio com trevo subterrâneo STEWART et al. (1980) verificaram que à medida que a toalha freática descia, mais profunda era a zona de activo crescimento radical, constatando que em todos os tratamentos a maior densidade de raízes se registava cerca de 20-30 cm acima do nível da água, onde as taxas de absorção radical e de ascensão de água no solo se equilibravam. LIPPS e FOX (1964), trabalhando com luzerna e

recorrendo ao uso de fósforo radioactivo, verificaram que o desenvolvimento de condições críticas de temperatura e humidade nas camadas superficiais do solo era compensado através do aumento da actividade radical a uma profundidade próxima da da toalha freática.

A profundidade da toalha freática óptima para um abastecimento de água à planta que lhe permita manter um desenvolvimento adequado do seu sistema radical e uma produção máxima, é variável de espécie para espécie e para cada espécie com o seu estágio de desenvolvimento.

Para uma mesma cultura e num determinado solo, a profundidade óptima da toalha freática para a produção máxima dependerá em primeiro lugar da precipitação verificada e do sistema de rega estabelecido (CANNELL e JACKSON, 1981). No que diz respeito à influência do clima, a profundidade óptima da toalha freática é tanto menor quanto mais seco este seja (COSTA, 1975). O mesmo autor refere que "excluindo o caso das árvores de fruto, pode dizer-se que, no nosso país, para muitas culturas, passada a fase inicial de desenvolvimento, a profundidade óptima da toalha freática deve andar por uns 40-70cm, consoante os solos".

Em geral, quando o fornecimento de água ao solo é feito simultaneamente a partir da rega superficial e da toalha freática, a profundidade desta deve ser maior (WILLIAMSON e KRIZ, 1970). A produção máxima num prado de festuca alta foi obtida com a toalha freática a 15 e 30 cm de profundidade, quando sujeito respectivamente a sub-rega apenas e a sub-rega e

rega superficial simultâneamente (GILBERT e CHAMBLEE, 1959). Os mesmos autores aconselham o uso da festuca alta e do trevo branco para solos onde a drenagem abaixo dos 15 cm seja deficiente, concluindo que para estas culturas a presença de uma toalha freática entre 30 e 50 cm de profundidade, com chuvas bem distribuídas, é suficiente para fazer face às suas necessidades hídricas.

A utilização de água pela luzerna a partir de uma toalha freática a 1,5-2 m de profundidade é também referida por CAMPBELL et al. (1960).

2.2.5- Toxicidade do alumínio

Em solos com reacção ácida, com pH em água entre 4,6 e 5,5 (COSTA, 1975), a maior parte das culturas manifesta uma redução no seu crescimento devida fundamentalmente ao aumento da concentração e da actividade dos iões alumínio. Os problemas de fertilidade verificados em muitos destes solos, nomeadamente o excesso de alumínio e manganês e a deficiência de cálcio e molibdénio, condicionam o crescimento das plantas, tendo entre eles o alumínio um papel primordial (ADAMS, 1981).

Níveis moderados de alumínio no solo têm pouco ou nenhum efeito sobre a parte aérea das plantas, embora possam ser rapidamente detectados através das alterações que provocam

nos sistemas radicais (TAYLOR e ARKIN, 1981; ADAMS, 1981). Só para concentrações elevadas de alumínio no solo a parte aérea é afectada, embora a sua sintomatologia, atrofiamento na maior parte dos casos, seja de difícil distinção da resultante da deficiência de fósforo no solo (ADAMS, 1981).

Em períodos de "stress" hídrico ou após severa desfoliação, quando as taxas de crescimento e rebentação das plantas são reduzidas, a toxicidade do alumínio é particularmente notada na parte aérea das plantas.

Nas raízes, o efeito do teor de alumínio manifesta-se normalmente pela redução da sua taxa de crescimento (ADAMS e LUND, 1966), de que resultam alterações quer morfológicas quer fisiológicas no sistema radical. As raízes tendem a tornar-se mais curtas e grossas e o sistema radical fica atrofiado, aparecendo manchas necróticas nalgumas zonas das raízes (FOY, 1974; TAYLOR e ARKIN, 1981).

A acção do alumínio sobre o sistema radical manifesta-se também no seu funcionamento. Um aumento da capacidade da planta para utilizar água e nutrientes armazenados num subsolo com uma elevada concentração de alumínio, foi obtido através da utilização de cultivares tolerantes (DEVINE et al., 1976; PINKERTON e SIMPSON, 1981; BOUTON et al., 1982). O mesmo efeito foi obtido também através da aplicação de correctivo calcário ao subsolo (FOX e LIPPS, 1955; SIMPSON e LIPSETT, 1973; SIMPSON et al., 1977, 1979; RECHCIGL et al., 1985).

A determinação do pH do solo é ainda uma das formas mais expeditas de detectar problemas relacionados com o teor de

alumínio no solo, embora o pH crítico para sua fitotoxicidade varie entre solos (ADAMS, 1981), fundamentalmente devido a diferenças de fertilidade.

A morfologia dos sistemas radicais tem provado ser um critério útil para a avaliação da tolerância das plantas ao alumínio presente na solução do solo, pelo que tem sido utilizado em diversos trabalhos (FOY *et al.*, 1965; FLEMING e FOY, 1968; ANDREW *et al.*, 1973; SIMPSON *et al.*, 1977, 1979). O método usado no laboratório do Cimnyt, para avaliar a tolerância do trigo ao alumínio, baseia-se na formação de manchas necróticas nas raízes primárias das plantas quando imersas numa solução com alumínio (POLLE *et al.*, 1978).

2.2.6- Interação dos diferentes factores

As distintas combinações de factores e elementos do solo condicionam os sistemas radicais através da sua acção sobre as taxas de crescimento das raízes principais, de que depende a profundidade de enraizamento, e sobre o crescimento e desenvolvimento das raízes laterais, que determinam a densidade radical (TAYLOR, 1983).

Os tipos de interacção observados podem dizer respeito a combinações simples entre taxas de crescimento radical e um dos factores intervenientes, como por exemplo a temperatura, a resistência mecânica ou a actividade do alumínio no solo, ou a

combinações múltiplas das taxas de crescimento radical com dois ou mais desses factores. A complexidade da interpretação do fenómeno será tanto maior quanto maior for o número de variáveis ambientais consideradas.

Do mesmo modo, os efeitos da introdução de novas técnicas culturais ou de plantas melhoradas na produção vegetal são difíceis de avaliar separadamente dos efeitos dos factores do solo, dos quais estão estreitamente dependentes. Nomeadamente pela influência que as condições ambientais exercem na repartição da matéria seca, entre raízes e parte aérea das plantas.

A utilidade de modelos simbólicos ou matemáticos que traduzem o enraizamento, como instrumentos de extrapolação de conhecimento, deve tomar-se com alguma reserva. Com efeito, muitos dos modelos apresentados na bibliografia ainda não foram testados com ensaios de campo e, quando muito, estas verificações tiveram lugar para certas situações, sendo por conseguinte pertinente interrogar da sua aplicabilidade nas culturas, solos e condições climáticas e agrícolas do nosso país.

O desenvolvimento de experimentação laboratorial ou de campo englobando uma grande gama de factores de crescimento e, dentro do possível, utilizando amostras não perturbadas, as quais representam as condições naturais, é reconhecido como absolutamente essencial à elaboração ou aperfeiçoamento de modelos simbólicos.

2.3- Métodos usados em estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais. Características analisadas

2.3.1- Métodos

Embora não exista uma base sistemática para a classificação dos métodos usados em estudos de raízes, de acordo com a forma do seu procedimento podem incluir-se em três grandes grupos ou categorias: (1) métodos de observação directa das raízes (escavação, observação da parede do perfil, tubos de vidro ou mini-rizotrótes, rizotróte e contentores de parede transparente); (2) métodos de colheita de amostras de "solo e raiz" (monolito, mesa de varões, sonda e colhedores mecânicos) e (3) métodos indirectos (elemento marcado e taxas de extracção de água ou de nutrientes do solo).

PORTAS (1970) descreve fundamentalmente métodos usados em plantas herbáceas nas BÖHM (1979) faz uma caracterização pormenorizada de todos os métodos existentes. Mais recentemente salientam-se as referências a alguns métodos de campo para avaliação do crescimento das raízes in situ feitas por KÖPKE (1981) e por TROUGHTON (1981b), esta última sobre métodos usados em culturas pratenses.

A escolha do método a usar depende do objectivo pretendido, não existindo um método considerado ideal para dar resposta a todas as questões e sendo muitas vezes necessário recorrer simultaneamente a mais do que um (BÖHM, 1979). O mesmo

autor salienta que, para além do conhecimento dos diferentes métodos à sua disposição, o investigador deverá preocupar-se com o tempo e trabalho que cada um deles envolve na obtenção das características radicais seleccionadas e na tradução dos factores intervenientes.

No quadro 1 faz-se a apresentação esquemática dos métodos mais utilizados em estudos eco-morfológicos das raízes bem como de alguns aspectos com eles relacionados.

2.3.2- Características radicais

Os problemas inerentes a estudos de raízes não dizem apenas respeito aos métodos de investigação mas também aos índices quantitativos usados. Entre eles salientam-se pela sua mais frequente utilização: número, comprimento, diâmetro, superfície, volume e peso de raízes.

Dependendo do tipo de informação pretendida, assim são seleccionadas as características que melhor traduzam o fenómeno a estudar. Por exemplo, nos estudos de modelos de absorção de água pelas raízes (GARDNER, 1960, 1965 ; COWAN, 1965; NEWMAN, 1969a, 1969b, 1974; ALLMARAS et al., 1973; HILLEL et al., 1976; TAYLOR e KLEPPER, 1978) as características utilizadas são o comprimento e a densidade radical (comprimento de raiz por unidade de volume de solo). Quando a absorção de nutrientes é o primeiro objectivo (PASSIOURA, 1963; BARLEY, 1970; BARBER, 1974), as observações incidem sobre a superfície e o peso radicais.

QUADRO 1. - Métodos de estudo eco-morfológicos de raízes

Obejctivo primário do estudo	Designação do método	Base do procedimento	Principais características ou parâmetros obteneíveis	Natureza dos grupos de plantas cultivadas a que tem sido mais aplicado
Raizame estrutural e intermédio	Escavação ("Excavation method")	Observação directa no campo	Volume de expansão radical; comprimento, diâmetro e forma das raízes; tipo de sistema radical	Herbáceas (arvenses, hortícolas e forrageiras); Arbustivas; Arbóreas
	Colhedor de varões ("Needleboard method")	Colheita de blocos de "solo e raiz"	Volume de expansão radical; comprimento, diâmetro, peso e forma das raízes	Herbáceas; Arbustivas
	Monolito ("Monolith method")	Colheita de blocos de "solo e raiz"	Comprimento, diâmetro, peso e forma das raízes; distribuição das raízes por camadas ou horizontes	Herbáceas; Arbustivas
	Parede do perfil ("Profile wall method")	Observação directa no campo	Distribuição das raízes por camadas ou horizontes; diâmetro; estimativa do comprimento das raízes	Herbáceas; Arbustivas; arbóreas
	Tubo de vidro (mini-rizotrófo) ("Glass tube method")	Observação directa no campo	Taxas e períodos de crescimento das raízes	Herbáceas; Arbustivas; Arbóreas; Florestais
	Rizotrófo ("Glass wall method")	Observação directa em laboratório	Taxas e períodos de crescimento das raízes	Herbáceas; Arbustivas; Arbóreas; Florestais

QUADRO 1 - Métodos de estudo eco-morfológicos de raízes (continuação)

Obejctivo primário do estudo	Designação do método	Base do procedimento	Principais características ou parâmetros obteneíveis	Natureza dos grupos de plantas cultivadas a que tem sido mais aplicado
Raizame estrutural, intermédio e fino	Sonda e colhedores mecânicos ("Auger methods")	Colheita de amostras volumétricas de "solo e raiz"	Comprimento e peso de raízes (densidade radical)	Herbáceas; Arbustivas; Arbóreas
Raizame fino	Mangas de rede ("Mesh bag method")	Colheita de amostras de "solo e raiz"	Dinâmica do crescimento radical; comprimento, diâmetro e peso das raízes	Herbáceas (1); Florestais (2)
Funcionamento das raízes	Elemento marcado ("Trace element method")	Injecção de substâncias radioactivas no solo ou na planta	Intensidade da actividade radical; profundidade de enraizamento	Herbáceas; Arbustivas; Arbóreas; Florestais
	Taxa de extracção de água no solo ("Soil-water depletion method")	Estudo da variação do teor de água em diferentes camadas do perfil do solo	Intensidade da actividade radical (estimativa da densidade radical); profundidade de enraizamento	Herbáceas; Arbustivas; Arbóreas; Florestais

Raiz estrutural - $\phi > 5\text{mm}$

Raiz intermédia - $1\text{mm} < \phi < 5\text{mm}$

Raiz fina - $\phi < 1\text{mm}$

(1) STEEN (1985)

(2) PERSSON (1983) e FABIXO (1986)

Adaptado de PORTAS (1970), BÖHM (1979), KÖPKE (1981) e TROUGHTON (1981b)

Demonstra-se que embora as características radicais, ainda que medidas num mesmo ensaio e camada do solo, apresentem valores absolutos diferentes, quando expressas em termos percentuais e relacionadas com o total das raízes contidas no perfil, conduzem geralmente a resultados aproximados (BÖHM et al., 1977).

Nesta revisão optou-se por caracterizar apenas as grandezas radicais usadas no apuramento dos dados experimentais deste trabalho.

2.3.2.1- Comprimento radical

O comprimento das raízes é uma característica que tem vindo a ser cada vez mais usada na descrição quantitativa dos sistemas radicais. Para além de ser reconhecida como a que mais facilmente é interpretada da componente fisiológica das raízes, a sua determinação é facilitada por uma série de instrumentos e métodos surgidos recentemente.

A medição directa do comprimento das raízes é relativamente simples mas extremamente trabalhosa, especialmente em amostras com grande quantidade de raízes. NEWMAN (1966) desenvolveu um método de estimativa do comprimento, denominado método de intersecção, que se baseia na estreita correlação positiva existente entre o comprimento real das raízes e o número de intersecções que estas fazem, numa distribuição ao acaso, com linhas rectas de determinado

comprimento. Posteriormente este método foi modificado e melhorado por diferentes investigadores (TORSSELL et al., 1968; EVANS, 1970; MARSH, 1971 e TENNANT, 1975). O método e a fórmula preconizadas por TENNANT, utilizados neste trabalho, são descritos em 3.1.4.2.

A automatização do processo de contagem do número de intersecções permitiu não só reduzir o tempo gasto na sua avaliação, como também eliminar uma das maiores fontes de erro deste método: a fadiga do operador. Entre os métodos automáticos referem-se os desenvolvidos por ROWSE e PHILLIPS (1974), VOORHEES et al. (1980) WILHELM et al. (1983) e BARNETT et al. (1987). Este último emprega um medidor de área e comprimento, associado a uma câmara video.

O comprimento radical é normalmente expresso ou em comprimento de raiz por unidade de volume de solo (cm cm^{-3}) - habitualmente designado por densidade radical ou, com mais rigor, por comprimento volúmico⁽¹⁾ - ou em comprimento de raiz por unidade da área superficial de solo que diz respeito ao volume de expansão radical (cm cm^{-2}). O comprimento específico das raízes, definido como o comprimento de raiz por unidade do seu peso seco, é uma característica que permite avaliar da maior ou menor finura do sistema radical (FITTER, 1976; WILHELM et al., 1982; PORTAS, 1984).

(1) Para facilidade de leitura e de relacionamento com os dados referidos na bibliografia, continua a utilizar-se a designação de densidade radical.

Embora comece a generalizar-se o seu uso em estudos eco-morfológicos dos sistemas radicais, a densidade radical é mais utilizada em trabalhos que visem a caracterização das raízes em termos de absorção de água e nutrientes.

Os modelos que traduzem a capacidade de absorção das raízes partem normalmente do princípio de que a taxa de absorção é proporcional à densidade radical, desde as que outras condições sejam semelhantes. Destes são exemplo os modelos desenvolvidos por TAYLOR e KLEPPER (1973, 1975 e 1978) e por HERKELRATH *et al.* (1977) que permitem avaliar a absorção de água pelo sistema radical, repartida por diferentes camadas do solo. O modelo apresentado por HOOGENBOOM e HUCK (1986) representa a simulação dinâmica do crescimento radical, absorção de água e repartição da biomassa num sistema solo-planta-atmosfera.

Em igualdade de condições de crescimento, as monocotiledóneas têm maiores densidades radicais do que as dicotiledóneas (TAYLOR, 1980). A densidade radical é uma grandeza que varia não só entre espécies como também com a profundidade do solo, diminuindo a uma taxa que pode ser exponencial (GERWITZ e PAGE, 1974). Quaisquer alterações nas características físicas, químicas ou biológicas do solo podem levar a distorções da variação esperada.

TAYLOR e TERRELL (1982) apresentam, para uma grande variedade de plantas, valores do comprimento de raiz por unidade de superfície do solo, compilados de trabalhos de

vários autores e que constituem informação de base para a determinação das taxas de absorção de água ou de nutrientes pelas plantas. Os mesmos autores chamam no entanto a atenção para o facto de as raízes velhas serem muito menos efectivas na absorção que as novas, o que deve ser tomado em conta quando se comparam plantas com iguais densidades radicais.

2.3.2.2- Peso radical

O peso radical é o peso total das raízes contidas numa determinada zona do perfil do solo, como sejam uma camada ou horizonte. Expresso por norma em termos de peso seco, em certos casos de estudos sobre nemátodos e fungos em raízes, pode ser apresentado como peso fresco, ou seja, o peso das raízes no seu estado natural de hidratação e após retirar a água que as possa envolver.

A determinação do peso seco faz-se nas raízes separadas do solo e posteriormente lavadas e sujeitas a secagem em estufa a temperaturas de 60 - 75°C durante 24 a 48 horas, consoante a quantidade de raízes contidas na amostra.

Com a finalidade de eliminar os erros resultantes de partículas de solo que possam ter ficado aderentes às raízes, alguns autores propõem a sujeição destas a temperaturas da ordem de 650°C, em mufla (B&H, 1979). As cinzas resultantes

deste processo podem ainda ser tratadas com ácido clorídrico, filtradas por decantação, secas a 105°C e pesadas. O tratamento com ácido clorídrico visa dissolver os constituintes minerais das raízes, fazendo com que o peso das cinzas diga apenas respeito às partículas de solo presentes na amostra inicial. Assim, a diferença entre o peso seco das raízes, incluindo as partículas de solo que possam estar aderentes, e o peso das cinzas residuais representa a matéria orgânica das raízes ("ash-free organic root matter").

Esta prática de redução das raízes a cinzas é omitida em muitos trabalhos, principalmente em métodos de rotina envolvendo grande número de amostras. Com efeito, em raízes bem limpas, a quantidade de impurezas que lhes ficam aderentes pode ser bastante reduzida, não excedendo em média os 4% (SCHUURMAN e GOEDEWAAGEN, 1971).

Em ensaios estabelecidos em condições simuladas, em caixas ou vasos por exemplo, em que é possível isolar uma planta e destacar todo o seu sistema radical, este é normalmente quantificado em termos de peso total de raízes por planta. Na maior parte dos casos, principalmente nos ensaios de campo e desde que o método de estudo assim o permita, o peso radical é relacionado ou com o volume do solo em que as raízes estão contidas - neste caso normalmente expresso em mg cm^{-3} - ou com a área superficial de solo que diz respeito ao volume de expansão radical-sendo então apresentado em mg cm^{-2} ou g m^{-2} .

Embora tenha sido a característica mais vulgarmente

usada na interpretação das respostas dos sistemas radicais a diferentes condicionalismos ambientais, em parte por ser das menos morosas a obter, não é geralmente correcta a sua utilização para efeitos de caracterizar a capacidade de absorção das raízes presentes no solo. O conceito de que o peso radical está directamente relacionado com a actividade das raízes não é válido (BÖHM, 1979) porque as raízes finas, que constituem a parte mais activa do sistema radical, representam em termos de peso apenas uma pequena fracção da massa total de raízes. Assim, um valor elevado do peso total de raízes contidas numa determinada camada ou horizonte do solo pode não significar um bom nível de absorção de água e de nutrientes nessa camada.

Os perfis de absorção radical determinados com base no peso das raízes dão a ideia de que a capacidade absorvente é sempre máxima na zona superior do perfil o que nem sempre acontece. Com efeito, desde que se verifique qualquer condicionalismo hídrico adverso nas camadas superficiais do solo, as raízes finas e os pêlos radicais morrem rapidamente, reduzindo muito a superfície radical, qualquer que seja o valor do peso das raízes presentes (PORTAS, 1970).

O peso radical é no entanto uma característica fundamental para analisar o armazenamento dos fotossintetizados na planta. A relação entre os pesos da parte aérea e da parte radical é uma medida da repartição dos produtos elaborados pela fotossíntese entre a parte aérea e as

raízes da planta a que se faz referência mais adiante (2.4.1).

A determinação dos pesos secos referentes à biomassa radical é particularmente usada em estudos sobre ecossistemas florestais. Também em estudos sobre o contributo das raízes para o teor de húmus no solo é o peso radical que se utiliza (BÖHM, 1979).

2.3.2.3- Número de nódulos

Os nódulos radiculares - formados a partir de uma ligação simbiótica entre bactérias capazes de fixar azoto (Rhizobium) e as raízes das leguminosas e de algumas plantas não leguminosas - são tradicionalmente estudados na área científica da Microbiologia. Ao ecologista ligado a estudos sobre raízes interessa geralmente o número de nódulos (BOHM, 1979).

Não sendo considerado como uma verdadeira característica radical- BÖHM (1979) antes o incluiu como método de estudo de raízes - o número de nódulos presentes por planta ou por unidades de peso ou de comprimento de raiz é um factor que pode contribuir para a caracterização da resposta da planta a condicionalismos externos. Porém, a variação estacional do número de nódulos verifica-se em várias espécies, nomeadamente em plantas perenes para as quais o tempo de vida dos nódulos é curto, renovando-se de uma estação para as outras (YOUNG, 1958).

De uma maneira geral, a formação de nódulos em plantas

cujo sistema radical está em crescimento contínuo, por exemplo a luzerna (MUNNS,1968) e o trevo subterrâneo (DAY,1972), parece acompanhar a formação de novas raízes. Deste modo factores que afectem o crescimento radical vão também limitar o número de nódulos formados.

Embora as plantas possam compensar o baixo número de nódulos formados aumentando o tamanho destes (NUTMAN, 1967), em condições ambientais adversas são as plantas com maior número de nódulos que parecem manter-se melhor (DART, 1975).

A remoção de tecido fotossintético nas leguminosas forrageiras, através do corte ou do pastoreio, leva a que os hidratos de carbono de reserva sejam repartidos entre o posterior desenvolvimento vegetativo da planta e os nódulos. Um decréscimo no número de nódulos, após remoção da parte aérea, é referido para várias espécies forrageiras, por BUTLER et al. (1959), WHITEMAN (1970), CHU e ROBERTSON (1974) e CRALLE e HEICHEL (1981).

O potencial hídrico do solo é um dos factores ambientais que mais condicionam a formação e actividade dos nódulos nas leguminosas. Tal facto tem sido atribuído a efeitos directos na morfologia e fisiologia dos nódulos (ENGIN e SPRENT, 1973), a efeitos indirectos nas taxas fotossintética e respiratória do hospedeiro (MINCHIN e PATE, 1975 e HUANG et al. 1975) ou ainda à interacção dos efeitos directos e indirectos (SPRENT, 1976).

A acção do "stress" hídrico do solo sobre os nódulos manifesta-se de uma forma mais marcada pela redução da

actividade da sua nitrogenase do que pelo decréscimo do número ou peso seco dos nódulos. Com efeito, a desidratação temporária sofrida pelos nódulos é ultrapassada logo que o solo é rehumedecido e, embora a sua actividade meristemática seja rapidamente reiniciada, verifica-se um decréscimo significativo nos níveis de azoto na planta (DE JONG e PHILLIPS, 1982; CARTER e SHEAFFER, 1983; JOHNSON e RAGUSE, 1985).

A acção de outros factores ambientais sobre a nodulação tem sido também fundamentalmente analisada em termos de fixação de azoto.

A temperatura do solo afecta a eficiência dos nódulos (SPRENT, 1979) o que é demonstrado pelos trabalhos de GIBSON (1969) e PANKHURST e GIBSON (1973) em vários trevos.

O efeito do pH, relacionado com os teores de cálcio, molibdénio, alumínio e manganês no solo, manifesta-se pela sua influência sobre o Rhizobium e/ou a nodulação. SPRENT (1979) refere que, para pH em água abaixo de 4,7, o número de nódulos formados na luzerna apresenta um decréscimo significativo.

Dos nutrientes do solo são fundamentalmente o azoto e o fósforo os que têm uma acção mais directa, embora manifestando-se em sentidos opostos, sobre os nódulos e sua fisiologia. Uma redução da actividade e/ou um aumento de senescência dos nódulos podem resultar quer de altos níveis de azoto quer de uma deficiência de fósforo no solo (MUNNS, 1977; SPRENT, 1979). Os efeitos dos outros elementos são em geral menos evidentes.

Por último, a nodulação está estreitamente dependente

da presença no solo de estirpes de bactérias compatíveis ou adequadas à cultura que nele é instalada. Estas bactérias para além de dependerem de factores do solo como temperatura, humidade, pH, teor em nutrientes, etc., encontram-se permanentemente em competição com outros microorganismos do solo.

2.4- Comportamento da parte aérea das plantas nas suas relações com o sistema radical

2.4.1- Relação entre os pesos secos das partes aérea e radical

O parâmetro normalmente usado para avaliar a distribuição de peso seco entre os órgãos aéreos e subterrâneos das plantas é a relação Parte aérea/Parte radical (Pa/Pr), algumas vezes apresentada na forma inversa (Pr/Pa). Considerada como uma característica útil em estudos eco-morfológicos de raízes, não é no entanto suficiente para a avaliação da eficiência com que o sistema radical contribui para o crescimento da planta (BOHM, 1979).

A relação constante que, dentro de certos limites, a planta mantém entre as actividades da parte aérea e do sistema radical foi referida para certas espécies (PEARSALL, 1927; WAREING, 1950) como uma relação alométrica entre os pesos secos da parte aérea e das raízes e como tal definida por uma linha recta.

Alterações na relação Pa/Pr têm sido interpretadas (TROUGHTON, 1960) como tendo origem nas variações das quantidades relativas de metabolitos resultantes das actividades dos dois sistemas, nomeadamente da absorção de água e nutrientes pelas raízes e da produção de hidratos de carbono pela parte aérea. No entanto, as substâncias reguladoras de crescimento e certas espécies de aminoácidos, fornecidos pelas raízes à parte aérea, e as vitaminas, produzidas nesta última, são outro tipo de metabolitos que podem também estar envolvidos na regulação do balanço da relação Pa/Pr (WAREING e PATRICK, 1975). Os resultados de uma série de trabalhos experimentais indicam que a relação entre o crescimento das partes aérea e radical está correlacionada com a composição química dos tecidos da planta (TROUGHTON, 1977).

Um maior crescimento da parte radical em relação à parte aérea poderá, em princípio, parecer prejudicial por levar à dissipação de metabolitos que poderiam ser usados para aumentar a área fotossintética (BROWN e SCOTT, 1984). No entanto, em meios heterogéneos como o solo, em que a variação das condições ambientais tanto no tempo como entre diferentes camadas ou horizontes é considerável, a produtividade das plantas pode depender largamente do desenvolvimento de um sistema radical que lhes permita suportar os períodos adversos (RUSSELL, 1977). Em espécies perenes e em condições áridas, BARBOUR (1973) encontrou valores de Pr/Pa raramente inferiores a 1.



Numa série de espécies forrageiras, estudadas por OZANNE et al. (1965), as gramíneas apresentaram valores da relação Pr/Pa indiscutivelmente superiores aos das leguminosas. Para uma determinada espécie e em certas condições ambientais, a relação Pr/Pa tende a ser bastante estável e quando é alterada, por exemplo pela remoção parcial da sua parte aérea, a repartição dos assimilados no período seguinte é canalizada para a formação de tecido foliar, à custa do crescimento radical, de modo a restaurar o balanço inicial (WAREING, 1970).

O efeito depressivo do corte, em culturas forrageiras perenes em regime de exploração intensivo, parece ser tanto maior quanto maior é aquela relação (TROUGHTON, 1963). Cortes mais frequentes levam também a uma redução da massa de raízes produzida entre eles, como foi verificado para alguns tipos de azevém por ENNIK e HOFMAN (1983).

Em duas cultivares de luzerna, a Moapa e a Vernal, PEARSON e HUNT (1972) verificaram que a relação Pr/Pa aumentava segundo uma curva assintótica, em função do tempo e a partir da emergência. Nos ciclos de rebentação seguintes, atingia o seu valor máximo imediatamente após o corte declinando em seguida, em resultado da renovação da parte aérea e de um decréscimo no peso das raízes durante os primeiros dias após colheita.

Em gramíneas perenes, a proporção de raízes jovens, das quais, depende a maior parte da capacidade da planta para absorver e translocar o cálcio, é um factor que pode contribuir para alterar a relação entre o crescimento da parte aérea e da

parte radical (TROUGHTON, 1981c).

Para além do estado de desenvolvimento da planta, a relação Pr/Pa depende também das condições ambientais (BROUWER, 1962a, 1966; BROUWER e DE WIT, 1969).

Níveis altos de azoto estimulam o crescimento da parte aérea em detrimento do crescimento radical, o mesmo acontecendo para níveis baixos da intensidade luminosa.

MOUAT (1983) refere que os teores atingidos no solo por nutrientes como o azoto e o fósforo são responsáveis por alterações na relação entre os pesos das partes radical e aérea de várias plantas entre as quais o trevo branco.

Variações da relação Pr/Pa com a temperatura do solo, respectivamente em gramíneas e trevos, são referidas por DAVIDSON (1969a, 1969b).

Em suma, a interdependência das partes aérea e radical da planta e a sensibilidade da relação entre elas existente às condições ambientais justificam plenamente a importância de considerar a planta como um todo, quando se estuda o comportamento das raízes. Foi o que se pretendeu fazer neste trabalho.

2.4.2- Área foliar

A área foliar é uma das características usadas na análise do crescimento das plantas.

O índice de área foliar (I.A.F.) - a área foliar por unidade de superfície do solo - é um factor que tem uma acção directa na produção vegetal, ao condicionar a quantidade de radiação solar que é interceptada pela planta.

A taxa de aumento de matéria seca por unidade de área foliar traduz o balanço entre a taxa fotossintética e a taxa de matéria seca gasta na respiração, sendo designada por taxa de assimilação líquida. Esta forma de avaliação quantitativa do crescimento tem sido referida como técnica de análise do crescimento e usada em diversas culturas (KOLLER *et al.*, 1970).

No caso das culturas forrageiras, a taxa a que se verifica a recuperação e o crescimento, após corte ou pastoreio, está associada aos valores do I.A.F. . A quantidade de folha deixada deve ser suficiente para interceptar a luz e assegurar um crescimento rápido. Com efeito, em prados ou pastagens constituídos por espécies diferentes consociadas, a competição pela luz é um factor importante (SMITH e NELSON, 1985).

São vários os trabalhos que relacionam a altura, relativamente à superfície do solo, e a duração do corte e do pastoreio com a produção, persistência e taxa de recuperação do crescimento de várias espécies forrageiras (BROUGHAM, 1957; BINNIE e HARRINGTON, 1972; OLLERENSHAW e HODGSON, 1977; CONSTABLE *et al.*, 1977; JONES, 1983 e ZARROUGH *et al.*, 1983).

Mais relevante do que a relação entre as biomassas das partes aérea e radical é a relação entre a superfície radical e a área foliar fotossinteticamente activa na planta (KUMMEROW,

1980).

A área foliar que fica após corte ou pastoreio, influencia também a taxa de crescimento, a densidade e a profundidade das raízes de várias espécies forrageiras como é demonstrado por BAKER e GARWOOD (1959), EVANS (1973a, 1973b) e HODGKINSON e BAAS BECKING (1977).

Esta acção manifesta-se no entanto com uma intensidade diferente consoante as espécies o que segundo MONTEITH (1969) e EVANS (1973a) está relacionado com o aspecto morfológico da disposição das folhas na planta. Enquanto que nos trevos, por exemplo, as folhas se dispõem horizontalmente tendendo à formação de uma canópia que é suprimida aquando do pastoreio ou do corte, nas gramíneas as folhas, para além de estreitas e longas, dispõem-se quase que verticalmente o que leva a que nestas últimas fique sempre na planta uma parte da lâmina foliar, qualquer que seja a altura do corte.

A nodulação e actividade dos nódulos das leguminosas forrageiras tem sido também estudada nas suas relações com a desfoliação da parte aérea, como já foi referido anteriormente (2.3.2.3).

2.5- Eficiência do uso da água pelas plantas

Em condições em que a planta não é capaz de absorver água do solo em quantidade suficiente para transpirar à taxa

potencial, a produção ou a acumulação total de biomassa são reduzidas.

Para várias gramíneas e leguminosas forrageiras são referidos acréscimos de produção em resultado do aumento da quantidade de água posta à disposição das plantas (FINN et al., 1961; FOLLETT et al., 1974; BAUDER et al., 1978; HORST e NELSON, 1979; NORRIS, 1982; CARTER e SHEAFFER, 1983 e JODARI-KARIMI et al., 1983).

Esta resposta à água utilizada é explicada por LEAFE et al. (1980) como resultante do aumento da área foliar e consequentemente da fotossíntese. Também TEARE (1977) refere que qualquer factor que aumente a evapotranspiração ou reduza a fotossíntese leva a um decréscimo da eficiência com que as plantas usam a água.

A quantidade de água necessária para produzir uma unidade de matéria seca, durante anos referida como necessidade em água ("water requirement") (BRIGGS e SHANTZ, 1914), é actualmente designada por eficiência do uso da água ("water use efficiency"). Os fisiologistas referem-na em termos de fotossíntese, expressa em miligramas ou moles de CO₂ por grama ou mole de água (FISHER e TURNER, 1978). Os fitotecnistas avaliam a eficiência com que as plantas usam a água em termos de quantidade de matéria seca produzida por unidade de água usada (PENDLETON, 1966; VIETS, 1966 e TEARE et al., 1973). A produção pode dizer respeito quer a grão ou semente, quer à matéria seca da parte aérea da planta, quer ao total da biomassa produzida pela planta, incluindo raízes. A eficiência

com que as plantas usam a água pode ainda ser expressa em termos qualitativos (teor de vitaminas, por exemplo).

Outra questão relacionada com a determinação desta eficiência diz respeito à água que deve ser contabilizada como de uso pela planta: se apenas a transpirada pela planta ou se o total de água perdida por evaporação e transpiração (ET). O uso da ET, considerado por alguns autores como conduzindo a valores menos precisos pelo facto de a evaporação estar dependente da cobertura foliar e da frequência de humedecimento do solo (TANNER, 1981), é referido por KRAMER (1983) como o que, em termos agrícolas, conduz a valores mais reais. Para além disso, na maior parte das culturas, desde que não surjam situações que levem à redução da área foliar e conseqüentemente da cobertura do solo - como doenças, deficiências em nutrientes e água, etc. - a fracção da ET que corresponde à evaporação é baixa como é referido por HANKS (1983) para a luzerna.

PIERRE *et al.* (1966) e TAYLOR *et al.* (1983) fazem uma revisão profunda dos trabalhos desenvolvidos por vários autores sobre a eficiência com que as plantas usam a água, factores de que depende e estratégias a desenvolver visando a sua maximização.

A quantificação da relação água usada / produção tem sido considerada importante não só para a gestão correcta da água da rega, como também para a caracterização económica dos diferentes métodos de rega. No entanto e tal como salienta HANKS (1983), dada a complexidade das interacções existentes

entre solo, clima, cultura e rega, não é possível responder de uma forma directa e simplista a essas questões. A influência da aplicação de uma determinada quantidade de água na produção de uma cultura será diferente consoante os locais, os anos e, dentro de cada ano, as estações.

A variação estacional de factores como a temperatura, a humidade e a quantidade de água disponível no solo é determinante da eficiência com que as culturas usam a água. STEWART e HAGAN (1969) referem que para a luzerna aquela eficiência é alta na Primavera, média no Verão e baixa no Outono. DRAIGGER et al. (1970) concluem também que a luzerna usa a água da rega mais eficientemente durante os períodos frescos.

De um modo geral as plantas diferem entre si no que diz respeito à eficiência do uso da água. Num ensaio de campo com sorgo e soja, TEARE et al. (1973) verificaram que as plantas C₄ eram cerca de 2,5 a 3 vezes mais eficientes do que as C₃. Variadas experiências com luzerna demonstram que a sua eficiência é inferior à de culturas como o milho ou o sorgo que fotossintetizam segundo o ciclo C₄ (HEICHEL, 1983). Esta menor eficiência das plantas C₃ em relação às C₄ tem sido atribuída a diferenças de resistências a nível do mesófilo e dos estomas das folhas.

O estágio de desenvolvimento das plantas, do qual depende a estrutura da sua canópia, nomeadamente a sua área foliar, é também um factor que condiciona a eficiência do uso da água. RITCHIE e BURNETT (1971) referem que o índice de área

foliar mínimo a partir do qual a transpiração actual se aproxima da sua taxa potencial é, em solos com adequado humedecimento e para culturas em linha, como o sorgo e o algodão, de aproximadamente 3.

Diferentes regimes hídricos têm também mostrado influenciar a eficiência do uso da água pelas plantas. Os resultados obtidos por JOY e DOBRENZ (1971), JOY et al. (1972), DELANEY et al. (1978) e METOCHIS e ORPHANON (1981) mostram que a luzerna usa a água com maior eficiência em regimes hídricos baixos, nomeadamente quando a rega é suspensa no Verão. Em contrapartida, na Austrália, durante o Verão, SNAYDON (1972) observou, também para a luzerna, uma eficiência do uso da água baixa.

Já JONHS e LAZENBY (1973) num estudo comparativo com várias espécies forrageiras concluem que em sequeiro o trevo branco, embora usando a mesma quantidade de água, produz menos do que as gramíneas, passando-se o inverso quando as culturas são regadas. As gramíneas usaram a água com idêntica eficiência em qualquer dos regimes.

Comparando a luzerna e a festuca alta em condições de sequeiro, COHEN e STRICKLING (1968) concluíram que ambas usavam a mesma quantidade de água para a produção de uma unidade de matéria seca, considerando-as culturas de elevada eficiência.

GARWOOD e TYSON (1973, 1975) e GARWOOD et al. (1979) determinaram a eficiência com que várias gramíneas usaram a água, quando sujeitas a diferentes regimes de rega.

O historial hídrico da planta é um factor que também

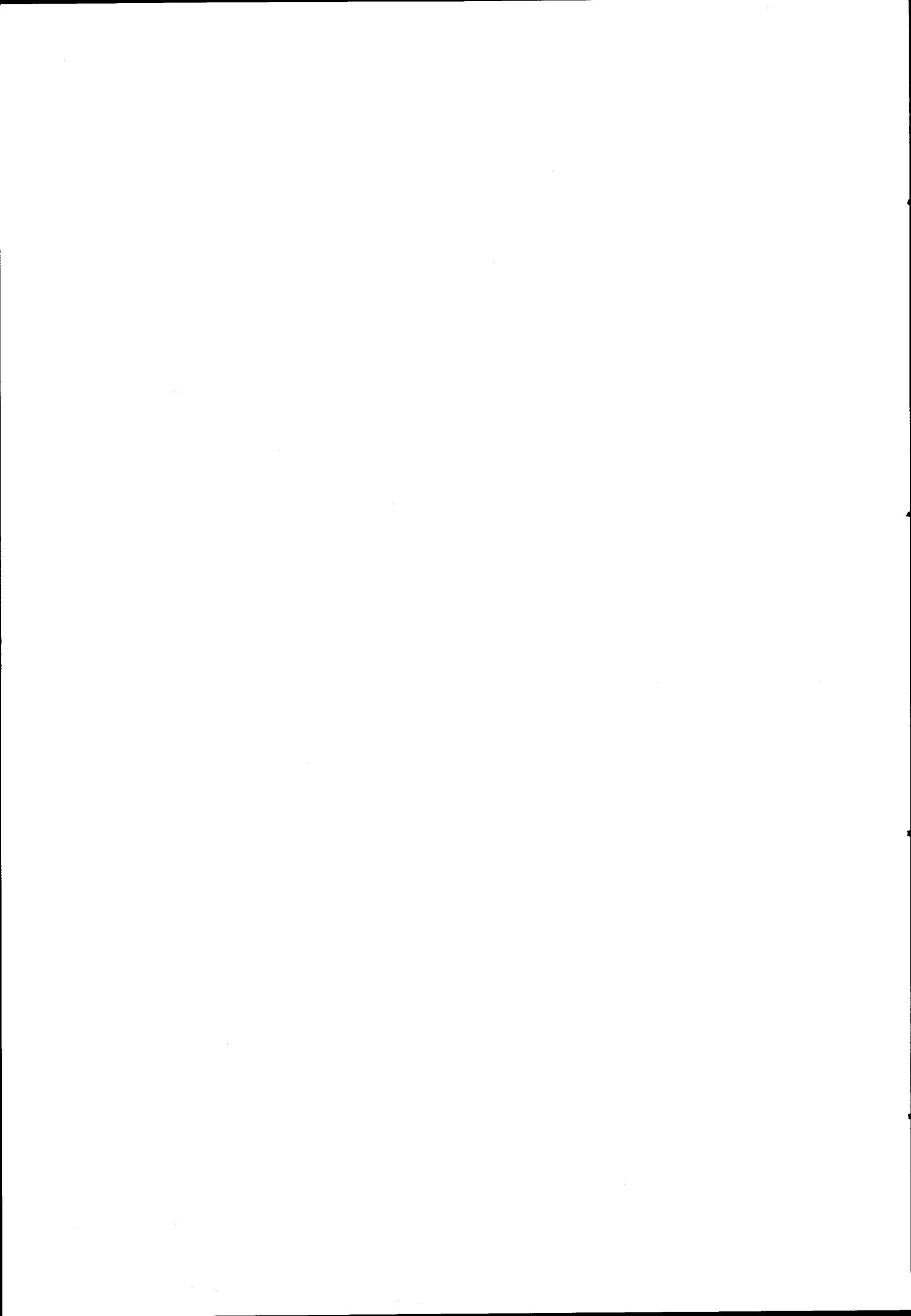
parece condicionar a sua capacidade para posteriormente usar a água ao seu dispor. Em plantas anteriormente sujeitas a déficit hídrico, a eficiência do uso da água nos períodos seguintes é menor (CLEMENS e JONES, 1978; KING e BUSH, 1985), o que pode ser explicado em parte pela conseqüente redução da massa radical verificada durante a deficiência de água.

Esta diferença entre plantas, no que diz respeito à quantidade de água à qual manifestam uma eficiência máxima, está relacionada com a forma de distribuição dos assimilados entre as partes radical e aérea da planta (WALKER e RICHARDS, 1985). Uma relação Pr/Pa baixa pode afectar a absorção de água e nutrientes pela planta e conduzir a produções baixas (FAIRBOURN, 1982). De igual modo interfere a profundidade de enraizamento ao condicionar a reserva hídrica do solo a que as plantas têm acesso.

A relação entre a produção e a ET é na maioria dos trabalhos definida por funções lineares, especialmente quando a produção é avaliada em termos de matéria seca (TOVEY, 1963; DAIGGER et al., 1970; BAUDER et al., 1978; SAMMIS, 1981; DONOVAN E MEEK, 1983; WALKER e RICHARDS, 1985).

Uma série de modelos simbólicos, desenvolvidos a partir de dados experimentais, para a previsão da produção em função da quantidade de água usada pelas plantas, são discutidos por FEDDES (1981) e HANKS (1983). A utilização destes modelos é, tal como a de outros já referidos, ainda encarada com certa reserva dada a extrema dependência que, do ponto de vista

económico, as relações produção-água usada têm de factores tão complexos como local, ano, cultura e variedade (KANEMASU, 1983). É considerada absolutamente essencial a obtenção de mais dados experimentais, principalmente obtidos em condições de campo e abarcando uma grande gama de condições, para uma maior validade da representação por modelos.



3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Caracterização geral da Herdade da Mitra

3.1.1- Clima

A Herdade da Mitra, local onde foi instalado o ensaio, está situada a cerca de 10 Km a Oés-Sudoeste da cidade de Évora, dispondo de um posto meteorológico ao qual se referem os dados utilizados na sua caracterização climática para o período de 1931-60 (AGUIAR e GRILO, p/ publicação).

Devido ao facto de não estarem ainda publicados os dados referentes ao trinténio 1941-70, considerou-se útil efectuar o balanço hídrico para este período para o que se utilizou o método de THORNTHWAITE-MATHER (Fig. 1). Segundo este método, o clima é classificado como sub-húmido chuvoso,

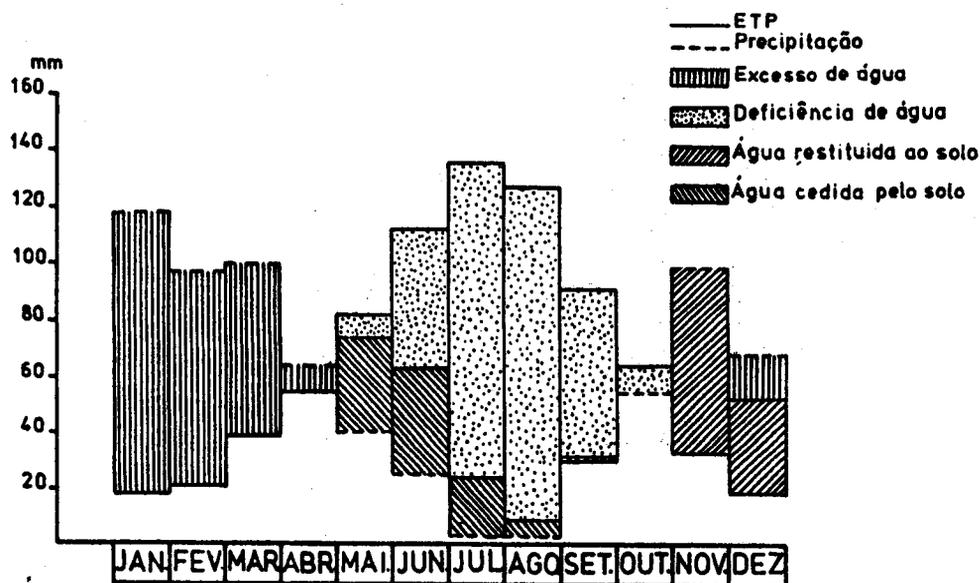


Fig.1 - Balanço hídrico da Herdade da Mitra (Fórmula de THORNTHWAITE - MATHER). Período 1941 a 1970. Classificação climática: C₂ B₂ s₂ a₁.

mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão e pequena concentração estival da eficiência térmica. Segundo KÖPPEN é um clima mesotérmico húmido com estação seca no Verão (Csa).

3.1.2- Solo

A Herdade da Mitra, enquadrada na peneplanície alentejana e confinando com uma zona de relevos fortes, assenta quase que na totalidade da sua área, cerca de 72%, em rochas de granodioritos surgindo depois, com menor expressão, os quartzodioritos, os gneisses, as corneanas, os anfibolitos, os depósitos de superfície e os aluviões (AGUIAR e GRILLO, p/publicação).

A mancha de solos na qual o ensaio se situa está representada na carta de solos de Portugal (S.R.O.A., 1974), com o símbolo Ca correspondente a uma família do sub-grupo dos Para-aluviossolos ou Para-coluviossolos de textura mediana. Estes solos, incluídos na ordem dos Solos Hidromórficos e pertencentes à sub-ordem caracterizada pela ausência de horizonte eluvial, são respectivamente referenciados como "Sols Alluviaux à Gley", "Haplaquents ou Psamaquents" e "Gleyic Fluvisols" respectivamente nas denominadas classificações francesa, norte-americana e da F.A.O. .

Como características principais destes solos apontam-se a existência de uma toalha freática oscilante e a consequente

sujeição a encharcamento temporário ou permanente que provoca intensos fenômenos de redução, em todo ou em parte do seu perfil, típicos dos processos de gleização.

Na carta de solos da Herdade da Mitra, a unidade-solo em questão corresponde à série 912 que abrange 21,3 ha, cerca de 8% da área total da herdade. É uma zona caracterizada por um relevo ondulado suave que, sobretudo em zonas de baixa, como é o caso do local do ensaio, apresenta os problemas decorrentes de condições de drenagem externa deficiente e interna lenta.

Pela análise morfológica desta série, feita pelos seus classificadores, verifica-se que são solos evoluídos, de perfil ABC, com horizonte superficial Ap que se estende até aos 10-40cm de profundidade, ao qual se seguem os horizontes Bg até aos 40-65 cm e Cg até aos 65-105 cm de profundidade. Na base deste último horizonte é assinalada uma descontinuidade litológica a que se segue rocha granitóide muito alterada. É notória a existência, a nível de todos os horizontes, de manchas ferruginosas resultantes da oscilação da toalha freática com as estações.

3.1.3- Vegetação

Na caracterização da série 912, em relação à vegetação natural que nela ainda pode ser detectada, é de assinalar a existência de um coberto arbóreo pouco denso de azinheiras e

oliveiras, predominante na zona hoje ocupada com uma rotação-tipo em estudo na Universidade que inclui dois anos de pastagem, a que se seguem um de trigo, dois de forragem e outro de trigo.

As áreas de instalação do ensaio e limítrofes têm um coberto vegetal semelhante ao anterior mas menos denso, tendo vindo a ser utilizadas para culturas de regadio, fundamentalmente o milho e o sorgo forrageiro em rotação com uma consociação de aveia e centeio, para corte no fim do Inverno.

3.2- Espécies estudadas

As espécies que serviram de base a este trabalho foram seleccionadas entre as de maior representatividade, como forrageiras ou pratenses do regadio e do sequeiro da Região-Alentejo, procurando-se abranger um grupo mais ou menos diversificado de espécies, o que levou à escolha de algumas que de acordo com as suas características, como é o caso da luzerna, não eram à partida recomendadas para as condições a que iriam ser sujeitas.

3.2.1- Gramíneas

O azevém italiano, Lolium multiflorum Lam. cv. Tiara,

de origem holandesa e a festuca alta, Festuca arundinacea Schreb. cv. Manade, de origem francesa, foram as duas gramíneas seleccionadas.

O azevém italiano ou erva castelhana (VASCONCELOS, 1962) possui uma grande diversidade de cultivares, algumas anuais (tipo alternativo ou "westerwold") e outras bienais (tipo não alternativo). Nas nossas condições de sequeiro, o Verão quente e seco impõe o cultivo anual, podendo em regadio e através do recurso a cultivares não alternativas ser a cultura explorada em dois anos sucessivos (MOREIRA, 1980).

É considerada a gramínea por excelência de prados de curta duração, quer em estreme quer associada a outras forragens. Destas salientam-se o trevo violeta, em mistura para corte, e o trevo branco, o panasco e a festuca alta, em prados de longa duração, explorados em regime misto de corte e pastoreio rotacional (CRESPO, 1975a; PARDO e GARCIA, 1984).

O azevém italiano é uma espécie que se desenvolve fundamentalmente no Inverno e Primavera. Com um óptimo de temperatura para o crescimento cerca dos 18-20°C, o seu potencial produtivo é afectado pelas altas temperaturas estivais, a que se segue uma rebentação fraca no Outono. As suas dificuldades de adaptação e de persistência são factores que limitam a sua utilização em prados artificiais, embora seja reconhecida como uma forragem de óptima qualidade (RIEWE e MONDART Jr. 1985).

A festuca alta é uma planta perene sendo a espécie

pratense mais utilizada em toda a Península Ibérica onde é a principal gramínea das pastagens de regadio (PARDO e GARCIA, 1984). Embora possa ser explorada como estreme, ela é mais frequentemente incluída em misturas destinadas a pastagens permanentes de longa duração. A sua associação a outras gramíneas, como o panasco, é comprometida não só por diferenças de ciclo e de crescimento estacional como também pelo facto de, em regime de pastoreio e em estados vegetativos avançados, ser normalmente preterida pelo gado em relação às outras o que leva a um desequilíbrio da pastagem. As leguminosas às quais aparece com mais frequência associada são o trevo branco e a luzerna, sendo o seu aproveitamento feito principalmente em pastoreio rotacional com gado bovino (CRESPO, 1975a; PARDO e GARCIA, 1984).

A cv. Manade é uma variedade europeia precoce, com crescimento mais ou menos uniforme ao longo do ano, com excepção do Inverno em que se verifica uma quebra de produção. No Verão, devido a ter um óptimo térmico para o crescimento superior ao das outras gramíneas, cresce com facilidade mantendo-se activa até ao fim do Outono, início do Inverno. PARDO e GARCIA (1984) referem que o potencial produtivo da festuca alta é normalmente inferior ao do azevém, no primeiro ano, mas a partir do verão ultrapassa-o largamente. A forragem produzida no Verão é no entanto de reduzido valor alimentar, devido à lenhificação das paredes celulares que a altas temperaturas se processa a uma taxa maior (VAN SOEST, 1982).

A grande rusticidade da festuca alta, traduzida pela

sua resistência a condições desfavoráveis de pH e de teor de água no solo e às baixas temperaturas (DUTHIL, 1980; SOLTNER, 1982), justifica a sua inclusão em programas de selecção actualmente desenvolvidos em países como os Estados Unidos da América, Inglaterra, França, Austrália, Espanha, Portugal, etc.. BUCKNER (1985) refere ser a festuca alta uma planta que se desenvolve em tufos, possuindo caules do tipo dos rizomas ou dos estolhos, sendo as festucas rizomatosas particularmente utilizadas em programas de melhoramento genético, dado o facto de os rizomas serem subterrâneos e por conseguinte capazes de suportar melhor os períodos de "stress" (D'UVA et al., 1983).

De uma forma geral, o sistema radical das gramíneas é fasciculado e caracterizado pela grande massa de raízes produzidas, fundamentalmente nas camadas superficiais. As raízes seminais, formadas durante a germinação, têm curta duração constituindo as raízes nodais ou adventícias a base de todo o sistema radical. Da maior ou menor facilidade com que a planta as emite vai depender o estabelecimento das espécies, sendo este mais rápido no azevém italiano do que na festuca alta (RHODES, 1968; BROOK et al., 1982; PARDO e GARCIA, 1984; METCALFE e NELSON, 1985). Em contrapartida e tal como refere BUCKNER (1985), o sistema radical da festuca alta é bastante mais desenvolvido e menos superficial que o do azevém italiano, sendo por isso apontado como melhorador do solo. A sua acção visa fundamentalmente características físicas do solo como a estrutura, a densidade e a susceptibilidade à erosão. ELKINS

et al.(1977) referem o interesse da Festuca arundinacea Schreb., fundamentalmente os genótipos com raízes mais grossas, como antecedente cultural na rotação devido à sua capacidade de penetrarem camadas compactadas.

Tanto o azevém italiano como a festuca alta são espécies de enraizamento anual, (STUCKEY, 1941), isto é, as raízes renovam-se todos os anos, normalmente no início do Outono e mantêm-se activas até ao Verão, altura em que a maior parte das raízes morre. Nos azevéns, para além desta paragem estival, verifica-se um decréscimo da actividade radical durante o Inverno (MOULE, 1971; DUTHIL, 1980; SOLTNER, 1982). A exploração da planta em corte e mais marcadamente sob pastoreio atenua esta oscilação do volume de raízes funcionais ao longo do ano. Do mesmo modo, se for cortada ou pastada num estado relativamente precoce, normalmente no início do encanamento, a emissão de novas raízes processa-se mais cedo do que se a planta completasse o seu ciclo natural, indo assim encontrar o solo em condições hídricas mais favoráveis ao seu crescimento e a uma rebentação vigorosa da parte aérea. Os mesmos autores referem que no entanto a exploração a um ritmo intensivo leva à concentração das raízes funcionais em camadas cada vez mais superficiais, em resultado da existência em profundidade de material orgânico, proveniente das raízes mortas, que se decompõem a uma velocidade mais lenta do que a do crescimento das novas raízes.

3.2.2.- Leguminosas

Dentro das leguminosas seleccionaram-se a luzerna, Medicago sativa L. cv. Moapa e o trevo branco, Trifolium repens L. cv. Ladino, oriundos dos E.U.A. e o trevo subterrâneo, Trifolium subterraneum L. cv. Seaton Park, com origem na Austrália.

Ao contrário das gramíneas, a maioria das leguminosas são plantas de dias longos, menos susceptíveis às altas temperaturas do que aquelas e com o seu período óptimo de crescimento e desenvolvimento durante a Primavera e Verão (SOLTNER, 1982). Uma característica importante das leguminosas é a existência, a nível das raízes, de nódulos resultantes da actividade de bactérias nitrificantes do género Rhizobium que entram na planta através dos pêlos radicais. Este facto leva a que em prados mistos de gramíneas e leguminosas estas, para além de contribuírem para uma melhoria da qualidade da forragem, pelo seu elevado teor em matérias azotadas, cálcio e fósforo, forneçam às gramíneas parte do azoto fixado nos seus nódulos (SOLTNER, 1982).

A luzerna é uma espécie perene normalmente explorada em cultura estreme, para feno ou silagem. A sua associação a gramíneas como o panasco e a festuca alta é habitualmente comprometida pelo seu ritmo de crescimento e de produção, quando convenientemente explorada (CRESPO e ROMANO, 1972).

CRESPO (1975a) refere a importância da luzerna em

prados temporários por ser uma espécie de alto potencial produtivo, excelente valor nutritivo e grande capacidade para melhorar o solo. No que diz respeito à sua qualidade como forragem, PARDO e GARCIA (1984) consideram-na como a cultura que mais proteína produz por hectare tendo os seus aminoácidos essenciais um alto valor na nutrição animal e humana.

O sistema radical da luzerna é em geral caracterizado por uma raiz principal aprumada, capaz de atingir grandes profundidades (WEAVER, 1926; KOHL e KOLAR, 1976; BARNES e SHEAFFER, 1985). O número de raízes secundárias formadas bem como o seu desenvolvimento variam de cultivar para cultivar (SMITH, 1951).

O trevo branco é considerado como a leguminosa perene melhor adaptada em pastagens das zonas temperadas de todo o mundo (PARDO e GARCIA, 1984). É por excelência a leguminosa pratense de regadio nas nossas condições, sendo a sua excepcional adaptação ao pisoteio e às condições de solo um dos factores que a favorecem em relação a outras leguminosas (MOREIRA, 1980). Também CRESPO (1975a) refere que os prados temporários à base de trevo branco, com boa capacidade produtiva e excelente valor nutritivo, têm sobre a luzerna a vantagem de não serem muito exigentes quanto a solos. A cv. Ladino, em particular, é caracterizada, segundo MARTIN *et al.* (1976) pela sua fácil adaptação a solos com deficiente drenagem e com reacção moderadamente ácida.

A sua utilização básica é feita fundamentalmente através do pastoreio, associada a gramíneas perenes como a

festuca alta ou o panasco e por vezes também ao azevém perene, consoante se trate de solos com fraca ou boa drenagem.

O sistema radical do trevo branco é fasciculado e superficial, diferenciando-se do das gramíneas pela sua menor massa. Para além das raízes formadas pela ramificação da raiz primária, a planta dispõe ainda de raízes adventícias emitidas a partir dos nós dos estolhos (CARADUS, 1977; PARDO e GARCIA, 1984; CARLSON et al., 1985). A raiz primária, aprumada, morre normalmente um a dois anos após a plantação (WESTBROOKS e TESAR, 1955), repetindo-se em cada ano o ciclo de aparecimento e de morte das novas e das velhas raízes adventícias, respectivamente. Assim, o trevo branco pode manifestar uma certa resistência a condições de seca, durante o primeiro ou segundo anos de instalação, devido ao facto de a sua raiz primária poder atingir profundidades até 1m, mas posteriormente, com a proliferação das raízes principalmente nas camadas superficiais, essa resistência diminui (METCALFE e NELSON, 1985).

O trevo subterrâneo é uma planta anual que, devido à sua capacidade de ressemear naturalmente, se comporta como perene. Uma vez estabelecido, em regime de sequeiro tem um crescimento mais ou menos vigoroso a partir das primeiras chuvas outonais, completando o seu ciclo, no início do período estival, com o enterramento das infrutescências que vão assegurar a rebentação da planta no ano seguinte (VILLAX, 1963; CRESPO, 1975b).

A sua fácil adaptação a uma certa diversidade de condições ambientais, leva a que seja uma das espécies pratenses anuais mais recomendada para solos que, pelo seu declive, pequena espessura e baixa fertilidade, têm um fraco potencial produtivo para outras culturas (MOSHER, 1976). Por outro lado salienta-se o papel do trevo subterrâneo quer no aumento da fertilidade do solo, quer no desenvolvimento de um bom coberto vegetal, o que permite encara-lo como uma solução prática e económica para o controlo da erosão do solo (MORLEY, 1961).

Explorado em regime de sequeiro, o trevo subterrâneo aparece normalmente incluído em pastagens mistas, semeadas, associado ao trevo encarnado e a uma gramínea, o azevém bastardo ou o panasco (CRESPO, 1975b).

A cv. Seaton Park, pertencente à espécie subterrâneo S (KATZNELSON, 1974) é semi-precoce, com boa persistência e baixo teor de estrogéneos, sendo recomendada para áreas com precipitação anual acima dos 500mm (CRESPO, 1975b; KNIGHT e HOVELAND, 1985).

Quanto ao sistema radical, o trevo subterrâneo apresenta uma raiz principal aprumada e numerosas raízes secundárias, concentradas nos 20 cm superficiais, distinguindo-se do trevo branco pelo facto de os caules, embora também prostrados, não emitirem raízes (VILLAX, 1963; PARDO E GARCIA, 1984).

3.3- Instalação do ensaio

Cada uma das espécies foi instalada estreme em talhões com 15x20 m², área que se considerou suficiente para permitir a casualização das amostras a colher, mantendo uma bordadura de 0,5m não sujeita a observações.

Dado o objectivo principal do ensaio ser o estudo dos sistemas radicais das plantas, procurou-se desde o início controlar o aparecimento das infestantes para evitar que as suas raízes, em muitos casos de difícil distinção das das forrageiras semeadas, fossem contabilizadas como pertencentes a estas. Com esta finalidade, na primeira semana de Agosto e meados de Setembro foram feitas duas lavouras superficiais (15-20cm) antecedidas, cerca de uma semana, de uma rega ($\approx 25\text{mm}$) para provocar a germinação e emergência das infestantes, antes de serem enterradas.

A estas duas lavouras seguiram-se, já próximo da data de sementeira e antes da passagem com um rolo destorroador para uniformizar a superfície do solo, duas escarificações cruzadas que, para além de preparar uma melhor cama para a semente, serviram para enterrar o correctivo (1t ha^{-1} de calcário), aplicado a lanço nos talhões da luzerna, trevo branco e trevo subterrâneo.

Em 7 e 8 de Outubro de 1982, juntamente com a adubação de fundo, foi feita a sementeira com a distribuição manual da semente, em linhas contínuas, distanciadas de 25 e 20 cm,

respectivamente para as gramíneas e leguminosas. A densidade da sementeira foi de 18kg ha⁻¹ para as gramíneas, 25kg ha⁻¹ para a luzerna, 8Kg ha⁻¹ para o trevo branco e 15Kg ha⁻¹ para o trevo subterrâneo. As sementes das leguminosas foram adquiridas já inoculadas e peletizadas não tendo sido possível obter informação sobre as estirpes de Rhizobium utilizadas como inóculo.

O enterramento da semente foi feito também manualmente e de forma a manter uniforme a profundidade de sementeira, que no presente caso foi cerca de 2cm.

Tal como para o cálculo da quantidade de correctivo a aplicar através da calagem, as unidades fertilizantes a fornecer pelas adubações de fundo e de cobertura foram determinadas com base nas necessidades de cada uma das culturas e nos dados da análise química do solo no que diz respeito a pH e teores de matéria orgânica, fósforo e potássio assimiláveis. Duma maneira geral procurou-se que, em termos de nutrientes e sua assimilabilidade, as plantas não fossem sujeitas a condições de carência que pudessem afectar o seu natural crescimento e desenvolvimento. Assim, as quantidades aplicadas na altura da sementeira foram de 80kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂ O₅ e 100kg ha⁻¹ de K₂O para as gramíneas e de 150kg ha⁻¹ de P₂ O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O para as leguminosas.

Em cobertura e após cada corte foram aplicados 40kg ha⁻¹ de N, apenas nos talhões das gramíneas. No início do Outono, a adubação de cobertura foi de 40 kg ha⁻¹ de P₂ O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O para as gramíneas e de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e

40kg ha^{-1} de K₂O às leguminosas.

A rega, concentrada nos períodos críticos do Verão entre Junho e Setembro, teve uma distribuição ligeiramente diferente nos três anos de ensaio, em parte devida às condições meteorológicas verificadas em cada ano e também pelas disponibilidades de água na herdade. O total de água fornecido às culturas regadas, todas menos o trevo subterrâneo, foi de 430, 500 e 520 lm^{-2} respectivamente no primeiro, segundo e terceiro anos de ensaio, com uma dotação média de 20 lm^{-2} por rega.

O aproveitamento das forragens foi feito igualmente para todas através do corte com motogadanhadeira, variando apenas as épocas e a altura de corte. Assim, nas gramíneas os cortes foram feitos próximo do encanamento, sendo as plantas cortadas a 5 - 6cm de altura, com as espigas a 5-15cm acima do nó de afilamento. Os dois trevos foram cortados no início da floração e a luzerna na fase de embotoamento, todos em cortes rentes ao solo.

3.4- Observações efectuadas

3.4.1- No solo

3.4.1.1- Descrição das condições edáficas correspondentes ao início e fim do ensaio

Embora a carta de solos da Herdade da Mitra inclua a descrição pormenorizada de alguns perfis abertos nesta série, considerou-se oportuno, tendo em atenção a diversidade de situações que podem ocorrer numa mesma unidade-solo, fazer a sua caracterização analítica relativamente à área em estudo. Esta descrição incidiu fundamentalmente nas características consideradas importantes para a análise do desenvolvimento das raízes e foi efectuada no início e fim do ensaio para avaliar os possíveis efeitos das culturas no estado do campo de experimentação.

Assim, antes da instalação do ensaio e para definição das condições médias de solo à partida, foram abertos dois perfis, em locais juntos da área destinada aos talhões. Em cada um dos perfis, divididos em camadas de 12cm de espessura e até cerca de 1m de profundidade, foram colhidas quatro amostras por camada o que fez um total de oito amostras por nível de profundidade estudado. Estas amostras foram caracterizadas

laboratorialmente em termos de textura, densidade aparente, porosidade, pH, teor em matéria orgânica e humidade correspondente a pF 2,0; 2,7 e 4,2.

Para a maioria das características analisadas utilizaram-se os métodos correntes de análise de solos, cuja descrição se considera desnecessária. Convém no entanto referir que para as determinações da densidade aparente e dos teores de água correspondentes a pF 2,0 e 2,7 foram utilizadas amostras não perturbadas de solo, colhidas com anéis de 7cm de diâmetro interno e 5cm de altura. As determinações a pF 2,0 e 2,7 foram feitas pelo método da placa de sucção e a pF 4,2 pelo método da membrana de pressão, ambos devidos a L.A. RICHARDS.

A porosidade total foi calculada a partir dos valores da densidade aparente d e da densidade real D do solo, segundo a fórmula $[(D-d)/D] 100$ (HÉNIN et al., 1972). A partir dos valores da humidade, correspondentes aos diferentes pF estudados, foi possível fazer a distribuição percentual da porosidade por classes de tamanho dos poros. De acordo com RUSSELL (1977) consideraram-se quatro classes de poros, $<0,2 \mu\text{m}$, $0,2-30 \mu\text{m}$, $30-60 \mu\text{m}$ e $> 60 \mu\text{m}$, definidos da seguinte maneira:

- Poros finos ($<0,2\mu\text{m}$) que retêm a água a potenciais inferiores a - 1500 kPa e que correspondem ao teor de água a pF 4,2.

- Poros ($0,2-30\mu\text{m}$) que retêm a água a potenciais entre -1500 e -50 kPa, correspondentes a pF 4,2 e 2,7.

- Poros ($30-60\mu\text{m}$) que retêm a água a potenciais entre -50 e -10 kPa, correspondentes a pF 2,7 e 2,0.

- Poros ($>60\mu\text{m}$) que se encontram preenchidos com ar quando o solo está próximo ou à capacidade de campo, correspondendo a potenciais superiores a -10 kPa , ou seja, a $pF\ 2,0$.

A resistência à penetração avaliada com um penetrógrafo manual de ponta cônica com 1cm^2 de área de base, (modelo STIBOKA) foi determinada depois do ensaio instalado, quando, devido à chuva caída até essa altura, o solo se encontrava próximo da capacidade de campo, ou seja, em condições que permitiam efectuar leituras até camadas mais profundas. Para cada talhão foram feitos ao acaso dez registos contínuos da resistência à penetração, desde a superfície até $75\text{-}80\text{cm}$ de profundidade, variável com a espessura do solo.

No final do ensaio as características estudadas bem como os métodos utilizados foram em tudo semelhantes aos anteriormente citados, incidindo as observações sobre um total de cinco perfis, um por cada talhão, ou seja, por cada cultura e em seis amostras por cada profundidade estudada.

3.4.1.2- Observação das condições hídricas e de temperatura do solo ao longo do ensaio

Durante os três anos de ensaio foram feitas observações periódicas de características do solo que, devido à sua maior dependência das condições ambientais resultantes dos fenómenos

meteorológicos, apresentavam variações estacionais ou até mesmo diárias. É o caso do teor de água e da temperatura do solo.

Teor de água no solo - Para o controlo da água recorreu-se a diferentes métodos e instrumentos, de acordo com o tipo e finalidade da informação que se pretendia obter.

Aquando dos cortes das forragens colheram-se amostras de solo, nas mesmas camadas e em simultâneo com as das raízes (ver 3.4.2), nas quais foi calculada a humidade gravimétrica por secagem em estufa a 105°C e posteriormente convertida em humidade volumétrica. Esta foi uma das características que serviram de base para a avaliação da quantidade de água usada por cada cultura, entre dois cortes consecutivos.

Com uma periodicidade de cerca de uma leitura por semana e com o recurso a uma sonda de neutrões (modelo NIC-10A), foi feito o controlo do teor de água no solo.

Uma curva de calibração, definida pela correlação observada entre as contagens do medidor da sonda e os valores da humidade volumétrica determinada laboratorialmente, foi primeiramente estabelecida para o solo em estudo.

As leituras foram efectuadas através de tubos de alumínio, instalados um por talhão, e em níveis sucessivos de 10cm, desde os 20 aos 80cm de profundidade. Acima dos 20cm não foi possível efectuar leituras, por este método, em virtude de a sonda de neutrões utilizada não dispor de um adaptador de superfície.

Semanalmente a sonda foi aferida através de uma leitura padrão média efectuada em água. Ao valor da razão

entre a leitura de campo e a leitura padrão correspondia na curva de calibração o valor da humidade volumétrica do solo.

Com a finalidade de completar a informação obtida através da sonda de neutrões, principalmente no que diz respeito ao controlo da humidade do solo nas camadas superficiais, foram instalados tensiómetros com manómetro de vácuo (modelo Jet Fill - 2725 AR) a diferentes profundidades (10 e 50cm para todas as espécies e 90cm apenas para a luzerna). Os valores da tensão da água foram lidos três vezes por semana, fundamentalmente nos períodos em que as variações nas condições hídricas do solo o justificavam.

Dado tratar-se de um solo hidromórfico em que a toalha freática sofre oscilações com as estações, instalou-se em cada talhão um piezómetro para verificação do nível da toalha freática. As observações, feitas aquando das dos tensiómetros, começaram apenas a partir do segundo ano de instalação do ensaio. Tal facto justifica-se pelas baixas precipitações ocorridas nos anos anteriores e inclusivé no primeiro ano do ensaio, que não foram suficientes para que a toalha freática alcançasse as zonas de desenvolvimento radical.

O balanço da água no solo, ou seja, a variação do armazenamento da água útil durante os três anos de experimentação, foi feito pelo método de THORNTHWAITTE-MATHER (1955) com o tratamento matemático de MENDONÇA (1958), também desenvolvido por SOUSA (1979) e tendo-se em atenção as seguintes premissas:

- A partir do conhecimento da evolução do crescimento das raízes e da distribuição da água no perfil do solo, ajustaram-se, para cada cultura e ao longo dos anos, os valores da capacidade utilizável (U), para a espessura de solo que era realmente explorada pelas raízes, ou seja, para a profundidade à qual as raízes conseguiam extrair água. No trevo subterrâneo, para o período de Junho a Outubro de cada ano em que o solo ficou nú, considerou-se $U=0$.

- Nas culturas regadas, aos valores mensais da precipitação somaram-se os da água fornecida ao solo através da rega, durante o mesmo período.

- Na determinação da evapotranspiração potencial (ETP) utilizou-se a fórmula de PENMAM modificada (DOORENBOS e PRUITT, 1975) a qual, devido a entrar em conta com elementos como humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e insolação, não incluídos na fórmula de THORNTHWAITTE, conduz a valores de ETP mais próximos da realidade. CARY e AZEVEDO (1972) referem o método de PENMAM como aquele que oferece maior segurança no cálculo da ETP, para as condições de Portugal continental.

- A partir destes valores e com a introdução de um coeficiente f , relativo a cada cultura e ao seu estado de desenvolvimento, foi calculada a evapotranspiração máxima (ETM) segundo a fórmula $ETM=ETP \times f$ (BETTENCOURT et al., 1977). Na selecção dos coeficientes culturais a usar na determinação mensal da ETM, dado serem poucos os dados existentes, recorreu-se aos apresentados por BETTENCOURT et al. (1977) para

frragens em geral, os quais se encontram bastante próximos dos valores médios referidos por DOORENBOS e PRUITT (1975). Assim, para os períodos de Maio a Junho e de Julho a Outubro, utilizaram-se como coeficientes culturais respectivamente os valores de 0,8 e 0,9, os quais traduzem os efeitos dos cortes efectuados nestes períodos. Para os restantes meses de Novembro a Abril, considerou-se $ETM=ETP$, ou seja, $f=1$.

Temperatura do solo - Os dados da temperatura do solo referem-se ao local de ensaio e à profundidade de 10cm, tendo sido obtidos com um termógrafo de solo ("will Lambrecht", mod.256). Este tinha capacidade para leitura a uma só profundidade pelo que se escolheu a de 10cm que, de entre as profundidades a que são feitas leituras nos postos meteorológicos, se considerou ser a que mais marcadamente reflectia as amplitudes térmicas verificadas.

3.4.2- No sistema radical

As observações da parte radical bem como da parte aérea concentraram-se nas épocas de corte, apresentando como tal uma frequência e número total variável com a cultura estudada.

Em relação à observação das raízes feita directamente em perfis, estes foram abertos em Maio e fins de Setembro no primeiro ano de ensaio e posteriormente no final da exploração de cada uma das culturas.

As amostras de solo com raízes foram colhidas com uma sonda manual, constituída por um tubo cilíndrico de 12cm de altura e 8cm de diâmetro interno e cuja base inferior foi serrilhada para, através de um movimento de rotação, facilitar a entrada da sonda no solo.

Os locais de amostragem foram casualizados dentro de cada talhão, respeitando-se uma bordadura com 0,5m de largura e situaram-se junto às linhas de sementeira. Isto fez-se seguindo WELBANK et al. (1973) e ELLIS et al. (1977) que, em cereais semeados em linhas de 15cm de afastamento, verificaram que mais de metade das raízes se concentravam numa banda de solo 4cm para cada lado da linha central de plantas. A completa cobertura do terreno, feita rapidamente pela maioria das culturas, tornou difícil o cumprimento deste princípio. Na luzerna, embora o afastamento das linhas fosse sendo reduzido pelo engrossamento dos rizomas, as amostras foram sempre colhidas junto à base das plantas.

Em cada época de corte foram colhidas seis amostras por talhão e por camada com 12cm de espessura, variando a profundidade atingida com o estado de desenvolvimento das plantas e com o período estacional em que a amostragem foi feita, isto devido à oscilação da toalha freática. A escolha do número de amostras a tirar teve por base as conclusões tiradas por BÖHM (1979), a partir de uma série de publicações sobre amostragem de raízes por este método, que recomenda o número mínimo de cinco amostras, para sondas com 7cm de diâmetro.

As amostras assim obtidas foram colocadas em sacos de plástico, devidamente etiquetadas e conservadas em frigorífico até serem sujeitas a tratamento.

A separação das raízes foi feita em diferentes fases, recorrendo-se a alguns dos métodos indicados pela bibliografia mas apoiando-se sobretudo na experiência obtida em trabalhos anteriores (OLIVEIRA e PORTAS, 1982 e 1987). Numa primeira fase, a amostra foi espalhada em tabuleiros, retirando-se com uma pinça todas as raízes que se destacavam facilmente do solo. Esta operação, efectuada antes da crivagem, reduz o emaranhado das raízes que ficam nos crivos, facilitando desse modo a sua colheita a partir destes. Numa segunda fase, a amostra foi dividida em duas a quatro sub-amostras, consoante era menor ou maior a densidade de raízes, que foram passadas por um conjunto de dois crivos com 1 e 0,5 mm² de malha a partir dos quais foram retiradas todas as raízes finas. Este processo, que por ser manual se torna bastante moroso, desde que executado cuidadosamente reduz ao mínimo o número de raízes perdidas. A massa total das raízes assim obtidas foi ainda sujeita a uma segunda lavagem para se retirarem restos de detritos e algumas raízes que, pela sua coloração e aspecto interior praticamente oco, eram facilmente identificadas como mortas.

As raízes foram imediatamente acondicionadas em frascos de vidro com uma solução de álcool a 20% e colocadas em frigorífico a uma temperatura de 10° C, a fim de serem preservadas até posterior utilização.

As características radicais escolhidas para exprimir o

crescimento e distribuição das raízes, bem como os respectivos métodos de medição usados foram os seguintes:

3.4.2.1- Comprimento radical

O comprimento total das raízes contidas em cada amostra foi calculado pelo método de TENNANT (1975), forma expedita do método preconizado por NEWMAN (1966) e segundo a fórmula $R=(11/14) N$, onde R representa o comprimento total das raízes contidas na amostra e N o número de intersecções, contadas numa quadrícula com 1x1cm de malha. Neste método as raízes são colocadas numa caixa com fundo transparente para através dele se ver a quadrícula sobre a qual a caixa assenta. As raízes são espalhadas ao acaso com a ajuda de água, de forma a não se concentrarem dificultando as observações. Com a mesma finalidade, algumas raízes mais compridas e ramificadas são cortadas em filamentos mais pequenos. O facto de o tecido que serve de fundo à caixa de observação ser poroso facilita o escoamento da água utilizada na dispersão das raízes. Por fim contam-se as intersecções que as raízes fazem com as linhas horizontais e verticais da quadrícula. Em amostras com grande quantidade de raízes, foram constituídas sub-amostras para reduzir a possibilidade de erro.

Os valores do comprimento radical foram relacionados ou com o volume da amostra, ou com a área da secção transversal da

sonda.

3.4.2.2- Peso radical

O peso seco das raízes foi determinado após secagem em estufa a uma temperatura de 70° C. Dado o cuidado tido no processo de lavagem, considerou-se dispensável submeter as raízes secas a temperaturas mais altas, em mufla, método utilizado para calcular o peso das partículas minerais que contaminam a amostra (ver 2.3.2.2).

Tal como para a característica anterior, o peso seco das raízes foi relacionado ou com o volume da amostra que as continha, ou com a área da superfície do solo a que a amostra correspondia, representada pela área da secção transversal da sonda.

Relacionando comprimento e peso radical obteve-se o comprimento específico das raízes, expresso em $m\ g^{-1}$.

3.4.2.3- Número de nódulos

O número de nódulos foi determinado nas raízes das leguminosas e relacionado com o correspondente comprimento radical. A contagem dos nódulos foi feita aquando da medição das raízes pelo método da intersecção.

3.4.2.4- Observação directa das raízes em perfis

A observação directa das raízes em perfis abertos na altura, foi feita após lavagem da parede do perfil com um jacto de água proveniente de um pulverizador de alta pressão, equipado com pistolas e accionado pela T.D.F. do tractor. Esta operação, ao arrastar uma fina camada de solo, serviu para evidenciar as raízes, facilitando assim o seu estudo em termos de configuração, distribuição e profundidade atingida.

3.4.3- Na parte aérea das plantas

Quando do corte das forragens, feito em épocas em que o estado fenológico das plantas era o mais propício à obtenção de alimento em quantidade, mas sem comprometer a sua qualidade, delimitaram-se em cada talhão três zonas que traduziam as condições médias da cultura, com uma área de 0,25m² cada, das quais se colheram todas as plantas. As amostras assim obtidas serviram para a obtenção de dados, cuja relação com as características radicais estudadas se considera importante.

3.4.3.1- Peso da matéria seca

Em cada corte, a determinação do peso da matéria seca relativa à parte aérea das plantas teve como objectivo avaliar

a produtividade da forragem. As plantas foram secas em estufa, com ventilação forçada, a uma temperatura de 70° C, até desidratação total.

3.4.3.2- Area foliar

O índice de área foliar (I.A.F.), ou seja, a área de folhas por unidade de superfície do solo, foi calculado a partir de 1/3 das plantas que constituíam o total da amostra. Nestas foram destacadas todas as folhas e determinada a sua área. A partir do conhecimento do peso seco desta sub-amostra, extrapolou-se o valor da área foliar para o total da amostra.

Para a determinação da área foliar utilizou-se um aparelho de medição directa de áreas (modelo LI-3000) constituído por uma fonte luminosa e um dispositivo de detecção de superfícies escuras.

3.5- Material e métodos usados no ensaio complementar efectuado em caixa acrílica

Para este estudo, efectuado com a colaboração pessoal do Prof. Howard Taylor, utilizaram-se duas amostras do mesmo solo em que foi instalado o ensaio de campo - a amostra A correspondente à camada superficial até 20cm e a amostra B da camada entre os 20 e os 40cm de profundidade.

Cada uma das amostras foi seca ao ar e posteriormente passada através de um crivo de 2mm de malha.

A amostra B foi dividida em quatro sub-amostras, uma das quais não sofreu qualquer tratamento, tendo às três restantes sido adicionadas quantidades de correctivo correspondentes a 0,1; 0,2 e 0,3g de CaCO_3 /100g de solo.

Posteriormente, as cinco amostras foram humedecidas de modo a atingirem condições próximas das da capacidade de campo. A fim de haver uma distribuição uniforme da humidade, as amostras foram mantidas durante dois dias em sacos de plástico convenientemente fechados.

Para a instalação do ensaio utilizou-se uma caixa em acrílico, dividida em cinco compartimentos com $15 \times 5 \text{cm}^2$ de secção e cerca de 30 cm de altura (Fig. 2). Os compartimentos foram numerados sendo a ordem estabelecida e as amostras correspondentes as seguintes:

- I- Solo da amostra A até ao cimo.
- II- Solo da amostra B sem correctivo e com os 6-7cm superficiais com solo da amostra A.
- III- Solo da amostra B com 0,1g Ca CO_3 /100g de solo e camada superior de solo A.
- IV- Solo da amostra B com 0,2g Ca CO_3 /100g de solo e camada superior de solo A.
- V- Solo da amostra B com 0,3g Ca CO_3 /100g de solo e camada superior de solo A.

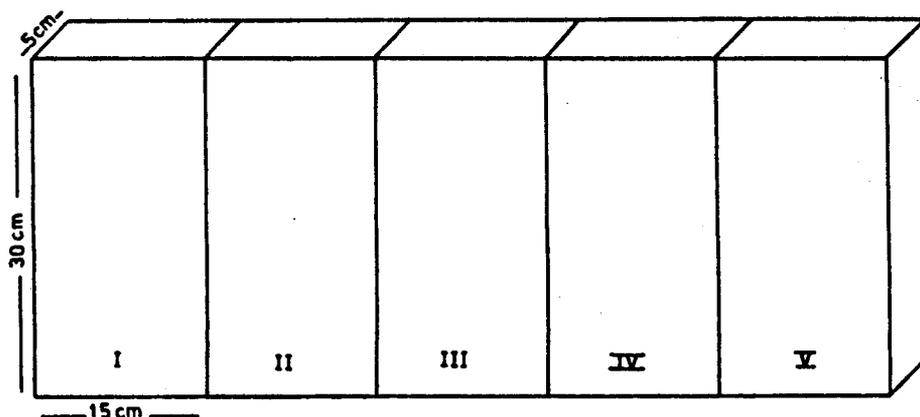


Fig. 2 - Representação esquemática da caixa acrílica para observação de raízes, usada no ensaio complementar.

Para o ensaio utilizaram-se sementes de feijão (Phaseolus vulgaris L. cv. Manata) que, pela sua rápida germinação, é normalmente utilizado em testes deste tipo. As sementes, em número de seis por compartimento, foram localizadas a 1cm de profundidade e junto à face da caixa onde iriam ser feitas as observações.

A parte superior da caixa foi tapada e convenientemente vedada para evitar perdas por evaporação.

A caixa acrílica foi imediatamente colocada, com uma ligeira inclinação para o lado da parede de observação, dentro de uma câmara de crescimento onde foi mantida a uma temperatura constante de cerca de 26°C. A temperatura óptima para o

crescimento das raízes da maior parte das espécies varia entre os 20-30°C (BROUWER, 1962b; VOORHEES et al., 1981).

Em cada uma das amostras de solo, correspondentes às cinco modalidades em estudo, determinou-se o pH em água e cloreto de potássio.

Diariamente, à mesma hora, fizeram-se observações nas faces dos compartimentos junto às quais as raízes cresceram. Estas observações consistiram na marcação dos pontos em que, a cada data de leitura, se encontravam as extremidades das raízes primárias.

Este estudo, iniciado em 24 de Setembro de 1984, data da colocação da caixa de observação na câmara de crescimento, foi considerado concluído quando a maior parte das raízes atingiram o fundo dos compartimentos, cerca de sete dias depois.

3.6- Análise estatística

Os dados relativos à densidade e ao peso radical foram analisados segundo um "split-plot", com seis repetições, correspondendo as profundidades às unidades principais e as épocas de corte às unidades secundárias. O número de unidades considerado variou com as espécies e com os anos (ver anexo referente à análise de variância).

A comparação entre profundidades, épocas de corte e épocas de corte para cada profundidade, foi feita utilizando o teste das diferenças mínimas significativas.

Para as mesmas características radicais estudadas em cada espécie foram ajustadas equações de regressão, em função do número de dias após sementeira, por ano e profundidade. Para as regressões obtidas apresentam-se os valores do número de dados observados, do coeficiente de determinação (r^2) e da sua significância.

Foram também determinados os coeficientes de correlação parcial (r) entre as variáveis observadas nas partes aérea e radical das plantas.

A significância dos valores foi estabelecida para probabilidades inferiores a 5% (*) e a 1% (**).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Elementos edáficos referentes a condições iniciais e finais de ensaio

O solo, meio em que se desenrolou todo o processo evolutivo dos órgãos vegetativos que constituíram o objectivo principal deste estudo, os sistemas radicais, foi caracterizado de modo a permitir a comparação das condições de que se partiu, com as correspondentes ao termo da sua exploração pelas culturas estudadas.

A tabela 1.1 refere as condições médias do solo, para diferentes camadas do perfil, correspondentes ao início do

Tabela 1.1 - Condições iniciais do solo (médias de 2 perfis e 8 amostras por camada)

Prof.(cm)	Textura				Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Limo (%)	Argila (%)					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	30,3	39,3	16,0	14,4	1,52	2,36	36	1,40	5,5	4,7	22,7	14,7	5,1
12-24	33,7	38,4	13,5	14,4	1,60	2,41	34	0,85	5,8	4,7	20,1	12,6	5,7
24-36	30,2	40,6	14,7	14,5	1,67	2,46	33	0,65	6,0	4,8	21,7	13,9	6,3
36-48	33,1	39,2	13,9	13,8	1,72	2,35	27	0,40	6,0	4,8	19,2	12,1	7,1
48-60	34,7	39,2	12,4	13,7	1,74	2,32	25	0,38	6,0	4,8	21,4	13,0	7,8
60-72	39,9	42,8	8,6	8,7	1,69	2,33	28	0,35	6,7	4,8	22,7	16,1	7,6
72-84	40,5	41,8	8,7	9,0	1,67	2,48	29	0,30	6,0	4,7	23,0	18,6	8,1
84-100	46,3	37,8	7,6	8,3	1,67	2,39	29	0,30	6,0	4,8	24,6	20,1	8,4

ensaio. Na tabela 1.2 estão representadas as condições finais, isto é, após dois e três anos de exploração, respectivamente pelo azevém italiano e pelas restantes culturas.

Tabela 1.2 - Condições do solo no terço do ensaio e em cada talhão. (médias de 4 amostras por canaça)

1- Azevém italiano - 2 anos

Prof. (cm)	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	1,44	2,33	38	1,50	5,8	4,9	23,8	14,9	4,7
12-24	1,65	2,42	32	1,42	6,0	5,0	22,4	13,4	6,8
24-36	1,72	2,43	29	0,65	6,3	5,0	24,8	15,3	6,5
36-48	1,71	2,33	27	0,40	6,0	4,8	18,2	12,4	8,0
48-60	1,73	2,39	28	0,30	6,0	4,8	20,6	13,6	9,3
60-72	1,70	2,35	28	0,33	6,3	4,9	23,6	17,7	8,5
72-84	1,68	2,30	27	0,30	6,7	5,0	25,5	20,3	8,9
84-100	1,67	2,30	27	0,32	6,4	5,0	24,9	19,8	8,0

2- Festuca alta - 3 anos

Prof. (cm)	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	1,50	2,40	38	1,66	5,7	4,8	22,4	14,3	5,0
12-24	1,62	2,46	34	1,58	6,0	5,0	20,0	13,3	6,5
24-36	1,67	2,36	29	0,85	6,0	4,9	21,4	14,9	6,0
36-48	1,70	2,33	27	0,45	6,8	5,0	18,1	12,6	8,3
48-60	1,70	2,30	26	0,40	6,7	4,9	22,1	13,3	8,5
60-72	1,67	2,33	28	0,43	6,9	5,9	24,2	16,0	9,0
72-84	1,65	2,39	31	0,36	6,8	5,0	24,4	21,0	9,0
84-100	1,67	2,30	27	0,40	7,0	5,2	24,8	20,1	8,9

Tabela 1.2 - Condições do solo no termo do ensaio e em cada talhão. (médias de 4 amostras por camada. (continuação))

3- Trevo branco - 3 anos

Prof. (cm)	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	1,48	2,38	38	1,45	6,9	5,7	23,5	14,6	5,6
12-24	1,59	2,49	36	1,40	6,8	5,6	22,2	13,3	6,4
24-36	1,64	2,49	34	0,85	6,9	5,9	25,0	14,8	7,9
36-48	1,74	2,36	26	0,40	7,2	5,8	18,2	11,1	6,6
48-60	1,74	2,34	26	0,42	6,8	5,1	22,3	12,3	6,7
60-72	1,68	2,30	27	0,35	6,3	5,0	24,9	16,0	8,3
72-84	1,64	2,46	33	0,30	7,1	6,0	25,4	20,0	9,7
84-100	1,65	2,39	31	0,30	7,3	6,1	24,4	19,6	9,8

4- Trevo subterrâneo - 3 anos

Prof. (cm)	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	1,52	2,34	35	1,35	7,0	6,2	22,4	14,3	5,4
12-24	1,67	2,48	33	1,20	6,9	6,0	18,2	10,0	4,0
24-36	1,70	2,43	30	0,50	6,9	6,1	19,3	10,3	6,5
36-48	1,69	2,33	28	0,40	7,0	6,0	21,9	12,1	6,6
48-60	1,72	2,38	28	0,30	7,0	6,0	21,9	12,9	7,5
60-72	1,69	2,43	30	0,28	6,8	5,8	18,2	14,9	6,0
72-84	1,65	2,32	29	0,28	6,7	5,8	19,0	16,3	6,4
84-100	1,67	2,32	28	0,30	7,0	5,9	25,1	21,0	7,0

5- Luzerna - 3 anos

Prof. (cm)	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total (%)	Matéria orgânica (%)	pH		pF (%)		
					H ₂ O	KCl	2,0	2,7	4,2
0-12	1,48	2,33	36	1,15	7,1	6,0	21,4	15,5	4,7
12-24	1,67	2,32	28	1,12	7,2	5,9	17,7	13,0	5,0
24-36	1,72	2,43	29	0,45	7,2	6,0	18,2	14,1	4,8
36-48	1,70	2,33	27	0,40	7,0	5,8	19,7	12,3	6,0
48-60	1,65	2,39	31	0,40	6,9	5,7	20,1	12,9	6,8
60-72	1,62	2,35	31	0,35	7,1	6,0	22,4	16,0	6,0
72-84	1,57	2,30	32	0,32	6,9	5,8	19,7	15,5	6,0
84-100	1,62	2,36	31	0,30	7,0	5,9	23,8	20,1	8,2

A acção melhoradora das culturas sobre o terreno foi avaliada através do balanço da matéria orgânica do solo, entre o início e o fim do período de experimentação. A tabela 2 apresenta os valores absolutos e relativos das diferenças observadas. Na mesma tabela figuram também os valores correspondentes à quantidade de matéria orgânica incorporada anualmente, por cada uma das culturas, em camadas de solo com 12cm de espessura.

Tabela 2 - Balanço da matéria orgânica * do solo relativo ao período de exploração das culturas**.

(Diferença entre as condições iniciais e finais de ensaio)

Prof. (cm)	Valor absoluto (Z)					Valor relativo (Z)					Quantidade de M.O. nos 12cm de espessura (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				
	Azevém ital.	Festuca alta	Trevo branco	Trevo sub.	Luzerna	Azevém ital.	Festuca alta	Trevo branco	Trevo sub.	Luzerna	Azevém ital.	Festuca alta	Trevo branco	Trevo sub.	Luzerna
0-12	0,10	0,26	0,05	-0,05	-0,25	7,1	18,6	3,6	-3,6	-17,9	864	1560	296	-304	-1480
12-24	0,57	0,73	0,55	0,35	0,27	67,1	85,9	64,7	41,2	31,8	5643	4730	3498	2338	1604
24-36	0	0,20	0,20	-0,15	-0,20	0	30,8	30,8	-23,1	-30,8	0	1336	1312	-1020	-1376

* Carbono orgânico total x 1,724

** 2 anos para o azevém italiano e 3 anos para as restantes culturas

Foi principalmente na camada de 12-24cm que em todas as culturas foram mais acentuados os acréscimos do teor em matéria orgânica. Nesta camada, os acréscimos relativos foram os mais elevados nos talhões explorados pelas gramíneas, nomeadamente 86% para a festuca alta e 67% para o azevém italiano. Nos talhões das leguminosas os acréscimos relativos foram inferiores e da ordem dos 65% no trevo branco, dos 41% no trevo subterrâneo e dos 32% na luzerna. A contribuição anual de matéria orgânica, para a mesma camada de solo, foi no entanto maior no azevém italiano, com 5643kg ha⁻¹ ano⁻¹, do que na festuca alta, com 4730kg ha⁻¹ ano⁻¹. Para as leguminosas variou entre os 3498 e os 1804kg ha⁻¹ ano⁻¹.

A nível da camada mais superficial (0-12cm) só houve acumulação de matéria orgânica nos talhões das gramíneas e do trevo branco, verificando-se nos do trevo subterrâneo e da luzerna um decréscimo que foi mais acentuado nesta última. Em valores relativos, a festuca alta com cerca de 19% foi a cultura que nesta camada mais contribuiu para o aumento do teor de matéria orgânica, atingindo os 1560kg ha⁻¹ ano⁻¹. O azevém italiano com um acréscimo relativo de 7% e um quantitativo anual de 864kg ha⁻¹ ano⁻¹ foi a segunda melhor. O acréscimo relativo observado no trevo branco foi de cerca de 4%, a que corresponderam 296kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria orgânica incorporada na referida camada. Para o trevo subterrâneo e a luzerna, as diferenças observadas no teor de matéria orgânica corresponderam a perdas de respectivamente 304 e 1480kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Na camada mais profunda (24-36cm), a variação observada no teor de matéria orgânica foi positiva e da mesma ordem de grandeza nos talhões da festuca alta e do trevo branco. Para a primeira o acréscimo foi de $1336\text{kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ e para o segundo de $1312\text{kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ sendo neste último caso superior ao observado na camada superficial. Nos talhões do trevo subterrâneo e da luzerna, o balanço da matéria orgânica na mesma camada traduziu-se por uma perda correspondente a respectivamente 1020 e $1376\text{kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$.

No que se refere às outras características do solo e particularmente à porosidade, as diferenças verificadas entre as condições iniciais e finais de ensaio são insignificantes. O mesmo se passa quando se considera a porosidade repartida por classes de poros de determinadas dimensões, como mostram as figuras 3.1 e 3.2 respectivamente para o início e fim do ensaio.

A figura 4 traduz a evolução da resistência do solo à penetração, ao longo do perfil e em cada talhão correspondente às culturas estudadas. Pode-se observar que a resistência aumenta com a profundidade e que, na maior parte dos casos, apresenta uma subida brusca na camada entre os 20-30cm. No talhão ocupado pelo trevo subterrâneo a variação foi mais gradual embora os valores da resistência oferecida à penetração fossem, nas camadas mais profundas do perfil, da mesma ordem de grandeza dos obtidos, para a mesma situação, nos talhões das outras culturas.

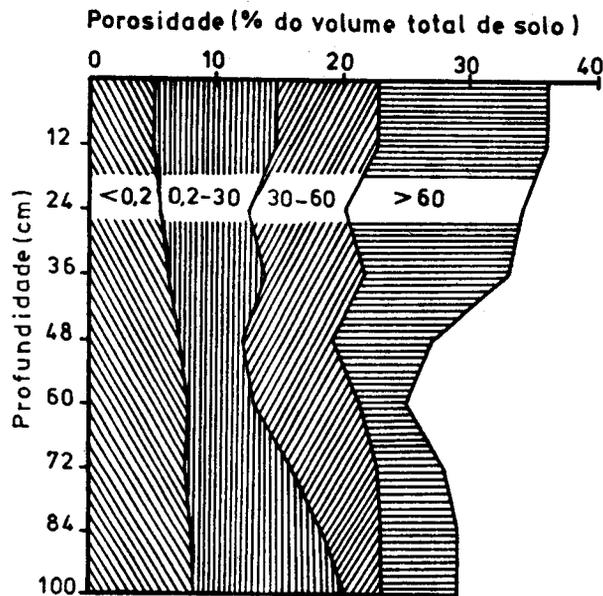


Fig.3.1 - Percentagem do volume total de solo ocupado por poros de diâmetro $< 0,2 \mu\text{m}$; $0,2-30 \mu\text{m}$; $30-60 \mu\text{m}$ e $> 60 \mu\text{m}$ nas condições iniciais do ensaio.

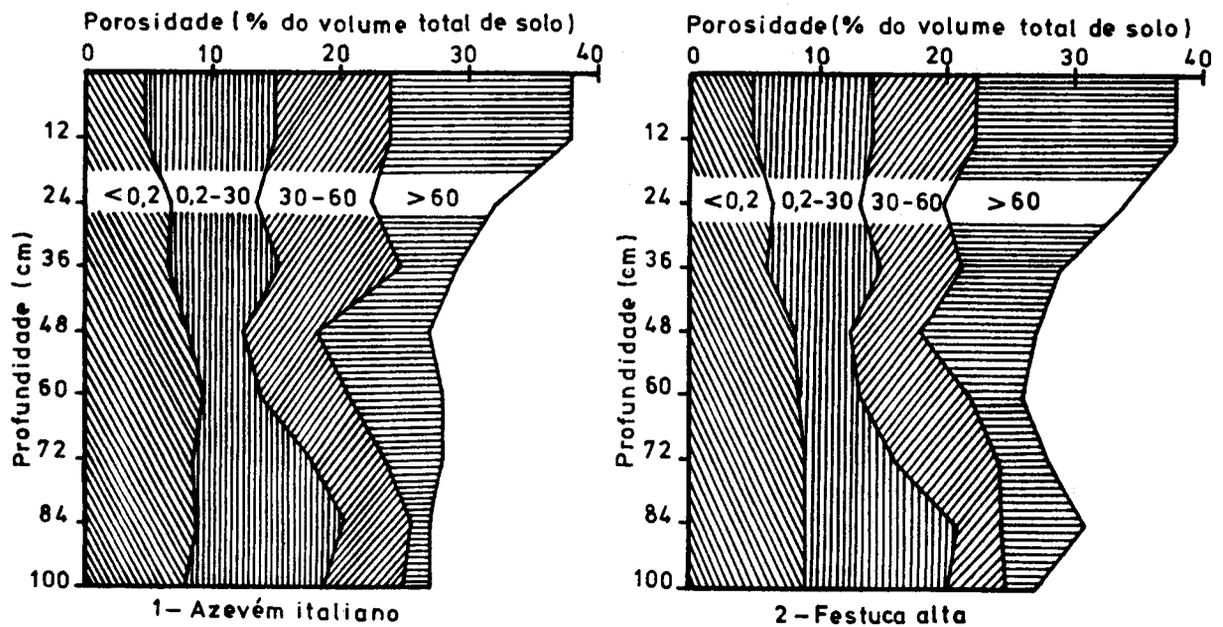


Fig.3.2 - Percentagem do volume total de solo ocupado por poros de diâmetro $< 0,2 \mu\text{m}$; $0,2-30 \mu\text{m}$; $30-60 \mu\text{m}$ e $> 60 \mu\text{m}$ nos talhões ocupados pelas diferentes culturas, no final do ensaio.



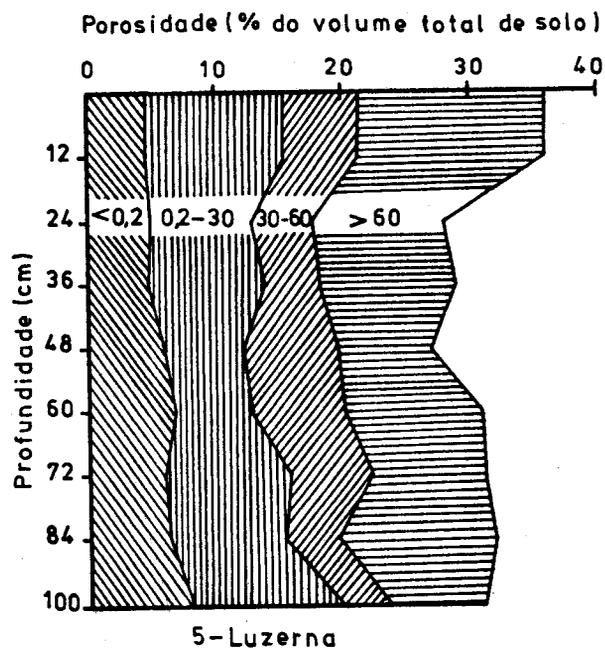
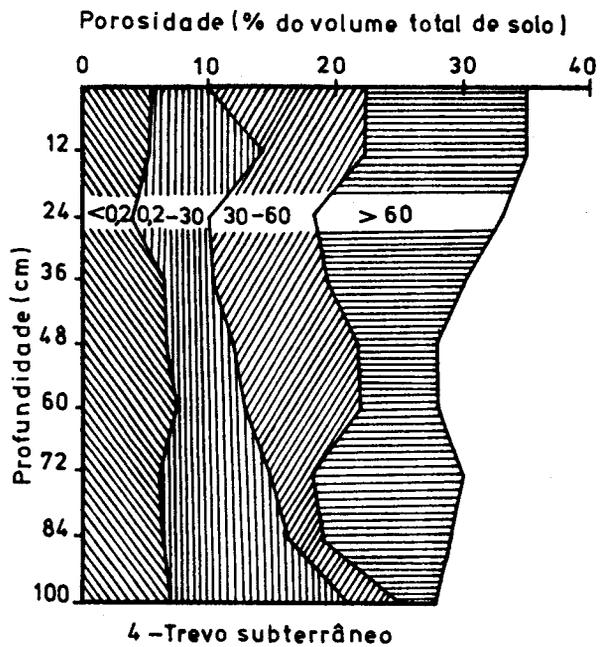
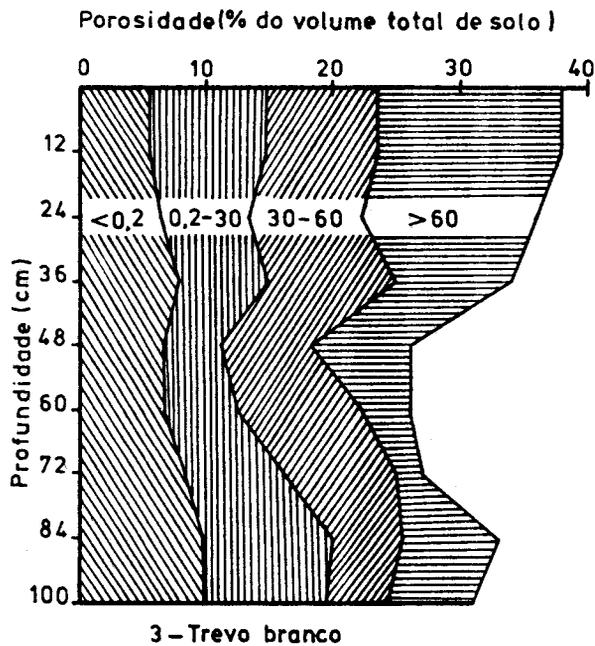
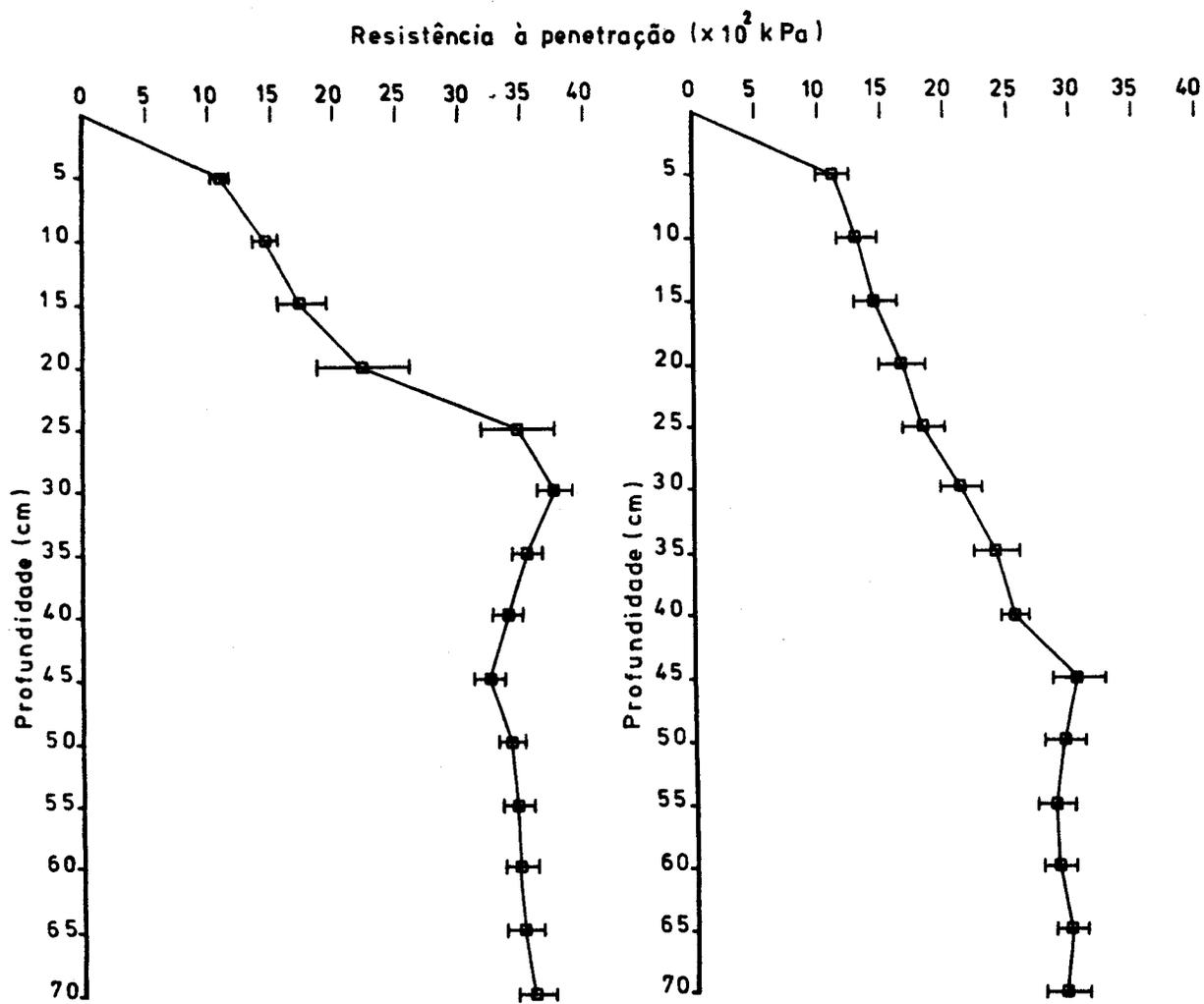


Fig.3.2 - (cont.)

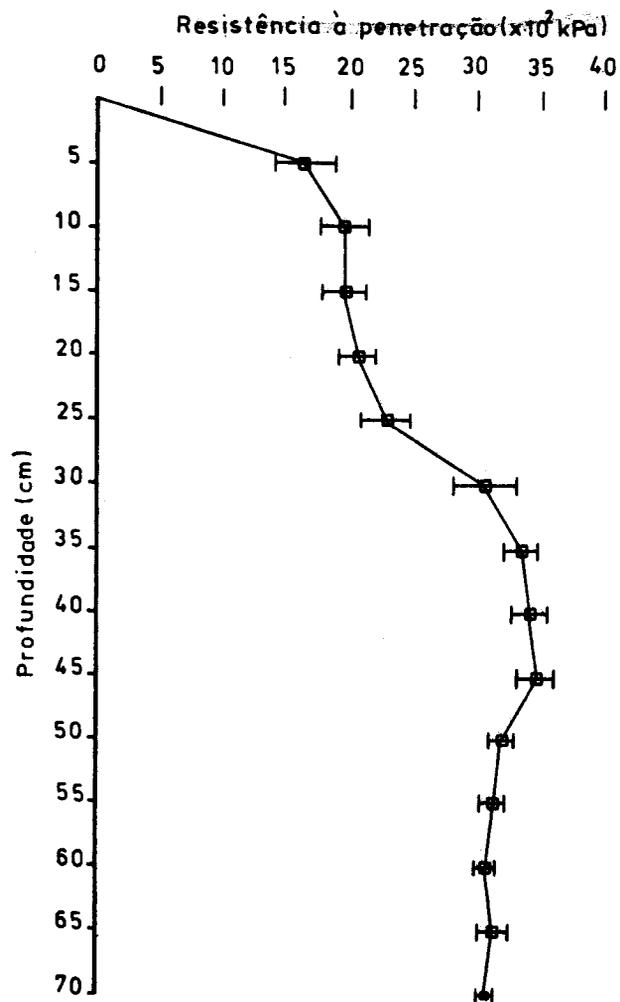


3-Trevo branco

4-Trevo subterrâneo

□ - Média de 10 registros
 ┆┆ - Desvio padrão da média

Fig. 4 (cont.)



5-Luzerna

□ - Média de 10 registos
 ┆ - Desvio padrão da média

Fig.4-(cont.)

A informação disponível sobre os valores da pressão mínima externa que reduz significativamente o crescimento radical mostra uma gama de dados cuja amplitude é ainda maior quando se referem a condições de campo, o que é explicado pela heterogeneidade dos solos.

GOSS (1977) refere que a valores abaixo dos 50 kPa já se verificam problemas no crescimento das raízes em algumas culturas cerealíferas e PORTAS (1984) observou que resistências do solo da ordem dos 700-1000 kPa dificultam bastante o crescimento radical.

Para GERARD et al. (1982) os 6000-7000 kPa são, em solos de textura grosseira, valores críticos aos quais se verifica paragem de crescimento das raízes.

No presente caso, com o tipo de penetrógrafo utilizado, registaram-se valores da ordem dos 1000 a 2000 kPa até os 20-25cm de profundidade e nas camadas mais profundas, até os 80cm, atingiram-se valores entre os 3000 e 3500 kPa. A nível das camadas de maior resistência à penetração, a densidade aparente do solo esteve em média compreendida entre 1,67 e 1,72.

4.2 - Elementos edáficos observados ao longo do ensaio de campo

4.2.1- Água

Na avaliação das condições hídricas do solo durante o ensaio conjugam-se as observações, feitas para cada talhão, da

humidade volumétrica a diferentes profundidades do perfil (Fig. 5.1 a 5.5), da tensão de água no solo, ou seja, do potencial mátrico do solo a 10 e 50cm de profundidade e também a 90cm no talhão da luzerna (Fig. 6.1 a 6.5) e da altura da toalha freática (Fig. 7.1 e 7.2). A variação do armazenamento da água útil, para a espessura de solo explorada pelas raízes (Fig. 8.1 a 8.5), resume as condições hídricas do solo verificadas para cada cultura e para cada ano de exploração.

Tornar-se-ia longa e na maior parte dos casos repetitiva a descrição das condições hídricas do solo, traduzidas pelas diferentes formas utilizadas no seu estudo, para cada uma das culturas ensaiadas. Por isso, considerou-se mais importante salientar neste ponto os aspectos gerais mais marcantes reservando os mais particulares, respeitantes a cada cultura, para quando da interpretação do crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente dos seus sistemas radicais com os quais estão sem dúvida relacionados.

A distribuição da água no perfil do solo, expressa em humidade volumétrica (Fig. 5.1 a 5.5), evidencia uma forma de evolução que é mais ou menos semelhante para a maioria das camadas observadas, apresentando nalguns casos uma amplitude diferente de uns anos para os outros. Tal facto é em parte explicado pelas diferenças verificadas nos quantitativos de água fornecidos ao solo através da precipitação e da rega, entre o primeiro e os restantes dois anos de ensaio.

A precipitação registada no primeiro ano, 378mm, cerca

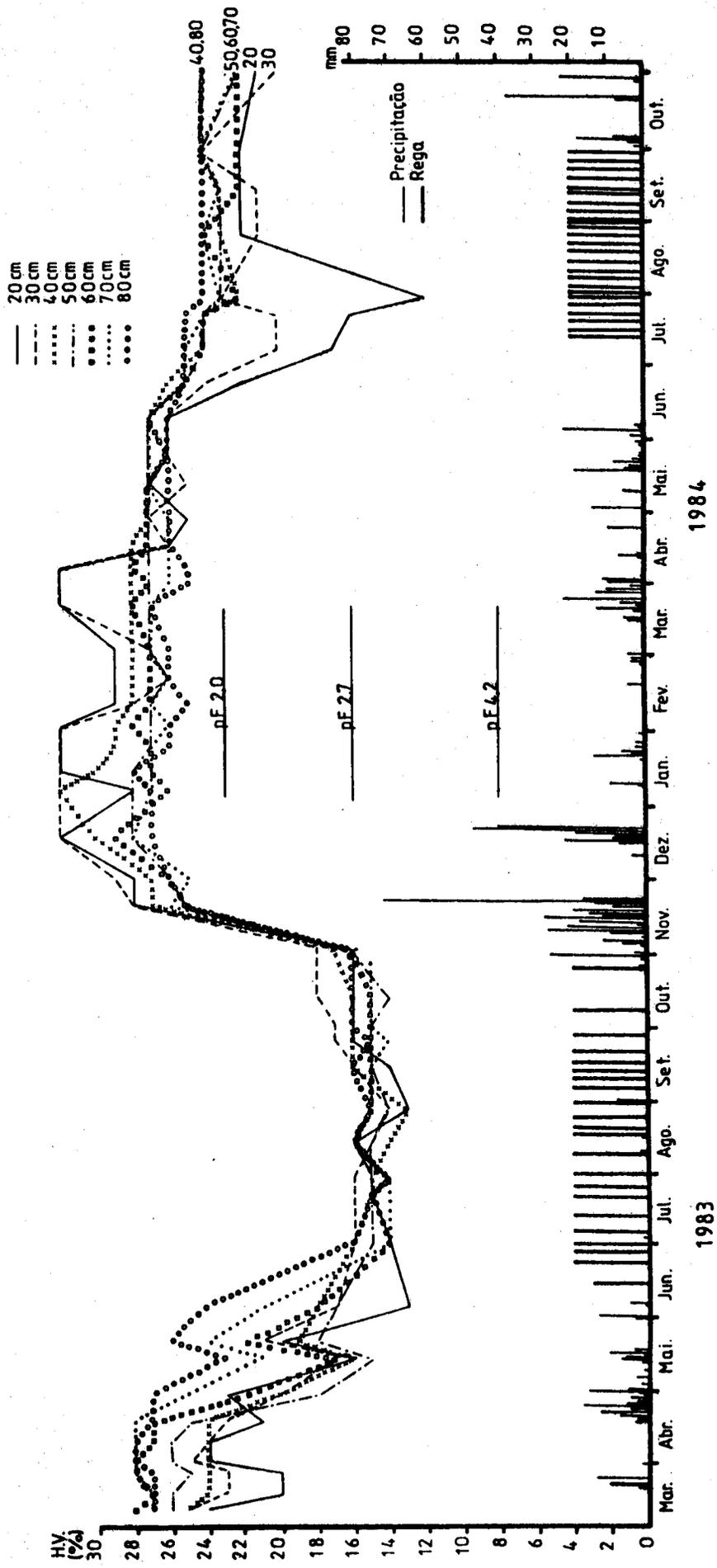
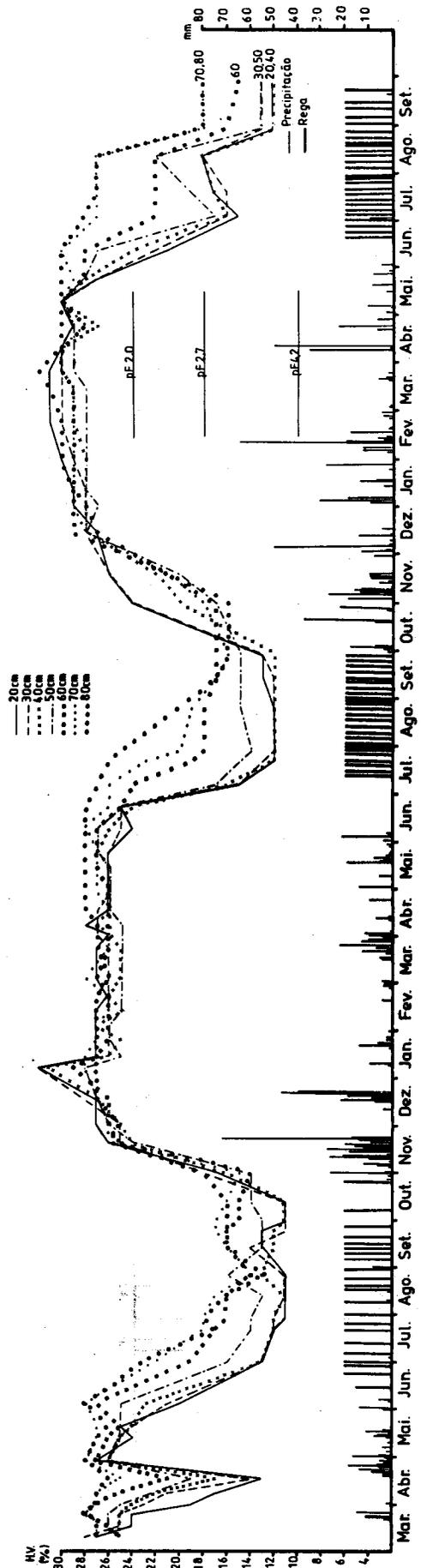


Fig.5.1 - Distribuição da água no perfil do solo-Azevém italiano.

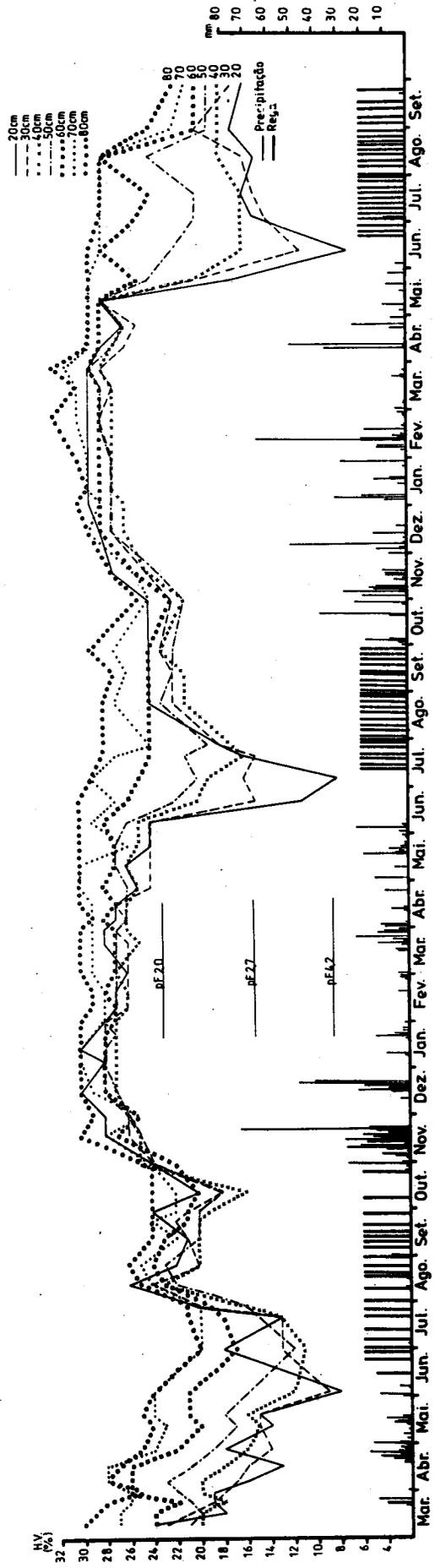


1985

1984

1983

Fig.5.2-Distribuição da água no perfil do solo - Festuca alta.



1985

1984

1983

Fig.5.3 - Distribuição da água no perfil do solo-Trevo branco.

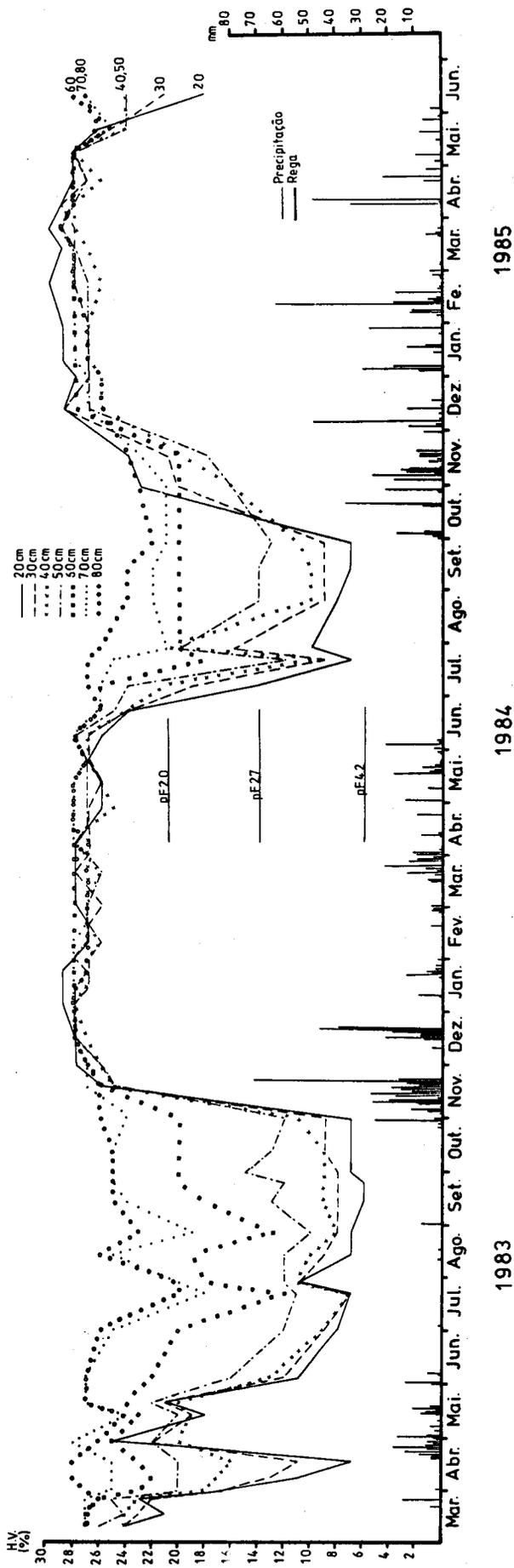


Fig. 5.4 – Distribuição da água no perfil do solo-Trevo subterrâneo.

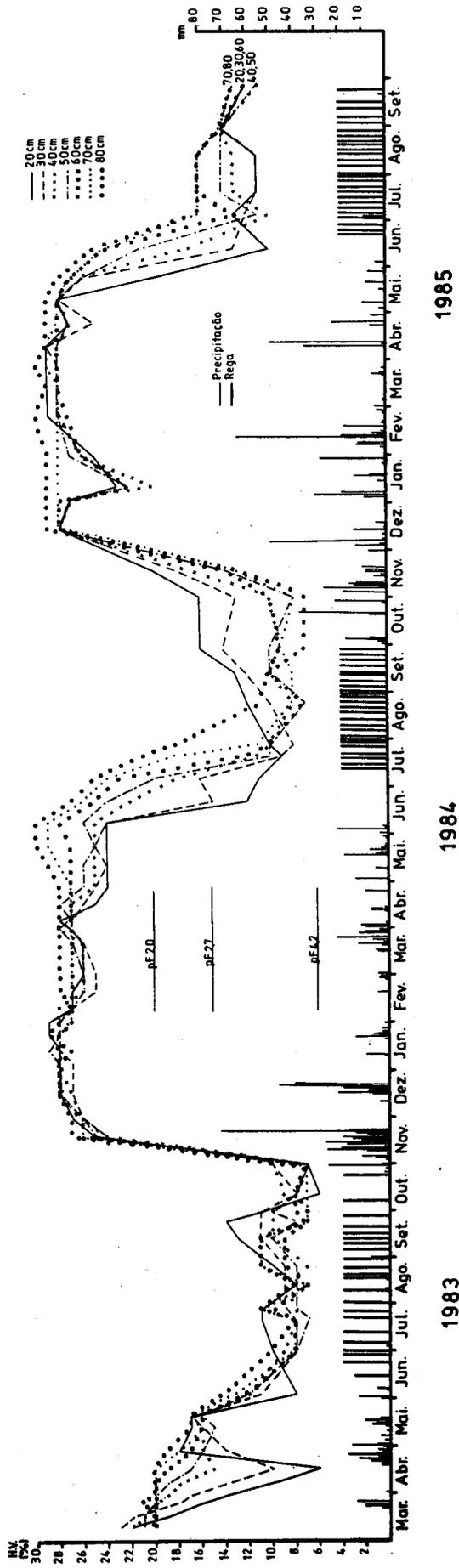


Fig. 5.5 - Distribuição da água no perfil do solo - Luzerna

de metade da normal, foi agravada pelo facto de os anos anteriores terem também sido secos. Para além disso, a quantidade de água fornecida ao solo através da rega, 430mm, foi também inferior à dos outros anos.

Os anos seguintes, com precipitações de 757 e 777mm, podem ser considerados como normais, para além de que os correspondentes quantitativos de rega foram de 500 e 520mm respectivamente para o segundo e terceiro anos.

Os valores da humidade do solo para as tensões de 10, 50 e 1500 kPa (pF 2,0; 2,7 e 4,2) são postos em evidência nas mesmas figuras, com a finalidade de auxiliar a interpretação das condições hídricas verificadas num determinado momento, em termos relacionados com a disponibilidade de água para as plantas, nomeadamente a definição de períodos de "stress" hídrico referentes quer a deficiência quer a excesso de água no solo, durante o ano agrícola.

A quantidade de água retida pelo solo entre 10 e 1500 kPa representa segundo RUSSELL (1977) a parte da reserva hídrica do solo que está disponível para as plantas. "O pF correspondente a uma tensão de 50 kPa é, segundo vários autores, representativo da capacidade de retenção do solo para a água nas condições naturais" (COSTA, 1975).

Tendo por base aqueles valores, verifica-se que, com exclusão do primeiro ano de ensaio, em que devido às baixas precipitações ocorridas nesse ano e anteriores as reservas hídricas do solo eram escassas, os restantes anos caracterizaram-se em geral por uma alternância de situações de

alta e baixa humidade no solo, que se sucederam de uma forma mais ou menos brusca e mais marcadamente vincada nas camadas superficiais. Constituíram excepção as condições verificadas a nível das camadas mais profundas, nos talhões explorados pelo trevo branco e pelo trevo subterrâneo. No primeiro caso, mesmo nos períodos estivais correspondentes aos segundo e terceiro anos de exploração, a humidade do solo abaixo dos 60cm manteve-se alta, bastante próxima dos níveis atingidos durante a estação das chuvas, provavelmente pela manutenção da toalha freática a uma profundidade próxima daquela. No caso do trevo subterrâneo, a única cultura explorada em sequeiro, verificou-se um aumento gradual da humidade com a profundidade durante os meses secos, registando-se nos restantes uma certa uniformidade da humidade ao longo do perfil e dentro de valores que poderão considerar-se muito acima da capacidade de campo.

Nos períodos estivais, as condições do solo nos talhões regados estiveram, em média, acima do nível considerado crítico para as plantas (pF 4,2), embora nalguns casos e em particular para as profundidades de 20 e 30cm se tenham registado valores próximos, o que poderá ter afectado negativamente as culturas de radicação superficial.

Em termos de tensão de água no solo (Fig. 6.1 a 6.5), os valores obtidos a diferentes profundidades mostram uma evolução que está de acordo com as condições de humidade verificadas anteriormente. Ao longo do ano e a todas as profundidades, os valores da tensão atingiram os seus níveis mais elevados na

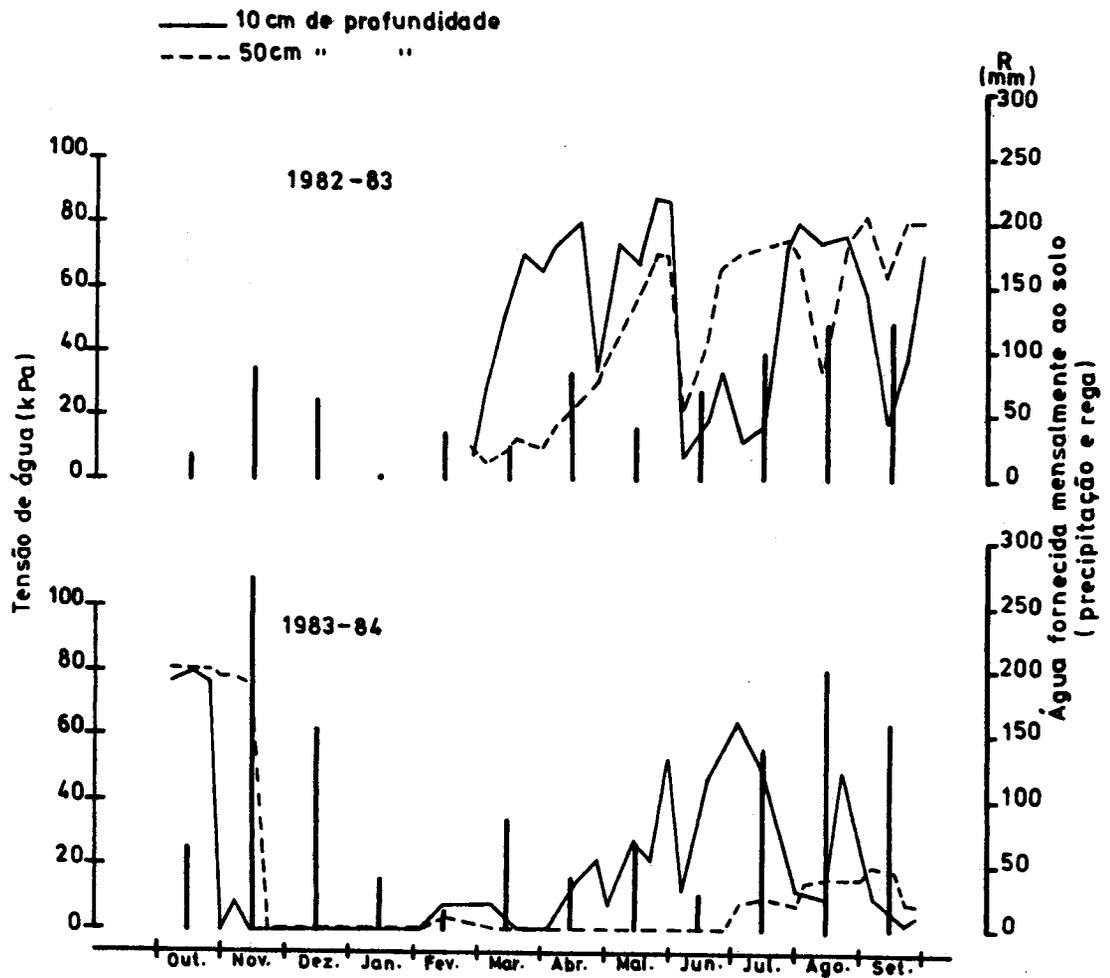


Fig.6.1 - Variação da tensão hídrica do solo - Azevém italiano.

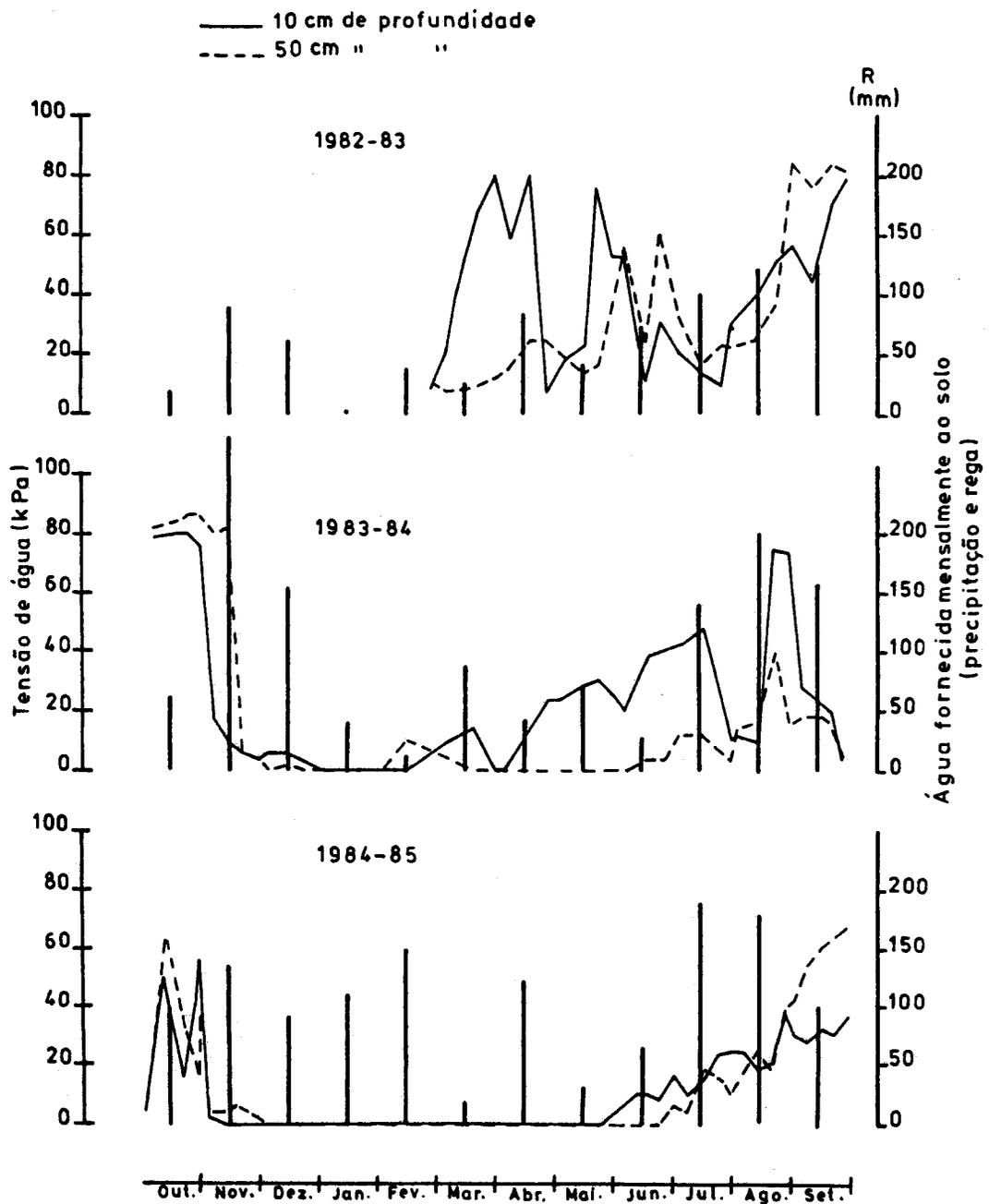


Fig. 6.2 - Variação da tensão hídrica do solo - Festuca alta.

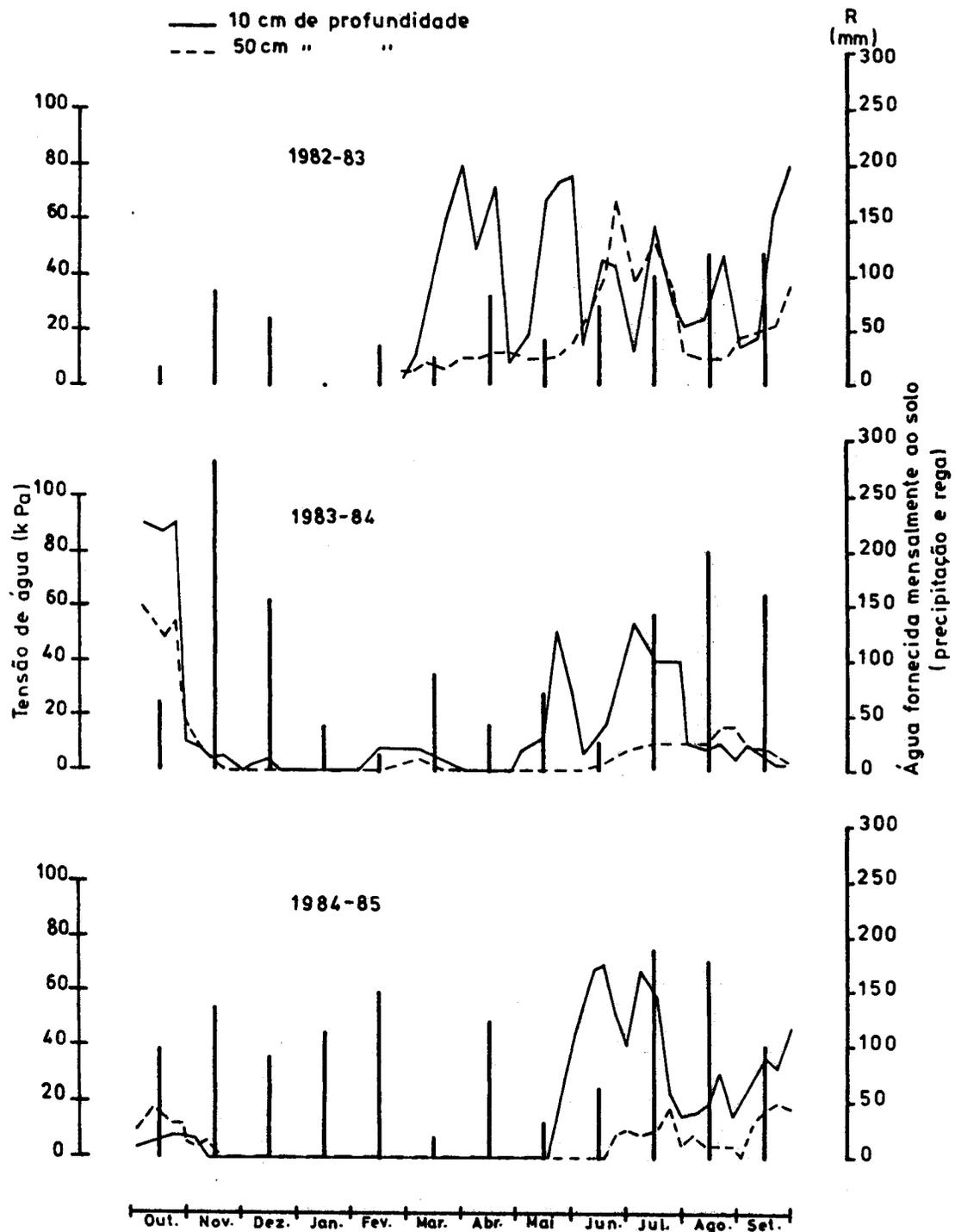


Fig.6.3 - Variação da tensão hídrica do solo - Trevo branco.

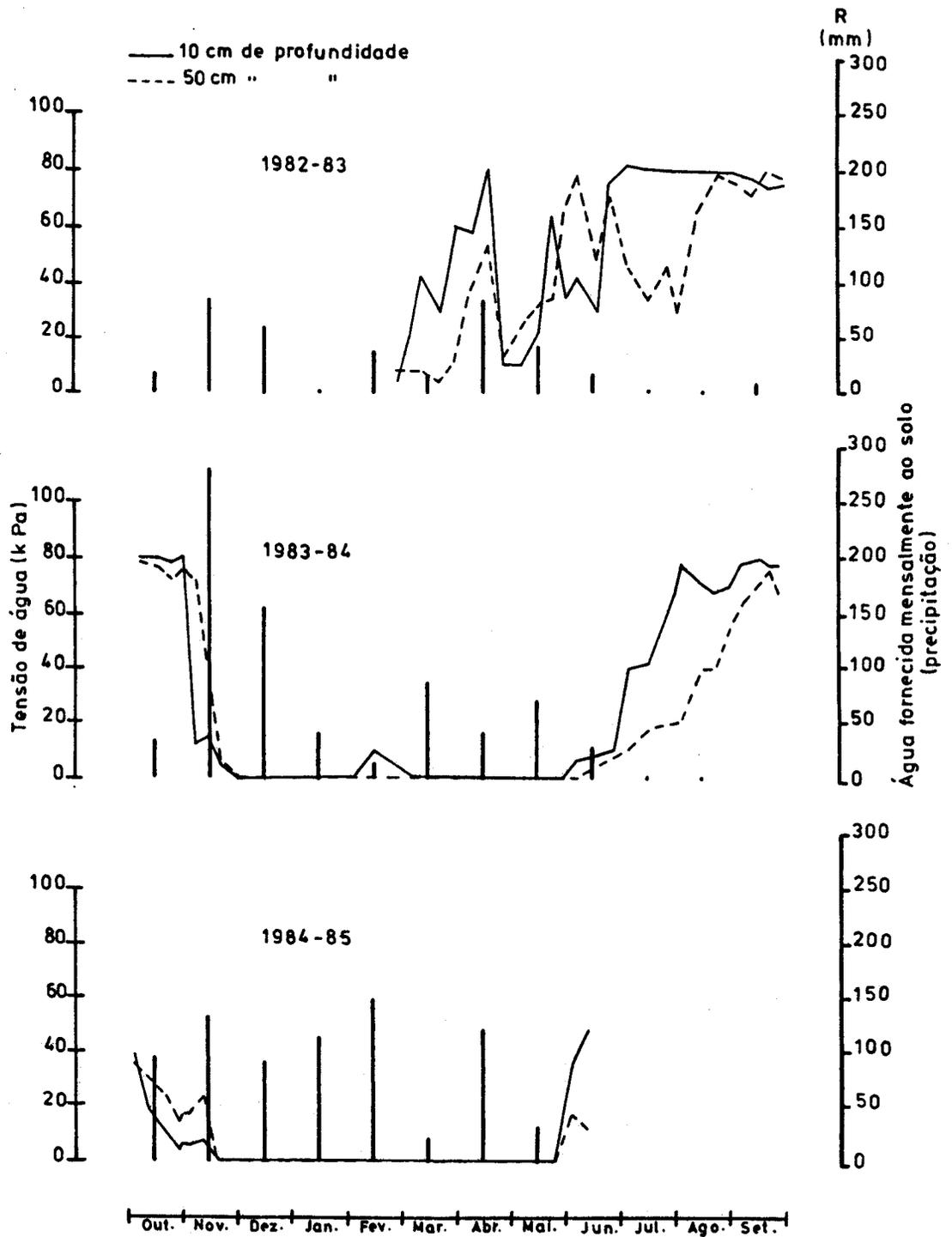


Fig. 6.4 – Variação da tensão hídrica do solo – Trevo subterrâneo.

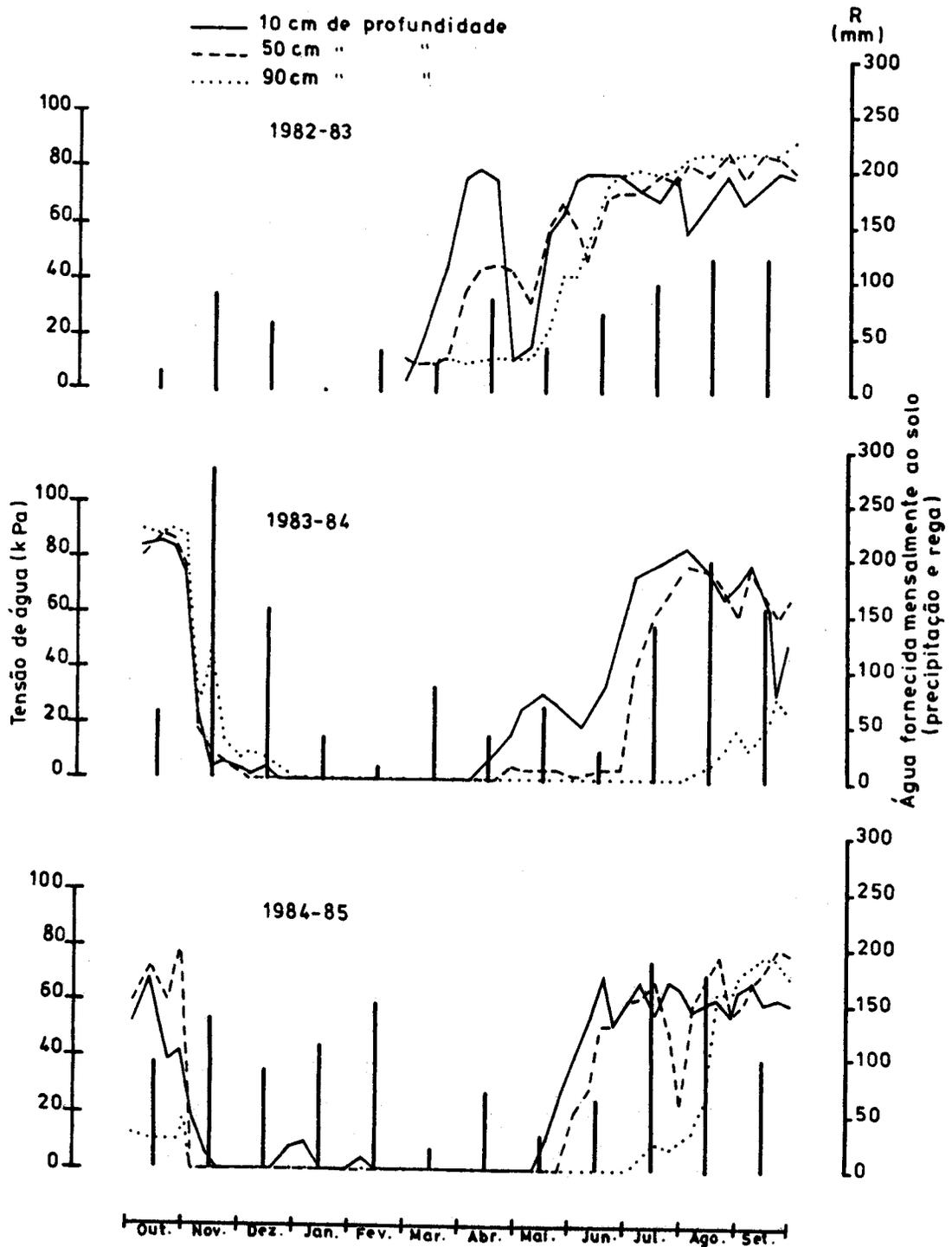


Fig.6.5—Variação da tensão hídrica do solo—Luzerna.

época seca, durante a qual apresentaram grandes oscilações, em geral superiores nas camadas superficiais do perfil. No período chuvoso, as tensões registadas foram praticamente nulas.

As diferenças verificadas entre anos para cada talhão resultaram de factores já referidos anteriormente. Para cada ano as diferenças registadas entre talhões, ou seja, entre culturas, poderão em parte ser atribuídas à heterogeneidade dos solos e em parte a diferenças no nível de extração de água pelas plantas e na espessura do solo explorado pelas raízes. Este tipo de comparação não inclui o trevo subterrâneo, o qual foi explorado em sequeiro.

É no entanto conveniente não esquecer a limitação do tensiómetro para detectar tensões acima dos 80 kPa, o que poderá explicar alguns desacertos verificados entre os níveis de humidade atingidos no solo, em determinados períodos e profundidades, e os correspondentes valores da tensão da água.

Como complemento destes dados surgem os da altura da toalha freática nos diferentes talhões explorados pelas culturas e para os dois últimos anos de experimentação (Fig. 7.1 e 7.2).

O nível da toalha freática no segundo ano (Fig. 7.1), em média entre os 50 e 80cm de profundidade até Maio-Junho, atingiu o seu ponto mais alto no perfil, 25-30cm, em fins de Março princípios de Abril, nos talhões do azevém, do trevo subterrâneo e da luzerna. No talhão do trevo branco a toalha freática nunca ascendeu acima dos 80cm, situação que se verificou também no talhão da festuca alta, até meados de Março.

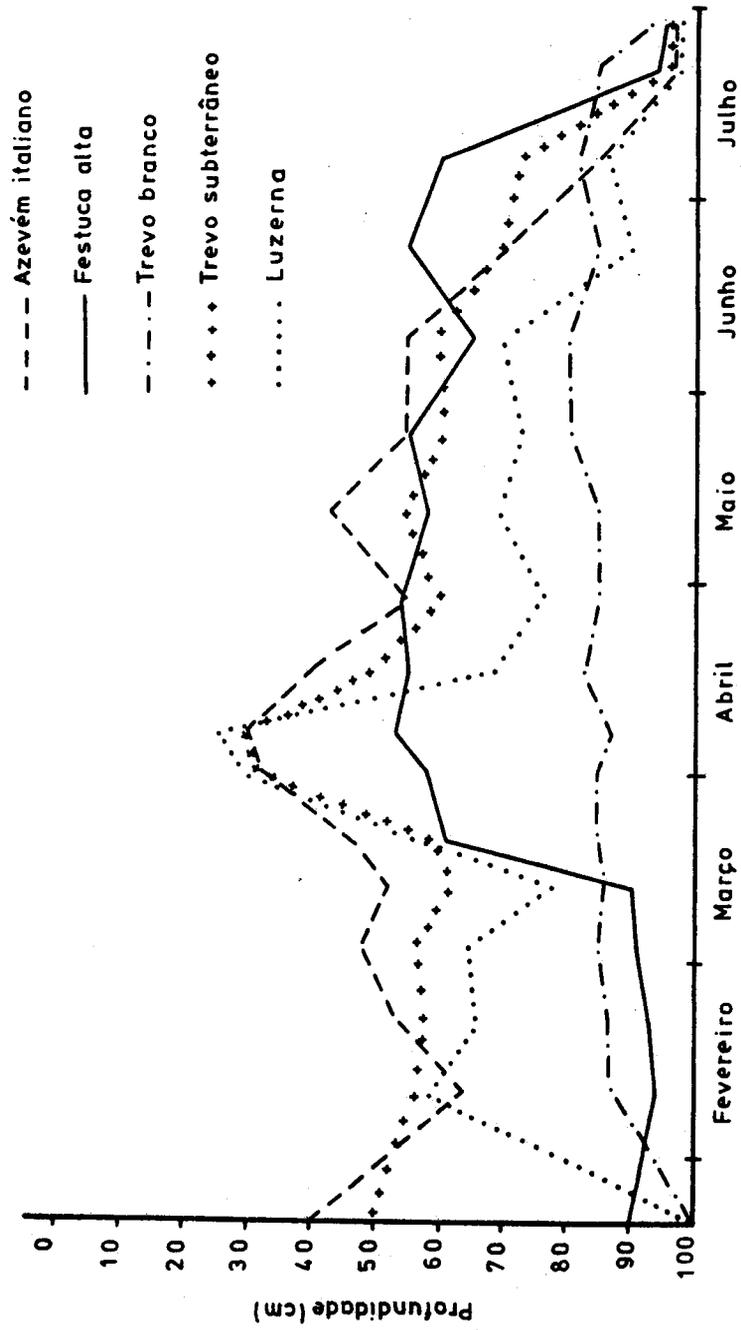


Fig. 7.1 — Nível da toalha freática nos talhões (1984).

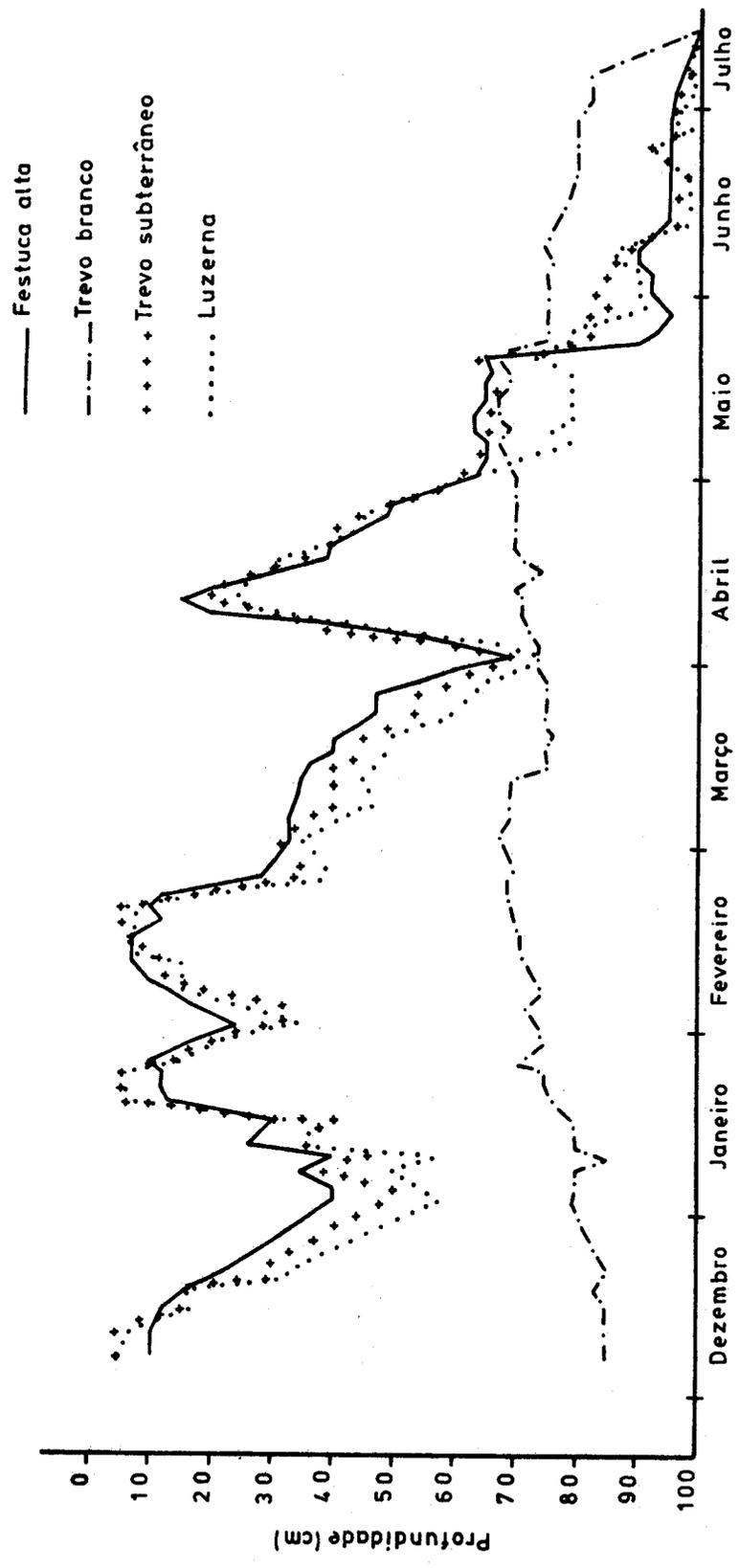


Fig.7.2 - Nível da toalha freática nos talhões (1984-85).

A partir desta altura e neste último caso, o nível da água oscilou entre os 50 e 60cm de profundidade, até o primeiro decêndio de Julho.

A localização dos talhões do trevo branco e da festuca alta numa zona de cota ligeiramente mais elevada, relativamente à das outras culturas, embora o declive do terreno fosse pequeno, poderá explicar as diferenças referidas.

No terceiro ano (Fig. 7.2), a toalha freática ascendeu a níveis mais próximos da superfície e, com excepção dos meses de Junho e Julho, os valores mais baixos voltaram a registar-se no talhão do trevo branco. Para as outras culturas, a situação foi mais ou menos semelhante e os períodos mais críticos, em que o nível da água ascendeu a 5-10cm de profundidade, verificaram-se em Novembro, Janeiro e Fevereiro.

Relativamente ao ano anterior em que a toalha freática se manteve alta até fins de Junho, no último ano a sua descida a níveis mais profundos, abaixo dos 80cm, verificou-se mais cedo, no fim de Maio.

O relacionamento das condições hídricas verificadas no solo com as culturas nele instaladas, nomeadamente através da definição da espessura de solo explorada pelas raízes e da quantidade de água disponível para as plantas, é o que se pretende representar nas figuras 8.1 a 8.5, para cada cultura e ano de exploração.

A variação do armazenamento da água útil no solo foi diferente de ano para ano, o que em parte traduz as diferenças

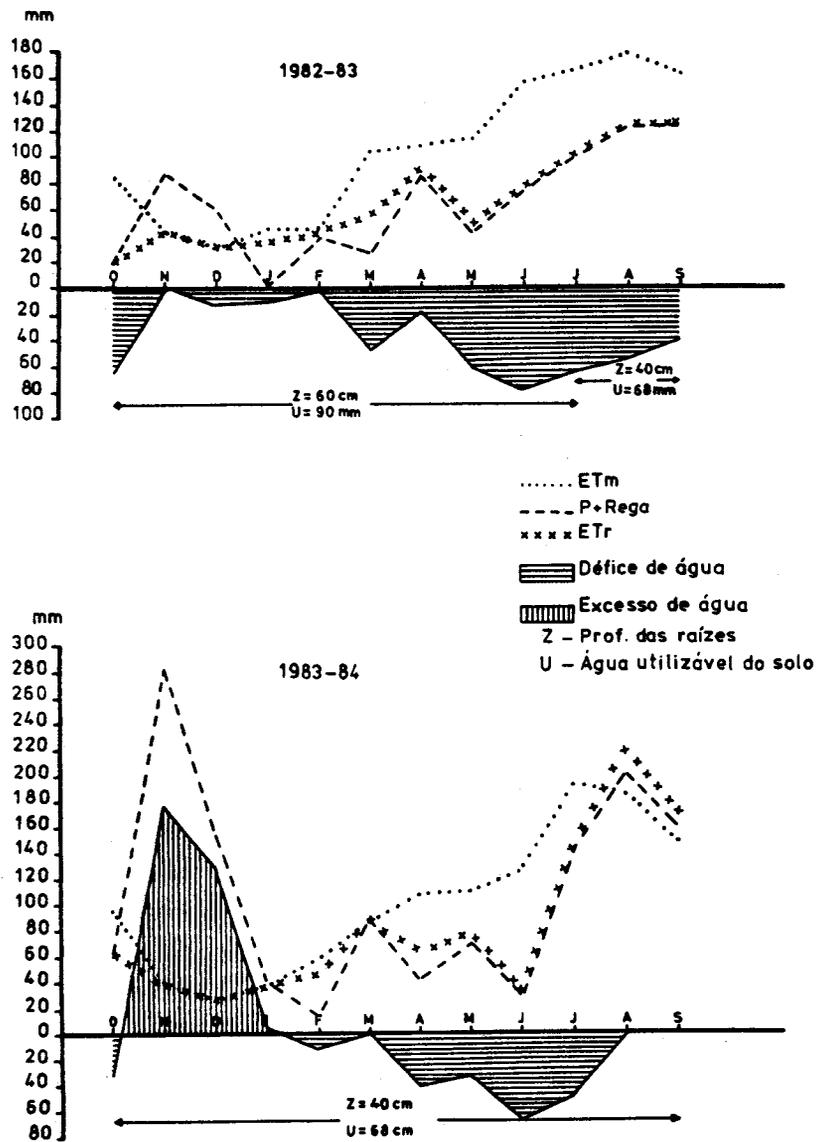


Fig.8.1-Varição do armazenamento da água útil no solo -
- Azevém italiano.

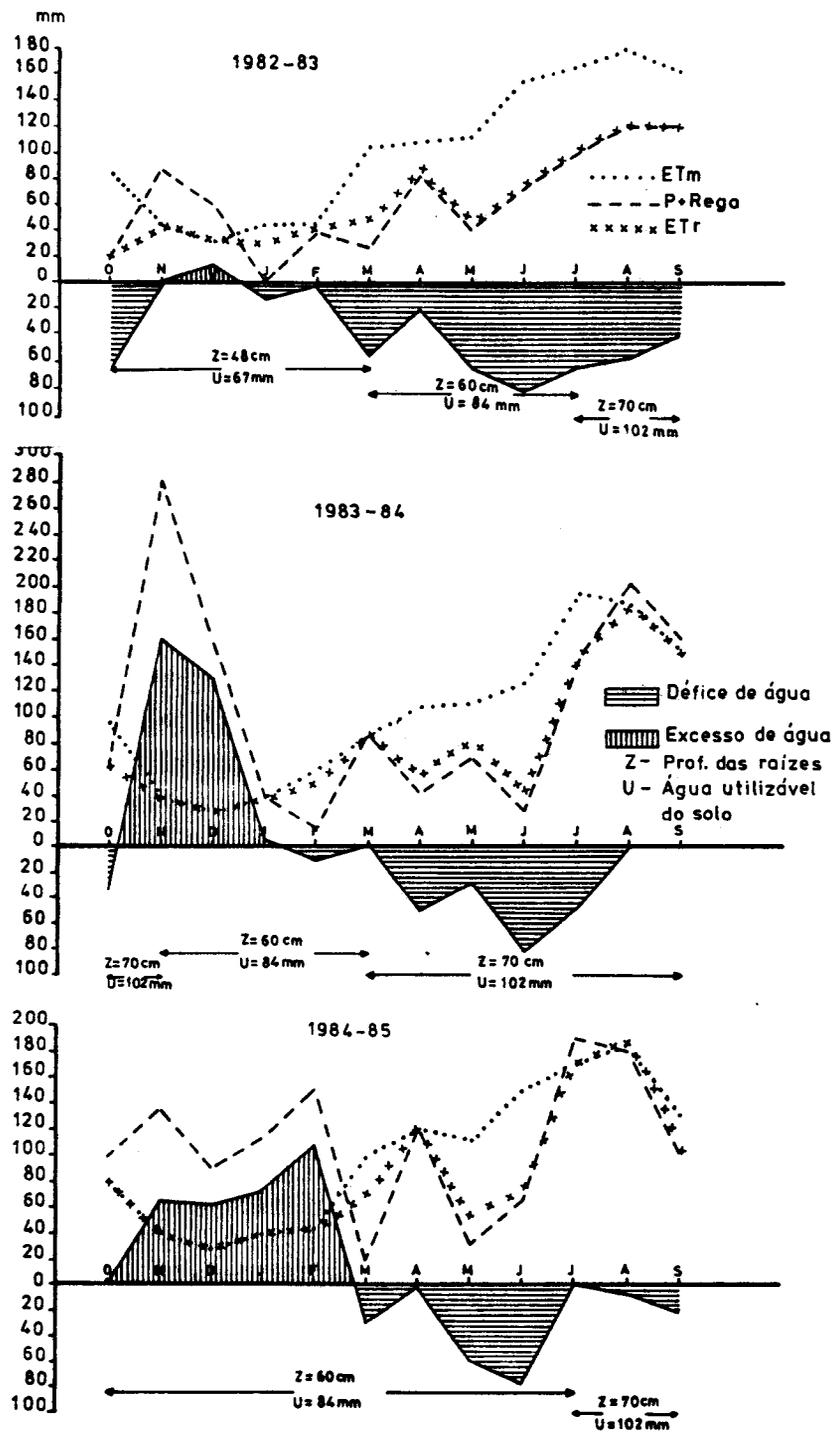


Fig.8.2-Varição do armazenamento da água util no solo-Festuca alta.

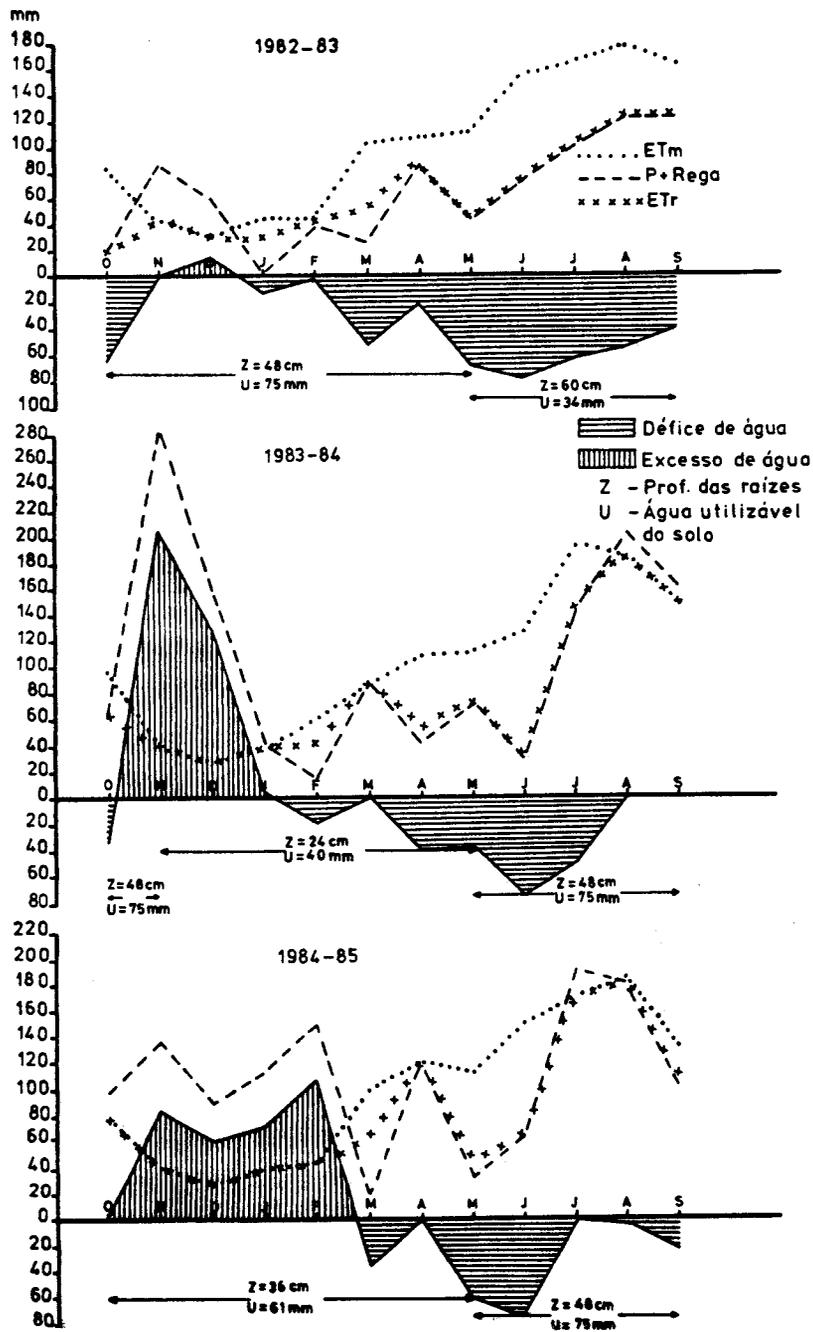


Fig.8.3 - Variação do armazenamento da água útil no solo-Trevo branco.

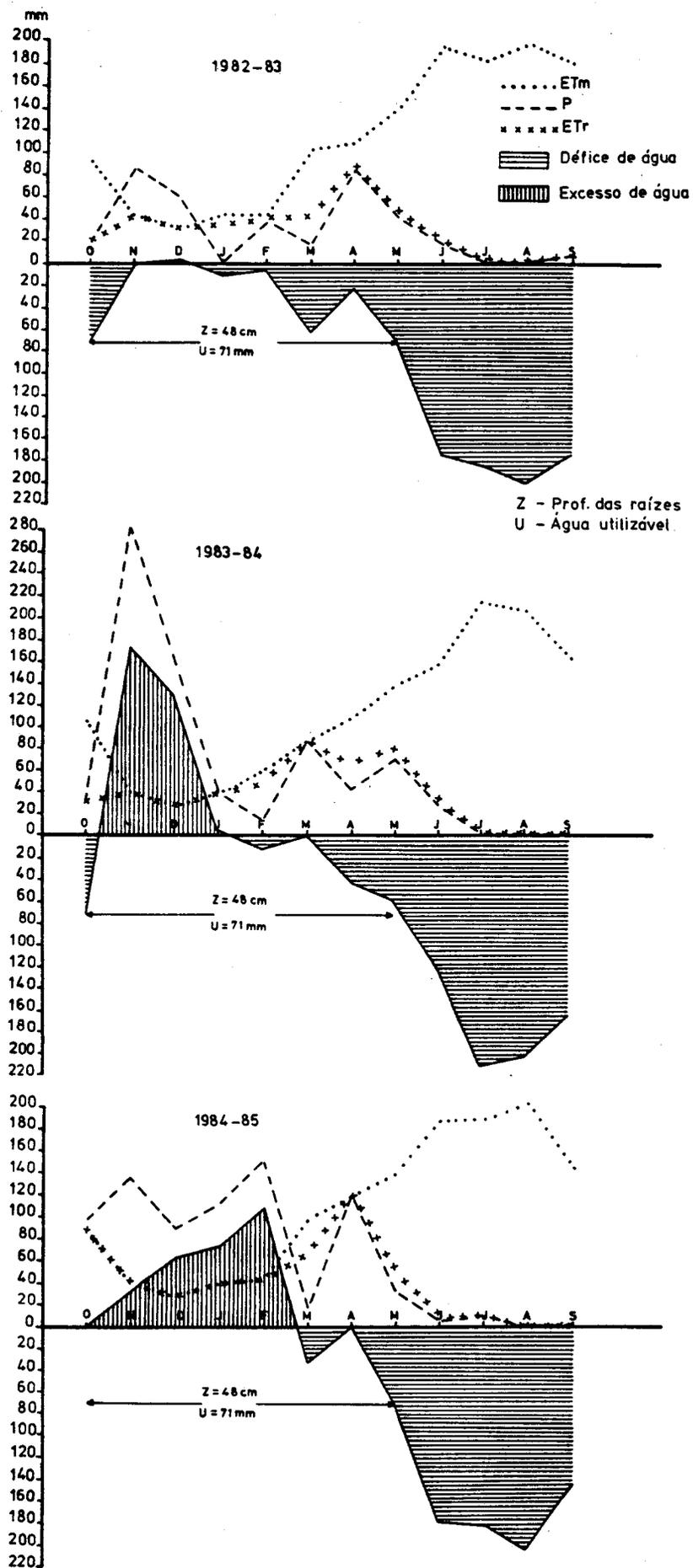


Fig. 8.4 - Variação do armazenamento da água útil no solo - Trevo subterrâneo.

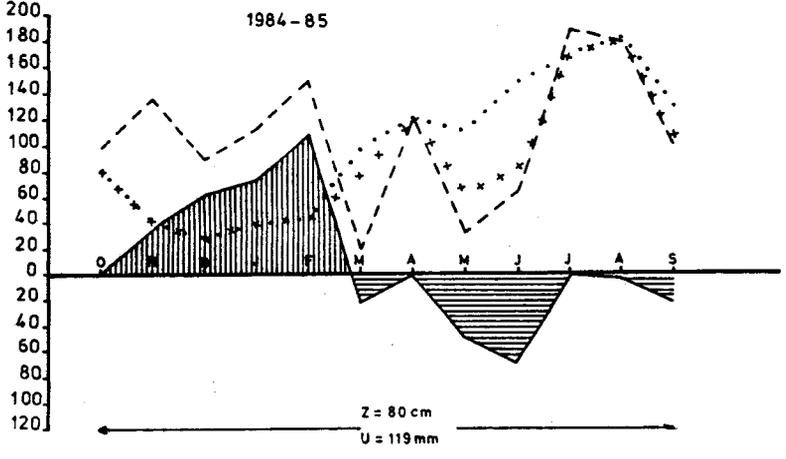
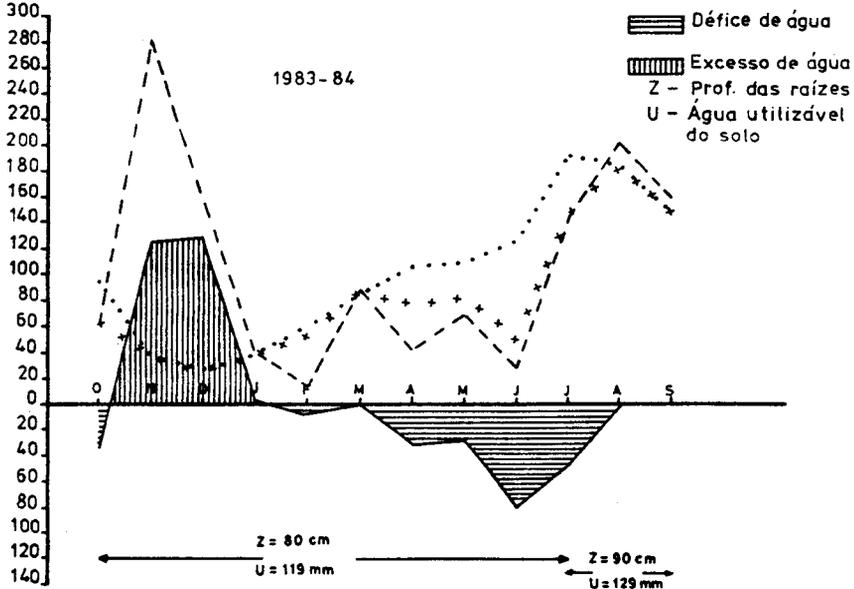
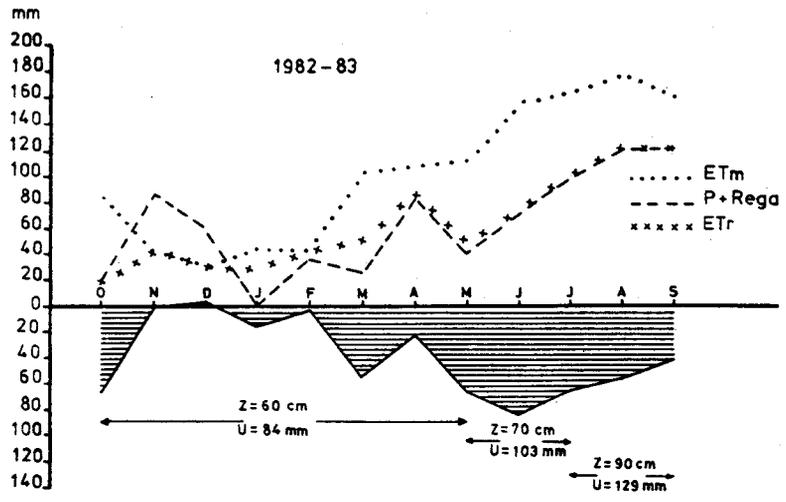


Fig. 85-Varição do armazenamento da água útil no solo-Luzerna.

já apontadas nos quantitativos de água fornecidos ao solo, quer pela precipitação quer pela rega, nos três anos de experimentação. Constatam-se as características de ano seco, já anteriormente referidas para o primeiro ano (1982-1983), e a existência nos outros anos de um período de excesso de água no solo. Este período, mais longo durante o terceiro ano de ensaio, atingiu no entanto quantitativos mensais inferiores aos registados no segundo ano.

Os défices de água, verificados em especial no período estival, quando atingiram níveis próximos da humidade crítica do solo, foram particularmente prejudiciais para as plantas por reduzirem drasticamente a quantidade de água de que dispunham para o seu normal crescimento e desenvolvimento. Desta situação é exemplo o que se passou com as gramíneas e o trevo branco que, pelo seu enraizamento pouco profundo, viram assim esgotadas mais rapidamente as reservas hídricas do solo. Para a luzerna, cultura com um sistema radical profundante, os défices de água verificados terão ficado muito aquém de corresponder ao esgotamento total das reservas hídricas na espessura de solo explorada pelas suas raízes, principalmente nos dois últimos anos.

Comparando as condições registadas no talhão do trevo subterrâneo com as observadas nas culturas regadas, constata-se que as regas, embora não tendo mantido o armazenamento da água do solo dentro dos níveis mais favoráveis, contribuíram para reduzir o problema da falta de água no solo durante o Verão. Foi em Junho que nas culturas regadas e nos diferentes anos

se atingiram os níveis mais altos do déficit hídrico no solo, o que sugere ter sido a rega iniciada demasiado tarde. O trevo subterrâneo cuja exploração final foi efectuada em Maio de cada ano, não foi afectado nem contribuiu para o déficit de água verificado nos meses de Verão. Aquele poderá ser atribuído à perda de água por evaporação a partir da superfície do solo o qual, até ao início da época das chuvas e conseqüentemente da germinação das sementes enterradas pelas próprias plantas, ficava praticamente descoberto.

4.2.2- Temperatura

A variação anual da temperatura do solo a 10cm de profundidade é apresentada na figura 9 como temperatura média mensal das máximas, temperatura média mensal das mínimas e temperatura média mensal. Para efeitos de comparação, incluem-se também as temperaturas médias mensais do ar, correspondentes aos mesmos períodos.

Aquela profundidade, a temperatura do solo acompanhou de uma forma aproximada a variação verificada para a temperatura do ar, sendo as amplitudes da variação anual no solo cerca de 2°C superiores às observadas no ar, durante os três anos de ensaio.

É preciso ter em atenção que o termógrafo foi instalado num dos talhões regados, o que explica os valores registados no

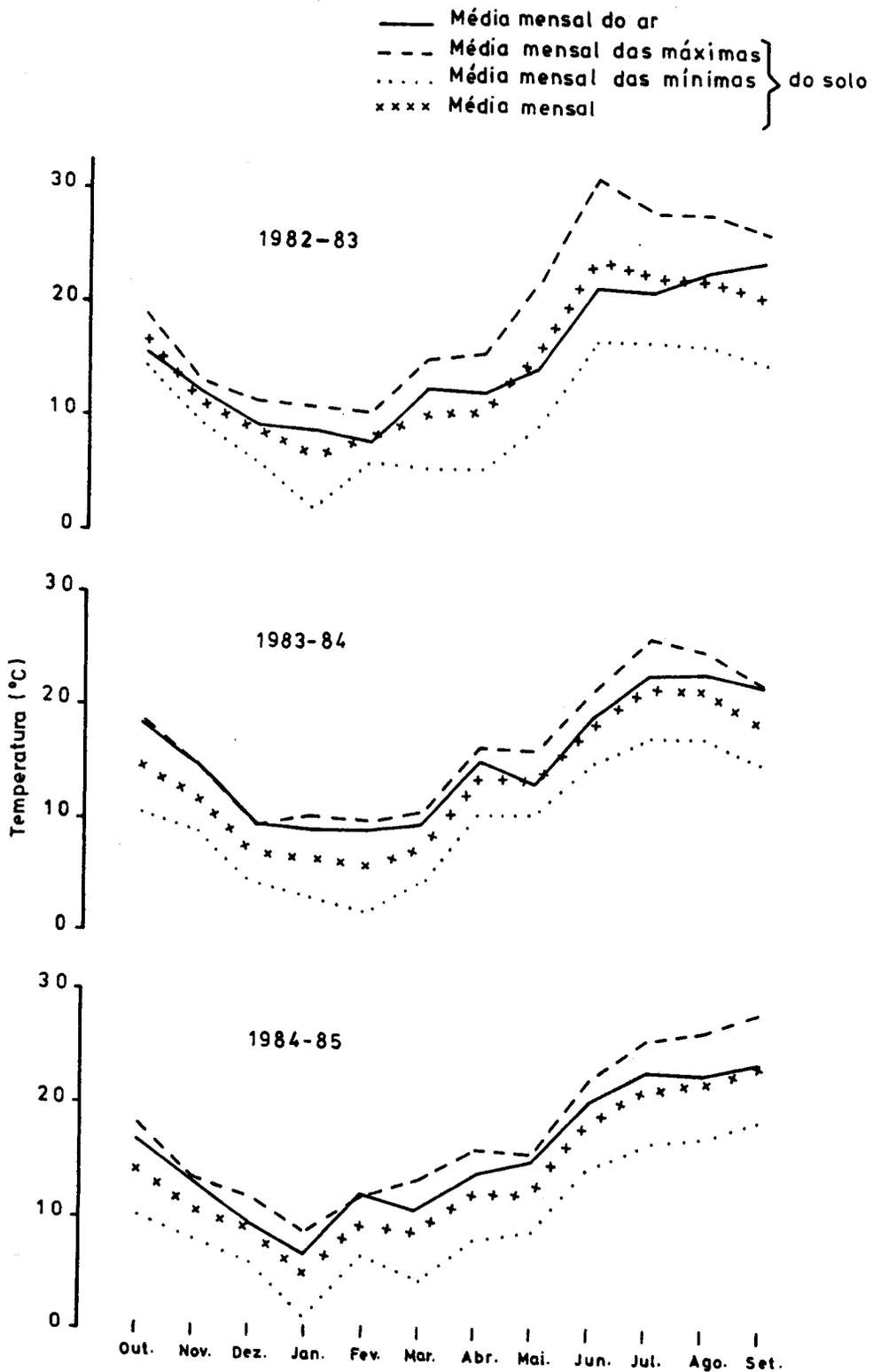


Fig. 9 - Variação mensal das temperaturas médias do ar e do solo a 10cm de profundidade.

solo durante o período estival, em geral inferiores aos da temperatura média do ar. Só no período de Maio a Julho do primeiro ano as temperaturas médias do solo estiveram acima das do ar, o que poderá ser reflexo das condições de deficiência hídrica do solo observadas nesse período e já anteriormente discutidas.

A partir de referências feitas na bibliografia sobre valores óptimos e críticos da temperatura do solo para o crescimento das plantas, com relevo para a parte radical, é possível fazer uma breve análise das condições térmicas do solo registadas durante o ensaio.

Só nos meses de Verão, entre Junho e Setembro, se verificaram no solo temperaturas da ordem dos 20-30°C referidas por VOORHEES et al. (1981) como, de uma maneira geral, óptimas para o crescimento radical. No entanto, para as gramíneas e fundamentalmente para o azevém, cujo óptimo térmico é de 18-20°C, aquelas temperaturas terão sido críticas. Já UENO e YOSHIRA (1967) tinham constatado uma redução do crescimento radical em gramíneas, para uma temperatura do solo de 24°C.

A temperatura média do solo a 10cm de profundidade manteve-se entre 20 e 25°C de Junho a Setembro do primeiro ano. Foi também superior a 20°C em Julho e Agosto do segundo ano e de Julho a Setembro do terceiro. Coincidindo com os mesmos períodos em cada ano, as temperaturas médias mensais das máximas, observadas a 10cm de profundidade, foram superiores a 25°C, chegando a ultrapassar os 30°C, como aconteceu em Junho do primeiro ano.

Para vinte cultivares de luzerna, entre as quais várias da espécie sativa, a temperatura do solo à qual corresponde a produção máxima de raízes é referida por NIELSEN et al. (1960) como sendo de 19,4°C e por HEINRICHS e NIELSEN (1966) como sendo de 12°C. Estes últimos concluem que em climas temperados o máximo desenvolvimento radical da luzerna se verifica em Maio e Setembro. Nos três anos de experimentação do presente estudo, temperaturas médias do solo entre 10 e 15°C foram observadas, a 10cm de profundidade, nos períodos de Outubro-Novembro e Abril - Maio.

Com exceção do período estival, a temperatura do solo foi em média inferior a 15°C, tendo atingido os seus valores mais baixos entre Dezembro e Fevereiro. Neste período, as temperaturas médias mensais das mínimas foram em geral inferiores a 5°C. Estas terão sido críticas para a luzerna, por exemplo, que a temperaturas do solo abaixo dos 5°C apresenta uma forte redução na taxa de absorção de água a partir do solo (EHLER, 1963).

É evidente que a profundidades inferiores e superiores aos 10cm considerados, as condições térmicas do solo terão sido diferentes, respectivamente mais e menos críticas. Com efeito, as amplitudes térmicas do solo são atenuadas com a profundidade, pelo que a nível das camadas mais profundas as temperaturas são menos desfavoráveis para as plantas.

4.3 - Comportamento dos sistemas radicais

4.3.1- Densidade e peso radical

A evolução dos sistemas radicais, expressa pelo comprimento total de raiz contida na unidade de volume de solo, a densidade radical, e pelo peso seco das raízes referente também à unidade de volume de solo, está representada nas figuras 10.1 a 10.8 e nas tabelas 3.1 a 3.10, por espécie, por data de observação e por camada do perfil do solo estudada.

A figura 10.1 e a tabela 3.1, que traduzem a distribuição radical do azevém italiano no primeiro ano de exploração, mostram que os valores atingidos pela densidade radical no fim de Março foram da ordem dos 4,7 e 2,0 cm cm^{-3} , respectivamente nas camadas de 0-12 e 12-24 cm de profundidade. Em Maio apresentaram uma redução para cerca de metade, mantendo-se dentro dos mesmos valores em Junho, com excepção da segunda camada que registou um pequeno aumento. Isto vem confirmar que a rega além de insuficiente foi iniciada tarde.

Em Julho, os valores da densidade radical voltaram a aproximar-se dos observados no final do Inverno e posteriormente, aquando do último corte, verificou-se nova descida na densidade de raízes para cerca de 0,4 e 0,1 cm cm^{-3} ,

respectivamente na primeira e segunda camadas, o que corresponde a menos de 10% dos níveis mais altos observados.

Em termos de peso radical (Fig.10.1 e Tab. 3.2), a distribuição das raízes evoluiu de uma forma semelhante à verificada para a densidade radical, embora com uma menor amplitude dos valores, o que poderá ser explicado por serem fundamentalmente as raízes finas aquelas que mais marcadamente reflectem as alterações ambientais. O que em termos de comprimento constituiu um decréscimo apreciável do crescimento radical, teve, em termos de peso seco, uma menor expressão.

A distribuição radical durante o segundo ano de exploração do azevém italiano (Fig. 10.2 e tab. 3.1 e 3.2) evoluiu em moldes diferentes dos do ano anterior.

Após a paragem estival do primeiro ano, a que correspondeu a morte da maior parte das raízes, a sua renovação iniciou-se no princípio do Outono. Foi fundamentalmente a nível da camada superficial de 0-12cm de profundidade que se notou o aumento no enraizamento. Os valores da densidade radical, da ordem dos 2cm cm^{-3} , registados em Dezembro naquela camada, triplicaram no início de Maio.

O decréscimo de densidade, também observado nesse ano no final do Verão, foi no entanto inferior ao do ano anterior. Talvez que à data da última observação no primeiro ano, cerca de 23 dias mais tarde do que a do segundo, nas raízes mortas fosse mais evidente o seu estado e por conseguinte mais eficiente a sua separação das raízes vivas.

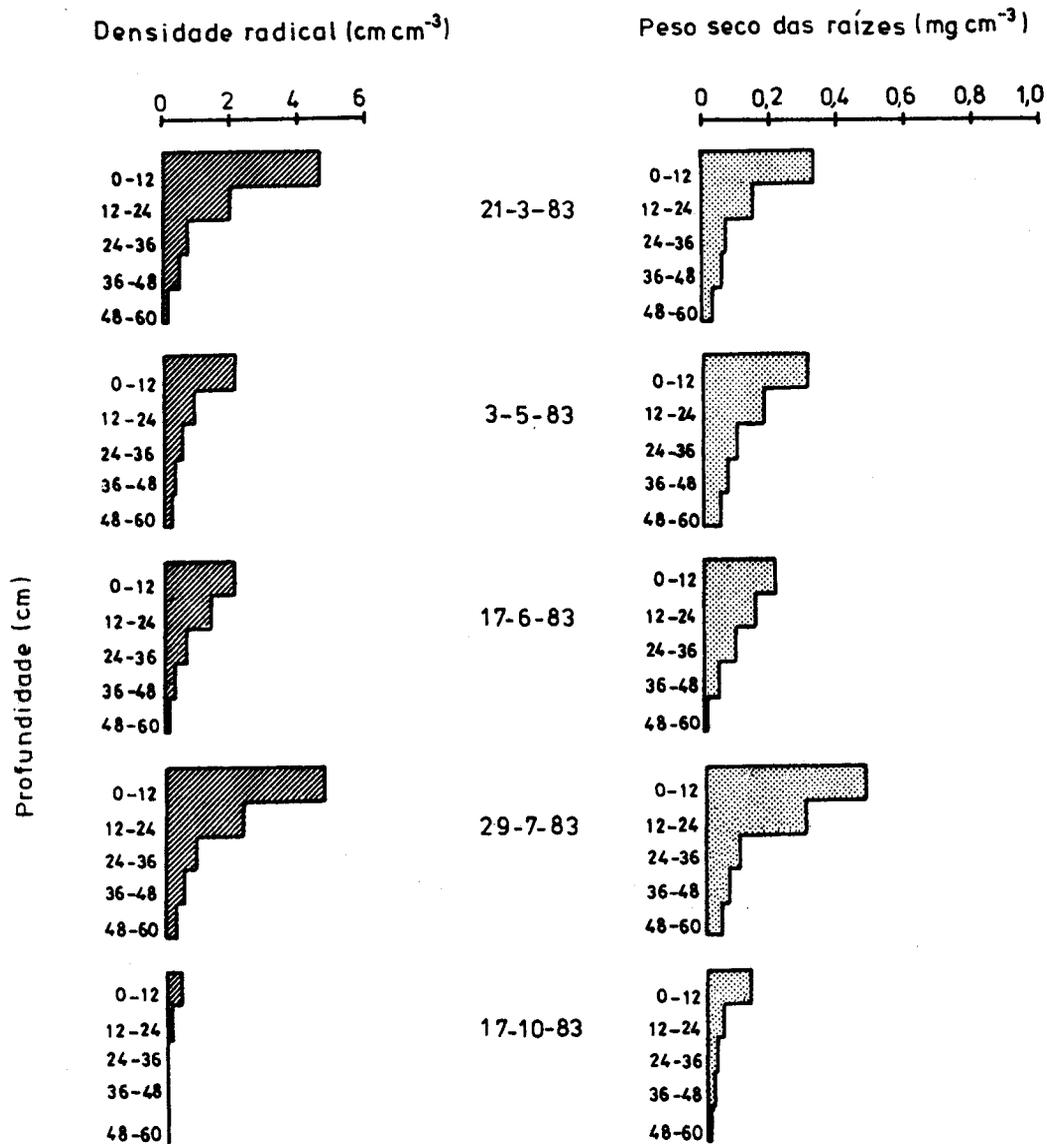


Fig.10.1 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte - Azevém italiano (1982-83).

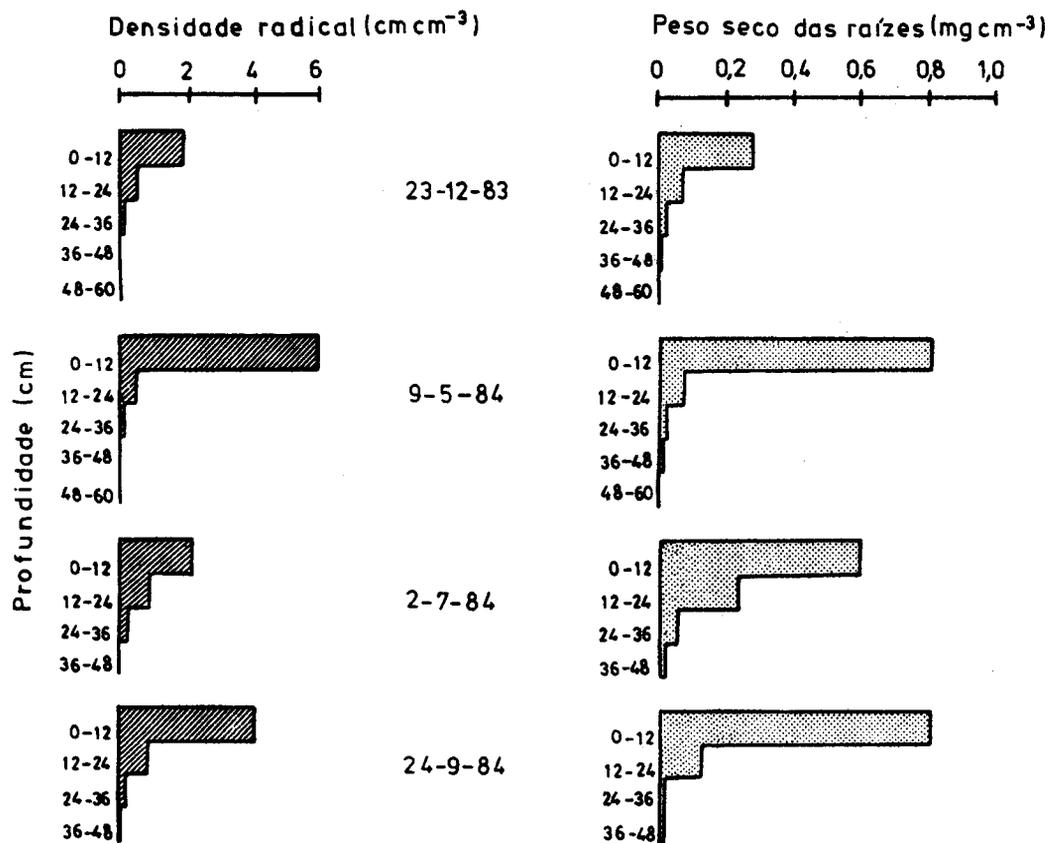


Fig.10.2 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte -
- Azevém italiano (1983-84).

Tabela 3.1 - Densidade radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte -

- Azevém italiano

Prof.(cm)	Cortes						1º ano					2º ano								
	1º		2º		3º		4º		5º		Média	1º		2º		3º		4º		Média
	19	29	39	49	59	Média	19	29	39	49	Média	19	29	39	49	Média				
0-12 (CV)	4,69 (32)	2,14 (23)	2,10 (46)	4,70 (21)	0,41 (41)	2,81	1,83 (77)	5,85 (29)	2,07 (35)	3,95 (24)	3,43									
12-24 (CV)	2,00 (37)	0,88 (50)	1,39 (25)	2,28 (25)	0,12 (27)	1,33	0,47 (73)	0,46 (79)	0,83 (43)	0,76 (43)	0,63									
24-36 (CV)	0,71 (39)	0,57 (41)	0,59 (14)	0,85 (43)	0,05 (57)	0,55	0,09 (83)	0,09 (88)	0,20 (112)	0,09 (118)	0,12									
36-48 (CV)	0,49 (36)	0,32 (63)	0,25 (54)	0,54 (44)	0,03 (168)	0,33	0,05 (168)	0,03 (82)	0,04 (159)	0,06 (177)	0,04									
48-60 (CV)	0,13 (54)	0,22 (88)	0,11 (110)	0,29 (74)	0,01 (217)	0,15	0,02 (156)	0,01 (245)	0 (-)	0 (-)	0,008									
Média (CV)	1,60 (13)	0,83 (22)	0,89 (17)	1,73 (7)	0,12 (26)	1,03	0,49 (46)	1,29 (24)	0,63 (18)	0,97 (22)	0,85									

(CV) - coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano	
	D.M.S.(0,05)		D.M.S.(0,01)	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,21	0,29	0,38	0,52
época de corte	0,27	0,35	0,29	0,39
época de corte p/ cada profundidade	0,59	0,79	0,66	0,87

Tabela 3.2 - Peso radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte -

- Azevém italiano

Prof.(cm)	Cortes					Média	1º ano					Média
	1º	2º	3º	4º	5º		1º	2º	3º	4º		
0-12 (CV)	0,33 (36)	0,31 (46)	0,21 (29)	0,48 (37)	0,13 (39)	0,29	0,27 (49)	0,81 (40)	0,59 (41)	0,80 (28)	0,62	
12-24 (CV)	0,15 (36)	0,18 (54)	0,15 (33)	0,30 (24)	0,05 (42)	0,17	0,07 (49)	0,07 (51)	0,23 (25)	0,12 (58)	0,12	
24-36 (CV)	0,06 (32)	0,10 (59)	0,09 (32)	0,10 (73)	0,02 (76)	0,07	0,02 (107)	0,02 (87)	0,05 (117)	0,01 (166)	0,02	
36-48 (CV)	0,06 (41)	0,07 (120)	0,04 (78)	0,07 (55)	0,02 (125)	0,05	0,01 (158)	0,01 (89)	0,01 (157)	0,01 (167)	0,01	
48-60 (CV)	0,03 (105)	0,05 (80)	0,01 (114)	0,05 (99)	0,06 (213)	0,04	0,004 (233)	0,002 (245)	0 (-)	0 (-)	0,002	
Média (CV)	0,13 (11)	0,14 (51)	0,10 (15)	0,20 (22)	0,05 (25)	0,12	0,07 (31)	0,18 (36)	0,18 (32)	0,19 (30)	0,15	

(CV) - coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,03	0,04	0,07	0,10
época de corte	0,04	0,05	0,05	0,07
época de corte p/ cada profundidade	0,08	0,11	0,12	0,16

Em Julho, a densidade radical baixou apenas na camada mais superficial, tendo as seguintes registado aumentos de quase 100%. A nível da camada mais profunda, 48-80cm, tanto nesta época de corte como na seguinte não foram encontradas raízes.

Os valores mais baixos durante a Primavera do primeiro ano, poderão ser atribuídos à falta de água no solo, posteriormente colmatada pelas regas iniciadas em meados de Junho, as quais terão levado a um recrudescer da actividade radical em todas as camadas. No segundo ano, as reservas hídricas do solo foram suficientes para permitir que a actividade radical apresentasse o seu pico mais alto na Primavera, mas em Julho volta a verificar-se a morte de grande quantidade de raízes finas, fundamentalmente na camada de 0-12cm, coincidindo com novo período de escassez de água.

A renovação anual das raízes, característica das gramíneas utilizadas neste estudo (STUCKEY, 1941), justifica os valores verificados para o último corte de cada ano e que traduzem as condições finais do Verão, para as quais contribuem também as altas temperaturas do solo (UENO e YOSHIHARA, 1967; GARWOOD, 1968; CARADUS e EVANS, 1977).

GARWOOD (1967a) refere que nas gramíneas a produção de raízes adventícias vai aumentando ao longo do Inverno até ao início da Primavera, a partir da qual começa a baixar, atingindo os valores mínimos no Verão. Em termos de longividade, o azevém perene e o panasco são, entre as gramíneas, as que têm raízes com vida respectivamente mais curta e mais longa, ocupando a festuca alta uma posição intermédia (TROUGHTON, 1981a).

As grandezas radicais variaram ao longo do ano de uma forma significativa, tal como se pode observar nas tabelas 3.1 e 3.2 em que as diferenças entre épocas de corte, fundamentalmente as respeitantes às duas camadas superficiais, foram muito significativas. Em termos quer de densidade quer de peso radical verificaram-se também diferenças muito significativas entre as profundidades observadas, tendo-se destacado a camada de 0-12cm, na qual foi grande a concentração da massa radical. EVANS (1978) refere que cerca de 81% das raízes do azevém perene se concentram nos 20cm superficiais do solo. No presente trabalho, o azevém italiano apresentou em média, 80 e 96% das suas raízes nos 24cm superficiais, respectivamente nos primeiro e segundo anos.

Em ordem de grandeza, os dados obtidos neste trabalho foram inferiores aos referidos por outros autores para as gramíneas em geral e para o azevém italiano em particular. NEWMAN (1969a) concluiu, a partir dos valores obtidos por DITTMER (1938) e PAVLYCHENKO (1942), que, até uma profundidade de 10 ou 15cm, o comprimento radical nas gramíneas está compreendido entre 360 e 3400cm cm⁻². Para o azevém italiano, os valores obtidos neste estudo para a camada de 0-12cm não ultrapassaram os 70cm cm⁻².

O mesmo tipo de observação pode ser feita da comparação com os valores obtidos por GARWOOD e SINCLAIR (1979) para o azevém perene com dois anos de exploração e que foram, em camadas sucessivas de 10cm de espessura, respectivamente de

82,4; 14,6; 20,8; 7,2; 3,4 e 2,8cm cm⁻³.

Expressos em peso seco, os valores obtidos por GARWOOD (1967b), num prado de azevém perene com cinco anos e que representam a média de três cortes, foram de 517, 115, 91 e 61gm⁻², respectivamente nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-15cm. No segundo ano do presente ensaio, o azevém italiano apresentou nos 12cm superficiais um valor médio de 74g m⁻² e um máximo de 97 g m⁻².

Mais recentemente, os dados obtidos por O'NEIL e CARROW (1983) num ensaio para avaliar a distribuição radical do azevém perene, em solo sujeito a três níveis de compactação, correspondentes a densidades aparentes de 1,40; 1,49 e 1,57, estão mais de acordo com os observados neste trabalho. As condições são próximas das verificadas no talhão do azevém italiano, pois que neste a densidade aparente na camada de 0-12cm foi de 1,40 e na camada seguinte de 1,65. Assim, na primeira colheita em Março do primeiro ano, aqueles autores obtiveram para o nível mais baixo de compactação pesos radicais da ordem dos 0,32; 0,14 e 0,11 mg cm⁻³ nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-25cm de profundidade. No nosso caso, o azevém italiano apresentou no primeiro corte, em Março, pesos radicais de 0,33; 0,15 e 0,06 mg cm⁻³, nas três primeiras camadas respectivamente desde a superfície até os 36 cm de profundidade.

Relativamente ao comportamento do sistema radical, JACQUES e SCHWASS (1956) referem que o azevém italiano se destingue do perene por uma maior redução na quantidade de raízes durante o Verão, por uma rebentação mais lenta no Outono

e por uma grande produção de raízes novas durante o Inverno, as quais constituem a maior parte do sistema radical. A estas características, das quais resulta uma menor capacidade de persistência do azevém italiano em relação ao perene, poderão também ser atribuídas as diferenças verificadas, na maioria dos casos, entre os valores obtidos neste e noutros trabalhos.

A distribuição radical na festuca alta durante os três anos de exploração (Fig. 10.3, 10.4 e 10.5 e Tab. 3.3 e 3.4) foi caracterizada por um tipo de evolução diferente da observada no azevém italiano. Em todos os anos, as raízes mantiveram-se activas até ao final do Verão, princípio do Outono. Do mesmo modo, os valores obtidos para as características radicais mostram um acréscimo gradual do primeiro para o último ano de ensaio, o que foi constatado a nível da maior parte das camadas de solo estudadas.

Da análise das tabelas 3.3 e 3.4 conclui-se que as densidades e os pesos médios das raízes da festuca alta, observados nos diferentes cortes, são significativamente diferentes em cada ano de ensaio, o mesmo acontecendo quando se comparam os mesmos valores por camada ou profundidade estudada.

A profundidade máxima a que foram encontradas raízes variou entre os 60 e 70cm, em parte devido à oscilação da toalha freática, a qual durante o Inverno e por um período considerável se manteve na zona de expansão radical.

Das comparações entre densidades e entre pesos radicais médios, correspondentes às diferentes profundidades, resultaram

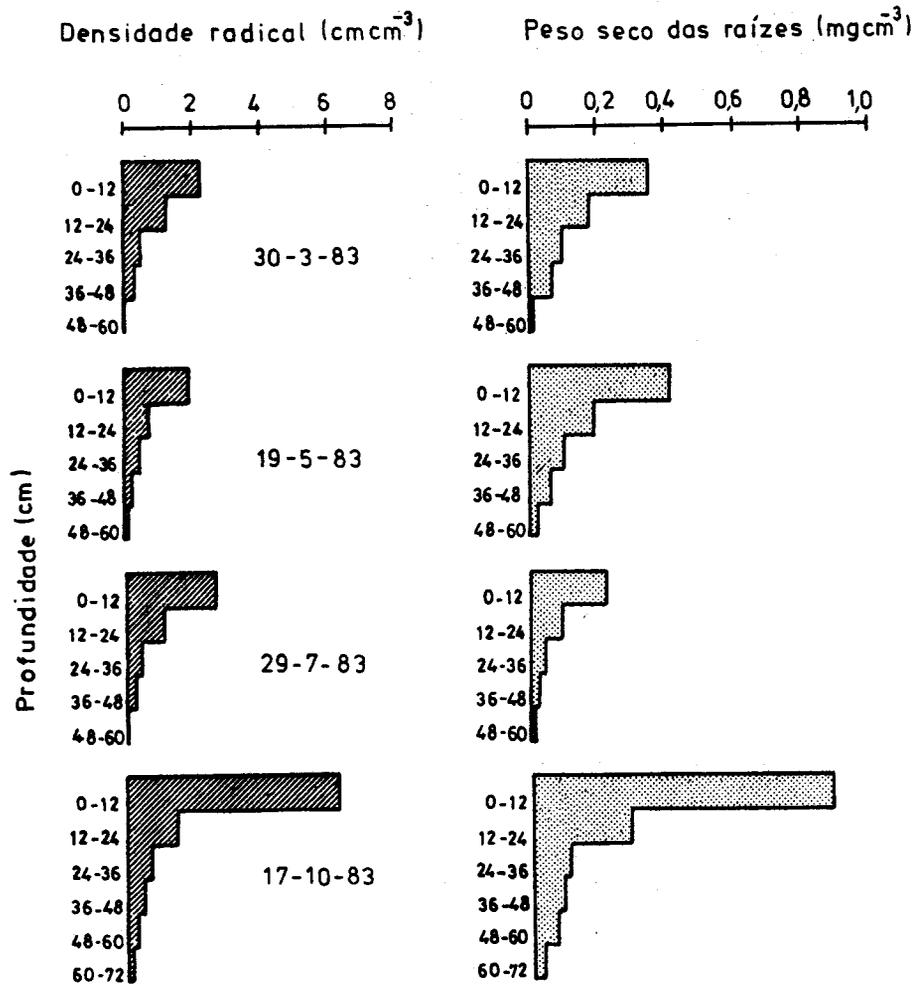


Fig. 10.3 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte -Festuca alta (1982-83).

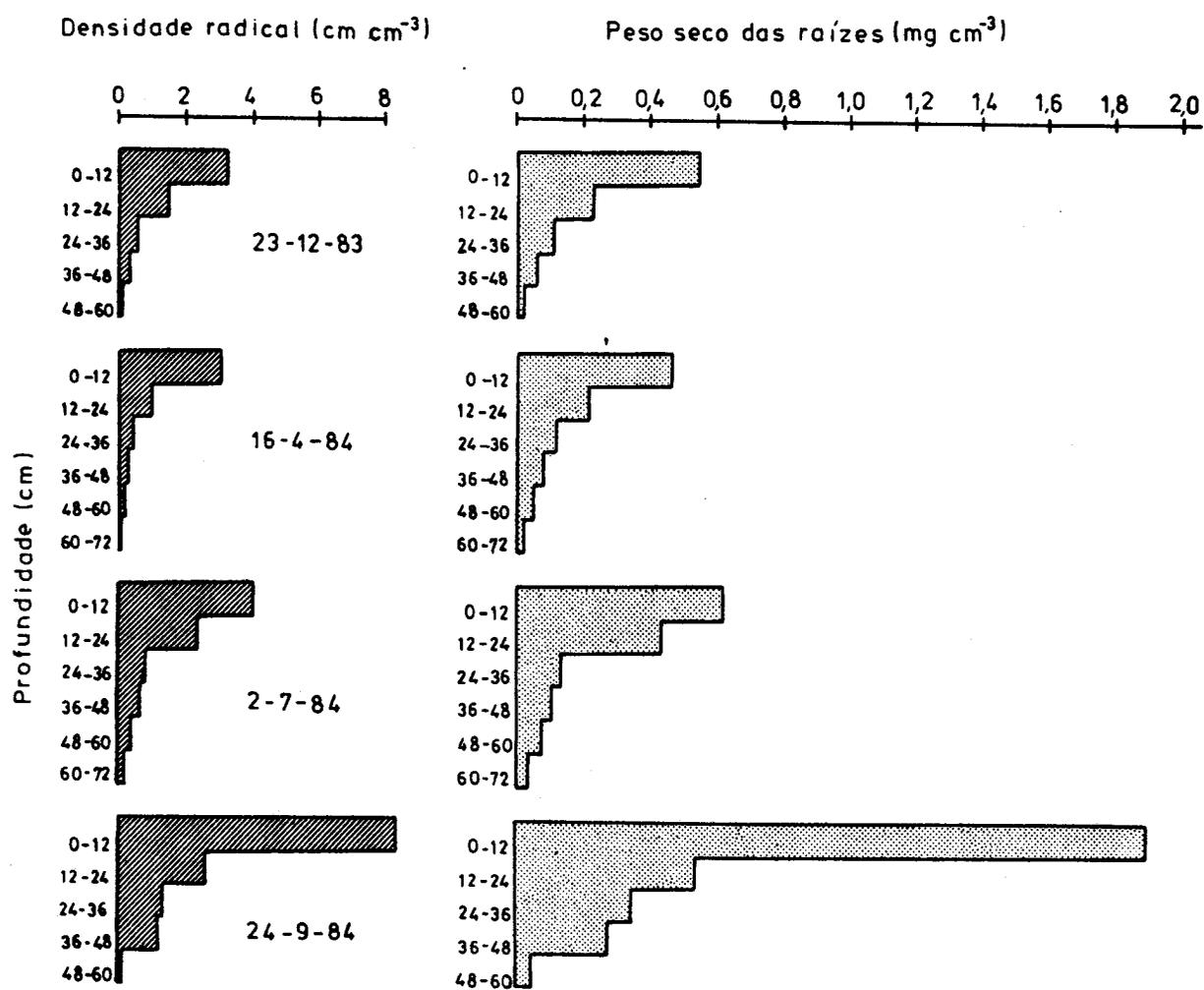


Fig.10.4-Distribuição radical nas diferentes épocas de corte - Festuca alta (1983-84).

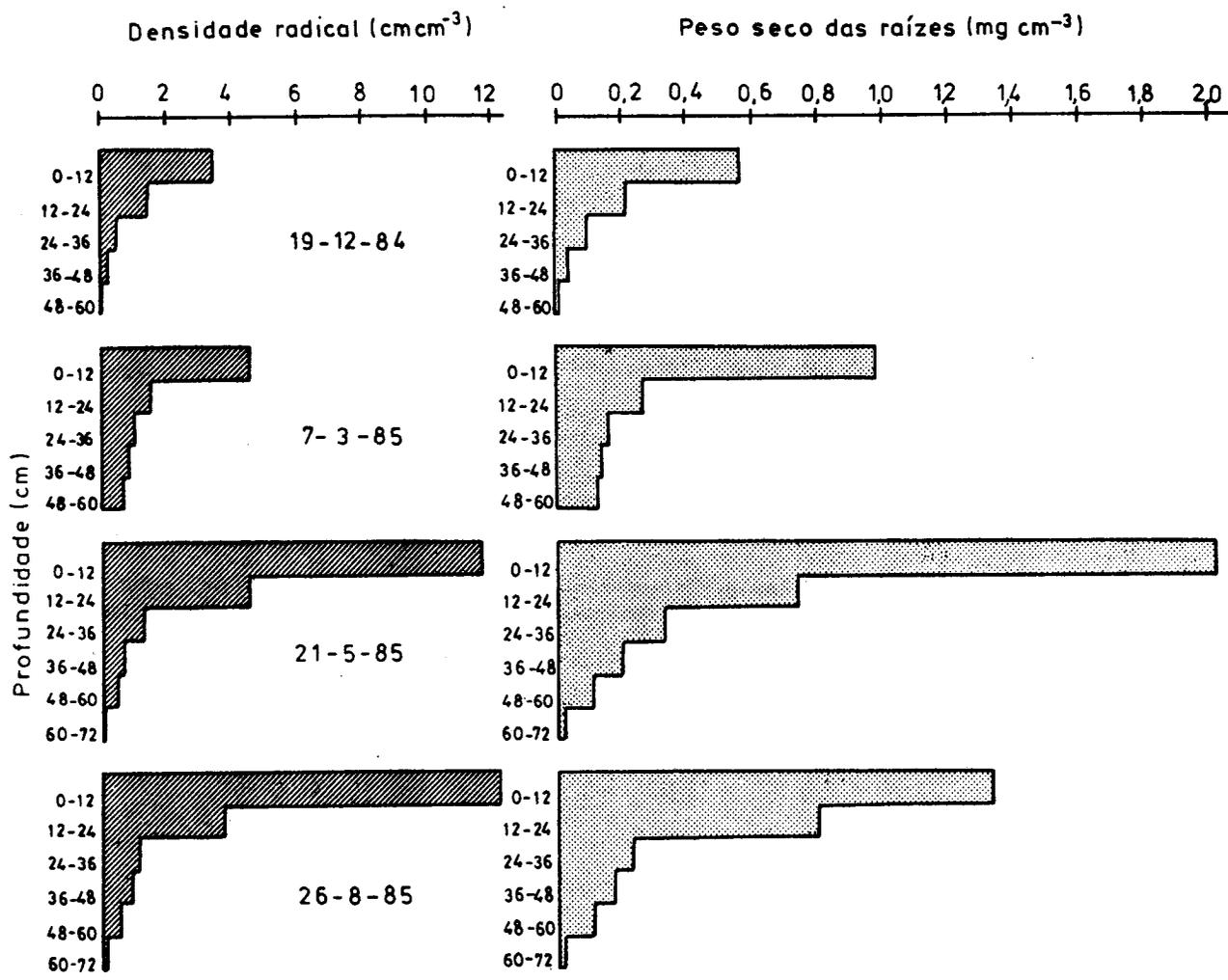


Fig.105 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte -
- Festuca alta (1984-85).

Tabela 3.3 - Densidade radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Festuca alta

Prof. (cm)	Cortes		1º ano					2º ano					3º ano				
	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	Média		
0-12 (CV)	2,33 (36)	1,93 (53)	2,64 (43)	6,28 (10)	3,30	3,30 (29)	3,12 (55)	4,13 (33)	8,44 (15)	4,75	3,48 (24)	4,61 (45)	11,68 (28)	12,21 (38)	8,00		
12-24 (CV)	1,28 (35)	0,77 (31)	1,19 (50)	1,43 (33)	1,17	1,50 (39)	1,03 (22)	2,41 (43)	2,67 (37)	1,90	1,47 (41)	1,56 (25)	4,56 (18)	3,71 (21)	2,83		
24-36 (CV)	0,53 (25)	0,44 (52)	0,49 (53)	0,72 (41)	0,54	0,59 (51)	0,44 (55)	0,84 (56)	1,39 (25)	0,81	0,47 (43)	1,05 (38)	1,26 (55)	1,08 (53)	0,96		
36-48 (CV)	0,38 (42)	0,21 (60)	0,28 (46)	0,48 (43)	0,34	0,38 (95)	0,31 (46)	0,69 (67)	1,30 (70)	0,67	0,21 (104)	0,91 (56)	0,70 (75)	0,95 (60)	0,69		
48-60 (CV)	0,05 (148)	0,11 (132)	0,07 (101)	0,32 (58)	0,14	0,12 (96)	0,23 (105)	0,42 (51)	0,10 (95)	0,22	0,07 (82)	0,74 (57)	0,45 (31)	0,53 (36)	0,45		
60-72 (CV)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0,16 (74)	0,04	0 (-)	0,15 (156)	0,25 (40)	0 (-)	0,10	0 (-)	0 (-)	0,05 (71)	0,06 (31)	0,03		
Média (CV)	0,76 (25)	0,58 (19)	0,78 (17)	1,56 (10)	0,92	0,98 (18)	0,88 (43)	1,46 (26)	2,32 (13)	1,41	0,95 (4)	1,48 (21)	3,12 (15)	3,09 (24)	2,16		

(CV) - coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,33	0,44	0,41	0,55	0,69	0,93
época de corte	0,19	0,25	0,32	0,42	0,64	0,85
época de corte p/ cada profundidade	0,46	0,62	0,78	1,04	1,58	2,09

Tabela 3.4 - Peso radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Festuca alta

Prof. (cm)	Cortes		1º ano					2º ano					3º ano				
	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	Média		
0-12	0,36	0,42	0,22	0,89	0,47	0,55	0,46	0,63	1,90	0,89	0,57	0,98	2,02	1,33	1,23		
(CV)	(29)	(47)	(21)	(18)		(29)	(55)	(38)	(23)		(24)	(40)	(23)	(37)			
12-24	0,19	0,19	0,09	0,29	0,19	0,23	0,22	0,43	0,54	0,36	0,22	0,26	0,74	0,80	0,51		
(CV)	(32)	(42)	(48)	(28)		(32)	(38)	(59)	(31)		(29)	(39)	(21)	(24)			
24-36	0,10	0,10	0,03	0,11	0,09	0,11	0,12	0,14	0,34	0,18	0,10	0,16	0,33	0,23	0,21		
(CV)	(23)	(82)	(42)	(41)		(61)	(62)	(36)	(39)		(16)	(29)	(69)	(50)			
36-46	0,07	0,06	0,02	0,09	0,06	0,06	0,08	0,11	0,28	0,13	0,04	0,14	0,20	0,17	0,14		
(CV)	(47)	(102)	(43)	(48)		(75)	(53)	(60)	(42)		(79)	(57)	(64)	(44)			
48-60	0,01	0,02	0,01	0,07	0,03	0,02	0,05	0,08	0,05	0,05	0,01	0,13	0,11	0,11	0,09		
(CV)	(137)	(133)	(82)	(52)		(110)	(81)	(38)	(94)		(89)	(56)	(37)	(29)			
60-72	0	0	0	0,03	0,01	0	0,02	0,04	0	0,02	0	0	0,02	0,01	0,01		
(CV)	(-)	(-)	(-)	(66)		(-)	(126)	(39)	(-)		(-)	(-)	(42)	(75)			
Média	0,12	0,13	0,06	0,25	0,14	0,16	0,16	0,24	0,52	0,27	0,16	0,28	0,57	0,44	0,36		
(CV)	(21)	(27)	(16)	(12)		(22)	(47)	(36)	(18)		(8)	(21)	(15)	(18)			

(cv) - coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,16
época de corte	0,03	0,04	0,07	0,09	0,09	0,12
época de corte p/ cada profundidade	0,08	0,11	0,17	0,23	0,21	0,28

também diferenças significativas.

Os valores das diferenças mínimas significativas, calculados para cada factor de variação, permitem concretizar as observações já feitas relativamente à distribuição radical da festuca alta, ao longo do tempo e em profundidade.

Em comparação com os dados referidos por outros autores, os níveis atingidos pelas raízes durante o Verão constituem o principal ponto de discordância.

Ao longo do terceiro ano de exploração da festuca alta, ASH et al. (1975) observaram que o peso radical em três épocas de corte, Primavera, Verão e Outono, foi significativamente diferente até à profundidade de 45cm, não sendo significativas as diferenças verificadas a níveis inferiores. Nas duas primeiras camadas, o peso radical foi mais elevado na Primavera e Outono e mais baixo durante o Verão, o que está de acordo com os dados obtidos por SILLS e CARROW (1982).

No presente estudo, o grande desenvolvimento radical no Verão será de atribuir ao facto de a cultivar de festuca alta ensaiada, a Manade, ter um óptimo térmico superior ao das outras gramíneas (PARDO e GARCIA, 1984), apresentando um desenvolvimento mais ou menos uniforme ao longo do ano e mantendo-se activa no Verão e até ao final do Outono. Do mesmo modo que nos trabalhos anteriores a parte radical teve uma evolução estacional idêntica à da parte aérea, também neste deverá a variação ser semelhante.

Também WATKIN (1975) refere, para as condições da Nova Zelândia, um crescimento elevado da festuca alta durante o

Verão e Outono, inclusivamente em condições de sequeiro.

A grande concentração da massa radical nas camadas superficiais é no entanto comprovada pela maioria dos autores. WILLIAMSON e WILLEY (1964) referem que 90% das raízes da festuca alta se concentram nos 10cm superficiais do solo, quer em condições de boa drenagem quer em solos com toalha freática mantida durante quatro meses a 20, 40 e 60 cm de profundidade. ASH et al. (1975) observaram que 92% das raízes da festuca alta se concentravam na camada de 0-30cm e 98% nos 75cm superficiais. No caso presente e no final do terceiro ano 81% das raízes foram encontradas na camada de 0-24cm.

A ordem de grandeza dos valores atribuídos noutros trabalhos à densidade e ao peso radicais da festuca alta é muito superior à dos obtidos neste estudo.

O peso radical da festuca alta, estudado por ASH et al. (1975), variou entre 440 e 1040 g m⁻². Ao longo do terceiro ano obtiveram-se no presente estudo pesos radicais que variaram entre os 113 e 410 g m⁻².

Também superiores são as densidades radicais observadas por GARWOOD e SINCLAIR (1979) em festuca alta com dois anos, sujeita a diferentes ritmos de exploração. Em cortes espaçados de três semanas, as densidades radicais observadas em camadas sucessivas de 10cm de espessura foram de 34,7; 6,8; 9,8; 7,6; 6,3 e 5,0 cm cm⁻³, desde a camada mais superficial até à mais profunda. Com seis semanas entre cortes, os valores foram mais elevados principalmente na camada de 0-10cm, onde a densidade atingiu os 62,6cm cm⁻³.

Embora com intervalos entre cortes maiores, 8 a 12 semanas, os valores da densidade radical obtidos no presente estudo não foram além dos 12,2 e 4,6cm cm⁻³, respectivamente nas primeira e segunda camadas superficiais.

Para o trevo branco, as observações respeitantes ao sistema radical, nomeadamente à densidade e peso das raízes, encontram-se sintetizadas na figura 10.6 e nas tabelas 3.5 e 3.6.

É imediatamente notória a diferença entre a massa radical do trevo e das gramíneas, em especial da festuca alta. A tendência geral foi também de decréscimo de densidade e de peso com a profundidade, embora de uma forma menos marcada do que a apresentada pelas gramíneas para os 12cm superficiais.

Do mesmo modo, a variação estacional da distribuição radical foi de menor amplitude no trevo branco. Os pontos mais altos da produção de raízes verificaram-se no final do Verão, durante os dois primeiros anos e no final da Primavera, início do Verão, no terceiro ano. CARADUS (1981) refere que no trevo branco a maior parte das raízes novas é produzida na Primavera sendo, em termos percentuais, maior a quantidade nas camadas superiores do perfil.

Em termos de densidade radical, as diferenças verificadas entre profundidades, entre épocas de corte e entre épocas de corte para cada profundidade foram significativas (Tab. 3.5).

Em termos de peso radical (Tab. 3.6), os valores médios

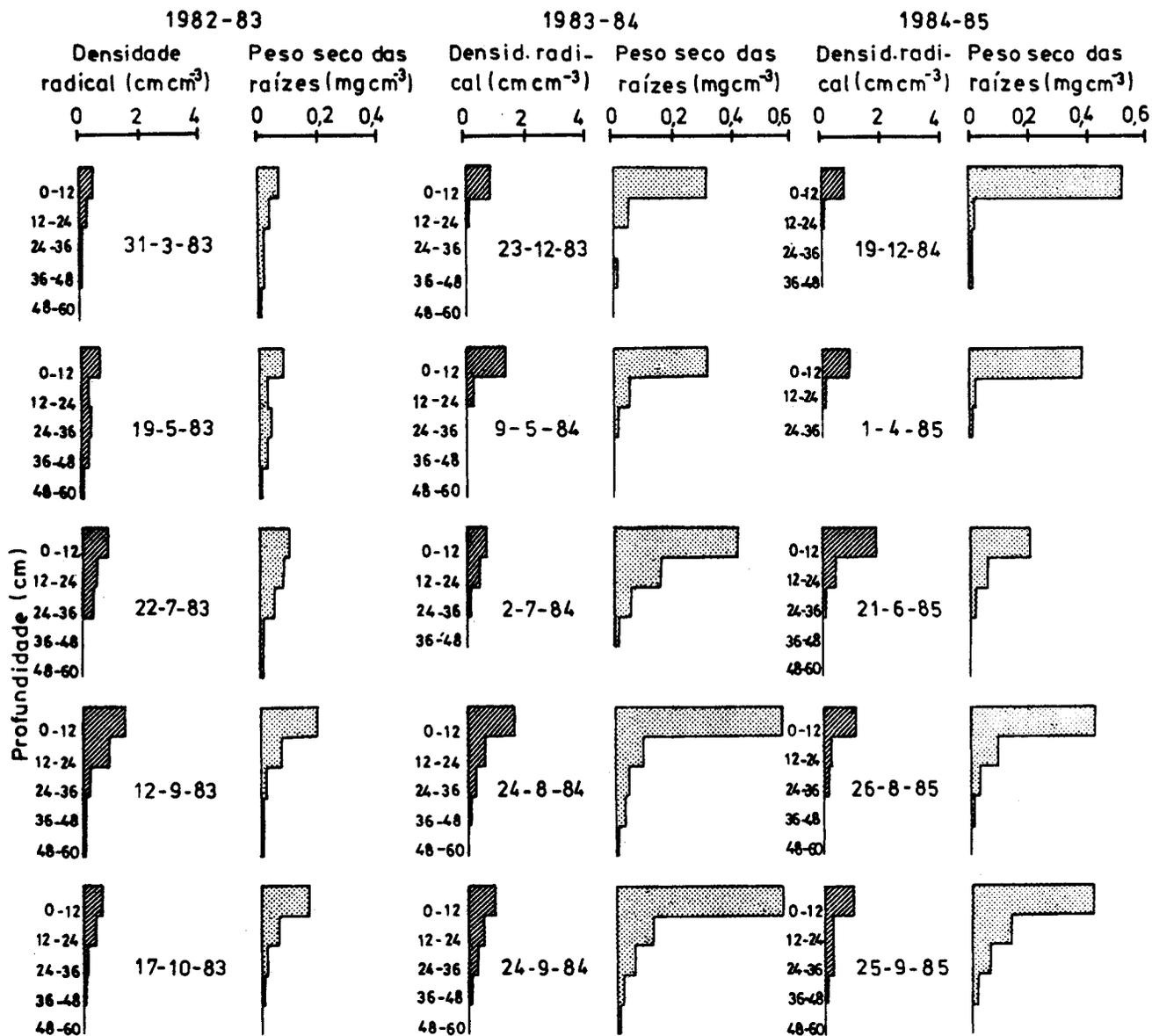


Fig.10.6 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte - Trevo branco (1982-83) (1983-84) e (1984-85).

Tabela 3.5 - Densidade radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Trevo branco

Prof. (cm)	1º ano						2º ano						3º ano					
	1º	2º	3º	4º	5º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	Média
0-12 (CV)	0,43 (45)	0,64 (19)	0,93 (56)	1,44 (36)	0,65 (38)	0,82	0,82 (30)	1,32 (82)	0,65 (20)	1,61 (18)	0,93 (21)	1,07	0,78 (29)	0,97 (8)	1,91 (26)	1,10 (12)	1,03 (6)	1,16
12-24 (CV)	0,37 (38)	0,26 (27)	0,53 (60)	0,93 (36)	0,43 (38)	0,50	0,17 (64)	0,23 (17)	0,44 (26)	0,60 (30)	0,53 (65)	0,39	0,10 (35)	0,11 (47)	0,45 (43)	0,26 (31)	0,36 (10)	0,26
24-36 (CV)	0,10 (103)	0,30 (38)	0,41 (80)	0,27 (86)	0,15 (78)	0,25	0,02 (155)	0,02 (122)	0,17 (75)	0,26 (21)	0,29 (49)	0,15	0,06 (112)	0,03 (34)	0,11 (58)	0,19 (31)	0,32 (21)	0,14
36-48 (CV)	0,09 (122)	0,28 (33)	0,05 (183)	0,14 (113)	0,08 (107)	0,13	0,03 (115)	0,003 (245)	0,03 (147)	0,14 (82)	0,09 (115)	0,06	0,03 (115)	0 (-)	0,04 (64)	0,05 (61)	0,08 (45)	0,04
48-60 (CV)	0,04 (217)	0,10 (97)	0,03 (122)	0,10 (166)	0,02 (180)	0,06	0,02 (187)	0,01 (245)	0 (-)	0,05 (196)	0,06 (150)	0,03	0,002 (200)	0 (-)	0,01 (75)	0,02 (74)	0,01 (98)	0,01
Média (CV)	0,21 (14)	0,32 (6)	0,39 (28)	0,58 (17)	0,27 (13)	0,35	0,21 (31)	0,32 (65)	0,26 (9)	0,53 (14)	0,38 (12)	0,34	0,20 (22)	0,22 (6)	0,50 (16)	0,32 (9)	0,36 (4)	0,32

(CV) coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,16	0,22	0,16	0,22	0,09	0,12
época de corte	0,11	0,14	0,13	0,17	0,06	0,08
época de corte p/ cada profund.	0,24	0,32	0,29	0,38	0,14	0,18



Tabela 3.6 - Peso radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Trevo branco

Prof. (cm)	1º ano						2º ano						3º ano					
	10	20	30	40	50	Média	10	20	30	40	50	Média	10	20	30	40	50	Média
0-12	0,07	0,08	0,10	0,19	0,16	0,12	0,31	0,31	0,41	0,56	0,56	0,43	0,52	0,38	0,20	0,41	0,41	0,38
(CV)	(67)	(19)	(59)	(69)	(44)		(71)	(87)	(38)	(42)	(33)		(22)	(11)	(28)	(11)	(5)	
12-24	0,04	0,03	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,15	0,08	0,12	0,09	0,02	0,02	0,06	0,09	0,13	0,06
(CV)	(49)	(46)	(97)	(72)	(69)		(56)	(44)	(13)	(38)	(66)		(52)	(63)	(44)	(24)	(10)	
24-36	0,01	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,002	0,01	0,05	0,04	0,06	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,02
(CV)	(75)	(42)	(106)	(77)	(117)		(164)	(140)	(83)	(24)	(76)		(91)	(0)	(69)	(17)	(39)	
36-48	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,005	0,002	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0	0,003	0,01	0,02	0,01
(CV)	(134)	(71)	(203)	(118)	(125)		(115)	(245)	(140)	(101)	(125)		(82)	(-)	(155)	(63)	(61)	
48-60	0,004	0,01	0,005	0,005	0,002	0,006	0,002	0,002	0	0,01	0,01	0,004	0	0	0,001	0,002	0,003	0,001
(CV)	(203)	(87)	(122)	(170)	(196)		(245)	(245)	(-)	(192)	(118)		(-)	(-)	(167)	(200)	(172)	
Média	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,07	0,07	0,12	0,15	0,15	0,11	0,11	0,08	0,05	0,11	0,12	0,09
(CV)	(25)	(19)	(52)	(60)	(34)		(66)	(80)	(24)	(37)	(23)		(20)	(12)	(14)	(10)	(4)	

(CV) coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,02	0,03	0,06	0,09	0,02	0,02
época de corte	-	-	0,05	0,06	0,02	0,02
época de corte p/ cada profund.	0,02	0,03	-	-	0,04	0,05

relativos às épocas de corte não apresentaram no primeiro ano diferenças significativas, contrariamente ao que sucedeu quando analisados camada a camada. No segundo ano, as diferenças só não foram significativas quando o factor de variação considerado foi a época de corte analisada para cada profundidade ou camada.

Os desajustes entre densidade e peso radicais, verificados principalmente na camada superficial e em certas épocas de corte (Fig. 10.6), mais concretamente o facto de a um decréscimo de densidade corresponder nalguns casos um aumento do peso das raízes, poderá resultar de ser a essa profundidade que se encontra a maior parte das raízes grossas, sendo variável o número dessas raízes que a amostra pode incluir.

A profundidade máxima de enraizamento, cerca de 60cm durante o primeiro ano, foi substancialmente reduzida durante o Inverno e Primavera dos anos seguintes, em consequência da subida da toalha freática. No segundo ano não se encontraram raízes abaixo dos 48cm, a partir do terceiro corte, e no ano seguinte, aquando do segundo corte, a profundidade máxima de enraizamento foi de 36cm. Com a descida da toalha freática voltou a verificar-se crescimento radical a maiores profundidades.

A profundidade de enraizamento do trevo branco não está apenas relacionada com a altura da toalha freática, mas também com a espessura de solo humedecida pela rega. Aliás já CULLEN *et al.* (1972) tinham observado que, em tratamentos com rega

mais profunda, a profundidade de enraizamento do trevo branco era maior, sendo no entanto esse crescimento feito à custa das raízes das zonas intermédias e não da superficial.

Os valores apresentados por NEWMAN (1969a) para o comprimento radical por unidade de superfície do solo, 310cm cm^{-2} até aos 30cm de profundidade, são superiores aos obtidos neste trabalho e que foram 11 e 32cm cm^{-2} , respectivamente os valores mais baixo e mais alto observados até aos 36cm de profundidade. No primeiro caso o trevo branco nunca foi pastado ou cortado, o que à partida torna as condições diferentes.

Segundo EVANS (1977), o trevo branco em cultura estreme apresenta densidades radicais de 5cm cm^{-3} nos 20cm superficiais. Referindo-se ao comprimento de raiz por 1000g de solo seco e em três camadas com 20cm de espessura, EVANS (1978) indica os valores de 3310, 630 e $220\text{cm}/1000\text{g}$ de solo seco. Dando aos nossos valores mais elevados, obtidos no terceiro ano, a mesma forma de expressão, aqueles são da ordem de 1290, 283, 67, 23 e 6 $\text{cm}/1000\text{g}$ de solo seco, referentes a cinco camadas desde a superfície até aos 60cm de profundidade.

Os pesos radicais referidos por SPENCER e HELY (1982), num ensaio para comparar duas modalidades de aplicação de fósforo ao solo - misturado nos 10cm superficiais e espalhado à superfície - são para o primeiro tratamento de 16; 4,6 e $1,8\text{mg cm}^{-2}$ e para o segundo de 19,8; 2,4 e $0,8\text{mg cm}^{-2}$, valores relativos a três camadas com 5cm de espessura cada. O peso

radical no total dos 15cm foi para o primeiro tratamento de 22,4mg cm⁻² e para o segundo de 23mg cm⁻². Os valores mais altos obtidos no presente estudo, numa situação mais de acordo com a do primeiro tratamento daqueles autores e para a camada de 0-12cm, foram de 2,3mg cm⁻² no primeiro ano e 6,7mg cm⁻² nos seguintes.

O trevo subterrâneo apresenta um tipo de distribuição radical (Fig. 10.7) que de certa forma se assemelha ao anteriormente descrito para o trevo branco.

O número reduzido de cortes efectuados anualmente, dois, não permite tirar qualquer ilação em termos de evolução estacional das raízes. Assim, apenas em relação à densidade radical e ao terceiro ano de exploração foram significativas as diferenças entre épocas de corte, para os valores médios anuais e para os relativos a cada profundidade (Tab. 3.7). Em termos de peso radical (Tab.3.8) não se verificaram diferenças significativas entre as épocas de corte.

A profundidade máxima atingida pelas raízes manteve-se nos 60cm, com excepção da amostragem feita para o segundo corte do segundo ano em que não foram detectadas raízes abaixo dos 48cm. A altura a que a toalha freática se apresentava nesse período, entre os 50 e 60cm, terá contribuído para tal. No ano seguinte e na mesma época, a toalha freática já tinha descido a níveis inferiores aos 60cm de profundidade.

Num estudo para avaliar a influência do nível da toalha freática na distribuição das raízes do trevo subterrâneo, cv. Yarloop, STEWART et al. (1980) verificaram que quanto mais

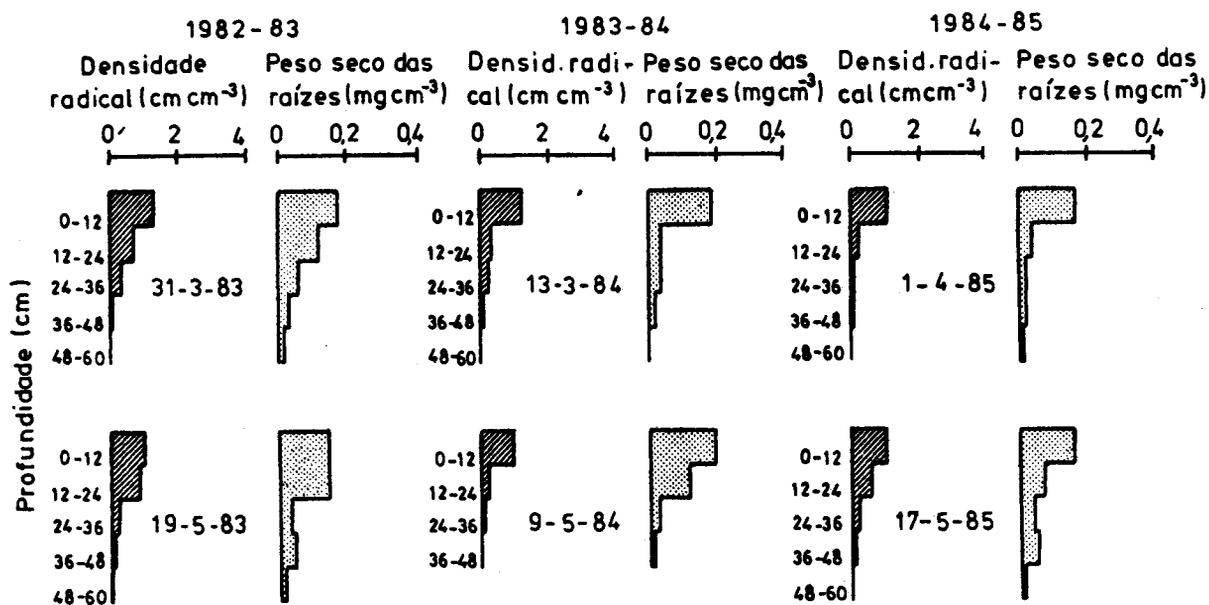


Fig. 10.7 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte -
-Trevo subterrâneo (1982-83) (1983-84) e (1984-85).

Tabela 3.7 - Densidade radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte -
- Trevo subterrâneo

Prof. (cm)	1º ano			2º ano			3º ano		
	1º	2º	Média	1º	2º	Média	1º	2º	Média
0-12 (CV)	1,36 (30)	1,02 (55)	1,19	1,23 (46)	1,00 (16)	1,12	1,12 (10)	1,01 (9)	1,07
12-24 (CV)	0,69 (50)	0,87 (67)	0,78	0,35 (105)	0,22 (11)	0,28	0,25 (31)	0,58 (27)	0,42
24-36 (CV)	0,33 (117)	0,24 (39)	0,28	0,28 (127)	0,16 (44)	0,22	0,15 (46)	0,21 (42)	0,18
36-48 (CV)	0,11 (137)	0,16 (45)	0,14	0,14 (91)	0,03 (83)	0,08	0,11 (20)	0,16 (26)	0,13
48-60 (CV)	0,05 (245)	0,06 (113)	0,06	0,02 (220)	0	0,01	0,03 (100)	0,05 (110)	0,04
Média (CV)	0,51 (21)	0,47 (16)	0,49	0,40 (45)	0,28 (8)	0,34	0,33 (10)	0,40 (6)	0,37

CV- coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,30	0,41	0,21	0,29	0,09	0,12
época de corte	-	-	-	-	0,04	0,06
época de corte p/ cada profundidade	-	-	-	-	0,09	0,12

Tabela 3.8 - Peso radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte -

- Trevo subterrâneo

Prof. (cm)	1º ano			2º ano			3º ano		
	1º	2º	Média	1º	2º	Média	1º	2º	Média
0-12 (CV)	0,18 (31)	0,15 (24)	0,16	0,19 (62)	0,20 (14)	0,20	0,17 (42)	0,16 (18)	0,16
12-24 (CV)	0,12 (70)	0,15 (45)	0,13	0,04 (92)	0,12 (31)	0,08	0,04 (30)	0,07 (44)	0,06
24-36 (CV)	0,06 (109)	0,05 (52)	0,05	0,03 (89)	0,03 (64)	0,03	0,02 (45)	0,04 (46)	0,03
36-48 (CV)	0,03 (144)	0,05 (79)	0,04	0,02 (92)	0,008 (56)	0,01	0,02 (26)	0,04 (28)	0,03
48-60 (CV)	0,02 (243)	0,02 (163)	0,02	0,003 (272)	0 (-)	0,002	0,004 (117)	0,01 (147)	0,008
Média (CV)	0,08 (26)	0,08 (19)	0,08	0,06 (45)	0,07 (11)	0,07	0,05 (31)	0,06 (15)	0,06

CV- coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,04	0,06	0,04	0,05	0,02	0,03

elevada era a altura da toalha freática maior era a concentração das raízes nas camadas superficiais. Assim, numa amostra colhida 174 dias após sementeira e numa camada com 10cm de espessura, a concentração de raízes foi de 90, 8 e 5%, respectivamente quando a toalha freática estava a 30, 60 e 90cm de profundidade. No nosso estudo, com exactamente o mesmo número de dias de ciclo vegetativo, estando a toalha freática bastante profunda, o trevo subterrâneo apresentava 54% das raízes na camada de 0-10cm.

OZANNE et al. (1965) estudaram a distribuição radical em várias espécies forrageiras anuais entre as quais o trevo subterrâneo, cv. Yarloop e cv. Mt. Barker. Estas apresentaram, 126 dias após a sementeira, pesos radicais de respectivamente 14,2 e 20,6mg cm⁻², o primeiro relativo a uma camada de 22cm de espessura e o segundo a 36cm. No presente estudo e no primeiro corte efectuado 174 dias após a sementeira, os valores do peso radical até aos 36cm de profundidade foram de cerca de 5mgcm⁻².

Para a luzerna, os elementos relativos ao crescimento e desenvolvimento da sua parte radical são apresentados na figura 10.8 e nas tabelas 3.9 e 3.10.

O tipo de distribuição radical observado na luzerna é o característico de sistemas radicais aprofundantes, apresentando um número reduzido de raízes laterais ou secundárias e manifestando também um decréscimo da massa radical com a profundidade.

Tal como foi constatado para os trevos, a massa radical

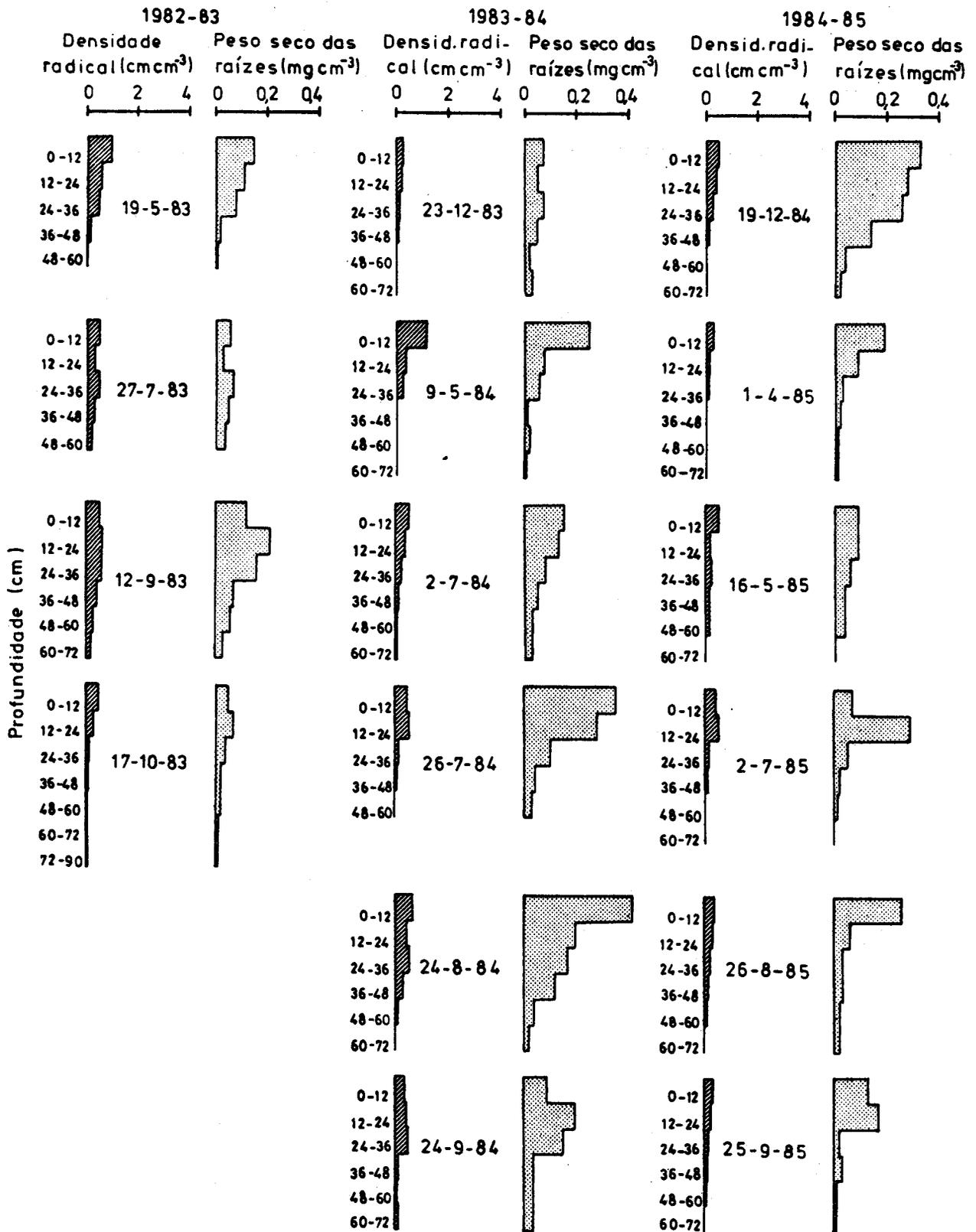


Fig.10.8 - Distribuição radical nas diferentes épocas de corte -Luzerna -(1982-83)(1983-84) e (1984-85).

Tabela 3.9 - Densidade radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Luzerna

Prof. (cm)	Cortes					1º ano							2º ano							3º ano						
	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média							
0-12	0,96	0,52	0,57	0,48	0,63	0,25	1,21	0,56	0,54	0,64	0,39	0,60	0,47	0,37	0,45	0,41	0,38	0,32	0,40							
(CV)	(49)	(33)	(63)	(25)		(27)	(33)	(24)	(72)	(58)	(60)		(39)	(41)	(55)	(39)	(40)	(44)								
12-24	0,56	0,33	0,59	0,32	0,45	0,22	0,41	0,39	0,56	0,43	0,45	0,41	0,40	0,16	0,19	0,51	0,30	0,24	0,30							
(CV)	(50)	(21)	(75)	(57)		(62)	(54)	(48)	(53)	(49)	(79)		(44)	(37)	(24)	(41)	(36)	(39)								
24-36	0,43	0,48	0,58	0,16	0,42	0,15	0,26	0,26	0,18	0,50	0,51	0,31	0,25	0,10	0,20	0,18	0,20	0,14	0,18							
(CV)	(42)	(20)	(66)	(80)		(43)	(62)	(58)	(30)	(42)	(42)		(27)	(32)	(72)	(50)	(23)	(64)								
36-48	0,14	0,32	0,44	0,11	0,25	0,10	0,05	0,13	0,08	0,33	0,16	0,14	0,11	0,03	0,15	0,10	0,12	0,12	0,10							
(CV)	(95)	(95)	(42)	(123)		(82)	(143)	(106)	(177)	(55)	(92)		(50)	(129)	(67)	(131)	(58)	(75)								
48-60	0,06	0,22	0,34	0,12	0,18	0,03	0,06	0,10	0,04	0,12	0,13	0,08	0,05	0,02	0,15	0,03	0,09	0,06	0,06							
(CV)	(116)	(108)	(62)	(89)		(158)	(185)	(83)	(136)	(120)	(146)		(156)	(129)	(81)	(87)	(31)	(163)								
60-72	0	0	0,23	0,10	0,08	0,06	0,05	0,12	0,003	0,06	0,18	0,08	0,03	0,01	0,005	0,01	0,05	0,02	0,02							
(CV)	(-)	(-)	(89)	(91)		(155)	(208)	(40)	(247)	(190)	(95)		(183)	(245)	(167)	(182)	(156)	(113)								
Média	0,36	0,31	0,46	0,21	0,34	0,14	0,34	0,26	0,24	0,35	0,30	0,27	0,22	0,11	0,19	0,21	0,19	0,15	0,18							
(CV)	(29)	(36)	(38)	(19)		(34)	(32)	(18)	(28)	(28)	(33)		(22)	(29)	(11)	(7)	(17)	(19)								

(cv) coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,12	0,17	0,10	0,13	0,06	0,08
época de corte	0,11	0,15	0,08	0,11	0,05	0,06
época de corte p/ cada profund.	0,27	0,36	0,21	0,27	0,12	0,16

Tabela 3.10 - Peso radical a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Luzerna

Prof. (cm)	Cortes					1º ano							2º ano							3º ano						
	1º	2º	3º	4º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média	1º	2º	3º	4º	5º	6º	Média							
0-12	0,15	0,06	0,13	0,05	0,10	0,07	0,25	0,15	0,34	0,42	0,08	0,22	0,33	0,19	0,09	0,07	0,26	0,13	0,18							
(CV)	(55)	(53)	(60)	(34)		(39)	(117)	(40)	(70)	(68)	(42)		(71)	(24)	(46)	(42)	(123)	(97)								
12-24	0,12	0,03	0,21	0,07	0,11	0,05	0,08	0,13	0,28	0,20	0,20	0,16	0,28	0,09	0,09	0,29	0,06	0,17	0,16							
(CV)	(117)	(18)	(82)	(71)		(76)	(75)	(90)	(78)	(95)	(59)		(106)	(112)	(152)	(93)	(57)	(45)								
24-36	0,08	0,07	0,16	0,04	0,09	0,07	0,05	0,08	0,10	0,17	0,15	0,10	0,26	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02	0,07							
(CV)	(52)	(51)	(37)	(58)		(124)	(37)	(52)	(38)	(55)	(81)		(78)	(65)	(86)	(59)	(42)	(44)								
36-48	0,03	0,05	0,07	0,02	0,04	0,05	0,01	0,04	0,04	0,12	0,04	0,05	0,14	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05							
(CV)	(99)	(68)	(56)	(175)		(122)	(137)	(93)	(196)	(53)	(134)		(48)	(122)	(71)	(120)	(69)	(59)								
48-60	0,01	0,04	0,06	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,005	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02							
(CV)	(107)	(82)	(46)	(103)		(173)	(187)	(77)	(116)	(105)	(147)		(137)	(84)	(73)	(77)	(143)	(194)								
60-72	0	0	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,002	0,02	0,04	0,02	0,02	0,005	0,003	0,002	0,02	0,01	0,01							
(CV)	(-)	(-)	(110)	(123)		(177)	(210)	(24)	(247)	(182)	(101)		(180)	(245)	(155)	(245)	(150)	(117)								
Média	0,06	0,04	0,11	0,04	0,06	0,05	0,07	0,08	0,13	0,16	0,09	0,10	0,18	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08							
(CV)	(40)	(47)	(38)	(40)		(66)	(74)	(34)	(39)	(48)	(27)		(38)	(32)	(51)	(65)	(74)	(37)								

(CV) coeficiente de variação (%)

Diferenças Mínimas Significativas

Origem da variação	1º ano		2º ano		3º ano	
	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)	D.M.S.(0,05)	D.M.S.(0,01)
Profundidade	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06
Época de corte	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05	0,07
Época de corte p/ cada profund.	0,07	0,09	0,12	0,16	0,12	0,16

da luzerna é muito inferior à das gramíneas e, de todas as espécies estudadas, foi sem dúvida aquela que, em média, menor quantidade de raízes produziu por camada. As densidades radicais observadas foram em todas as épocas e camadas inferiores a 1cm cm^{-3} , com excepção da colheita efectuada em Maio do segundo ano e na camada até aos 12cm de profundidade em que o valor observado para aquela característica radical foi de $1,21\text{cm cm}^{-3}$.

O peso radical na luzerna é em parte determinado por variações do peso das raízes principais ou primárias dada a sua condição de órgãos de armazenamento de substâncias de reserva. Principalmente a nível das camadas superficiais foram constatados acréscimos bruscos do peso radical, mesmo quando os correspondentes valores da densidade se mantinham dentro da mesma ordem de grandeza.

Quer em relação à densidade quer em relação ao peso das raízes, as diferenças verificadas entre épocas de corte, entre profundidades e entre épocas de corte para cada profundidade foram significativas (Tab. 3.9 e 3.10).

A profundidade do enraizamento chegou a atingir no primeiro ano os 90cm, mas nos anos seguintes não ultrapassou os 72cm. A espessura efectiva do solo, que na maior parte dos casos era inferior a 90cm, foi pouco favorável a um desenvolvimento mais profundo, como é típico do sistema radical da luzerna que chega a atingir os 6 m de profundidade (WEAVER, 1926). Tal como aconteceu nas culturas anteriores, a oscilação

da toalha freática foi outro factor a determinar a profundidade até à qual as raízes da luzerna se desenvolveram.

Os valores da densidade e do peso radicais, referidos na bibliografia para várias cultivares de luzerna, sob variadas condições experimentais, são por isso mesmo diferentes em ordem de grandeza.

PAVLYCHENKO (1942) indica para a luzerna um comprimento radical médio de 210 cm cm⁻². O valor mais elevado obtido neste trabalho foi de 14,5cm cm⁻².

Em camadas de 20cm de espessura, EVANS (1978) observou o comprimento das raízes da luzerna até aos 240cm de profundidade, tendo obtido para as cinco primeiras camadas os valores de 3750, 710, 450, 310 e 210 cm/1000g de solo seco. Expressando os valores obtidos no nosso ensaio em função do peso do solo seco, verifica-se que o valor mais alto, observado na camada de 0-12cm, foi de 810 cm/1000g de solo seco e que na época de maior densidade de raízes os valores obtidos, em camadas sucessivas de 12cm de espessura, foram de 385, 353, 337, 259, 206 e 142 cm/1000g de solo seco.

Já OLIVEIRA e PORTAS (1987), num luzernal com três anos, instalado num solo aluvionar profundo, observaram para a cv. Moapa as seguintes densidades radicais: 0,32; 0,34; 0,31; 0,49 e 0,36cm cm⁻³, respectivamente nas camadas de 0-12, 20-32, 40-52, 60-72 e 80-92cm de profundidade. Para as camadas superficiais estes valores são, em média, inferiores aos obtidos no presente trabalho mas, para as camadas mais profundas, a partir dos 36cm, são superiores, principalmente os

relativos aos dois últimos anos de experimentação em que se fez sentir a acção da toalha freática.

O desenvolvimento radical de algumas cultivares de luzerna, em solo sujeito a diferentes níveis de compactação, foi avaliado por GRIMES et al. (1978) que obtiveram para a cultivar Moapa e para o tratamento correspondente a uma resistência do solo da ordem dos 2500 a 3000 kPa, a partir dos 15cm de profundidade, as seguintes densidades radicais: 1,80; 0,86; 0,97 e 0,44cm cm⁻³. No presente estudo, o solo do talhão da luzerna apresentava valores da resistência mecânica de 2000-2500 kPa, entre os 10 e 25cm de profundidade, e de 3000-3500kPa, entre os 30 e 40cm. Para além disso os valores da densidade aparente do solo, 1,62 a 1,72, estão bastante próximos dos obtidos por GRIMES et al. (1978), os quais oscilaram entre 1,60 e 1,75. Para a época de maior enraizamento, coincidente com o terceiro corte do primeiro ano, as densidades radicais por nós observadas foram de 0,57; 0,59; 0,58; 0,44; 0,34 e 0,23cm cm⁻³, desde a superfície até aos 72cm de profundidade.

CARTER e SHEAFFER (1983) verificaram que na luzerna regada as densidades radicais eram 49% mais baixas do que as observadas em luzerna de sequeiro. Para as condições de regadio obtiveram, para camadas de 15cm de espessura e até os 60cm de profundidade, densidades radicais de 0,37; 0,85; 0,22 e 0,23cm cm⁻³ e pesos radicais de 1,23; 0,50; 0,14 e 0,10 mg cm⁻³, valores estes que aproximam dos observados neste trabalho.

Também para a luzerna e numa camada com 22,5cm de espessura, BAKER e GARWOOD (1959) obtiveram um peso total de

raízes de $38,6\text{mg cm}^{-2}$, contra os $7,44\text{mg cm}^{-2}$ observados no presente trabalho para a camada de 0-24cm e que representam o valor mais alto obtido.

Analisando o efeito do regime hídrico do solo na distribuição do sistema radical da luzerna com dois anos de exploração, ABDUL-JABBAR et al. (1982) verificaram para o tratamento em que o quantitativo de água fornecida ao solo, rega mais precipitação, era de 1330mm, os seguintes pesos radicais, referentes a camadas de 15cm de espessura: 10,0; 8,2; 3,1; 1,7; 1,9; 1,0 e $1,6\text{mg cm}^{-2}$, num total de $33,1\text{mg cm}^{-2}$ até aos 210cm de profundidade. Para o presente caso, em que no terceiro ano o nível da água fornecida ao solo foi de 1337mm e em época de colheita idêntica aquela a que se referem os dados anteriores, Dezembro, os pesos radicais foram de 3,96; 3,36; 3,12; 1,68; 0,48 e $0,24\text{mg cm}^{-2}$, num total de $12,84\text{mg cm}^{-2}$ até os 72cm de profundidade.

Tal como noutros casos verifica-se que há disparidade entre os valores obtidos neste estudo e outros do mesmo âmbito, à qual não é alheia uma grande diversidade de condicionalismos, alguns dos quais já reconhecidos como determinantes da forma de distribuição das raízes no perfil do solo. O manejo da forragem (HODGKINSON e BASS BECKING, 1977), o regime hídrico a que a cultura é sujeita (CARTER e SHEAFFER, 1982) e mais particularmente a espessura de solo que a água da rega consegue humedecer (JODARI-KARIMI et al., 1983) são exemplos desses factores que, no caso particular da luzerna, provaram

condicionar de certa maneira o crescimento e desenvolvimento radicais.

Nas tabelas 4.1 a 4.8 apresentam-se as equações de regressão ajustadas para a densidade e o peso radicais das diferentes espécies, em função do número de dias após sementeira, por ano e profundidade. A finalidade desta apresentação é mostrar de modo simbólico os dados já referidos e analisados nas tabelas 3.1 a 3.10.

Em determinados casos são apresentadas regressões cujos coeficientes de determinação (r^2) não são significativos. Tal situação verifica-se fundamentalmente a nível das camadas mais profundas, onde a dispersão dos valores obtidos foi maior, em virtude de nessas zonas ser menor a concentração de raízes. Os coeficientes de variação determinados para os mesmos valores e referidos nas tabelas 3.1 a 3.10 são também elevados nas camadas mais profundas, o que vem confirmar a anterior ideia.

Ainda em relação aos coeficientes de variação constata-se que, quando referidos aos valores de cada camada ou profundidade são quase sempre bastante elevados, mais marcadamente nos níveis mais profundos. No entanto, para os valores médios relativos ao total do perfil, os coeficientes de variação apresentam valores mais baixos. Esta observação traduz o designado crescimento compensatório (RUSSELL, 1977) a que se faz referência no ponto 2.1 e que resulta da capacidade das raízes para compensarem o baixo enraizamento verificado por qualquer motivo numa determinada camada, através de um maior crescimento noutras.

Tabela 4.1 - Densidade radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos -

- Azevém italiano

Ano	Prof. (cm)	Densidade radical (ca cm ⁻³)		
		Função (x=ND dias após semeadura:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y = 30,40 - 26,89x^2 + 13,68x^3 - 1,89x^4$	30	0,78 **
	12-24	$y = 34,96 - 37,30x + 11,21x^2 - 0,27x^4$	30	0,76 **
	24-36	$y = 2,95 - 2,48x^2 + 1,32x^3 - 0,19x^4$	30	0,61 **
	36-48	$y = 2,84 - 2,47x^2 + 1,27x^3 - 0,18x^4$	30	0,54 **
	48-60	$y = -32,66 + 55,47x - 34,20x^2 + 9,12x^3 - 0,89x^4$	30	0,35 **
1983-84	0-12	$y = -627,14 + 296,25x - 38,36x^2 + 0,18x^4$	24	0,67 **
	12-24	$y = 47,87 - 22,63x + 2,97x^2 - 0,014x^4$	24	0,22 †
	24-36	$y = 11,10 - 3,99x + 0,12x^3 - 0,011x^4$	24	0,13 NS
	36-48	$y = 0,45 - 0,15x + 0,013x^2$	24	0,03 NS
	48-60	$y = 0,0301 - 0,000022x^4$	12	0,11 NS

† P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

Tabela 4.2 - Peso radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos -

- Azevém italiano

Ano	Prof. (cm)	Peso radical (mg cm ⁻³)		
		Função (x=ND dias após semeadura:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y = 1,72 - 1,49x^2 + 0,78x^3 - 0,11x^4$	30	0,42 **
	12-24	$y = 0,038 + 0,035x^3 - 0,0094x^4$	30	0,46 **
	24-36	$y = -0,050 + 0,077x - 0,0011x^4$	30	0,29 **
	36-48	$y = -7,85 + 13,35x - 8,19x^2 + 2,17x^3 - 0,21x^4$	30	0,21 †
	48-60	$y = -7,25 + 12,27x - 7,52x^2 + 1,99x^3 - 0,19x^4$	30	0,26 **
1983-84	0-12	$y = -48,58 + 22,78x - 2,92x^2 + 0,014x^4$	24	0,49 **
	12-24	$y = 15,39 - 5,55x + 0,17x^3 - 0,015x^4$	24	0,68 **
	24-36	$y = 2,72 - 0,97x + 0,030x^3 - 0,0025x^4$	24	0,10 NS
	36-48	$y = 0,0129 - 0,0000025x^4$	24	0,02 NS
	48-60	$y = 0,0054 - 0,0000034x^4$	12	0,03 NS

† P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

Tabela 4.3 - Densidade radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Festuca alta

Ano	Prof. (cm)	Densidade radical (cm cm ⁻³)		
		Função (x=Nº dias após sementeira:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=5,67-2,17x+0,045x^4$	24	0,81 **
	12-24	$y=13,91-13,27x+3,67x^2-0,072x^4$	24	0,26 †
	24-36	$y=0,95-0,38x+0,074x^2$	24	0,04 NS
	36-48	$y=1,49-0,98x+0,19x^2$	24	0,30 **
	48-60	$y=0,032-0,0014x^4$	24	0,40 **
1983-84	0-12	$y=7,21-0,12x^3+1,74x^4$	24	0,75 **
	12-24	$y=74,97-26,29x+0,78x^3-0,065x^4$	24	0,46 **
	24-36	$y=6,63-2,40x+0,23x^2$	24	0,55 **
	36-48	$y=6,14-2,32x+0,23x^2$	24	0,38 **
	48-60	$y=12,51-4,67x+0,16x^3-0,014x^4$	24	0,38 **
1984-85	0-12	$y=-21,64+0,10x^3-0,0071x^4$	24	0,58 **
	12-24	$y=398,02-29,15x^2+4,26x^3-0,17x^4$	24	0,83 **
	24-36	$y=-13,57+2,03x-0,00055x^4$	24	0,29 **
	36-48	$y=-184,47+39,74x-0,45x^2+0,024x^4$	24	0,31 **
	48-60	$y=-94,10+6,51x^2-0,92x^3+0,037x^4$	24	0,54 **

† P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

Tabela 4.4 - Peso radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Festuca alta

Ano	Prof. (cm)	Peso radical (mg cm ⁻³)		
		Função (x=Nº dias após semeadura/100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=0,651-0,084x^3+0,024x^4$	24	0,73 **
	12-24	$y=0,300-0,034x^3+0,0089x^4$	24	0,50 **
	24-36	$y=0,156-0,017x^3+0,0044x^4$	24	0,25 †
	36-48	$y=0,124-0,016x^3+0,0042x^4$	24	0,34 **
	48-60	$y=0,031-0,0066x^3+0,0019x^4$	24	0,59 **
1983-84	0-12	$y=1,852-0,039x^3+0,0054x^4$	24	0,82 **
	12-24	$y=0,222+0,0020x^4$	24	0,45 **
	24-36	$y=0,516-0,0094x^3+0,0013x^4$	24	0,22 †
	36-48	$y=6,004-2,164x+0,067x^3-0,0057x^4$	24	0,08 NS
	48-60	$y=0,619-0,231x+0,0081x^3-0,00073x^4$	24	0,12 NS
1984-85	0-12	$y=119,68-9,05x^2+1,34x^3-0,056x^4$	24	0,68 **
	12-24	$y=481,19-35,47x^2+5,19x^3-0,21x^4$	24	0,81 **
	24-36	$y=-1,207+0,0056x^3-0,00039x^4$	24	0,36 **
	36-48	$y=-19,40+1,30x^2-0,18x^3+0,0071x^4$	24	0,19 †
	48-60	$y=-0,530+0,078x-0,000020x^4$	24	0,21 †

† P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

Tabela 4.5 - Densidade radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Trevo branco

Ano	Prof. (cm)	Densidade radical (cm cm ⁻³)		
		Função (x=N2 dias após semeadura:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=-60,33+99,62x-59,99x^2+15,74x^3-1,51x^4$	30	0,53 **
	12-24	$y=2,78-2,69x^2+1,42x^3-0,20x^4$	30	0,55 **
	24-36	$y=-1,71+1,51x-0,27x^2$	30	0,26 **
	36-48	$y=-33,92+52,15x-29,06x^2+7,01x^3-0,62x^4$	30	0,38 **
	48-60	$y=-16,54+25,99x-14,87x^2+3,69x^3-0,34x^4$	30	0,14 NS
1983-84	0-12	$y=-3096,36+2135,24x-545,26x^2+61,22x^3-2,55x^4$	30	0,35 **
	12-24	$y=7,35-1,38x^2+0,32x^3-0,020x^4$	30	0,48 **
	24-36	$y=1,25-0,52x+0,054x^2$	30	0,62 **
	36-48	$y=0,89-0,34x+0,032x^2$	30	0,25 **
	48-60	$y=0,42-0,16x+0,015x^2$	30	0,11 NS
1984-85	0-12	$y=7146,25-3014,65x+474,46x^2-33,02x^3+0,86x^4$	30	0,74 **
	12-24	$y=2715,64-1148,38x+181,25x^2-12,66x^3+0,33x^4$	30	0,70 **
	24-36	$y=0,727-0,0040x^3+0,00034x^4$	30	0,78 **
	36-48	$y=0,748-0,110x+0,000038x^4$	30	0,46 **
	48-60	$y=1,434-0,099x^2+0,0014x^3-0,00056x^4$	30	0,34 **

* P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05



Tabela 4.6 - Peso radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Trevo branco

Ano	Prof. (cm)	Peso radical (mg cm ⁻³)		
		Função (x=ND dias após sementeiras:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=0,36-0,30x^2+0,15x^3-0,0020x^4$	30	0,30 **
	12-24	$y=3,47-5,20x+2,84x^2-0,66x^3+0,056x^4$	30	0,15 †
	24-36	$y=-0,22+0,20x^2-0,090x^3+0,011x^4$	30	0,20 †
	36-48	$y=-0,35+0,44x-0,17x^2+0,020x^3$	30	0,17 †
	48-60	$y=-1,22+1,85x-1,02x^2+0,24x^3-0,021x^4$	30	0,21 †
1983-84	0-12	$y=3,914-0,665x^2+0,149x^3-0,0091x^4$	30	0,24 **
	12-24	$y=252,22-172,87x+43,85x^2-4,89x^3+0,20x^4$	30	0,54 **
	24-36	$y=87,30-59,76x+15,14x^2-1,69x^3+0,070x^4$	30	0,44 **
	36-48	$y=0,710-0,133x^2+0,030x^3-0,0019x^4$	30	0,23 **
	48-60	$y=0,041-0,016x+0,0016x^2$	24	0,12 NS
1984-85	0-12	$y=-1709,48+725,51x-114,82x^2+8,04x^3-0,21x^4$	30	0,77 **
	12-24	$y=0,639-0,097x+0,000039x^4$	30	0,85 **
	24-36	$y=0,156-0,00082x^3+0,000068x^4$	30	0,61 **
	36-48	$y=0,432-0,094x+0,0052x^2$	30	0,36 **
	48-60	$y=0,010-0,000058x^3+0,0000049x^4$	30	0,19 †

† P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

Tabela 4.7 - Densidade radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Luzerna

Ano	Prof. (cm)	Densidade radical (cm cm ⁻³)		
		Função (x=Nº dias após semeadura:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=4,31-2,23x+0,33x^2$	24	0,29 **
	12-24	$y=28,55-25,98x+6,63x^2-0,12x^4$	24	0,20 †
	24-36	$y=-0,11+0,11x^3-0,027x^4$	24	0,29 **
	36-48	$y=-0,51+0,12x^3-0,029x^4$	24	0,30 **
	48-60	$y=-0,44+0,092x^3-0,022x^4$	24	0,28 **
	60-72	$y=0,49-0,0020x^4$	12	0,17 NS
1983-84	0-12	$y=-84,36+43,27x-7,18x^2+0,39x^3$	36	0,47 **
	12-24	$y=-0,112+0,0074x^3-0,00082x^4$	36	0,13 †
	24-36	$y=-0,330-0,0058x^3+0,00089x^4$	36	0,36 **
	36-48	$y=-422,60+294,56x-76,05x^2+8,63x^3-0,36x^4$	36	0,25 **
	48-60	$y=0,0125+0,000041x^4$	36	0,07 NS
	60-72	$y=319,90-222,47x+57,36x^2-6,51x^3+0,27x^4$	36	0,22 **
1984-85	0-12	$y=33,42-9,46x+0,76x^2-0,0014x^4$	36	0,07 NS
	12-24	$y=172,55-55,20x+5,86x^2-0,21x^3$	36	0,36 **
	24-36	$y=63,93-20,33x+2,15x^2-0,075x^3$	36	0,21 **
	36-48	$y=660,10-277,37x+43,52x^2-3,02x^3+0,078x^4$	36	0,11 NS
	48-60	$y=494,38-209,09x+33,01x^2-2,31x^3+0,060x^4$	36	0,05 NS
	60-72	$y=-309,91+132,95x-21,29x^2+1,51x^3-0,040x^4$	36	0,13 †

† P < 0,05

** P < 0,01

NS P > 0,05

Tabela 4.8 - Peso radical em função do tempo para diferentes profundidades e anos - Luzerna

Ano	Prof. (cm)	Peso radical (mg cm ⁻³)		
		Função (x=Nº dias após sementeira:100)	n	r ²
1982-83	0-12	$y=8,21-7,41x+1,87x^2-0,034x^4$	24	0,40 **
	12-24	$y=9,70-6,76x+0,78x^3-0,13x^4$	24	0,28 *
	24-36	$y=5,56-3,93x+0,47x^3-0,080x^4$	24	0,59 **
	36-48	$y=-0,085+0,020x^3-0,0049x^4$	24	0,32 **
	48-60	$y=-0,084+0,018x^3-0,0042x^4$	24	0,40 **
	60-72	$y=-0,059-0,00024x^4$	12	0,11 NS
1983-84	0-12	$y=-911,72+632,71x-162,75x^2+18,42x^3-0,77x^4$	36	0,34 **
	12-24	$y=3,64-0,69x^2+0,16x^3-0,010x^4$	36	0,22 **
	24-36	$y=0,88-0,32x+0,031x^2$	36	0,21 **
	36-48	$y=-155,70+108,97x-28,25x^2+3,22x^3-0,14x^4$	36	0,22 **
	48-60	$y=0,121-0,043x+0,0045x^2$	36	0,05 NS
	60-72	$y=62,76-43,53x+11,20x^2-1,27x^3+0,053x^4$	36	0,10 NS
1984-85	0-12	$y=-1710,19+729,94x-116,26x^2+8,19x^3-0,22x^4$	36	0,25 **
	12-24	$y=1234,68-517,08x+80,88x^2-5,60x^3+0,14x^4$	36	0,14 *
	24-36	$y=2,998-0,390x+0,000092x^4$	36	0,48 **
	36-48	$y=1,607-0,211x+0,000052x^4$	36	0,55 **
	48-60	$y=154,10-64,77x+10,17x^2-0,71x^3+0,018x^4$	36	0,07 NS
	60-72	$y=-103,77+44,53x-7,13x^2+0,50x^3-0,013x^4$	36	0,10 NS

* P<0,05

** P<0,01

NS P>0,05

4.3.2- Comprimento específico das raízes

A razão entre comprimento e peso de raiz-o comprimento específico ($m\ g^{-1}$) - é uma característica que permite fazer uma estimativa da finura do sistema radical e ainda da intensidade que manifesta na sua ramificação.

Em relação a cada uma das quatro camadas em que em todas as espécies estudadas foram encontradas raízes, foi determinado o comprimento específico, média anual dos cortes efectuados e média final no conjunto dos anos da sua exploração (Tab. 5).

Na média dos três anos de experimentação e das quatro camadas do perfil, verifica-se que os valores mais baixos do comprimento específico das raízes foram observados na luzerna e os mais altos nas gramíneas, apresentando os trevos valores intermédios.

Da comparação entre anos resulta a observação de que em todas as espécies, com excepção do trevo subterrâneo, o comprimento específico decresceu em todas as camadas do primeiro para o segundo ano. Para o trevo subterrâneo, nas camadas mais profundas entre os 24 e 48cm, registou-se um aumento do comprimento específico, provavelmente resultante de uma melhoria das condições que nessas camadas determinavam o crescimento e desenvolvimento radical.

Do segundo para o terceiro ano, o comprimento específico das raízes apenas se manteve ou decresceu na luzerna, excepção

feita à camada de 24-36cm em que houve um ligeiro aumento. Para as restantes espécies verifica-se uma subida acentuada, que no caso do trevo subterrâneo chegou a superar os níveis atingidos no primeiro ano.

Tabela 5 - Comprimento específico das raízes a diferentes profundidades

Espécies	Comprimento específico (mg ⁻¹)			
	1982-83	1983-84	1984-85	Média
		0-12cm		
Azevém ital.	88	56	-	72a
Festuca alta	76	59	65	67
Trevo branco	71	26	38	45
Trevo sub.	72	58	65	65
Luzerna	74	32	30	45
		12-24cm		
Azevém ital.	75	58	-	67a
Festuca alta	73	54	58	62
Trevo branco	84	44	47	58
Trevo sub.	58	53	74	62
Luzerna	59	32	23	38
		24-36cm		
Azevém ital.	65	55	-	60a
Festuca alta	71	48	50	56
Trevo branco	83	38	54	58
Trevo sub.	58	62	64	61
Luzerna	50	30	42	41
		36-48cm		
Azevém ital.	57	45	-	51a
Festuca alta	72	53	52	59
Trevo branco	82	32	33	49
Trevo sub.	35	50	44	43
Luzerna	63	31	32	42
		Média		
Azevém ital.	71	54	-	63a
Festuca alta	73	54	56	61
Trevo branco	80	35	43	53
Trevo sub.	56	56	62	58
Luzerna	62	31	32	42

(a) Média de dois anos

O engrossamento dos sistemas radicais, verificado ao longo do segundo ano, parece ter sido seguido de um maior desenvolvimento das raízes no ano seguinte, com exceção da luzerna para a qual e fundamentalmente nas camadas superficiais a tendência foi de engrossamento mais ou menos contínuo.

Comparando os valores médios relativos às diferentes camadas constata-se para as gramíneas o decréscimo do comprimento específico das raízes com a profundidade, a que correspondeu uma maior concentração de raízes finas e uma mais ampla ramificação do sistema radical nas camadas superficiais, aquelas em que foram também observadas as mais altas densidades radicais. Já FITTER (1976) tinha observado que era nas zonas de maior densidade radical que se encontrava a maior parte das raízes finas do azevém perene.

No trevo subterrâneo, o decréscimo do comprimento específico das raízes com a profundidade foi mais evidente no primeiro ano. No segundo e terceiro anos foi respectivamente nas camadas de 24-36cm e de 12-24cm que as raízes apresentaram maior comprimento específico.

Também para o trevo branco, os valores mais altos coincidiram com as camadas intermédias, permitindo concluir que as raízes mais grossas se encontravam fundamentalmente nas camadas de 0-12cm e 36-48cm.

Na luzerna, o comprimento específico variou pouco ao longo do perfil.

Num ensaio em caixas de observação de raízes, EVANS

(1973b), comparando o desenvolvimento de algumas espécies, gramíneas e leguminosas, observou para o trevo branco e para o azevém perene, 26 dias após a germinação, um comprimento específico das raízes respectivamente de 130 e 350 m g^{-1} . No presente trabalho todas as observações foram efectuadas em fases muito posteriores e os valores mais elevados, obtidos para o trevo branco e para o azevém italiano, foram respectivamente de 84 e 88 m g^{-1} . Para além disso, os dados de EVANS foram obtidos em cultura de areia e com níveis óptimos de água e nutrientes, por conseguinte em condições muito diferentes das de campo.

A cv. Yarloop do trevo subterrâneo apresentou num solo com a toalha freática a diferentes alturas, 30, 60 e 90cm, um comprimento específico das raízes de respectivamente 75,9; 85,4 e 70,8 m g^{-1} (STEWART et al., 1980). Estes são valores da mesma ordem de grandeza dos obtidos neste estudo para o trevo subterrâneo cv. Moapa, os quais variaram entre 35 e 74 m g^{-1} .

MOUAT (1983) refere para o trevo branco em condições normais um comprimento específico das raízes da ordem dos 246 m g^{-1} e em condições de deficiência de azoto e de fósforo valores mais elevados, 386 m g^{-1} . A mesma espécie no presente estudo não registou valores superiores a 84 m g^{-1} .

Num estudo de SIMPSON et al. (1977), a existência de condições de acidez no sub-solo contribuiu para uma redução do comprimento específico das raízes de algumas cultivares de luzerna, para as quais a adição de um correctivo calcário ao sub-solo permitiu que o comprimento específico das suas raízes

passasse de 35,3 para 56,9 m g^{-1} . Mas não só as condições ambientais originaram uma tal amplitude de valores, pois que, entre os genótipos estudados pelos mesmos autores, os comprimentos específicos variaram de 32,2 a 61,6 m g^{-1} . Para o sistema radical da luzerna, os comprimentos específicos das raízes observados no presente trabalho variaram entre 23 e 74 mg^{-1} , de acordo com a idade da cultura e com a profundidade a que se encontravam as raízes.

A relação entre comprimento e peso radical em plantas forrageiras, estabelecidas em condições ideais da rizosfera, tende para os 150-200 m g^{-1} (PORTAS, 1984). No entanto, quando determinada em condições de campo, verificam-se diferenças entre as espécies adaptadas a solos de boa qualidade, em que aquela relação é alta e as espécies que produzem em solos menos férteis, com raízes mais grossas e em menor número (FITTER, 1979).

4.3.3- Número de nódulos

O número de nódulos, relacionado com o comprimento das raízes, foi outra das características radicais observadas nas leguminosas que foram objecto deste estudo. Nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 figuram os valores obtidos respectivamente para o trevo branco, trevo subterrâneo e luzerna, nas diferentes épocas de corte e para as profundidades às quais foram colhidas as amostras com raízes.

A grande dispersão dos valores obtidos para um mesmo nível de amostragem, verificado na maior parte das situações e de que resultaram elevados coeficientes de variação, leva a que se considerem estes dados com certas restrições. A sua apresentação é encarada como informação que poderá ser utilizada em estudos do mesmo âmbito.

A tabela 6.1, que refere os valores dos nódulos observados no trevo branco, mostra que, tal como aconteceu para as outras características radicais, o número de nódulos variou entre os diferentes cortes e também em função da profundidade do solo.

Tabela 6.1 - Número de nódulos por metro de raiz a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Trevo branco

Prof. (cm)	Cortes						1º ano						2º ano						3º ano					
	10	20	30	40	50	Média	10	20	30	40	50	Média	10	20	30	40	50	Média						
0-12 (CV)	14,2 (74)	15,2 (53)	0,7 (122)	2,0 (63)	15,5 (24)	9,5	26,3 (36)	13,8 (36)	27,2 (35)	12,4 (24)	10,2 (14)	18,0	25,7 (29)	31,1 (17)	5,6 (59)	11,2 (18)	12,6 (26)	17,2						
12-24 (CV)	5,3 (79)	11,3 (66)	0,5 (245)	2,3 (65)	3,8 (38)	4,7	23,3 (29)	7,5 (81)	13,2 (21)	6,5 (35)	4,1 (32)	10,9	11,3 (52)	3,0 (114)	7,0 (61)	14,0 (41)	7,9 (34)	8,7						
24-36 (CV)	1,8 (163)	10,3 (69)	0 (-)	4,8 (38)	5,0 (88)	4,4	2,2 (161)	0 (-)	6,0 (69)	8,6 (24)	5,9 (43)	4,5	5,1 (114)	0 (-)	6,5 (89)	5,8 (58)	4,8 (39)	4,4						
36-48 (CV)	1,5 (156)	7,2 (81)	0 (-)	1,3 (113)	0,8 (159)	2,2	3,3 (245)	0 (-)	0 (-)	5,4 (61)	3,5 (114)	2,4	0 (-)	0 (-)	2,9 (168)	4,0 (87)	1,5 (80)	1,7						
48-60 (CV)	0,2 (245)	6,0 (106)	0 (-)	0,3 (155)	1,7 (155)	1,6	2,0 (245)	0 (-)	0 (-)	0,6 (167)	3,8 (110)	1,3	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0,2 (245)	0 (-)	0,04						
Média (CV)	4,6 (56)	10,0 (58)	0,2 (204)	2,2 (36)	5,4 (31)	4,5	11,4 (16)	4,3 (47)	9,3 (24)	6,7 (21)	5,5 (38)	7,4	8,4 (26)	6,8 (20)	4,4 (20)	7,1 (24)	5,3 (11)	6,4						

(CV) coeficiente de variação (%)

No entanto, a comparação entre os dados obtidos nas diferentes épocas de corte para cada camada do solo estudada e para a média do perfil, permite constatar que o número de nódulos evoluiu ao longo dos anos de uma forma diferente da observada para as outras características radicais. Por exemplo, a um aumento da densidade ou do peso radical nem sempre corresponderam aumentos no número de nódulos e casos houve em que o sentido da evolução foi completamente o oposto.

No primeiro ano do trevo branco, os nódulos presentes por metro de raiz foram em número elevado principalmente em Maio, tendo sofrido um decréscimo acentuado em Julho e recobrando em Outubro os níveis iniciais. No segundo ano, os nódulos no trevo branco desapareceram nas camadas mais profundas, mais concretamente a partir dos 24cm de profundidade em Maio e dos 36cm em Julho, embora a nível da camada mais superficial o seu número fosse elevado, respectivamente 14 e 27 nódulos por metro de raiz. No final do Verão início do Outono, os novos nódulos formados localizaram-se nas camadas mais profundas.

Em Dezembro e Abril do terceiro ano voltou a observar-se o desaparecimento de nódulos às maiores profundidades, a que se seguiu novo recrudescimento na nodulação das raízes, em moldes semelhantes aos verificados no ano anterior.

A partida, a variação do número de nódulos parece ter sido afectada por condições diferentes consoante a sua

localização no perfil. A ascensão da toalha freática no Inverno e Primavera, da qual resultaram condições de anaerobiose, terá levado ao desaparecimento dos nódulos nas camadas mais profundas do perfil. Nas camadas mais superficiais, o baixo nível de humidade e as altas temperaturas do solo, verificados nessas camadas no fim da Primavera e princípio do Verão, antes de iniciadas as regas, terão sido os factores dominantes.

A variação estacional do número de nódulos no trevo branco foi estudada por YOUNG (1958) tendo concluído que o número de nódulos efectivos aumentava desde a Primavera até meados do Verão, a partir do qual começava a declinar.

ENGIN e SPRENT (1973) referem o facto de o potencial mátrico do solo descer a níveis de que resultem condições de "stress" como não tendo qualquer efeito sobre o número de nódulos no trevo branco sendo no entanto reconhecida a sua acção sobre a actividade dos nódulos e a produção da parte aérea da cultura (JOHNSON e RAGUSE, 1985).

Os cortes frequentes podem levar a uma redução do número de nódulos nas leguminosas forrageiras, como o trevo branco (BUTLER et al., 1959) e posteriormente à formação de novos nódulos, em simultâneo com a rebentação.

Em plantas de trevo branco com dez semanas de idade e sujeitas em estufa a dois níveis de sombramento e desfoliação, o número de nódulos variou entre 8 e 9 /100mg de peso seco de raiz (CHU e ROBERTSON, 1974). No presente trabalho os valores

obtidos variaram entre 1,05 e 164 nódulos /100mg de peso seco de raiz, determinação feita com base num comprimento específico médio de 53m g^{-1} , considerado para as raízes do trevo branco.

Relativamente ao trevo subterrâneo, o número de nódulos observado por metro de raiz, a diferentes profundidades do perfil de expansão radical e em períodos coincidentes com as épocas de corte, é apresentado na tabela 6.2.

Dado terem sido apenas dois os cortes efectuados anualmente no trevo subterrâneo, a única observação que pode ser feita em relação a esta característica é a de que tanto os valores médios anuais, por camada ou profundidade estudada, como os valores médios gerais, incluindo todas as camadas, sofreram um decréscimo muito acentuado do primeiro para os anos seguintes. O elevado número de nódulos por metro de raiz, observado em Março do primeiro ano, poderá ser atribuído à acção do inóculo. Nos anos seguintes os nódulos formados resultaram de infecções por estirpes de Rhizobium existentes no solo.

O número médio de nódulos observado por metro de raiz em cada camada do solo foi em geral inferior ao do trevo branco.

Tabela 6.2 - Número de nódulos por metro de raiz a diferentes profundidades
e para várias épocas de corte - Trevo subterrâneo

Prof. (cm)	Cortes 1º ano			2º ano			3º ano		
	1º	2º	Média	1º	2º	Média	1º	2º	Média
0-12 (CV)	28,5 (49)	11,5 (133)	20,0	14,4 (49)	10,8 (33)	12,6	9,4 (30)	8,5 (19)	9,0
12-24 (CV)	21,5 (54)	6,5 (119)	14,0	2,3 (91)	5,1 (54)	3,7	3,7 (53)	4,1 (22)	3,9
24-36 (CV)	5,8 (46)	4,5 (71)	5,2	0,1 (204)	0,9 (156)	0,5	2,3 (77)	1,7 (70)	2,0
36-48 (CV)	3,0 (133)	3,3 (85)	3,2	0,3 (218)	0,2 (245)	0,2	1,1 (93)	0,3 (155)	0,7
48-60 (CV)	0,8 (245)	1,7 (188)	1,3	0 (-)	0 (-)	0	0,4 (235)	0,7 (166)	0,6
Média (CV)	11,9 (25)	5,5 (101)	8,7	3,4 (46)	3,4 (25)	3,4	3,4 (16)	3,1 (15)	3,2

(CV) coeficiente de variação (%)

Os valores relativos aos nódulos observados na luzerna constam da tabela 6.3 sendo desde logo evidente o facto de serem estes, em ordem de grandeza, muito inferiores aos determinados para os trevos.

Tabela 6.3 - Número de nódulos por metro de raiz a diferentes profundidades e para várias épocas de corte - Luzerna

Prof. (cm)	19 ano					29 ano						39 ano							
	19	29	39	49	Média	19	29	39	49	59	69	Média	19	29	39	49	59	69	Média
0-12 (CV)	2,8 (125)	0,2 (245)	0 (-)	0,5 (110)	0,9	0 (-)	7,4 (54)	2,4 (75)	4,5 (63)	2,8 (25)	8,8 (65)	4,3	0,3 (159)	4,0 (58)	6,3 (61)	3,7 (35)	6,6 (34)	7,8 (70)	4,8
12-24 (CV)	1,7 (90)	0,3 (245)	0 (-)	2,5 (66)	1,1	0 (-)	1,9 (92)	1,7 (85)	1,0 (94)	1,0 (154)	7,3 (44)	2,2	0 (-)	2,0 (31)	3,2 (125)	2,9 (34)	8,4 (44)	5,6 (41)	3,7
24-36 (CV)	1,7 (90)	0 (-)	0,2 (245)	1,7 (145)	0,9	0,3 (245)	1,6 (85)	0,3 (119)	1,0 (155)	0,9 (112)	5,7 (82)	1,6	0 (-)	0,4 (265)	1,7 (165)	3,4 (82)	6,8 (51)	6,0 (62)	3,0
36-48 (CV)	1,3 (122)	0,3 (245)	0,5 (110)	0,7 (122)	0,7	0 (-)	1,6 (141)	0,5 (245)	0 (-)	1,4 (116)	4,4 (91)	1,3	0 (-)	0 (-)	3,4 (128)	0,1 (245)	1,9 (84)	3,7 (133)	1,5
48-60 (CV)	1,5 (187)	0,3 (155)	0,2 (245)	3,3 (156)	1,3	0 (-)	0,5 (226)	2,1 (155)	0 (-)	0,9 (166)	3,4 (110)	1,1	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0,5 (229)	0,4 (225)	0,2 (265)	0,2
60-72 (CV)	0 (-)	0 (-)	0,3 (245)	4,8 (108)	1,3	0,3 (245)	0 (-)	1,2 (169)	0 (-)	0,5 (245)	4,0 (92)	1,0	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0
Média (CV)	1,5 (53)	0,2 (84)	0,2 (84)	2,3 (51)	1,0	0,1 (155)	2,2 (29)	1,3 (79)	1,1 (54)	1,2 (47)	5,6 (41)	1,9	0,1 (84)	1,1 (51)	2,4 (64)	1,8 (42)	4,0 (16)	3,9 (35)	2,2

(CV) coeficiente de variação (%)

Na luzerna, tal como para as outras espécies, a colheita ou corte da sua forragem parece levar a uma redução do número de nódulos, a qual se manifesta cerca de 10 dias depois (CRALLE e HEICHEL, 1981). Também as condições hídricas do solo durante

o ciclo cultural têm conduzido a valores diferentes da quantidade de nódulos presentes nas raízes. CARTER e SHEAFFER (1983) observaram que a densidade de nódulos em luzerna regada era cerca de 51% inferior à verificada em condições de sequeiro. Na luzerna regada 65% dos nódulos localizaram-se na camada de 15-30cm de profundidade, contra os 45% verificados em luzerna não regada. Já MUNNS et al. (1977) tinham observado que 40 a 50% dos nódulos na luzerna se encontravam em zonas abaixo dos 20cm.

As densidades de nódulos observadas em Setembro por CARTER e SHEAFFER (1983) em quatro camadas de solo com 15cm de espessura e em condições de regadio, foram de 0,31; 1,84; 0,51 e 0,21 nódulos /100cm³ de solo. No presente estudo os valores médios dos cortes efectuados em Setembro do segundo e terceiro anos foram para camadas com 12cm de espessura e até aos 60cm de profundidade de 2,95; 2,33; 1,90; 0,57 e 0,17 nódulos /100cm³ de solo.

Em relação à distribuição percentual dos nódulos verifica-se que, em média e abaixo dos 24cm de profundidade, esta foi decrescendo com os anos. No primeiro ano 68% dos nódulos encontrava-se abaixo dos 24cm, mas nos anos seguintes essa percentagem foi reduzida para 44 e 36%. A esta situação deverá estar associada a oscilação da toalha freática em zonas de desenvolvimento das raízes.

É de salientar que para a interpretação da variação anual do número de nódulos apresentado por cada cultura, é importante considerar o regime hídrico do solo (Fig. 5.3, 5.4 e

5.5) e o regime térmico do solo (Fig. 9) a que os talhões das culturas estiveram sujeitos.

4.3.4- Observação directa das raízes em perfis e em caixa acrílica

Os perfis abertos junto à bordadura dos talhões, em Maio e Setembro do primeiro ano e posteriormente no final do ensaio, permitiram a observação do tipo de distribuição do sistema radical no perfil do solo, da profundidade máxima de enraizamento e também do aspecto apresentado pelas raízes.

Estas observações, foram importantes como complemento das efectuadas em amostras obtidas com a sonda de colheita de raízes.

Assim, em Maio de 1983 foi comum em todas as espécies a concentração da maior parte das raízes nos 20-25cm superficiais. Abaixo desta profundidade apareciam fundamentalmente raízes jovens, que se desenvolviam até cerca dos 60cm e que no caso da luzerna apresentavam uma distribuição em tufos, crescendo junto a raízes mortas, provavelmente pertencentes à cultura anterior.

Ao longo do perfil puderam ser observadas duas zonas de maior compactação do solo, uma logo após os 25cm, e que apresentava cerca de 20cm de espessura e outra abaixo dos 60cm, com uma resistência inferior à da anterior nas superior à da

camada superficial. Na zona imediatamente abaixo dos 25cm, as raízes, principalmente as dos trevos e da luzerna, apresentavam-se sinuosas e espalmadas, aspecto característico do crescimento em zonas compactadas ou de ataque de nemátodos.

Tendo-se constatado não haver problemas de ordem biológica, havia que avaliar da possibilidade de ser um factor químico o responsável pela restrição ao enraizamento na camada correspondente ao horizonte B.

No ensaio efectuado com esse fim, em caixa acrílica e usando o feijão como planta indicadora (ver 3.5), constatou-se que o crescimento radical não apresentou diferenças significativas tanto na testemunha como nas modalidades com aplicação crescente de carbonato de cálcio (Fig.11). A menor densidade de raízes observada nalgumas modalidades resultou de sementes que não germinaram ou o fizeram mais tardiamente, pois que ao fim dos quatro dias de experimentação em todos os compartimentos haviam raízes que tinham atingido o fundo.

Nos perfis abertos em Setembro do mesmo ano, a situação era diferente nas duas gramíneas. No azevém era grande a quantidade de raízes mortas abaixo dos 20cm de profundidade e as poucas raízes novas formadas encontravam-se fundamentalmente na camada superior. Na festuca alta, a distribuição das raízes era uniforme ao longo do perfil, atingindo uma profundidade de cerca de 80cm. Notava-se uma maior concentração de raízes jovens, grossas e bastante ramificadas nos 25 cm superficiais e apareciam algumas raízes mortas tanto na camada superficial como nas inferiores.

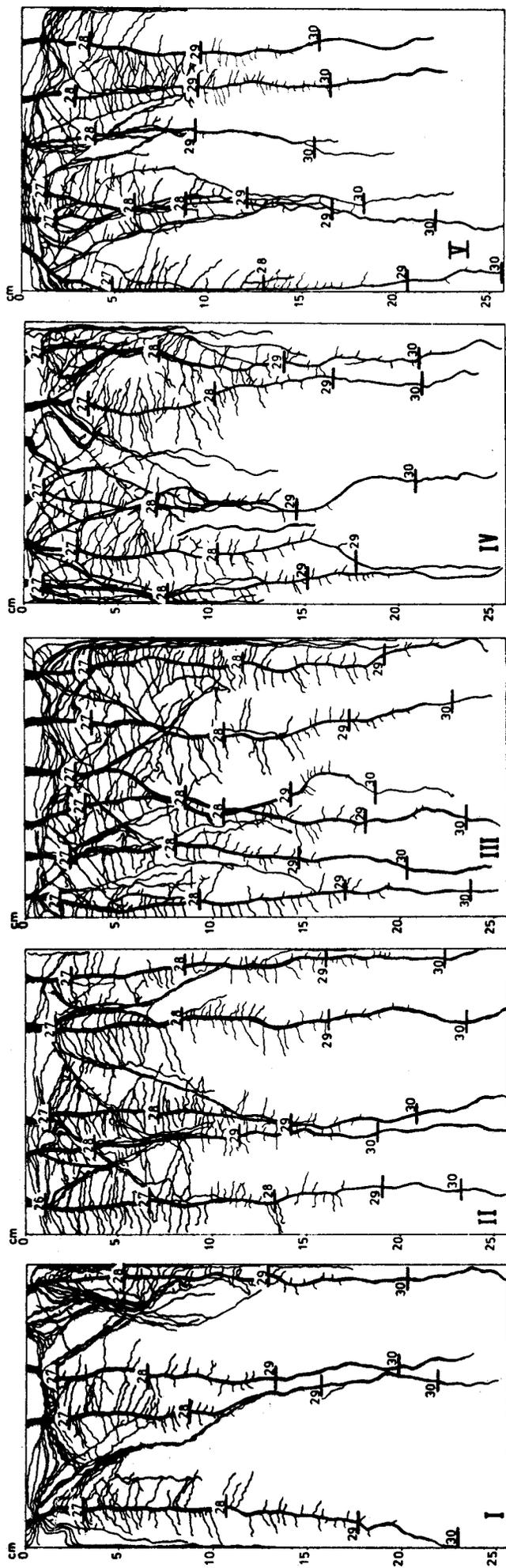


Fig.11—Crescimento radical do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.cv. Manata).
 I - solo da camada de 0-20cm; IIaV -solo da camada de 20 a 40 cm
 com respectivamente 0,1; 0,2; e 0,3g de Ca Co_3 /100g de solo.

No trevo branco, a maior parte das raízes localizava-se na camada de 0-30cm, com numerosas raízes novas, muito finas e ramificadas. Dos 30 aos 60cm, as raízes jovens cresciam fundamentalmente nos canais deixados pelas velhas, devido à grande compactação desta camada do solo. A profundidade máxima atingida por algumas raízes (muito poucas) foi de 65cm.

Foi também dentro dos 30cm superficiais que na luzerna se encontrava a maior parte das raízes com diâmetros entre 0,5 e 1,0cm. Para baixo dos 30cm, as raízes mais finas apresentavam um desenvolvimento normal, que se estendia até aos 65cm de profundidade. O horizonte C, que nalguns pontos foi observado a 70cm de profundidade, era atravessado por uma ou outra raiz que atingiam no perfil os 120-150cm.

Em Setembro, no termo dos dois anos de exploração do azevém, o perfil aberto no talhão mostrava que a espessura explorada pelas raízes era bastante reduzida, não ultrapassando em média os 30cm, e que a profundidade máxima à qual foram encontradas raízes foi de cerca de 50cm. A quantidade de raízes acastanhadas, mortas, era considerável. A toalha freática encontrava-se nesta altura aproximadamente a 120cm de profundidade.

No terceiro ano de ensaio, em finais de Agosto para a festuca alta e de Setembro para o trevo branco e a luzerna, os perfis abertos nos talhões em que as culturas estavam instaladas apresentavam a toalha freática ainda entre os 90 e os 100cm de profundidade.

Para a festuca alta, a grande massa de raízes na camada até aos 20cm foi a característica mais importante, embora o desenvolvimento radical se tivesse estendido até zonas mais profundas, entre 70 e 75cm, e algumas raízes atingissem os 85cm.

No trevo branco e na luzerna, as situações eram semelhantes às observadas nos perfis abertos em Setembro do primeiro ano, verificando-se no entanto uma maior quantidade de raízes grossas, a nível das camadas superficiais no trevo branco e ao longo de todo o perfil na luzerna.

4.4 - Elementos relativos à parte aérea das plantas

4.4.1- Produção de matéria seca

O objectivo principal da determinação da quantidade de matéria seca obtida nos diferentes cortes foi não só de avaliar os rendimentos das espécies, que em certa medida traduzem as condições em que as plantas cresceram e se desenvolveram, como também de os relacionar com a parte radical e com os quantitativos de água a que as plantas tiveram acesso durante o seu ciclo cultural.

Na tabela 7 figuram os valores da produção de matéria seca referentes aos diferentes cortes e anos de exploração das culturas.

Ao serem respeitadas as épocas de corte mais favoráveis

para cada espécie, com a finalidade de assegurar a normal rebentação e persistência das culturas, criaram-se condições das quais resultou um número diferente de cortes entre espécies e anos de exploração.

No conjunto dos três anos de ensaio, entre as espécies perenes as mais produtivas foram a luzerna com um total de 78130 kg ha⁻¹ seguindo-se-lhe a festuca alta com 56584 kg ha⁻¹ e por último o trevo branco com 54758 kg ha⁻¹. A produção total do azevém italiano nos dois anos de exploração foi de 37705 kg ha⁻¹ e o trevo subterrâneo forneceu, no total dos três anos, 18755 kg ha⁻¹. Com excepção do azevém, todas as espécies atingiram os níveis mais altos de produção no segundo ano, sendo a sua variação anual em parte determinada pelas condições meteorológicas registadas durante os três anos de ensaio.

A análise das produções obtidas neste trabalho será feita através da sua comparação com valores referidos por outros autores, para condições climáticas semelhantes, principalmente os resultantes de ensaios desenvolvidos em Portugal e em Espanha.

O azevém italiano, cujo crescimento atingiu o seu ponto mais alto durante a Primavera, produziu na média dos dois anos, com cinco e quatro cortes respectivamente no primeiro e segundo anos, 18852 kg ha⁻¹. PARDO e GARCIA (1984) referem para as variedades diplóides de azevém italiano um potencial produtivo médio de 13000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e VILLAX (1983) considera-o variando entre 5000 e 10000 kg ha⁻¹.

Na festuca alta, com um total de quatro cortes por ano, a produção média nos três anos foi de 18861 kg ha⁻¹, bastante próxima da média anual referida para o azevém italiano. A principal diferença em relação a este residirá nas mais altas produções da festuca alta durante o Verão o que, como já foi explicado, se deve a ter esta um óptimo térmico superior ao das outras gramíneas de clima temperado. DORDIO e BORBA (1982) obtiveram para a cv. Manade, em regadio, uma produção média anual de 13307 a 15300 kg ha⁻¹ ano⁻¹. VILLAX (1963) refere que o rendimento médio da festuca alta varia entre 6000 e 12000 kg ha⁻¹.

Com cinco cortes anuais, a produção média anual do trevo branco foi de 18253 kg ha⁻¹ sendo nos cortes efectuados no Outono e na Primavera, respectivamente do primeiro e do segundo anos, que se registaram os níveis mais altos da produção. Na zona Norte de Espanha, as produções oscilam entre 9000 e 12000 kg ha⁻¹, contribuindo o trevo branco com mais de 70% da produção total (PARDO e GARCIA, 1984).

CRESPO (1969) cita que nas condições de Elvas e para vários tipos de consociações do trevo branco, cv. Ladino, as produções são da ordem dos 17000 a 20000 kg ha⁻¹ contribuindo o trevo com mais de 50% da produção total e chegando nalguns casos a atingir os 70-90%, principalmente nos períodos da Primavera e Verão. Mais recentemente CRESPO (1975a) refere que o potencial produtivo de prados à base de trevo branco se situa entre os 12000 e 18000 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 7 - Produção de matéria seca por época de corte e por cultura estudada

Cultura	Ano	Cortes						Total
Azevém ital.	1982-83	Data 21/3/83	3/5/83	17/6/83	29/7/83	17/10/83		
		M.S.(kgha ⁻¹)	6924	6400	3125	3072	600	20121
	1983-84	Data 23/12/83	9/5/84	2/7/84	24/9/84			
		M.S.(kgha ⁻¹)	4008	4896	5432	3248		17584
Festuca alta	1982-83	Data 30/3/83	19/5/83	29/7/83	17/10/83			
		M.S.(kgha ⁻¹)	2884	2696	5328	6704		17612
	1983-84	Data 23/12/83	16/4/84	2/7/84	24/9/84			
		M.S.(kgha ⁻¹)	5216	7096	6212	4896		23420
	1984-85	Data 19/12/84	7/3/85	21/5/85	26/8/85			
		M.S.(kgha ⁻¹)	3020	3688	3724	5120		15552
Trevo branco	1982-83	Data 31/3/83	19/5/83	22/7/83	12/9/83	17/10/83		
		M.S.(kgha ⁻¹)	738	2430	4400	5430	5570	18568
	1983-84	Data 23/12/83	9/5/84	2/7/84	24/8/84	24/9/84		
		M.S.(kgha ⁻¹)	2640	5710	5080	3920	4680	22030
	1984-85	Data 19/12/84	1/4/85	21/6/85	26/8/85	25/9/85		
		M.S.(kgha ⁻¹)	1720	2730	4140	2090	3480	14160
Trevo sub.	1982-83	Data 31/3/83	19/5/83					
		M.S.(kgha ⁻¹)	1625	2000				3625
	1983-84	Data 13/3/84	9/5/84					
		M.S.(kgha ⁻¹)	5670	5960				11630
	1984-85	Data 1/4/85	17/5/85					
		M.S.(kgha ⁻¹)	2250	1250				3500
Luzerna	1982-83	Data 19/5/83	22/7/83	12/9/83	17/10/83			
		M.S.(kgha ⁻¹)	1530	4300	3980	6780		16590
	1983-84	Data 23/12/83	9/5/84	2/7/84	26/7/84	24/8/84	24/9/84	
		M.S.(kgha ⁻¹)	3230	4740	7100	6420	5030	7020 33540
	1984-85	Data 19/12/84	1/4/85	16/5/85	2/7/85	26/8/85	25/9/85	
		M.S.(kgha ⁻¹)	2910	2930	6930	6050	5230	3950 28000

O trevo subterrâneo produziu na média dos três anos, em condições de sequeiro, 6252 kg ha⁻¹. As produções referidas por PARDO e GARCIA (1984), de 2000 kg ha⁻¹ para os anos secos até máximos de 10000-12000 kg ha⁻¹ em condições favoráveis, estão de acordo com os valores obtidos no primeiro e segundo anos e que foram respectivamente 3625 e 11630 kg ha⁻¹. No terceiro ano, embora o nível da precipitação fosse da mesma ordem de grandeza do registado no ano anterior, a produção voltou a descer para os 3500 kg ha⁻¹. PARDO e GARCIA (1984) consideram como valores normais, em anos médios, os 3000 a 4000 kg ha⁻¹ e VILLAX (1963) aponta para rendimentos da ordem dos 1500 a 3000 kg ha⁻¹.

A produção média anual para a luzerna foi de 26043 kg ha⁻¹ tendo os níveis mais elevados de matéria seca sido obtidos nos cortes efectuados no Verão e princípio do Outono. A partir do primeiro corte, em Maio, efectuaram-se mais três durante o primeiro ano. Nos seguintes, a luzerna forneceu seis cortes anuais que no Verão chegaram a efectuar-se com intervalos inferiores a trinta dias.

A produção do segundo ano, 33540 kg ha⁻¹, foi como nas outras espécies superior à dos outros anos, o que em parte ter-se-á devido às condições meteorológicas, particularmente favoráveis nesse ano.

Na região mediterrânica, os rendimentos anuais da luzerna de regadio são bastante variáveis, entre 12500 e 25000 kg ha⁻¹, podendo ultrapassar o valor máximo citado quando as condições são as melhores (VILLAX, 1963).

O potencial produtivo de prados mistos à base de luzerna é, segundo CRESPO (1875a), de 16000 a 24000 kg ha⁻¹.

É de notar que a colheita manual das amostras para avaliação da biomassa produzida pelas culturas poderá, por reduzir as perdas normalmente verificadas com a colheita mecânica, ter contribuído para os valores mais elevados da produção, obtidos neste trabalho, quando comparados com os referidos na bibliografia e em estudos no nosso país para as mesmas espécies.

4.4.2- índice de área foliar

O índice de área foliar (I.A.F.) ou seja, a área foliar total relativa a uma determinada superfície de solo, foi avaliada para cada época de corte e cultura estudada (Tab.8).

Os valores médios do I.A.F., para o período de ensaio, foram os mais elevados na festuca alta com 6,59, seguindo-se-lhe o azevém italiano e o trevo branco com respectivamente 5,65 e 5,25. A luzerna com 4,40 e o trevo subterrâneo com 3,75 apresentaram os valores mais baixos.

Para cada espécie, o I.A.F. evoluiu em cada ano de uma forma semelhante à observada para a produção de matéria seca. As correlações entre produção de matéria seca e o I.A.F. foram em todas as espécies muito significativas ($P < 0,01$), como se pode ver mais adiante nas tabelas 12.1 a 12.5.

Tabela 8 - Índice de área foliar por época de corte e por cultura estudada

Cultura	Ano	Cortes					Total		
		Data	21/3/83	3/5/83	17/6/83	29/7/83		17/10/83	
	1982-83	I.A.F.	11,79	10,90	5,39	1,82	1,26	6,23	
Azevém		Data	23/12/83	9/5/84	2/7/84	24/9/84			
ital.	1983-84	I.A.F.	6,27	6,82	5,87	1,31		5,07	
	1982-83	I.A.F.	4,46	4,16	7,35	10,71		6,67	
Festuca		Data	23/12/83	16/4/84	2/7/84	24/9/84			
alta	1983-84	I.A.F.	7,55	12,50	6,71	6,61		8,34	
	1984-85	I.A.F.	3,50	4,16	5,12	6,20		4,75	
	1982-83	I.A.F.	1,37	4,52	6,12	8,09	4,35	4,89	
Trevo		Data	23/12/83	9/5/84	2/7/84	24/8/84	24/9/84		
branco	1983-84	I.A.F.	5,55	9,87	7,12	7,07	4,91	6,90	
	1984-85	I.A.F.	3,02	5,12	6,25	2,66	2,70	3,95	
	1982-83	I.A.F.	1,74	2,14				1,94	
Trevo		Data	13/3/84	9/5/84					
sub.	1983-84	I.A.F.	6,24	6,72				6,48	
	1984-85	I.A.F.	3,76	1,92				2,84	
	1982-83	I.A.F.	2,04	3,10	2,68	5,89		3,43	
Luzerna		Data	23/12/83	9/5/84	2/7/84	26/7/84	24/8/84	24/9/84	
	1983-84	I.A.F.	3,40	5,52	6,47	5,37	4,40	7,07	5,37
	1984-85	I.A.F.	2,69	3,42	7,84	5,35	4,20	2,87	4,40

Em comparação com os níveis de produção obtidos para cada espécie, constata-se que a luzerna, com um potencial produtivo muito superior ao das outras espécies, foi das que apresentou valores mais baixos do I.A.F. .

O I.A.F. óptimo, ao qual corresponde a quantidade máxima de luz interceptada, varia de espécie para espécie e, dentro de cada espécie, com as estações. O I.A.F. necessário para interceptar 95% da radiação é cerca de 3, em espécies com folhas dispostas horizontalmente como os trevos, cerca de 4-5 na luzerna e acima de 7-11 para as gramíneas, como os azevém, cujas folhas são orientadas na vertical (MONTEITH, 1969).

ZARROUGH et al. (1983) concluíram que, alterando a altura de corte de 5 para 10cm acima do solo, o I.A.F. da festuca alta passava de 2,36 para 3,17, o que levava a um aumento da produção da ordem dos 22,5%.

Num estudo comparativo das taxas fotossintética e de crescimento de várias gramíneas semeadas na Primavera, SHEEHY e PEACOCK (1975) obtiveram, na média de dois cortes, efectuados cinco e seis meses após a sementeira, os valores de 6,4 e 5,4 para o I.A.F. respectivamente do azevém italiano e da festuca alta. No presente estudo, as mesmas espécies, semeadas em Outubro, apresentaram valores de I.A.F. de 11,8 e 10,9 o azevém italiano e de 4,46 e 4,16 a festuca alta, valores referentes aos dois primeiros cortes efectuados.

Em termos da cobertura que as espécies fazem ao solo, a quantidade de área foliar que cobre uma determinada superfície é importante por condicionar a evapotranspiração total.

Estudos efectuados com diferentes culturas sugerem que as taxas de evapotranspiração não aumentam significativamente para valores do I.A.F. superiores a 3 (BLAD, 1983). Em média, os valores do I.A.F. observados no presente estudo para as diferentes espécies foram superiores àquele valor, com excepção do azevém italiano durante o Verão e dos trevos e da luzerna no primeiro corte efectuado, nos quais os valores do I.A.F. foram inferiores a 2.

4.5 - Relação entre os pesos da parte aérea e da parte radical

A relação entre peso da parte aérea e peso da parte radical (Pa/Pr), referida como semelhante para plantas da mesma espécie, apresenta no entanto variações entre espécies e, dentro de cada uma, com as condições ambientais e com a idade das plantas. A este facto está associada a amplitude de valores verificada para cada cultura, entre as diferentes épocas de corte (Tab. 9 e Fig. 12).

Relativamente aos valores médios obtidos no total do período de experimentação, constata-se que nas gramíneas a relação Pa/Pr é inferior à das leguminosas, tal como já tinha sido observado por OZANNE *et al.* (1965). Para as gramíneas aqueles valores foram da ordem de 4-5 enquanto que para as leguminosas variaram entre 8 e 10. O mesmo tipo de observação pode ser feita em relação aos valores médios anuais, com

Tabela 9 - Relação entre os pesos da parte aérea e da parte radical das diferentes espécies, por época de corte

Ano	Datas de corte	Pa/Pr				
		Azevém ital.	Festuca alta	Trevo branco	Luzerna	Trevo subt.
	21/3	9,02				
	30/3	3,33				
	31/3			4,24		3,44
	3/5	7,53				
1982-83	19/5	2,90		10,75	3,45	4,12
	17/6	5,23				
	22/7			15,28	14,05	
	29/7	2,58	11,95			
	12/9			15,51	5,12	
	17/10.....	2,29	3,74	18,20	26,18	
	Média	5,33	5,48	12,30	12,20	3,78
	23/12.....	8,77	4,46	5,97	9,61	
	13/3.....					16,29
	16/4	6,16				
1983-84	9/5	4,48		12,80	9,19	13,80
	2/7	5,14	3,59	6,83	12,59	
	26/7.....				6,69	
	24/8.....			4,47	4,32	
	24/9.....	2,88	1,31	5,06	10,45	
	Média	5,32	3,88	7,03	8,81	15,05
	19/12.....	2,68		2,56	2,27	
	7/3	1,83				
	1/4			5,55	6,98	7,38
	16/5				18,05	
1984-85	17/5.....					3,16
	21/5	0,91				
	21/6			12,18		
	2/7				11,46	
	26/8	1,61		3,17	10,38	
	25/9			4,65	8,90	
	Média		1,76	5,62	9,67	5,27
	Média	5,32	3,71	8,48	9,98	8,03

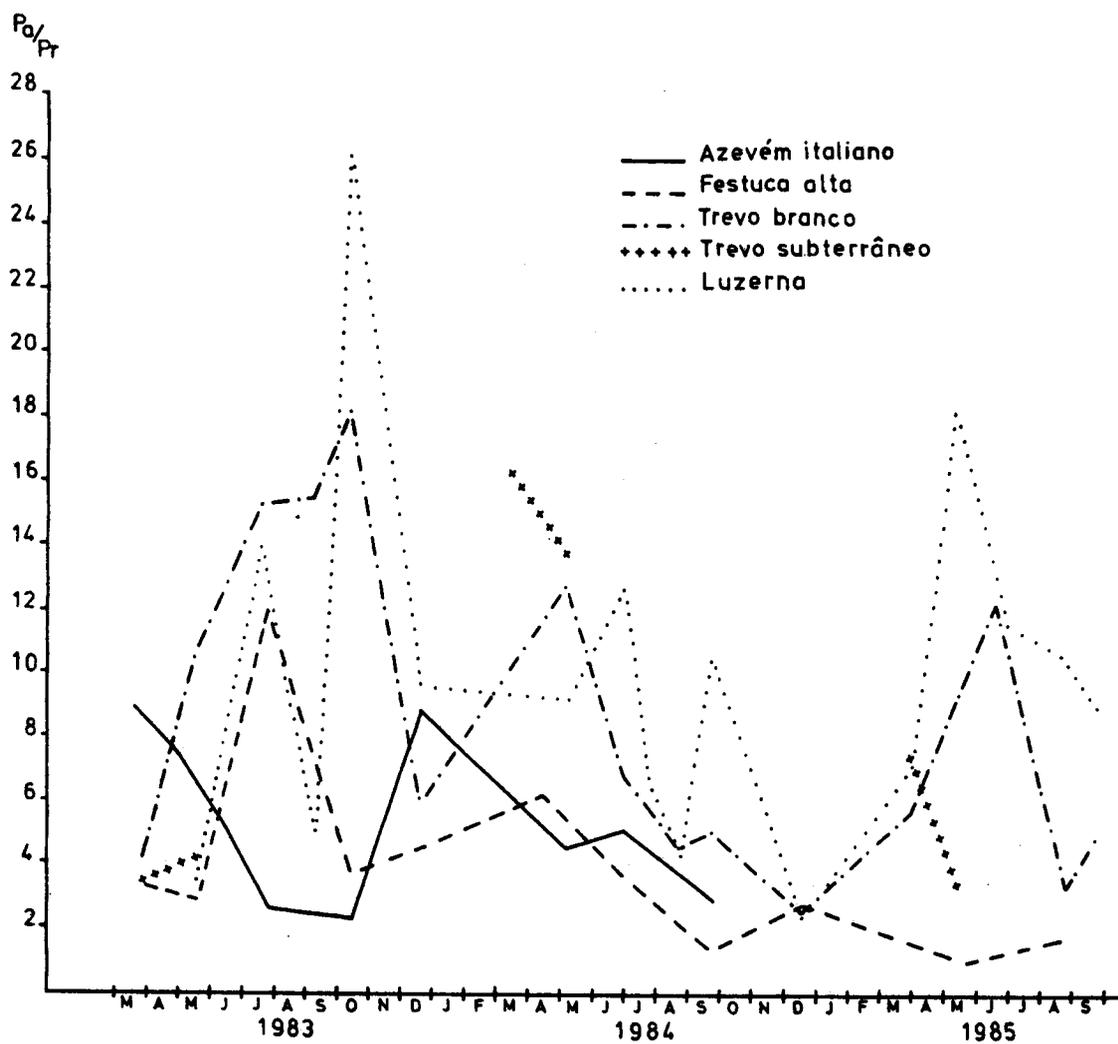


Fig.12- Evolução da relação entre os pesos da parte aérea e da parte radical das diferentes espécies.

excepção dos determinados para o trevo subterrâneo no primeiro ano, que foram inferiores aos das gramíneas.

Para cada espécie, as diferenças entre os valores médios anuais terão resultado por um lado da variação das condições meteorológicas nos três anos de ensaio e por outro do facto de se tratar, na sua maior parte, de culturas perenes. A tendência geral foi de um decréscimo da relação Pa/Pr durante o total do período de exploração das culturas. Porém, o azevém italiano nos dois anos de ensaio manteve os mesmos valores, cerca de 5, e no trevo subterrâneo a relação Pa/Pr foi mais alta durante o segundo ano, cerca de 15, voltando a descer no ano seguinte para cerca de 5, valor que é superior ao observado inicialmente (cerca de 4).

Ao longo de cada ano, a flutuação observada nos valores da relação Pa/Pr resultou da acção dos cortes e da variação estacional das condições ambientais, de que depende a actividade das raízes e da parte aérea e às quais se fez anteriormente referência quando da discussão dos dados relativos ao peso radical, à produção de matéria seca pela parte aérea das plantas e à relação entre ambos.

No azevém perene, na festuca alta e no trevo branco a relação Pa/Pr é, segundo DAVIDSON (1969a), mais alta quando a temperatura do solo se encontra dentro dos níveis óptimos para a produção e decresce para valores acima e abaixo do óptimo. Em relação a doze espécies estudadas, DAVIDSON (1969a) encontrou valores da razão Pa/Pr entre 2 e 8 e, particularmente na festuca alta, azevém perene e trevo branco, os valores

observados à temperatura óptima do solo, 25°C para a festuca e 20°C para as restantes, foram respectivamente de 1,27; 1,82 e 2,86. Estes valores ficam muito aquém dos determinados para as mesmas espécies, na maior parte das épocas de corte observadas no presente estudo.

Outro factor que nas gramíneas pode contribuir para alterar a razão Pa/Pr é o teor de azoto no solo. ENNIK et al. (1980) e ENNIK e HOFMAN (1983) referem um maior desenvolvimento radical e consequentemente uma menor relação Pa/Pr, em várias cultivares de azevém sob níveis baixos de azoto no solo.

Num estudo sobre a acção dos teores de azoto, fósforo e água do solo no desenvolvimento das partes aérea e radical do azevém perene e do trevo branco, DAVIDSON (1969b) verificou que os valores mais altos da relação Pa/Pr, 2,94 para o azevém perene e 4,76 para o trevo branco, ocorriam quando nenhum dos factores era limitante, sendo de 0,29 e 0,58 os valores da razão Pa/Pr correspondentes às mesmas culturas, quando se verificava um desequilíbrio dos factores intervenientes. Mesmo os primeiros, são valores em média inferiores aos observados no presente trabalho, quer para o azevém italiano, quer para o trevo branco.

EVANS (1977) comparou morfológicamente os sistemas radicais de várias gramíneas e trevos, durante o Verão em cultura de areia e durante o Inverno em solo natural. Na primeira situação, três semanas após sementeira, os valores de Pa/Pr foram de 1,8; 2,0 e 1,9 respectivamente para o azevém

perene, o trevo branco e o trevo subterrâneo e, oito semanas após sementeira, os correspondentes valores observados nas mesmas espécies foram de 2,7; 5,7 e 4,8. Durante o Inverno, em solo natural, a relação Pa/Pr três semanas após sementeira foi, seguindo a mesma sequência, de 5,1; 3,6 e 3,5 e, oito semanas após sementeira, de 3,9; 2,8 e 3,2. O autor refere que as diferenças foram significativas entre cortes, mas não entre espécies. Estes são dados referentes a estádios de desenvolvimento das culturas muito anteriores aos dos primeiros cortes efectuados no presente estudo, no qual foram no entanto determinados, para as mesmas espécies e nalgumas épocas de corte, valores de Pa/Pr próximos dos obtidos por EVANS (1977) em solo natural, durante o Inverno.

Em plantas de trevo branco com seis semanas de idade e em condições de estufa, CARADUS (1977) observou para a cv. Ladino uma relação Pa/Pr de 2,36. A mesma cultivar no presente trabalho conduziu a valores superiores em todos os cortes, sendo o correspondente ao primeiro de 4,24.

Já SPENCER e HELY (1982) comparando duas modalidades de aplicação de fósforo - misturado nos 10cm superficiais e aplicado na superfície do solo - observaram que no trevo branco a razão entre o peso da matéria seca produzida durante doze meses e o correspondente peso das raízes era de 5 e 3, respectivamente na primeira e segunda modalidades de aplicação de fósforo.

Em duas cultivares de trevo subterrâneo, a Yarloop e a Mt. Barker, usadas para relacionar a distribuição radical com a

utilização de potássio disponível no solo, OZANNE et al. (1965) obtiveram, 126 dias após sementeira, uma razão Pa/Pr de 4,55 para a primeira cultivar e de 3,13 para a segunda. Na cv. Seaton Park, utilizada no presente estudo, a relação Pa/Pr, 174 dias após sementeira, apresentou um valor compreendido entre os anteriores e que foi de 3,44.

Para a luzerna, os dados da razão Pa/Pr referidos na bibliografia são, tal como aconteceu na maior parte dos casos anteriormente analisados, inferiores aos que, em geral, foram determinados para a maioria dos cortes efectuados.

Num ensaio em vasos com a finalidade de estudar a resposta de alguns génotipos de luzerna à aplicação de um correctivo calcário ao sub-solo, SIMPSON et al. (1977) constataram que a variação da razão Pa/Pr nos diferentes génotipos esteve compreendida entre 1,48 e 2,80, sendo em média de 2,37 e 1,97 respectivamente com o mais baixo e o mais alto teor de cálcio no sub-solo. Com o mesmo objectivo, nas associando o efeito da calagem a diferentes níveis de aplicação de água ao solo, SIMPSON et al. (1979) obtiveram, para níveis crescentes de cálcio de troca, valores da razão Pa/Pr também crescentes e da ordem de 1,15; 1,30 e 1,89. Entre os génotipos estudados a razão Pa/Pr variou entre 1,09 e 1,87.

A variação da razão Pa/Pr com a temperatura do ar é referida por DADAY e WILLIAMS (1976) para a luzerna, tendo observado que as temperaturas baixas durante a noite favoreciam o desenvolvimento radical levando a maior

proliferação de raízes laterais e por conseguinte a valores de Pa/Pr inferiores. Para as mais baixas temperaturas a razão Pa/Pr foi de 1,87 e para as mais altas de 2,23. No nosso caso parece não haver relação entre a temperatura do ar e os valores da razão Pa/Pr observados na luzerna.

O efeito do regime hídrico do solo num luzernal com 3 anos foi estudado por ABDUL-JABBAR et al. (1982). Os valores da relação Pa/Pr foram inferiores a 0,2 nos níveis mais baixos de água e superiores a 0,6 nos níveis mais altos. Para um total de 1330mm de água aplicada, valor que é próximo dos observados no presente estudo para os dois últimos anos de exploração da luzerna, a razão Pa/Pr foi de 0,74.

Os valores apresentados por JODARI-KARIMI (1983), para diferentes regimes hídricos do solo e observados em luzerna 65 dias após a sementeira, são superiores aos referidos anteriormente, sendo da ordem de 1,61; 3,57 e 4,50 respectivamente nas modalidades sem rega e regadas até 1/3 e 2/3 da profundidade atingida pelas raízes. Os valores mais baixos da razão Pa/Pr em condições de deficiência de água no solo traduzem claramente a convergência dos assimilados para as raízes, com o consequente desenvolvimento destas.

É importante salientar que os pesos radicais da luzerna, que são no presente estudo relacionados com os pesos secos referentes à parte aérea, não incluem as raízes principais ou estruturais em virtude das amostras de solo com raízes terem sido colhidas junto à linha de sementeira e não imediatamente sobre ela.

4.6 - Eficiência do uso da água

A resposta das culturas aos quantitativos de água postos à sua disposição, expressa em peso de matéria seca produzida por unidade de água usada, está representada nas tabelas 10.1 a 10.5. As figuras 13.1 e 13.2 traduzem a variação mensal da eficiência com que as diferentes espécies usaram a água durante a sua exploração.

A avaliação da quantidade de água usada, entre dois cortes sucessivos ou em períodos abrangendo vários cortes, foi feita pela diferença entre o total de água fornecida ao solo pela precipitação e pela rega e o valor do acréscimo, positivo ou negativo, verificado no teor de água no solo durante o período considerado. Não foram contabilizadas as perdas por evaporação e por percolação. Os períodos mais críticos de evaporação, verificados logo após os cortes e fundamentalmente no Verão, foram relativamente curtos dada a rápida renovação da parte aérea das plantas. Quanto às perdas de água por percolação, a avaliação ao longo dos três anos de ensaio das condições hídricas observadas no perfil do solo permite identificar os períodos em que as mesmas poderão ter ocorrido.

A eficiência do uso da água, no total dos dois anos do azevém italiano e dos três anos da festuca alta, do trevo branco e da luzerna, foi da mesma ordem de grandeza, cerca de $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, sendo a mais elevada na luzerna com $25,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. No trevo subterrâneo, o valor obtido,

relativo à biomassa produzida e à água usada entre os dois cortes efectuados anualmente, foi de $22\text{kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$.

Os valores da eficiência do uso da água para os períodos compreendidos entre o primeiro e o último cortes efectuados anualmente nas gramíneas, no trevo branco e na luzerna, foram decrescendo com os anos. A eficiência com que o trevo subterrâneo usou a água subiu do primeiro para o segundo ano, voltando a descer no terceiro, para níveis inferiores aos observados no primeiro ano (Tab. 10.4). Estas diferenças entre anos estão relacionadas com os quantitativos de água de que as plantas dispuseram anualmente e com a variação do seu potencial produtivo.

Da comparação dos valores observados para o primeiro ano de experimentação conclui-se que o azevém italiano e a festuca alta usaram a água com uma eficiência aproximada, respectivamente $21,2$ e $23,8\text{kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$, o mesmo acontecendo com o trevo branco e a luzerna, com respectivamente $31,9$ e $30,1\text{kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$. Foi para o trevo subterrâneo o valor mais baixo determinado nesse ano, $18,8\text{ kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$.

No segundo ano destacaram-se o trevo subterrâneo com $38,8\text{ kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$ e a luzerna com $28\text{kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$. A festuca alta e o trevo branco apresentaram valores próximos, com respectivamente $19,0$ e $18,2\text{ kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$, e no azevém italiano a eficiência do uso da água foi nesse ano de $15\text{ kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$.

A luzerna, com $20,8\text{ kg ha}^{-1}\text{ mm}^{-1}$, manifestou no terceiro ano uma eficiência para usar a água superior à das outras espécies. Nestas, os valores atingidos foram de $12,9$ e

10,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente para a festuca alta e o trevo branco e apenas de 8,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para o trevo subterrâneo.

Ao longo do ano, a variação da eficiência com que as espécies usaram a água poderá ser atribuída a diferenças relativas ao teor de água no solo, à temperatura do ar e à intensidade luminosa que, por sua vez, são determinantes do crescimento vegetal.

No azevém italiano (Tab. 10.1), a capacidade para usar a água disponível foi mínima no Verão com 2,2 e 7,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Os valores mais elevados registaram-se na Primavera do primeiro ano, com 50,2 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e no fim da Primavera início do Verão do segundo ano, com 36,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹. As altas temperaturas do Verão foram limitantes para o crescimento desta cultura, cujo óptimo térmico é baixo (18 - 20°C).

Comparando a eficiência do uso da água em azevém perene instalado em solo com diferentes níveis de compactação, O'NEIL e CARROW (1983) constataram que as diferenças entre tratamentos não eram significativas e obtiveram em três cortes efectuados em Fevereiro-Março, Março e Março-Abril, valores médios respectivamente da ordem de 6,4; 3,9 e 4,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹. No presente estudo, o azevém italiano só apresentou valores mais ou menos próximos no período estival.

Na festuca alta (Tab. 10.2), os valores da eficiência do uso da água foram mais ou menos constantes, entre 22,8 e 25,2 kg ha⁻¹ mm⁻¹, no primeiro ano. Nos anos seguintes, foram superiores nos cortes efectuados no Inverno e na Primavera, com

Tabela 10.1 - Produção de matéria seca, água usada e eficiência do uso da água entre os cortes e ao longo de dois anos - Azevém italiano

Ano	Época	Água fornecida ao solo		Acréscimo do teor de água no solo (mm)	Água usada (mm)	Produção Mat.seca (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
		Rega (mm)	Precip. (mm)				
1982-83	21/3-3/5	10	105,6	-12	127,6	6400	50,2
	3/5-17/6	15	53,1	-50,4	118,5	3125	26,4
	17/6-29/7	140	0,4	+36,0	104,4	3072	29,4
	29/7-17/10	250	9,4	-13,2	272,6	600	2,2
Total		415	168,5	-39,6	623,1	13197(a)	21,2
1983-84	17/10-23/12	15	470,2	+103,2	382,0	4008	10,5
	23/12- 9/5	-	207,7	-15,6	223,3	4896	21,9
	9/5 - 2/7	-	75,2	-72,0	147,2	5432	36,9
	2/7 -24/9	460	3,6	+43,2	420,4	3248	7,7
Total		475	756,7	+58,8	1172,9	17584	15,0
1982-84	Total	890	925,2	+19,2	1796,0	30781	17,1

(a) Não inclui o 19 corte

respectivamente 37,9 e 34,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ , no segundo ano e 14,3 e 17,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ no terceiro, sendo neste último caso a amplitude observada nos valores menos acentuada.

Em festuca alta com dois anos de cultura, COHEN e STRICKLING (1968) obtiveram para três períodos, compreendendo a Primavera e o Verão, valores da eficiência do uso da água entre

Tabela 10.2 - Produção de matéria seca, água usada e eficiência do uso da água entre os cortes e ao longo de três anos - Festuca alta

Ano	Época	Água fornecida ao solo		Acréscimo do teor de água ao solo (mm)	Água usada (mm)	Produção Mat.seca (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
		Rega (mm)	Precip. (mm)				
	30/3-19/5	-	123,3	+9,6	113,7	2696	23,7
1982-83	19/5-29/7	155	21,8	-34,8	211,6	5328	25,2
	29/7-17/10	250	9,4	-34,8	294,2	6704	22,8
	Total	405	154,5	-60,0	619,5	14728(a)	23,8
	17/10-23/12	15	470,2	+116,4	368,8	5216	14,1
1983-84	23/12-16/4	-	175,3	-12,0	187,3	7096	37,9
	16/4 - 2/7	-	107,6	-72,0	179,6	6212	34,6
	2/7 -24/9	460	3,6	-32,4	496,0	4896	9,9
	Total	475	756,7	0	1231,7	23420	19,0
	24/9-19/12	40	323,7	+102,0	261,7	3020	11,5
1984-85	19/12-7/3	-	270,3	+12,0	258,3	3688	14,3
	7/3-21/5	-	158,7	-58,8	217,5	3724	17,1
	21/5-26/8	400	22,5	-46,8	469,3	5120	10,9
Total	440	775,2	+8,4	1206,8	15552	12,9	
1982-85 Total		1320	1686,4	-51,6	3058,0	53700	17,6

(a) Não inclui o 1º corte

13,2 e 15,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Os valores obtidos por FAIRBOURN (1982), num ensaio em estufa, foram da ordem de 16,7 Kg ha⁻¹ mm⁻¹, quando a festuca alta tinha cerca de dez semanas após sementeira. Só no terceiro ano do presente estudo foram os valores observados no Inverno e Primavera da mesma ordem de grandeza dos referidos por aqueles autores.

O efeito das condições hídricas a que as plantas são previamente sujeitas sobre a sua capacidade para usar a água foi objecto de um estudo de KING e BUSH (1985). Estes verificaram que a festuca alta, após ter passado por um período de "stress" hídrico, usava posteriormente menor quantidade de água do que usaria se sujeita a um regime de rega normal.

Comparando algumas espécies pratenses de regiões temperadas, entre as quais o azevém perene, a festuca alta e o trevo branco, no que diz respeito ao seu comportamento sob diferentes regimes hídricos, JOHNS e LAZENBY (1973) observaram que nestas espécies a evolução estacional da eficiência do uso da água apresentava os seus valores mais altos na Primavera e início do Outono, com respectivamente 25 e 18kg ha⁻¹ mm⁻¹. Os valores mais baixos, 4 a 5 kg ha⁻¹ mm⁻¹, eram atingidos no Inverno e no Verão.

No nosso estudo, foi também na Primavera que, em média, se verificaram os valores mais altos da eficiência do uso da água nas gramíneas e no trevo branco, sendo nalguns anos da mesma ordem de grandeza dos referidos por aqueles autores. A eficiência do uso da água no Outono foi no entanto inferior aos

18kg ha⁻¹ mm⁻¹ por eles observados.

Foi também no Verão que as gramíneas estudadas no presente trabalho apresentaram os valores mais baixos da eficiência do uso da água, sendo os do azevém italiano semelhantes aos determinados por JOHNS e LAZENBY (1973). Já para o trevo branco, a eficiência do uso da água foi sobretudo baixa no Outono e Inverno, acusando também uma descida no Verão, a qual no terceiro ano atingiu valores idênticos aos daqueles autores.

Ainda segundo JOHNS e LAZENBY (1973), em regime de sequeiro a eficiência da festuca alta foi cerca de 25% superior à das outras gramíneas, mas a do trevo branco foi cerca de 35% inferior. Em regadio, o trevo branco manifestou uma eficiência para usar a água superior em cerca de 10% à das gramíneas. No presente estudo, o trevo branco foi cerca de 25% mais eficiente do que a festuca alta, no primeiro ano, mas no segundo foi inferior em 4% e no terceiro em 18%. Em relação à do azevém italiano, a eficiência do uso da água no trevo branco foi 50 e 21% superior, respectivamente no primeiro e segundo anos.

Nos dados apresentados na tabela 10.3 é notória a maior capacidade do trevo branco para usar a água durante a Primavera e no fim do Verão. Nestes períodos, a eficiência com que o trevo branco usou a água foi de cerca de 30 kg ha⁻¹ mm⁻¹, constituindo exceção o último período do primeiro ano para o qual foram obtidos valores da ordem dos 60 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Nas épocas em que, em média, foram registadas as mais baixas eficiências do uso da água pelo trevo branco, Outono e Inverno,

Tabela 10.3 - Produção de matéria seca, água usada e eficiência do uso da água entre os cortes e ao longo de três anos - Trevo branco

Ano	Época	Água fornecida ao solo		Acréscimo do teor de água no solo (mm)	Água usada (mm)	Produção Mat.seca (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
		Rega (mm)	Precip. (mm)				
1982-83	31/3 -19/5	-	123,3	-18	141,3	2430	17,2
	19/5 -22/7	135	21,8	+26,4	130,4	4400	33,7
	22/7 -12/9	180	9,4	-7,2	196,6	5430	27,6
	12/9 -17/10	90	0	0	90,0	5570	61,9
	Total	405	154,5	+1,2	558,3	17830(a)	31,9
1983-84	17/10-23/12	15	470,2	+61,2	424,0	2640	6,2
	23/12-9/5	-	207,7	-37,2	244,9	5710	23,3
	9/5 -2/7	-	75,2	-60,0	135,2	5080	37,6
	2/7 -24/8	260	2,0	+8,4	253,6	3920	15,5
	24/8 -24/9	200	0	+49,2	150,8	4680	31,0
Total	475	755,1	+21,6	1208,5	22030	18,2	
1984-85	24/9 -19/12	40	323,7	+48,0	315,7	1720	5,4
	19/12-1/4	-	281,8	-12,0	293,8	2730	9,3
	1/4 -21/6	-	160,0	-27,6	187,6	4140	22,1
	21/6 -26/8	400	9,5	-33,6	443,1	2090	4,7
	26/8 -25/9	120	1,8	+22,8	99,0	3480	35,2
Total	560	776,8	-2,4	1339,2	14160	10,6	
1982-85 Total	1440	1686,4	+20,4	3106,0	54020	17,4	

(a) não inclui o 19 corte

os valores variaram entre 5,4 e 9,3 kg ha⁻¹ mm⁻¹, embora no Verão do terceiro ano tivessem atingido os 4,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Esta descida poderá ser o resultado das altas temperaturas registadas nessa época (ver Fig. 9).

Foi fundamentalmente na Primavera que a luzerna usou a água com maior eficiência (Tab. 10.5). Os valores determinados para essa época foram superiores aos das outras espécies, chegando nalguns períodos a atingir os 50 e 67kg ha⁻¹ mm⁻¹. Durante o Verão do segundo e terceiro anos, a eficiência do uso da água na luzerna acusou uma descida nos períodos de Julho e Agosto, tal como aconteceu para o trevo branco, mas sem atingir os níveis do Outono e do Inverno. Nesta época, a actividade vegetativa da cultura foi reduzida, devido ao facto de as temperaturas do ar serem normalmente inferiores aos níveis óptimos para a fotossíntese, sendo mais baixa a eficiência com que as plantas usaram a água.

No último período do primeiro ano, que se estendeu até meados de Outubro, as temperaturas amenas do início do Outono permitiram à luzerna usar a água com uma eficiência de 50,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Nos restantes anos foi no Outono que se registaram os valores mais baixos, cerca de 9 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Tabela 10.4 - Produção de matéria seca, água usada e eficiência do uso da água entre dois cortes consecutivos efectuados em cada ano - Trevo subterrâneo

Ano	Época	Água fornecida ao solo		Acréscimo do teor de água no solo (mm)	Água usada (mm)	Produção Mat.seca (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
		Rega (mm)	Precip. (mm)				
1982-83	31/3-19/5	-	123,3	+16,8	106,5	2000	18,8
1983-84	13/3- 9/5	-	149,0	-4,8	153,8	5960	38,8
1984-85	1/4-17/5	-	138,6	-15,6	154,2	1250	8,1
Total		-	410,9	-3,6	414,5	9210	22,2

É bastante vasta a bibliografia que, na avaliação do comportamento da luzerna em diferentes condições ambientais ou técnicas, refere a eficiência com que as plantas usam a água, sendo também grande a amplitude dos valores apresentados na sua quantificação.

Valores da eficiência do uso da água entre 19,5 e 21,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente na Primavera e início do Verão e de 10,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹, durante o Verão, foram determinados para a luzerna por COHEN e STRICKLING (1968).

DAIGGER et al. (1970) referem que a luzerna usa a água mais eficientemente no início de Maio e em Junho do que em Julho e Agosto e determinaram, na média de dois anos e para três cortes anuais, os valores de 9,17; 7,86 e 5,71 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Estas são conclusões que se aplicam aos resultados obtidos no presente trabalho, embora refiram valores mais baixos.

Tabela 10.5 - Produção de matéria seca, água usada e eficiência do uso da água entre cortes e ao longo de três anos - Luzerna

Ano	Época	Água fornecida ao solo		Acréscimo do teor de água no solo (mm)	Água usada (mm)	Produção Mat.seca (kg ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
		Rega (mm)	Precip. (mm)				
	19/5 -22/7	135	21,8	-36,0	192,8	4300	22,3
1982-83	22/7 -12/9	180	9,4	+15,6	173,8	3980	22,9
	12/9 -17/10	90	0	-43,2	133,2	6780	50,9
Total		405	31,2	-63,6	499,8	15060(a)	30,1
	17/10-23/12	15	470,2	+139,2	346,0	3230	9,3
	23/12- 9/5	-	207,7	-73,2	280,9	4740	16,9
	9/5 - 2/7	-	75,2	-31,2	106,4	7100	66,7
1983-84	2/7 -26/7	100	0	-20,4	120,4	6420	53,3
	26/7-24/8	160	2,0	0	162,0	5030	31,0
	24/8 -24/9	200	0	+49,2	150,8	7020	46,6
Total		475	755,1	+63,6	1166,5	33540	28,8
	24/9-19/12	40	323,7	+62,6	301,1	2910	9,7
	19/12-1/4	-	281,8	+6,8	275,0	2930	10,7
	1/4-16/5	-	138,6	-45,0	183,6	6930	37,7
1984-85	16/5-2/7	60	21,4	-41,1	122,5	6050	49,4
	2/7-26/8	340	9,5	+3,6	345,9	5230	15,1
	26/8-25/9	120	1,8	-12,0	133,8	3950	29,5
Total		560	776,8	-25,1	1361,9	28000	20,6
1982-85 Total		1440	1563,1	-25,1	3028,2	76600	25,3

(a) não inclui o 12 corte

Em resultado de quatro anos de observações, BAUDER *et al.* (1978) concluíram que na luzerna a eficiência do uso da água variava de ano para ano, devido à variação da precipitação durante o período de crescimento. Estes últimos autores referem valores médios anuais para a luzerna regada entre 14,4 e 21,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹. As médias anuais obtidas no presente estudo variaram entre 20,6 e 30,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Uma maior eficiência do uso da água pela luzerna, quando as temperaturas do ar são mais favoráveis, é também referida por SAMMIS (1981) que determinou, durante o primeiro ano de experimentação, valores compreendidos entre 12 e 16kg ha⁻¹ mm⁻¹ e no segundo ano entre 9 e 18 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Num ensaio em estufa FAIRBOURN (1982) observou seis cultivares de luzerna para as quais determinou eficiências do uso da água compreendidas entre 14,7 e 15,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Já HEICHEL (1983) calculou que as necessidades da luzerna, para a produção de uma tonelada de matéria seca por hectare, eram da ordem dos 5,6 a 7,3 cm de água o que equivale a 17,9 e 13,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

A influência do regime hídrico a que a luzerna é sujeita, na eficiência com que utiliza a água disponível, é objecto de vários estudos. DONOVAN e MEEK (1983) verificaram que a eficiência era maior nos regimes hídricos mais altos, nomeadamente 12,1 e 10,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ em dois cortes consecutivos, e mais baixa em luzerna não regada para a qual os valores obtidos nos mesmos anos foram de 11,0 e 9,3kg ha⁻¹ mm⁻¹. A mesma conclusão chegaram CARTER e SHEAFFER (1983) que em dois

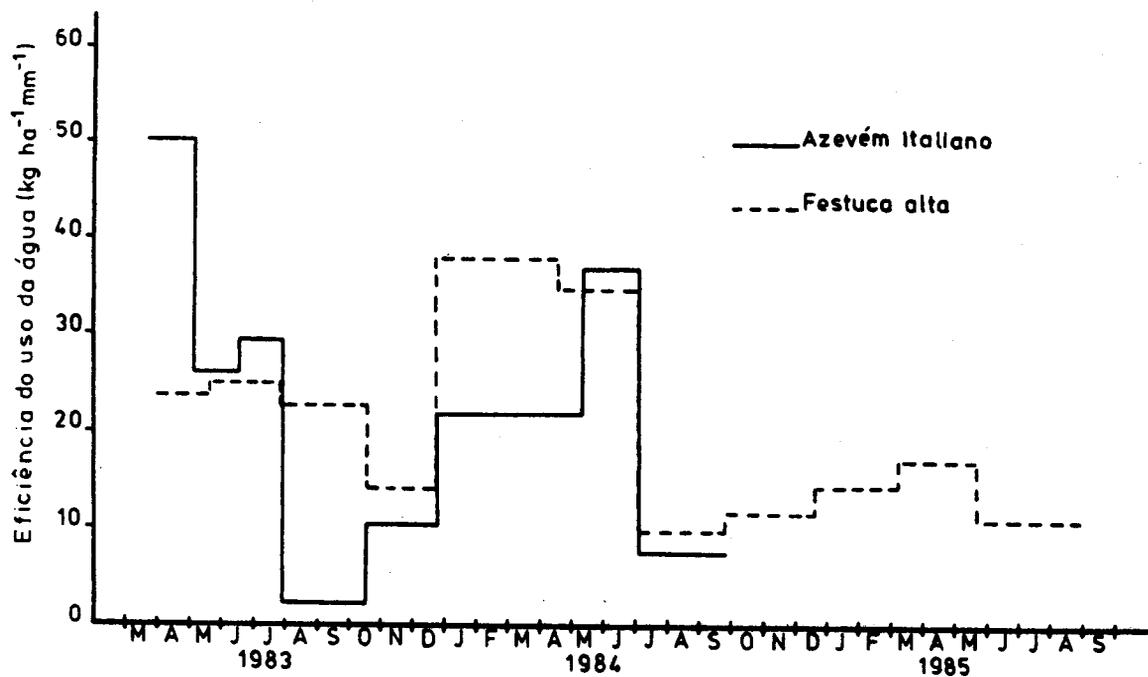


Fig. 13.1 - Variação estacional da eficiência do uso da água nas gramíneas.

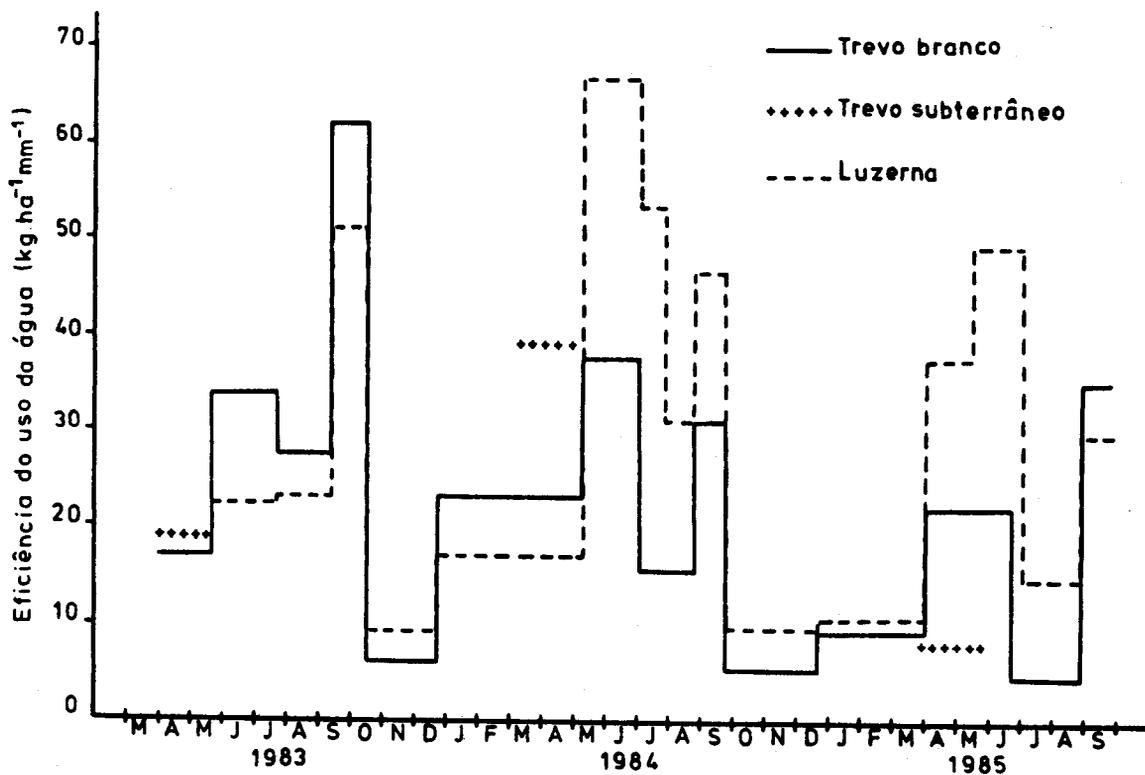


Fig. 13.2 - Variação estacional da eficiência do uso da água nas leguminosas.

cortes, correspondentes ao terceiro e quarto ciclos de crescimento da luzerna, obtiveram uma eficiência de respectivamente 13,1 e 9,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹ em cultura só sujeita à precipitação, e de 30,1 e 15,3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ em cultura regada com o maior quantitativo de água.

Comparando três regimes hídricos, sem rega e com 1/3 e 2/3 da profundidade de enraizamento atingida pela rega, JODARI-KARIMI et al. (1983) obtiveram para cada uma das modalidades os valores respectivos de 8,4; 7,22 e 9,78 kg ha⁻¹ mm⁻¹, para um período compreendido entre Junho e Agosto, e de 14,6; 11,1 e 11,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹ entre Setembro e Outubro. Neste período, em condições mais favoráveis, as plantas não responderam à rega.

Os valores obtidos no presente estudo são, na sua maior parte, superiores aos que se têm vindo a referir, principalmente os calculados para os períodos de maior eficiência do uso da água pelas plantas, mas, no seu conjunto, conduzem a relações de igual expressão e com coeficientes próximos dos obtidos por outros autores.

As equações de regressão que definem a relação verificada entre os valores acumulados da biomassa ou matéria seca produzida e da água usada são incluídas na tabela 11 e apresentam, para as espécies para as quais foram determinadas, a forma linear. O declive da recta, que em cada equação traduz a eficiência do uso da água pela cultura, atingiu o valor mais baixo no azevém italiano e o mais alto na luzerna, encontrando-se a festuca alta e o trevo branco, com valores muito

próximos, numa situação intermédia.

Tabela II - Relação entre produção e água usada para as diferentes espécies
(valores acumulados)

Espécie	Função	r ²	n
Azevém italiano	$y = 5457,23 + 14,17x$	0,96	8
Festuca alta	$y = 3983,19 + 17,41x$	0,98	11
Trevo branco	$y = 5283,30 + 16,59x$	0,96	14
Luzerna	$y = -428,88 + 25,78x$	0,98	15

Em dois anos consecutivos de festuca alta, OCUMPAUGH e MATCHES (1977) definiram as regressões lineares que relacionavam a produção acumulada de matéria seca durante o Outono com a água usada, correspondente à precipitação acumulada durante o mesmo período, tendo obtido para o declive das rectas os valores de 6,2 e 16,4. No presente caso o mesmo coeficiente, referente ao período total de três anos, foi de 17,41.

BAUDER et al. (1978) determinaram para a luzerna uma função também linear, com intersecção negativa e declive de 15,94. Uma correlação também linear entre a biomassa e a evapotranspiração foi determinada para a luzerna por WALKER e RICHARDS (1985) sendo os declives da ordem de 20,2 a 23,8 e tendo a intersecção valor negativo. No presente estudo a regressão definida para a luzerna apresenta também uma intersecção negativa e o declive é de 25,78.

4.7 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical

Para cada par de valores das características medidas na parte aérea e no sistema radical das espécies estudadas, foram calculados os coeficientes de correlação e analisada a sua significância para $P < 0,05$ e $P < 0,01$ (tab.12.1 a 12.5).

Os valores do comprimento e do peso radicais englobam todas as raízes observadas, até à profundidade máxima de enraizamento e relativas à unidade de área superficial de solo correspondente ao volume de expansão radical.

Considerando as correlações possíveis entre a matéria seca produzida e as outras características observadas, verificase que no que diz respeito ao índice de área foliar (I.A.F.) os coeficientes de correlação foram muito significativos para todas as espécies. Nas correlações estabelecidas com a razão entre os pesos das partes aérea e radical (P_a/P_r), os coeficientes foram significativos no azevém italiano e muito significativos nos trevos e na luzerna. Também apenas a festuca alta não apresentou uma correlação significativa entre a matéria seca produzida e a eficiência com que usou a água. Esta correlação foi no entanto significativa para o azevém italiano e o trevo subterrâneo e muito significativa para o trevo branco e a luzerna.

As correlações entre o I.A.F. e a razão P_a/P_r foram

significativas para o trevo branco e a luzerna e muito significativas para o azevém italiano e o trevo subterrâneo. Entre o I.A.F. e a eficiência do uso da água pelas plantas, os coeficientes de correlação apresentaram valores significativos nas gramíneas e muito significativo na luzerna.

O comprimento e o peso radicais estiveram significativamente e muito significativamente correlacionados, respectivamente no azevém italiano e na festuca alta.

Entre o peso radical e a razão Pa/Pr, as correlações estabelecidas foram negativas, atingindo níveis significativos para a festuca alta e o trevo branco e muito significativos para a luzerna.

No trevo branco, a razão Pa/Pr esteve significativamente correlacionada com o número de nódulos e com a eficiência do uso da água pelas plantas. Na correlação estabelecida com o número de nódulos, o respectivo coeficiente foi negativo.

No trevo subterrâneo, a razão Pa/Pr só apresentou uma correlação significativa com a eficiência do uso da água pelas plantas.

Tabela 12.1 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical -

Azevém italiano

	Mat. seca	I.A.F.	Comp. radical	Peso radical	Pa/Pr	Eficiência do uso da água
Mat. seca		0,89 §§	0,44	0,39	0,74 §	0,79§ (a)
I.A.F.			0,25	-0,03	0,87 §§	0,72 §(a)
Comp. radical				0,67 §	0,06	0,35 (a)
Peso radical					-0,25	0,43 (a)
Pa/Pr						0,37 (a)
Eficiência do uso da água						

§ P<0,05 §§ P<0,01 n = 9 (a)n = 8

Tabela 12.2 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical -

Festuca alta

	Mat. seca	I.A.F.	Comp. radical	Peso radical	Pa/Pr	Eficiência do uso da água
Mat. seca		0,91 §§	0,08	0,01	0,38	0,57 (a)
I.A.F.			-0,07	-0,10	0,41	0,59§ (a)
Comp. radical				0,95 §§	-0,55	-0,45 (a)
Peso radical					-0,66 §	-0,47 (a)
Pa/Pr						0,50 (a)
Eficiência do uso da água						

§ P<0,05 §§ P<0,01 n = 12 (a)n = 11

Tabela 12.3 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical -

Trevo branco

	Mat. seca	I.A.F. radical	Comp. radical	Peso radical	Pa/Pr	Nº nódulos	Eficiência do uso da água
Mat. seca		0,77 §§	0,51	0,12	0,68 §§	-0,17	0,76 §§ (a)
I.A.F.			0,49	0,02	0,50 §	0,11	0,12 (a)
Comp. radical				0,14	0,36	-0,29	0,13 (a)
Peso radical					-0,60 §	0,48	-0,14 (a)
Pa/Pr						-0,54 §	0,64 § (a)
Nº nodulos							-0,49 (a)
Eficiência do uso da água							

§ P<0,05 §§ P<0,01 n = 15 (a)n = 14

Tabela 12.4 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical -

Trevo subterrâneo

	Mat. seca	I.A.F. radical	Comp. radical	Peso radical	Pa/Pr	Nº nódulos	Eficiência do uso da água
Mat. seca		0,97 §§	-0,58	-0,21	0,97 §§	-0,31	0,98 § (a)
I.A.F.			-0,72	-0,39	0,98 §§	-0,43	0,90 (a)
Comp. radical				0,55	-0,58	0,73	-0,75 (a)
Peso radical					-0,41	0,50	0,23 (a)
Pa/Pr						-0,35	0,96 § (a)
Nº nodulos							-0,11 (a)
Eficiência do uso da água							

§ P<0,05 §§ P<0,01 n = 6 (a)n = 3

Tabela 12.5 - Correlações entre as diferentes características relativas às partes aérea e radical -

Luzerna

	Mat. seca	I.A.F.	Comp. radical	Peso radical	Pa/Pr	Nº nódulos	Eficiência do uso da água
Mat. seca		0,91 **	-0,04	-0,05	0,63 **	0,33	0,88** (a)
I.A.F.			-0,11	-0,12	0,59 *	0,47	0,69** (a)
Comp. radical				0,29	-0,25	0,13	0,12 (a)
Peso radical					-0,64 **	-0,10	-0,04 (a)
Pa/Pr						0,05	0,44 (a)
Nº nodulos							0,17 (a)
Eficiência do uso da água							

* P<0,05 ** P<0,01 n = 16 (a)n = 15

5 - CONCLUSÕES GERAIS

Neste capítulo apresentam-se algumas conclusões, formuladas a partir dos resultados obtidos e restritas aos aspectos que se consideram de maior interesse dentro do estudo efectuado.

1- Por mais gerais que se pretendam as conclusões de um trabalho deste tipo, não pode deixar-se de ter em conta as condições particulares em que a experimentação foi realizada.

O ensaio foi instalado num solo hidromórfico, frequente em formações aluvionares, com uma toalha freática oscilante, que nos períodos de maior concentração pluviométrica atingiu as zonas de enraizamento potencial das espécies estudadas, e apresentando uma espessura efectiva da ordem dos 80-100cm.

Em termos de resistência mecânica e atendendo aos valores referidos pela bibliografia, foram perceptíveis os obstáculos ao normal crescimento radical; o que aliás se confirmou aquando da observação directa de perfis, através do aspecto e forma de distribuição das raízes. Como se provou através do ensaio complementar efectuado em caixa acrílica, não foram factores de natureza química os responsáveis pela restrição ao enraizamento observada na camada correspondente ao horizonte B. Não tendo sido detectada deficiência em cálcio nem existência de condições de toxicidade com alumínio e

manganês, principais entraves ao normal crescimento das raízes, concluiu-se serem factores de ordem física os que, em grande parte, condicionaram o crescimento radical no referido horizonte.

Para aquela camada foi também observada uma porosidade total inferior à de outras do perfil e que na maior parte dos casos incidiu sobretudo nos poros responsáveis pelo arejamento do solo, pertencentes à classe de diâmetro superior a 60 μm .

2- Quanto às condições meteorológicas, os três anos de ensaio apresentaram características diferentes, principalmente resultantes da variação dos níveis de precipitação registados anualmente. O ano de 1982-83 teve características de ano seco e os anos de 1983-84 e 1984-85 podem considerar-se como normais.

Assim, no que diz respeito às condições hídricas do solo sob as quais decorreu o ensaio, as situações mais marcantes foram:

- No primeiro ano prevaleceu uma situação de défice de água no solo que se manteve durante praticamente todo o ano, com excepção de Dezembro em que o teor de água nalguns talhões excedeu ligeiramente os quantitativos correspondentes à capacidade máxima de armazenamento.
- Nos dois últimos anos, o encharcamento do solo decorrente da concentração da elevada queda pluviométrica começou a sentir-se em Novembro, tendo-se mantido até Dezembro e Fevereiro, respectivamente no segundo e terceiro anos.
- Na época estival, fundamentalmente no período

imediatamente anterior ao início da rega, em Junho, registaram-se a nível das camadas superficiais do solo valores de humidade próximos dos mínimos críticos para as plantas. Também durante o período de rega, a dotação e a frequência das regas foram limitadas em cada ano às disponibilidades de água na herdade.

- Na Primavera dos dois últimos anos, a toalha freática manteve-se a uma profundidade que variou entre os 50 e os 90cm, o que permitiu que a rega sub-superficial fosse uma realidade.

No que diz respeito à temperatura do solo, fundamentalmente para a profundidade de 10cm à qual foram feitas as leituras no local de ensaio, os valores observados durante o Inverno - com temperaturas médias das mínimas abaixo dos 5°C, verificadas normalmente entre Dezembro e Fevereiro - terão estado próximos dos níveis mínimos críticos referidos para espécies como a luzerna. No Verão, em geral nos meses de Julho e Agosto, as temperaturas médias do solo a 10cm de profundidade estiveram entre 20 e 25°C, variando as temperaturas médias das máximas, no mesmo período, entre 25 e 30°C. Estas temperaturas foram limitantes para as gramíneas, sobretudo para o azevém italiano, contribuindo para acelerar a renovação anual das raízes finas, típica destas espécies.

3- O enraizamento das culturas, diferente de ano para ano e com uma variação estacional mais ou menos acentuada, foi, dentro das características morfológicas e fisiológicas relativas a cada espécie, determinado principalmente pela interação verificada entre teor de água e arejamento do perfil do solo.

A variação obtida nos valores relativos às características radicais estudadas reforça a necessidade de se partir de um grande número de dados, abrangendo as mais diversas situações, quando se pretende estabelecer modelos simbólicos que traduzam o enraizamento de uma espécie.

3.1- A grande massa radical observada para as gramíneas, sobretudo para a festuca alta, quando comparada com a das leguminosas, traduz uma maior contribuição em termos de matéria orgânica incorporada no solo, reforçada pela renovação anual das suas raízes. Com efeito, o balanço da matéria orgânica do solo, entre o início e o fim do período de experimentação, mostra que foi nos talhões das gramíneas que se registaram os maiores acréscimos de matéria orgânica, os quais se fizeram sentir até aos 24cm de profundidade no azevém italiano e até aos 36cm na festuca alta.

Contudo, foi na camada de 12-24cm de profundidade que, em todas as culturas, o balanço foi positivo e atingiu os valores mais significativos. Nesta camada os acréscimos foram em valores relativos de 86, 67, 65, 41 e 32%, respectivamente para a festuca alta, o azevém italiano, o trevo branco, o trevo

subterrâneo e a luzerna.

Na camada mais superficial (0-12cm), o balanço da matéria orgânica foi negativo apenas nos talhões do trevo subterrâneo e da luzerna. No primeiro caso o decréscimo de matéria orgânica poderá ser atribuído ao facto de o solo ter ficado praticamente nú durante o Verão. Na luzerna, a reduzida massa de raízes observada nesta camada não terá sido suficiente para colmatar as perdas de matéria orgânica, resultantes da sua natural decomposição.

Ainda em relação à camada de 0-12cm, foi no talhão da festuca alta que o acréscimo da matéria orgânica do solo atingiu os valores mais elevados, o que está de acordo com os dados relativos à densidade e peso radicais observados para esta espécie na mesma camada.

As diferenças entre as duas profundidades referidas, em especial as observadas nos talhões das gramíneas, poderão ser explicadas pela maior taxa de decomposição da matéria orgânica no nível mais superficial, aquele em que é mais intensa a acção dos factores que favorecem a mineralização da matéria orgânica. Terá sido também este o factor que levou 'a que no trevo branco fosse o acréscimo de matéria orgânica na camada de 24-36cm superior ao da camada superficial.

Para além do seu contributo para o enriquecimento do solo, a maior massa radical de uma espécie ou cultivar terá como consequência ecológica uma maior capacidade para competir com outras de sistema radical mais reduzido. Do ponto de vista agronómico, esta característica poderá ser vantajosa em

monocultura, para a prevenção do aparecimento de infestantes, mas em misturas será prejudicial por conferir às espécies de maior massa radical, as gramíneas, uma maior agressividade contra espécies desejáveis como o trevo branco.

Também a grande concentração de raízes observada para as gramíneas nas camadas superficiais - onde chegou a atingir valores da ordem dos 6 e 12 cm cm⁻³, respectivamente para o azevém italiano e para a festuca alta - e acentuada ao longo dos anos em resultado da progressiva subida do sistema radical, confirma para as nossas condições as referências da bibliografia. Os valores mais altos do coeficiente de variação relativos às camadas mais profundas, reflectem o pequeno número de raízes presentes e a sua tendência para seguir fendas ou crescer através de canais deixados por raízes mortas.

É de notar que as espécies de enraizamento mais superficial estão mais dependentes das regas e das fertilizações, por ser menor a espessura de solo que lhes serve de suporte.

Para as leguminosas, as densidades radicais observadas, mesmo na camada de 0-12cm, foram muito inferiores às das gramíneas e com valores máximos da ordem dos 1,8; 1,4 e 1,2 cm cm⁻³, respectivamente para o trevo branco, o trevo subterrâneo e a luzerna. Uma densidade radical desta ordem de grandeza poderá no entanto ser suficiente para a completa extracção da água disponível no solo - com o mesmo sentido, LOOMIS (1983) refere densidades radicais < 1cm cm⁻³.

3.2- A variação estacional observada na massa radical, bem evidente nas gramíneas, permite concluir que nestas a produção de novas raízes teve início no Outono, mantendo uma certa actividade durante o Inverno e atingindo, em média, o máximo do crescimento na Primavera. No Verão, as raízes param o crescimento, também devido às altas temperaturas do solo, e verifica-se a morte de grande parte do sistema radical. Para a festuca alta, a manutenção da actividade radical até mais tarde no Verão poderá ser atribuída ao facto de a cultivar estudada, a Manade, ter um óptimo térmico superior ao das outras gramíneas.

Os cortes da forragem, em épocas em que se teve sobretudo em atenção o desenvolvimento das culturas e que por conseguinte não foram as mesmas em cada ano, justifica em certa medida os afastamentos verificados em relação à evolução média descrita.

Este tipo de evolução sugere ser a fertilização de Outono importante para o sucesso destas culturas.

Nas leguminosas, embora não havendo uma época marcada de renovação das raízes, a fase de maior intensidade radical coincidiu também com a Primavera, estendendo-se até ao Verão.

O aumento da actividade radical no trevo branco foi sobretudo notório a nível das camadas mais profundas. No caso do trevo subterrâneo, não é possível concluir quanto ao tipo de evolução, na medida em que as datas de observação correspondentes aos dois cortes anuais foram próximas,

situando-se entre a segunda quinzena de Março e a primeira de Maio. A variação estacional das raízes na luzerna foi sobretudo notada em termos de peso radical, o que em parte poderá ser explicado por serem as suas raízes órgãos de armazenamento de reservas, as quais são mobilizadas para a renovação da parte aérea após corte. Nas restantes espécies, a variação estacional é mais evidente em termos de comprimento radical, devido a serem as raízes finas as mais afectadas.

3.3- A profundidade máxima atingida pelas raízes acompanhou a oscilação da toalha freática. Nas espécies de enraizamento mais profundo, como a festuca alta e a luzerna, foi evidente o crescimento radical em camadas inferiores do perfil, até cerca de 70cm de profundidade, logo que, após a descida da toalha freática, eram restauradas as condições normais de arejamento do solo.

3.4- Relativamente aos nódulos observados nas raízes das leguminosas, o fraco desenvolvimento que mostraram põe em causa a eficiência da inoculação a que as sementes foram sujeitas, parecendo ter principalmente resultado de infecções provocadas por bactérias existentes no solo. Também o grande número de nódulos observado por metro de raiz é característico de infecções por estirpes pouco eficazes.

De qualquer modo, mais do que o desenvolvimento radical, o número de nódulos acompanhou a variação das condições do solo, nomeadamente de temperatura, arejamento e humidade.

3.5- Os valores obtidos para as características radicais mostram, em certos casos, uma ordem de grandeza distinta da referida por outros autores, em trabalhos do mesmo âmbito. Poderão constituir justificação plena para o facto as diferenças quer nas condições edafo-climáticas, quer nas técnicas culturais seguidas, nomeadamente nos quantitativos de rega e no maneo das culturas, quer nos próprios métodos de avaliação utilizados.

Será também de salientar o reduzido número de trabalhos que utilizam as condições normais de campo para a quantificação das raízes, prevalecendo os estudos efectuados em estufa, em caixas de observação de raízes, ou noutros tipos de contentores. Tal não foi o caso do presente estudo cujos resultados foram obtidos em condições de campo, tendo-se recorrido à caixa acrílica para observação das raízes, apenas no ensaio complementar.

4- Em termos de produção, a luzerna foi a espécie que, pelas características que lhe têm sido atribuídas, nomeadamente a exigência de solos profundos e com boa drenagem, ultrapassou as expectativas de matéria seca produzida. Embora seja um facto que a colheita manual das amostras reduz as perdas normalmente verificadas com a colheita mecânica, a verdade é que a luzerna mostrou sempre, mesmo nos períodos em que a toalha freática atingiu os níveis mais altos do perfil do solo, um crescimento e desenvolvimento normais. Um sistema radical com capacidade de

adaptação aos condicionalismos hídricos da rizosfera, parece ser um atributo da luzerna que deverá ser tomado mais em atenção, por permitir a expansão da cultura a outras áreas.

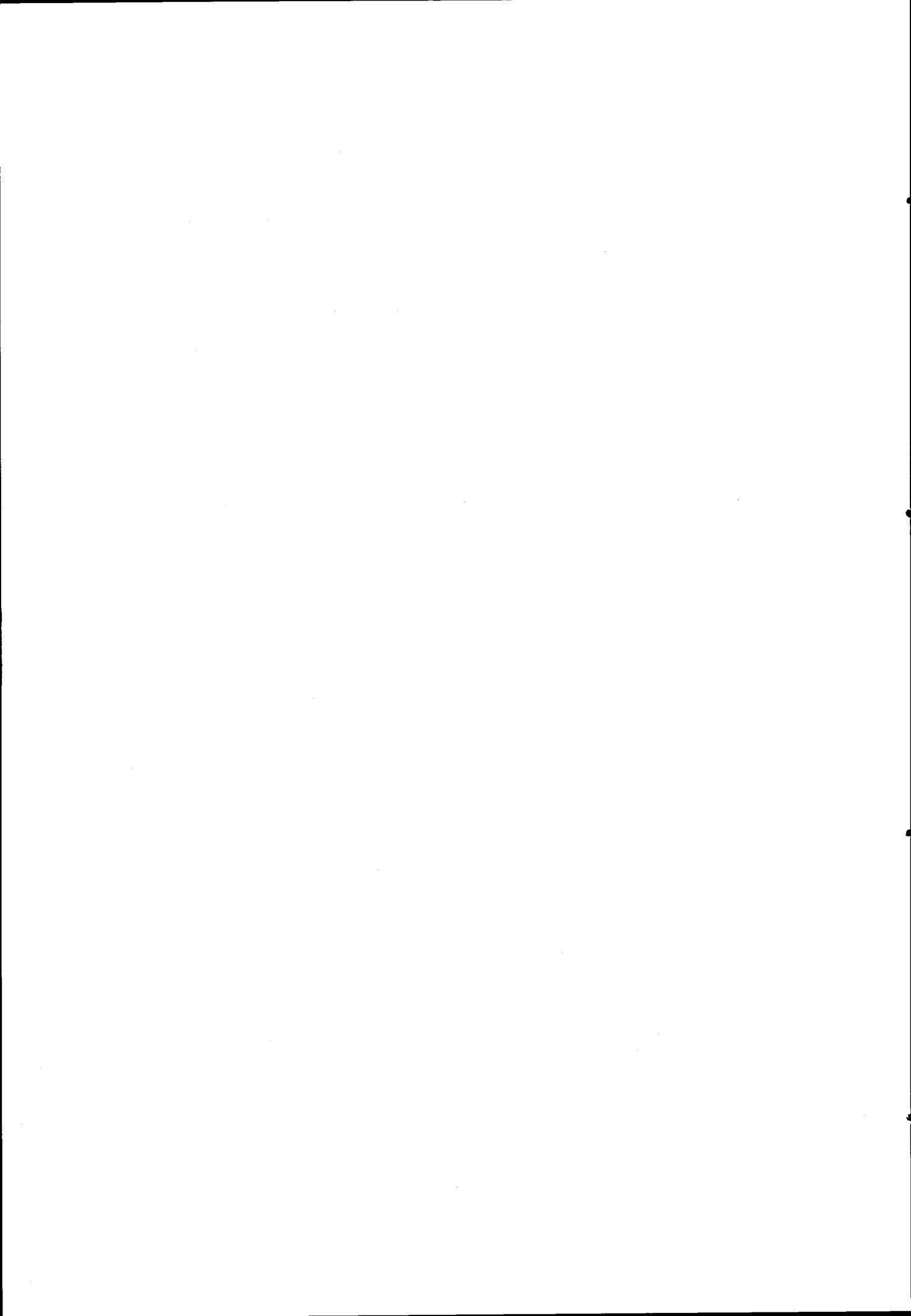
Durante o período estival, o maior potencial produtivo da festuca alta, em relação ao do azevém italiano, terá resultado do facto, já referido, de ter a cv. Manade um óptimo térmico superior ao de outras gramíneas de clima temperado.

O trevo branco teve um comportamento que permite aconselhá-lo para solos deste tipo, em estreme ou em misturas, o mesmo acontecendo com o trevo subterrâneo. Neste último, dado tratar-se de uma espécie anual que acaba por não tirar partido da água armazenada no solo durante o período de maior precipitação, mesmo os solos com reduzida espessura efectiva, até cerca de 40cm, poderão ser suficientes para servir de base a esta cultura.

5- A eficiência com que as culturas usaram a água variou de ano para ano e ao longo do ano, condicionada pelas condições ambientais. Durante os três anos de experimentação foi na Primavera que, em média, se registaram os valores mais altos, época em que as condições de temperatura e luz terão sido as mais propícias a uma maior eficiência do uso da água disponível pelas plantas. As altas temperaturas registadas nos meses mais quentes do Verão levaram a um decréscimo da eficiência com que as culturas usaram a água, sobretudo as gramíneas.

O aproveitamento da água da toalha freática-forma de rega sub-superficial - terá principalmente favorecido as espécies de enraizamento mais profundo como a festuca alta e a luzerna. Nesta última, os valores elevados da eficiência com que a cultura usou a água durante a Primavera terão talvez resultado do facto de não ter sido possível contabilizar, na sua totalidade, a água fornecida à cultura por capilaridade, a partir da toalha freática. Com efeito, a luzerna foi a espécie que manifestou maior capacidade para extrair água a partir das camadas profundas, sendo por isso uma das culturas em que a rega sub-superficial poderá ser encarada com maiores possibilidades de reduzir os encargos tidos com a rega nos períodos de maior deficiência hídrica.





RESUMO

O objectivo principal deste trabalho é a caracterização do crescimento e desenvolvimento do sistema radical de algumas espécies forrageiras e pratenses, em função da variação das condições ambientais da rizosfera e do ritmo de utilização da sua biomassa. O comportamento da parte aérea das plantas é também observado e relacionado com as correspondentes características radicais. As culturas cujos sistemas radicais se estudaram foram: azevém italiano (Lolium multiflorum Lam cv. Tiara), festuca alta (Festuca arundinacea Schreb cv. Manade), trevo branco (Trifolium repens L. cv. Ladino), trevo subterrâneo (Trifolium subterraneum L. cv. Seaton Park) e luzerna (Medicago sativa L. cv. Moapa).

O ensaio, instalado num solo hidromórfico da Herdade da Mitra, teve uma duração de três anos, no período de Outubro de 1982 a Setembro de 1985.

A caracterização físico-química do solo foi feita no início e final da experimentação, com a finalidade de definir as condições edáficas iniciais e de as comparar com as verificadas após a sua exploração pelas plantas. No decorrer do ensaio, as condições hídricas e de temperatura do solo foram regularmente avaliadas.

Num ensaio complementar efectuado numa câmara de

crescimento e em caixa acrílica para observação de raízes, foi testada uma amostra do mesmo solo, obtida numa camada entre os 20 e 40cm de profundidade, onde tinha sido observado um fraco desenvolvimento radical e as raízes se apresentavam sinuosas e espalmadas. Com a finalidade de avaliar a hipótese de ser uma deficiência em cálcio ou um problema resultante da toxicidade do alumínio no solo, os responsáveis pela restrição ao enraizamento, foram ensaiados diferentes níveis de aplicação de carbonato de cálcio ao solo, comparando-os com uma amostra sem correctivo. Em cada tratamento foi observado o crescimento radical do feijão (Phaseolus vulgaris L.), espécie que pela sua rápida germinação é vulgarmente utilizada em testes deste tipo.

São do posto meteorológico da herdade os dados climáticos observados durante os três anos de experimentação.

As observações efectuadas nos sistemas radicais das culturas coincidiram com as épocas de corte e consistiram nas determinações do comprimento, peso seco e número de nódulos das raízes, distribuídos por diferentes camadas do perfil cultural. Os resultados são fundamentalmente apresentados em termos de densidade radical, peso radical por unidade de volume e de área superficial do solo, comprimento específico das raízes e número de nódulos por comprimento de raiz. A observação directa das raízes, em perfis abertos no solo em Maio e Setembro do primeiro ano e no final do ensaio, visou obter informação sobre a configuração, distribuição e profundidade máxima das raízes.

O comportamento da parte aérea das plantas foi avaliado em termos de produção de matéria seca e de índice de área

foliar, nos períodos respeitantes a cada época de corte.

A eficiência com que as diferentes espécies usaram a água posta à sua disposição, traduzida pela quantidade de matéria seca produzida por hectare e por unidade de água aplicada, foi calculada para os três anos de experimentação e para períodos compreendidos entre cada dois cortes consecutivos.

Para cada época de observação foi estabelecida a relação entre os pesos secos da parte aérea e da parte radical das diferentes espécies.

Foram também determinadas as correlações possíveis entre cada par de valores, correspondentes às características observadas na parte aérea e no sistema radical das culturas.

No último capítulo apontam-se algumas conclusões formuladas a partir dos resultados obtidos e tendo em conta as condições particulares em que o ensaio decorreu. São fundamentalmente salientadas as diferenças climáticas verificadas entre os três anos de ensaio, em grande parte resultantes dos níveis de precipitação registados anualmente aos quais corresponderam diferentes condições da rizosfera.

O enraizamento das culturas foi principalmente determinado pela interacção verificada entre teor de água e arejamento do perfil do solo. A elevada resistência do solo à penetração, observada em média entre os 20 e 30cm de profundidade, foi a condicionante directa do crescimento radical nessas camadas e não qualquer factor de ordem química,

como se comprovou no ensaio complementar efectuado em caixa acrílica. Relativamente à temperatura do solo, os valores registados no Verão terão contribuído para acelerar o processo de renovação anual das raízes, bem evidente no caso do azevém italiano.

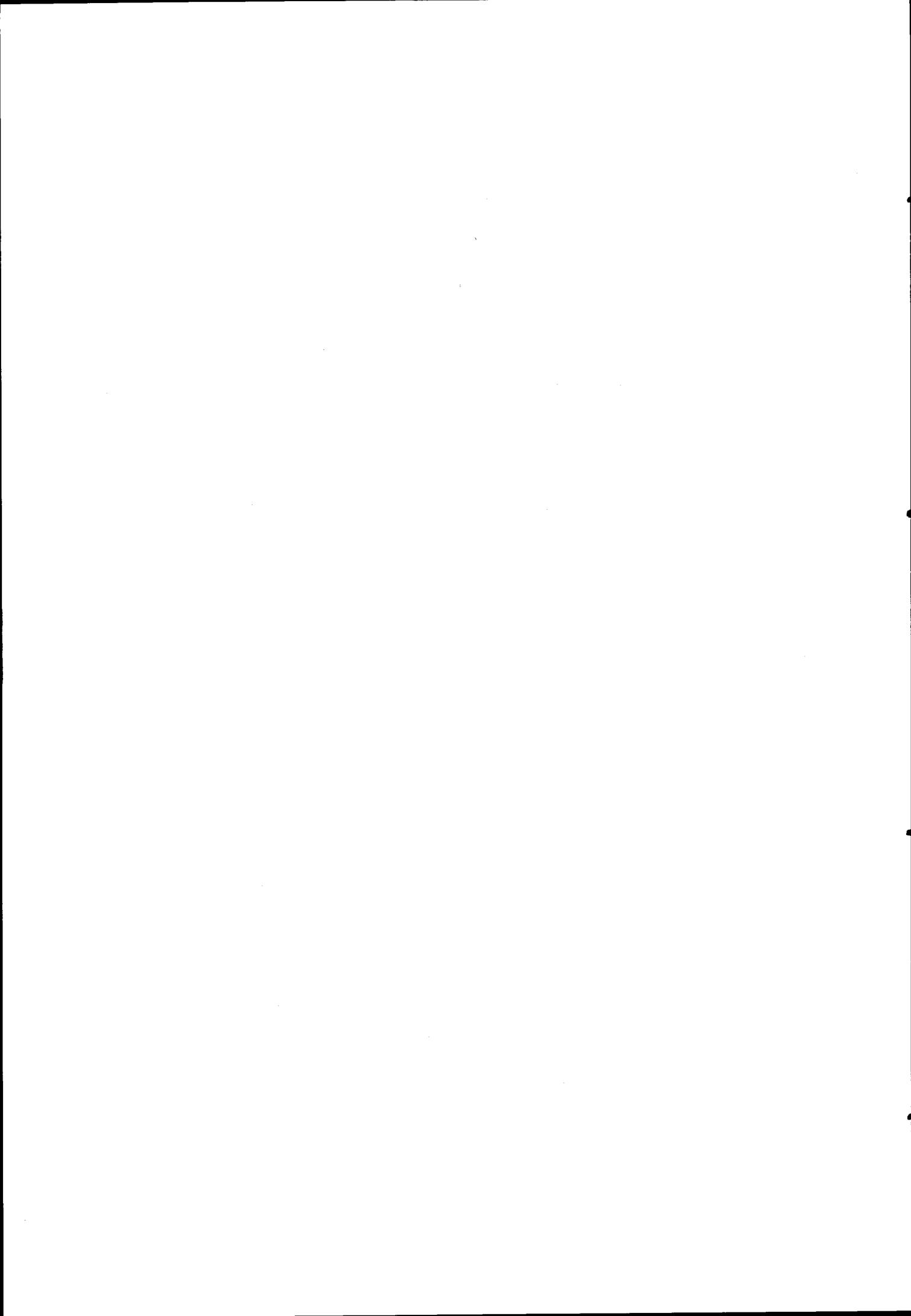
Nas gramíneas estudadas verificou-se a progressiva concentração do sistema radical em camadas mais superficiais, fundamentalmente devida ao facto de serem espécies em que as raízes se renovam anualmente. Este é um factor a ter em conta na definição das técnicas culturais, nomeadamente no que diz respeito à rega e à fertilização.

Tendo em atenção as densidades radicais e a forma de distribuição das raízes pelas diferentes camadas do solo, são referidas algumas implicações destas características radicais, em prados e pastagens constituídos por espécies consociadas, relativamente à persistência de algumas delas. Nestes casos, a maior massa radical de espécies como as gramíneas actua em detrimento de outras como os trevos. No entanto, o balanço do teor de matéria orgânica do solo, entre as condições iniciais e finais de ensaio, mostra que o contributo das gramíneas foi muito superior ao das leguminosas. Também é de realçar que os acréscimos de matéria orgânica verificados nos talhões das espécies estudadas foram os mais elevados na camada de 12-24cm de profundidade.

A variação estacional observada na massa radical foi maior nas gramíneas do que nas leguminosas. Nas primeiras, a produção de novas raízes, iniciada no Outono, atingiu em média

os níveis mais elevados da densidade radical na Primavera e os mínimos no Verão. Tal facto vem pôr em evidência a importância da fertilização de Outono em culturas deste tipo. Nas leguminosas, a fase de maior intensidade radical verificou-se também na Primavera, estendendo-se até ao Verão.

São referidas algumas conclusões respeitantes ao comportamento das culturas, nomeadamente aos níveis de produção obtidos e à variação estacional da eficiência com que usaram a água. Neste último aspecto, as leguminosas manifestaram uma maior eficiência do uso da água durante a Primavera e Verão, embora com uma descida marcada nos meses mais quentes, ao passo que nas gramíneas foi evidente a baixa eficiência com que usaram a água durante o Verão. O aproveitamento da água da toalha freática, forma de rega sub-superficial, poderá ser encarada como uma possível forma de reduzir os encargos com a rega em períodos de maior escassez hídrica e fundamentalmente em espécies de enraizamento mais profundo, como a luzerna e a festuca alta.



SUMMARY

The main objective of this work is the characterization of growth and development of the root systems of some forage species as affected by rhizosphere environment and cutting management. Shoot behaviour is also studied and related with root parameters. The species under study were: italian ryegrass (Lolium multiflorum Lam cv. Tiara), tall fescue (Festuca arundinacea Schreb cv. Manade), white clover (Trifolium repens L. cv. Ladino), subterranean clover (Trifolium subterraneum L. cv. Seaton Park) and alfalfa (Medicago sativa L. cv. Moapa).

The experiment was conducted from October 1982 to September 1985 at Herdade da Mitra on an hydromorphic soil of the Entisols order.

Soil physical and chemical characteristics were evaluated in the beginning and at the end of the experiment in order to compare starting and final soil conditions after exploitation by plants. During the experimental period the soil hydric conditions and soil temperature were also regularly evaluated.

A complementary trial was carried out in a growth chamber, using an acrylic box for root studies, with a sample from the same soil, collected in a layer between 40 and 60 cm

depth, where a poor root development was observed and where roots showed a sinuate and flat shape. In order to evaluate if whether calcium deficiency or aluminum toxicity were responsible for constraints to root growth, different rates of calcium carbonate were added to the soil along with non-limed, and the radicle elongation rates of beans (Phaseolus vulgare L.) were observed. Beans are usually used in this kind of trials, considering their quick germination.

The climatic elements observed during the three years of experimentation were registred at the meteorological station of Herdade da Mitra, located near the trial field.

For the eco-morphological analysis of the root systems, root length, root weight and the number of root nodules were recorded by harvest time and rooting depth. The results are basically presented as root density, root dry weight per unit of soil volume and unit of soil superficial area, specific root length and the number of nodules per root length. The direct observation of roots in profile walls of trenches dug in May and September of the first year, and at the end of the experimental period, was mainly determined in order to obtain information about root configuration and distribution, and maximum rooting depth.

Shoot behaviour was evaluated as dry matter yield and leaf area index, by harvest time.

The efficiency with which the different species used available water, defined as herbage dry matter produced per hectare and unit of water applied, was evaluated for the three

years of experimentation and for periods between two successive cuttings.

Root - shoot ratio was estimated for each species, by harvest date.

All possible correlations between each pair of data were also determined for the parameters studied either in the above and in the belowground parts of the plants.

On the last chapter some conclusions are stated regarding the results and the environmental conditions under which the plants grew. Are particularly enhanced, the climatic differences between years which mainly resulted from different levels of annual rainfall, and gave rise to different rhizosphere conditions.

The rooting pattern was mainly determined by the interaction between soil moisture and soil aeration along the profile. Poor root growth in the soil layer between 20 and 30 cm depth can be attributed to the high soil strength value observed there, since there was no evidence of any chemical effect in the complementary experiment. In relation to soil temperature, the high values recorded during Summer were responsible for accelerating annual root replacement, well noticed on ryegrass.

Due to their annual root replacement pattern, the grasses showed a progressive concentration of the root system in the top layers of the profile. This is an important element determining the cultural practices, namely irrigation and

fertilization.

Root density and distribution in different soil layers are determinants for the persistence of species such as clovers, when mixed with grasses which have a greater root mass. However, the balance of the organic matter content of the soil, between the initial and final soil conditions of the experiment, showed that the increases were greater on the plots explored by grasses than by legumes. It was also observed that those increments were more evident on the layer between 12 and 24 cm depth.

Seasonal variation of root production was higher in grasses than in legumes. On average, the production of new roots in grasses began in Autumn but the higher and the lower root density values occurred in Spring and Summer respectively. This suggests that fertilizer must be applied to these species during early Autumn. In legumes, the maximum root density was also observed during Spring and extended to the Summer.

Some conclusions are also stated in relation with crop behaviour, namely dry matter production and seasonal pattern of water use efficiency. Regarding this last aspect legumes were more efficient than grasses in using water during Spring and Summer, even though showing low values in the warmer months. Water use efficiency for grasses was very low during Summer. The utilization of the water table for subirrigation, as a way of reducing the irrigation costs during dry periods, is suggested for deep rooting species as alfalfa and tall fescue.

BIBLIOGRAFIA

- ABDUL-JABBAR, A.S.; SAMMIS, T.W.; LUGG, D.G. - Effect of moisture level on the root pattern of alfalfa. "Irrig. Sci.", 3, 1982, p.197-207.
- ADAMS, F. - Alleviating chemical toxicities liming acid soils, in " Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, A.S.A.E., 1981, p.269-301.
- ADAMS, F.; LUND, Z.F. - Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. "Soil Sci.", 101, 1966, p.193-198.
- AGUIAR, F.B.; GRILO, J.T. - Carta de solos da Herdade da Mitra. Évora, Universidade de Évora, (p/ publicação).
- ALBUQUERQUE, J.C.D. - A influência de diversas técnicas de mobilização do solo no desenvolvimento das raízes de beterraba (Beta vulgaris L. var. Conditiva Alef.). Évora, Universidade de Évora, 1980. (Mimeografado).
- ALLMARAS, R.R.; BLACK, A.L.; RICKMAN, R.W. - Tillage soil environment and root growth, in " Conservation Tillage", Ankeny, Iowa, Soil Conservation Society of America, 1973, p.62-86.
- ALVES, J.A. - O problema da fertilidade na agricultura do Sul. "Melhoramento", Elvas, 14, 1961, p.5-462.
- ANDERSON, E.R. - Effect of flooding on tropical grasses. "Proc. 11th Int. Grassl. Cong.", Queensland, 1970, p.591-594.

- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D.; SANDLAND, R.L. - Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. "Aust. J. Agric. Res.", 24, 1973, p.325-340.
- ARKIN, G.F.; TAYLOR, H.M. - Modifying the root environment to reduce crop stress. St. Joseph, Am. Soc. Agric. Eng., 1981.
- ASH, A.N.; GROSS, H.D.; NOGGLE, G.R. - Root growth and distribution in Festuca arundinacea. "Bull. Torrey Bot. Club", 102 (5), 1975, p.238-243.
- ASHER, C.J.; OZANNE, P.G. - Root growth in seedlings of annual pasture species. "Plant and Soil", 3, 1966, p.423-436.
- AUDUS, L.J. - Plant growth substances, vol.1, London, Leonard Hill, 1972.
- AZEVEDO, A.L.; PORTAS, C.A.M.; CARY, F.C.C. - O planeamento das operações em sistemas de exploração da terra. Informação científica nº6, Nova Lisboa, Universidade de Luanda, 1972.
- BAKER, H.K.; GARWOOD, E.A. - Studies on the root development of herbage plants. IV-Seasonal changes in the root and stubble weights of various leys. "J. Brit. Grass. Soc.", 14, 1959, p.94-104.
- BARBER, S.A. - Influence of plant root on ion movement in soil, in "the Plant Root and its Environment", Charlottesville, University of Virginia Press, 1974,

p. 525-564.

- BARBOUR, M.G. - Desert dogma re-examined: root/shoot productivity and plant spacing. "Am. Midl. Nat.", 89, 1973, p.41-57.
- BARLEY, K.P. - The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. "Adv. Agron.", 22, 1970, p.159-201.
- BARNES, D.K.; SHEAFFER, C.C. - Alfalfa, in "Forages", 4a ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.89-97.
- BARNETT, C.E.; WHITE, R.A.; PETROVIC, A.M.; GOOD, G.L. - An automated apparatus for measuring root length. "HortScience", 22, 1987, p.140-144.
- BAUDER, J.W.; BAUER, A.; RAMIREZ, J.M.; CASSEL, D.K. - Alfalfa water use and production on dryland and irrigated sandy loam. "Agron. J.", 70, 1978, p.95-99.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. - Soil physics, 4a ed., New York, John Wiley and Sons Inc., 1972.
- BENNETT, O.L.; DOSS, B.D. - Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forage species. "Agron. J.", 52, 1960, p. 204-207.
- BETTENCOURT, M.L.; REIS, R.M.M.; MENDES, J.C. - Alguns conceitos básicos para a condução do processo de rega. Contribuição para o cálculo da evapotranspiração potencial e do balanço de água no solo. Lisboa, I.N.M.G., 1977.
- BIDWELL, O.W.; GIER, D.A.; CIPRA, J.E. - Ferromanganese pedotubules on roots of Bromus inermis and Andropogon

- geraldii. "Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci.", 1968, p.683-692.
- BINNIE, R.C.; HARRINGTON, F.J. - The effects of cutting height and cutting frequency on the productivity of an italian ryegrass sward. "J. Brit. Grass. Soc.", 27, 1972, p.177-182.
- BLAD, B.L. - Atmospheric demand for water, in "Crop-water Relations", New York, John Wiley and Sons, 1983, p.1-44.
- BÖHM, W. - Methods of studying root systems "Ecological Studies", 33, New York, Springer-verlag, 1979.
- BÖHM, W.; MADUAKOR, H.; TAYLOR, H.M. - Comparison of five methods for characterizing soybean rooting density and development. "Agron. J.", 69, 1977, p.415-419.
- BORNSTEIN, J.; BENOIT, G.R.; SCOTT, F.R.; HEPLER, P.R.; HEDSTROM, W.E. - Alfalfa growth and soil oxygen diffusion as influenced by depth of water table. "Soil Sci. Soc. Am. J.", 48, 1984, p.1165-1169.
- BORNSTEIN, J.; HEDSTROM, W.E. - Alfalfa soil aeration status-response to water table depths. "Trans. of the Am. Soc. Agric. Eng.", 77, 1977.
- BOUTON, J.H.; HAMMEL, J.E.; SUMNER, M.E. - Alfalfa, Medicago sativa L., in highly weathered, acid soils. IV-Root growth into acid subsoil of plants selected for acid tolerance. "Plant and Soil", 65, 1982, p.187-192.
- BOWEN, H.D. - Alleviating mechanical impedance, in "Modifying

- the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, Am. Soc. Agric. Eng., 1981, p.21-57.
- BRADY, N.C. - The nature and properties of soils, 8a ed., New York, Mac Millan Publishing Co. Inc., 1974.
- BRIGGS, L.J.; SHANTZ, H.L. - Relative water requirements of plants. "J.Agric. Res.", 3, 1914, p.1-64.
- BROOK, J.L.; ANDERSON, L.B.; LANCASHIRE, J.A. - "Grasslands Roa" tall festucue: seedling growth and establishment. "New Zealand J. Exp. Agric.", vol.10, 1982, p.285-289.
- BROUGHAM, R. W. - Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. "Aust. J. Agric. Res.", 7, 1957, p.377-387.
- BROUWER, R. - Distribution of dry matter in the plant. "Neth. J. Agr. Sci.", 10, 1962a, p.361-376.
- BROUWER, R. - Influence of temperature of the root medium on the growth of seedlings of various crop plants. Onderz, Landb Gewass, Jaarb. Institut Biol., 1962b, p.11-18.
- BROUWER, R. - Root growth of cereals and grasses, in "The Growth of Cereals and Grasses", London, Butterworths, 1966, p.167-178.
- BROUWER, R.; DE WIT, C.T. - A simulation model for plant growth with special attention to root growth and its consequences, in "Root Growth", London, Butterworths, 1969, p.224-244.
- BROUWER, R.; GASPARfKOVA, O.; KOLEK, J.; LOUGHMAN, B.C. - Structure and function of plant roots. London, Nijhoff

- and Junk Publishers, 1981.
- BROWN, D.A.; SCOTT, H.D. - Dependence of crop growth and yield on root development and activity, in "Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth", Madison, A.S.A. Special Publication, 49, 1984, p.101-136.
- BRUN, L.J.; WORCESTER, B.K. - Soil water extraction by alfalfa. "Agron. J.", 67, 1975, p. 586-589.
- BUCKNER, R.C. - The fescues, in "Forages", 4th ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.233--240.
- BUTLER, G.W.; GREENWOOD, R.M.; SOPER, K. - Effects of shading and defoliation on the turnover of root and nodule tissue of plants of Trifolium pratense and Lotus uliginosus. "New Zealand J. Agric. Res.", 2, 1959, p.415-426.
- CAMPBELL, R.E.; LARSON, W.E.; AASHEIM, T.S.; BROWN, P.L. - Alfalfa response to irrigation frequencies in the presence of a water table. "Agron.J.", 52, 1960, p.437-441.
- CANNELL, R.Q. - Soil aeration and compaction in relation to root growth and soil management. "Appl. Biol.", 2, 1977, p.1-86.
- CANNELL, R.Q.; JACKSON, M.B. - Alleviating aeration stresses, in "Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, Am. Soc. Agric. Eng., 1981, p.141-182.
- CANNON, W.A. - A tentative classification of root systems.

- "Ecology", 30, 1949, p.542-548.
- CARADUS, J.R. - Structural variation of white clover root systems. "New Zealand J. Agric. Res.", 20, 1977, p.213-219.
- CARADUS, J.R. - Root growth of white clover (Trifolium repens L.) lines in glass-fronted containers. "New Zealand J. Agric. Res.", 24, 1981, p.43-54.
- CARADUS, J.R.; EVANS, P.S. - Seasonal root formation of white clover, ryegrass and cocksfoot in New Zealand. "New Zealand J. Agric. Res.", 20, 1977, p.337-342.
- CARLSON, G.E.; GIBSON, P.B.; BALTENSPERGER, D.D. - White clover and other perennial clovers, in "Forages", 4a ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.118-127.
- CARSON, E.W. - The plant root and its environment. Charlottesville, University of Virginia Press, 1974.
- CARTER, P.R.; SHEAFFER, C.C. - Alfalfa response to soil water deficits. III-Nodulation and N₂ fixation. "Crop Sci.", 23, 1983, p.985-990.
- CARTER, P.R.; SHEAFFER, C.C.; VOORHEES, W.B. - Root growth, herbage yield, and plant water status of alfalfa cultivars. "Crop Sci.", 22, 1982, p.425-427.
- CARY, F.C.C.; AZEVEDO, A.L. - Metodologia do estudo dos períodos e dos dias disponíveis para a realização dos trabalhos agrícolas. "Anais do Instituto Superior de Agronomia", Lisboa, vol33, 1972, p.21-54.
- CHU, A.C.P.; ROBERTSON, A.G. - The effects of shading and

- defoliation on nodulation and nitrogen fixation by white clover. "Plant and Soil", 41, 1974, p.509-519.
- CLAPP, C.E.; NEWMAN, T.C.; MARTEN, G.C.; LARSON, W.E. - Effects of municipal wastewater effluent and cutting management on root growth of perennial forage grasses. "Agron. J.", 76, 1984, p.642-647.
- CLEMENS, J.; JONES, P.G. - Modifications of drought resistance by water stress conditioning in Acacia and Eucalyptus. "J. Exp. Bot.", 29, 1978, p.895-904.
- COHEN, O.P.; STRICKLING, E. - Moisture use by selected forage crops. "Agron. J.", 60, 1968, p.587-591.
- COLE, P.J.; ALSTON, A.M. - Effect of transient dehydration on absorption of chloride by wheat roots. "Plant and Soil", 40, 1974, p.243-247.
- CONSTABLE, G.A.; SHERIDAN, K.P.; GLEESON, A.C. - Effects of sequential defoliation on lucerna (Medicago sativa L.). "Aust. J. Agric. Res.", 28, 1977, p.769-776.
- COOPER, A.J. - Root temperature and plant growth. "Research Review", 4, East Malling, Kent, Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, 1973, p.1-72.
- CORNILLON, P. - Incidence de la température des racines sur la croissance et le développement des plants. "Ann. Agron.", 1980, 31, p.63-84.
- CORREIA, T.R. - O sistema radicular da macieira. Contribuição para o estudo do seu comportamento nalguns tipos de solos. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1962.

(Relatório final do curso de engenheiro agrônomo).
(Mimeografado).

- COSTA, J.B.** - Caracterização e constituição do solo (revisão de A.L. Azevedo e R.P. Ricardo). Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- COUTINHO, A.S.; SEQUEIRA, E.** - Aluviosolos calcáreos da Campina de Faro. II-Comportamento radical da laranjeira "Washington Navel". "Pedologia", Oeiras, 3, 1968, p.217-222.
- COWAN, I.R.** - Transport of water in the soil-plant-atmosphere system. "J. Appl. Ecol.", 2, 1965, p.221-239.
- CRALLE, H.T.; HEICHEL, G.H.** - Nitrogen fixation and vegetative regrowth of alfalfa and birdsfoot trefoil after successive harvests or floral debudding. "Plant Physiol.", 67, 1981, p.898-905.
- CRESPON, D.G.** - Culturas pratenses e forrageiras para regadio. Oeiras, Instituto Nacional de Investigação Agrária, 1975a.
- CRESPON, D.G.** - Pastagens semeadas temporárias e permanentes de sequeiro. Oeiras, Instituto Nacional de Investigação Agrária, 1975b.
- CRESPON, D.G.** - Potentialités fourragères à l'irrigation au Portugal. "Fourrages", 38, 1969, p.110-125.
- CRESPON, D.G.; ROMANO, A.M.** - Influência da frequência de corte na produção e qualidade da erva de prados temporários de regadio. "Melhoramento", 24, 1972, p.95-124.

- CROOKSTON, R.K.; O'TOOLE, J.; LEE, R.; OZBUN, J.L.; WALLACE, D.H. - Photosynthetic depression in beans after exposure to cold for one night. "Crop Sci.", 14, 1974, p.457-464.
- CULLEN, P.W.; TURNER, A.K.; WILSON, J.H. - The effect of irrigation depth on root growth of some pasture species. "Plant and Soil", 37, 1972, p.345-352.
- DADAY, H.; WILLIAMS, J.D. - Changes in lateral root growth of lucerne cultivars with temperature. "J. Aust. Inst. Agric. Sci.", 42, 1976, p.119-121.
- DAIGGER, L.A.; AXTHELM, L.S.; ASHBURN, C.L. - Consumptive use of water by alfalfa in Western Nebraska. "Agron. J.", 62, 1970, p. 507-508.
- DART, P.J. - Legume root nodule initiation and development, in "The Development and Function of Roots", London, Academic Press, 1975, p.467-506.
- DAVIDSON, R.L. - Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover. "Ann. Bot.", 33, 1969a, p.561-569.
- DAVIDSON, R.L. - Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratios in Lolium perenne L. and Trifolium repens L. "Ann. Bot.", 33, 1969b, p.571-577.
- DAY, J.M. - Studies on the role of light in legume symbioses. Ph. D. Thesis, London, University of London, 1972.
- De JONG, T.M.; PHILLIPS, D.A. - Water stress effects on nitrogen assimilation and growth of Trifolium

- subterraneum L. using dinitrogen or ammonium nitrate.
"Plant Physiol.", 69, 1982, p. 416-420.
- DELANEY, R. H.; JACOBS, J.J.; BORRELLI, J.; CLARK, R.T.; HEDSTROM, W.E. - Economic and agronomic effects of high irrigation levels on alfalfa and barley. "Wyoming Agric. Exp. Stn. Res. J.", 121, 1978.
- DEVINE, T.E.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; HANSON, C.H.; CAMPBELL, T.A.; Mc MURTRY III, J.E.; SCHWARTZ, J.W. - Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminum toxicity. "Plant and Soil", 44, 1976, p.73-79.
- DITTMER, H.J. - A quantitative study of the subterranean members of three field grasses. "Am. J. Bot.", 25, 1938, p.654-657.
- DONOVAN, T.J.; MEEK, B.D. - Alfalfa responses to irrigation treatment and environment. "Agron. J.", 75, 1983, p.461-464.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. - Les besoins en eau des cultures. "Bulletin d'Irrigation et de Drainage", 24, FAO, Roma, 1975.
- DORDIO, A.M.; BORBA, F.M. - Comportamento de algumas cultivares de gramíneas pratenses em solos arenosos de regadio. "Pastagens e Forragens", 3, 1982, p.103-128.
- DOSS, B.D.; ASHLEY, D.A.; BENNETT, O.L. - Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. "Agron. J.", 52, 1960, p.569-572.

- DRAYCOTT, A.P.; DURRANT, M.J. - Effects of nitrogen fertilizers, plant population and irrigation on sugar beet. III-Water consumption. "J. Agric. Sci.", 76, 1971, p.277-282.
- DREW, M.C.; SAKER, L.R. - Nutrient supply and the growth of the seminal root systems in barley. II-Localized compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. "J. Exp. Bot.", 26, 1975, p.79-90.
- DURÃO, E.M. - Aspectos do comportamento radicular da oliveira em alguns solos de Santarém. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1943. (Relatório final do curso de engenheiro agrónomo). (Mimeografado).
- DUTHIL, J. - Produccion de forrajes, 3ª ed., Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1980.
- D'UVA, P.; BOUTON, J.H.; BROWN, R.H. - Variability in rooted stem production among tall fescue genotypes. "Crop Sci.", 23, 1983, p.385-386.
- EAVIS, B.W.; PAYNE, D. - Soil physical conditions and root growth, in "Root Growth", London, Butterworths, 1969, p.315-336.
- EHRLER, W.C. - Water absorption of alfalfa as affected by low root temperature and other factors of a controlled environment. "Agron. J.", 55, 1963, p.363-366.

- ELKINS, C.B.; HAALAND, R.L.; HOVELAND, C.S. - Grass roots as a tool for penetrating soil hardpans and increasing crop yields. "Proceedings of the 34th Southern Pasture and Forage Crop Improvement Conference", Auburn, Auburn University, 1977, p.21-25.
- ELLIS, F.B.; ELLIOTT, J.G.; BARNES, B.T.; HOWSE, K.R. - Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 2-Spring barley on a sandy loam soil, soil physical conditions and root growth. "J. Agric. Sci. Camb.", 89, 1977, p.631-642.
- ENGIN, M.; SPRENT, J.I. - Effects of water stress on growth and nitrogen-fixing activity of Trifolium repens. "New Phytol.", 72, 1973, p.117-126.
- ENNIK, G.C.; GILLET, M.; SIBMA, L. - Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass, in "The Role of Nitrogen in Intensive Grassland Production", Wageningen, W.H. Prins e C.H. Arnold, 1980, p.67-76.
- ENNIK, G.C.; HOFMAN, T.B. - Variation in the root mass of ryegrass types and its ecological consequences. "Neth. J. Agric. Sci.", 31, 1983, p.325-334.
- ESAU, K. - Anatomy of seed plants, 2^a ed., New York, John Wiley and Sons Inc., 1977.
- EVANS, P.S. - Root growth of Lolium perenne L. I.-Effect of plant age, seed weight, and nutrient concentration on root weight, length, and number of apices. "New Zealand J. Bot:", 8, 1970, p. 344-356.

- EVANS, P.S. - The effect of repeated defoliation to three different levels on root growth of five pasture species. "New Zealand J. Agric. Res.", 16, 1973a, p.31-34.
- EVANS, P.S. - The effect of seed size and defoliation at three development stages on root and shoot growth of seedlings of some common pasture species. "New Zealand J. Agric. Res.", 16, 1973b, p.389-394.
- EVANS, P.S. - Comparative root morphology of some pasture grasses and clovers. "New Zealand J. Agric. Res.", 20, 1977, p. 331-335.
- EVANS, P.S. - Plant root distribution and water use patterns of some pasture and crop species. "New Zealand J. Agric. Res.", 21, 1978, p. 261-265.
- FABIAO, A. - Contribuição para o estudo da dinâmica da biomassa e da produtividade primária líquida em eucaliptais. Região litoral do centro de Portugal. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1986. (Dissertação de doutoramento). (Mimeografado).
- FABIAO, A.; MADEIRA, M.; STEEN, E. - Root mass in plantations of Eucalyptus globulus in Portugal in relation to soil characteristics. "Arid Soil Research and Rehabilitation", vol.1, 1987, p. 185-194.
- FABIAO, A.; PERSSON, H.; STEEN, E. - Growth dynamics of superficial roots in portuguese plantations of Eucalyptus globulus Labill. studied with a mesh bag technique. "Plant and Soil", 83, 1985, p.233-242.

- FAHN, A. - Anatomia vegetal. Madrid, H. Blume Editiones, 1978.
- FAIRBOURN, M.L. - Water use by forage species. "Agron. J.", 74, 1982, p.62-66.
- FEDDES, R.A. - Water use models for assessing root zone modifications, in "Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, Am. Soc. Agric. Eng., 1981, p.347-390.
- FINN, B.J.; BOURGET, S.J.; NIELSEN, K.F.; DOW, B.K. - Effects of different soil moisture tensions on grass and legume species. "Can. J. Soil Sci.", 41, 1961, p.16-24.
- FISHER, R.A.; TURNER, N.C. - Plant productivity in the arid and semiarid zones. "Annu. Rev. Plant Physiol.", 29, 1978, p.277-317.
- FITTER, A.H. - Effects of nutrient supply and competition from others species on root growth of Lolium perenne in soil. "Plant and Soil", 45, 1976, p.177-189.
- FITTER, A.H. - Poster in "Soil-Root Interface". London, Academic Press, 1979.
- FLEMING, A.L.; FOY, C.D. - Root structure reflects differential aluminium tolerance in wheat varieties. "Agron. J.", 60, 1968, p. 172-176.
- FOLLET, R.F.; DOERING, E.J.; REICHMAN, G.A.; BENZ, L.C. - Effect of irrigation and water table depth on crop yields. "Agron. J.", 66, 1974, p.304-308.
- FOX, R.L.; LIPPS, R.C. - Influence of soil profile characteristics upon the distribution of roots of

- grasses. "Agron. J.", 47, 1955, p. 361-367.
- FOY, C.D. - Effects of aluminum on plant growth, in "The Plant Root and its Environment", Charlottesville, University Virginia Press, 1974, p. 601-642.
- FOY, C.D.; BURNS, G.R.; BROWN, J.C.; FLEMING, A.L. - Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots. "Soil Sci. Soc. Am. Proc.", 29, 1965, p.64-67.
- FRANCIS, C.M.; POOLE, M.L. - Effect of waterlogging on the growth of annual Medicago species. "Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.", 13, 1973, p. 711-713.
- FRYREAR, D.W; McCULLY, W.G. - Development of grass root systems as influenced by soil compaction. "J. Range Mange.", 25, 1972, p.254-257.
- GARDNER, W.R. - Dynamic aspects of water availability to plants. "Soil Science", 89, 1960, p.63-73.
- GARDNER, W.R. - Dynamic aspects of soil-water availability to plants. "Ann. Rev. Plant Physiol.", 16, 1965, p.323-342.
- GARDNER, H.R.; DANIELSON, R.E. - Penetration of wax layers by cotton roots as affected by some physical conditions. "Soil Sci. Soc. Am. Proc.", 28, 1964, p.457-460.
- GARWOOD, E.A. - Some effects of soil water conditions and soil temperature on the roots of grasses." J. Brit. Grass. Soc.", 22, 1967a, p.176-181.
- GARWOOD, E. A. - Seasonal variatibn in appearance and growth

- of grass roots." J. Brit. Grass. Soc.", 32, 1967b, p.121-130.
- GARWOOD, E.A. - Some effects of soil-water conditions and soil temperature on the roots of grasses and clover. "J. Brit. Grass. Soc.", 23, 1968, p.117-127.
- GARWOOD, E.A.; SINCLAIR, J. - Use of water by six grass species .2-Root distribution and use of soil water. "J. Agric. Sci., 93, 1979, p. 25-35.
- GARWOOD, E.A.; TYSON, K.C. - The response of S24 perennial ryegrass swards to irrigation. 1- Effects of partial irrigation on DM yield and on the utilization of applied nitrogen. "J. Brit. Grass. Soc.", 28, 1973, p.223-233.
- GARWOOD, E.A.; TYSON, K.C. - The response of S24 perennial ryegrass swards to irrigation. 2-Variation in soil and plant-water status. "J. Brit. Grass. Soc.", 30, 1975, p.51-62.
- GARWOOD, E.A.; TYSON, K.C.; SINCLAIR, J. - Use of water by six grass species. 1-Dry-matter yields and response to irrigation. "J. Agric. Sci. Camb.", 93, 1979, p.13-24.
- GERARD, C.J.; SEXTON, P.; SHAW, G. - Physical factors influencing soil strength and root growth."Agron. J.", 74, 1982, p.875-879.
- GERWITZ, A.; PAGE, E.R. - An empirical mathematical model to describe plant root systems. "J. App. Ecol.", 11, 1974, p.773-782.

- GIBSON, A. H. - Physical environment and symbiotic nitrogen fixation. VI-Nitrogen retention within the nodules of Trifolium subterraneum L. "Aust. J. Biol. Sci.", 22, 1969, p.829-838.
- GILBERT, W.B.; CHAMBLEE, D.S. - Effect of depth of water table on yield of ladino clover, orchardgrass, and tall fescue. "Agron. J.", 51, 1959, p.547-550.
- GLINSKI, J.; STEPNIIEWSKI, W. - Soil aeration and its role for plants. Boca Raton, CRC Press, 1985.
- GOSS, M.J. - Effects of mechanical impedance on root growth in barley (Hordeum vulgare, L.) 1-Effects on the elongation and branching of seminal root axes. "J. Exp. Bot.", 28, 1977, p.96-111.
- GRABLE, A.R. - Effects of compaction on content and transmission of air in soils, in "Compaction of Agricultural Soils", St. Joseph, Am. Soc. Agric. Eng., 1971, p.154-164.
- GREENWOOD, D.J. - Root growth and oxygen distribution in soil, in "Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.", Adelaide, 1968, p.823-835.
- GRIMES, D.W.; SHEESLEY, W.R.; WILEY, P.L. - Alfalfa root development and shoot regrowth in compact soil of wheel traffic patterns. "Agron. J.", 70, 1978, p.955-958.
- GROSSET, R.N.; CAMPBELL, D.J.; STEWART, H.E. - Compensatory growth in cereal root systems. "Plant and Soil", 42, 1975, p.673-683.

- HANKS, R.J. - Yield and water-use relationships, in "Limitations to Efficient Water Use in Crop Production", Madison, Am. Soc. Agron., 1983, p. 393-411.
- HARLEY, J.L.; RUSSEL, R.S. - The soil-root interface. London, Academic Press, 1979.
- HEICHEL, G.H. - Alfalfa, in "Crop-water Relations", New York, John Wiley and Sons, 1983, p.127-155.
- HEINRICHS, D.H.; NIELSEN, K.F. - Growth response of alfalfa varieties of diverse genetic origin to different root zone temperatures. "Can. J. plant Sci.", 46, 1966, p.291-298.
- HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. - El perfil cultural. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1972.
- HERKELRATH, W.N.; MILLER, E.E.; GARDNER, W.R. - Water uptake by plants: II-The root contact model. "Soil Sci. Soc. Am. J.", 41, 1977, p.1039-1043.
- HILLEL, D.; TALPAZ, H.; VAN KEULEN, H. - A macroscopic scale model of water uptake by a nonuniform root system and of water and salt movement on the soil profile. "Soil Sci.", 121, 1976, p.242-255.
- HODGKINSON, K. C.; BASS BECKING, H.G. - Effect of defoliation on root growth of some arid zone perennial plants. "Aust. J. Agric. Res.", 29, 1977, p.31-42.
- HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G. - ROOTSIMU V4.0. A dynamic simulation of root growth, water uptake, and biomass

- partitioning in a soil-plant-atmosphere continuum: update and documentation. "Agronomy and Soils Departmental Series", 109, Auburn University, 1986.
- HOPKINS, R.M.; PATRICK, W.H. - Combined effects of oxygen concentration and soil compaction on root penetration. "Soil Sci.", 108, 1969, p.408-413.
- HORST, G.L.; NELSON, C.J. - Compensatory growth of tall fescue following drought. "Agron. J.", 71, 1979, p.559-563.
- HUANG, C.Y.; BOYER, J.S.; VANDERHOEF, L.N. - Limitation of acetylene reduction (Nitrogen fixation) by photosynthesis in soybean having low water potentials. "Plant Physiol.", 56, 1975, p.228-232.
- HUCK, M.G. - Root distribution, growth, and activity with reference to agroforestry. Alabama, Auburn University, 1981. (Mimeografado).
- JACKSON, W.T. - The role of adventitious roots in recovery of shoots following flooding of the original root systems. "Am. J. Bot.", 42, 1955, p.816-819.
- JACQUES, W.A.; SCHWASS, R.H.- Root development in some common New Zealand pasture plants. VII-Seasonal root replacement in perennial ryegrass (Lolium perenne), italian ryegrass (L. multiflorum) and tall fescue (Festuca arundinacea). "New Zealand J. Sci. Techn.", 37A, 1956, p.569-583.
- JODARI-KARIMI, F.; WATSON, V.; HODGES, H.; WHISLER, F. - Root distribution and water use efficiency of alfalfa as

- influenced by depth of irrigation. "Agron. J.", 75, 1983, p.207-211.
- JOHNSON, K.L.; RAGUSE, C.A. - Comparative effects of repeated cycles of water stress on growth and apparent dinitrogen fixation of ladino and strawberry clovers. "Crop Sci.", 25, 1985, p.299-306.
- JONES, E.L. - The production and persistency of different grass species cut at different heights. "Grass and Forage Sci.", 38, 1983, p.79-87.
- JONHS, G.G.; LAZENBY, A. - Effect of irrigation and defoliation on the herbage production and water use efficiency of four temperate pasture species. "Aust. J. Agric. Res.", 24, 1973, p.797-808.
- JOY, R.J.; DOBRENZ, A.K. - Consumptive water-use efficiency of alfalfa grown under three irrigation regimes. "Prog. Agric. Ariz.", 23, 1971, p.14-15.
- JOY, R.J.; POOLE, H.T.; DOBRENZ, A.K. - The effect of soil moisture regimes on water-use efficiency and growth components of alfalfa. "Prog. Agric. Ariz.", 22, 1972, p.9-11.
- KANEMASU, E.T. - Yield and water-use relationships: some problems of relating grain yield to transpiration, in "Limitations to Efficient Water Use in Crop Production", Madison, American Society of Agronomy, 1983, p.413-417.
- KATZNELSON, J. - Biological flora of Israel. 5-The

- subterranean clovers of Trifolium subsect., Calycomorphum Katzn., Trifolium subterraneum L.
"Israel J. Bot.", 23, 1974, p.69-108.
- KING, M.J.; BUSH, L.P. - Growth and water use of tall fescue as influenced by several soil drying cycles. "Agron. J.", 77, 1985, p.1-4.
- KNIGHT, W.E.; HOVELAND, C.S. - Arrowleaf, crimson and other annual clovers, in "Forages", 4a ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.136-145.
- KOHL, R.A.; KOLAR, J.J. - Soil water uptake by alfalfa. "Agron. J.", 68, 1976, p.536-538.
- KOLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORYSH, I.S. - Growth analysis of the soybean community. "Crop Sci.", 10, 1970, p.407-412.
- KÖPKE, U. - Methods for studying root growth, in "The Soil/Root System in Relation to Brazilian Agriculture". Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981, p.303-318.
- KRAMER, P.J. - Plant and soil water relationships - A modern synthesis. New York, McGraw-Hill Book Co., 1969.
- KRAMER, P.J. - Water relations of plants. New York, Academic Press, 1983.
- KUMMEROW, J. - Adaptation of roots in water-stressed native vegetation, in "Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress". New York, John Wiley and Sons Inc. 1980, p.57-73.
- LEAFE, E.L.; JONES, M.B.; STILES, W. - The physiological

- effects of water stress on perennial ryegrass in the field. "Proceedings of the XIIth International Grassland Congress", Leipzig, 1980, p.253-260.
- LEISER, A.T. - A mucilaginous root sheath in Ericaceae. "Am. J. Bot.", 55, 1968, p.391-398.
- LIPPS, R.C.; FOX, R.L. - Root activity of sub-irrigated alfalfa as related to soil moisture, temperature, and oxygen supply. "Soil Sci." 97, 1964, p.4-12.
- LONG, I.F.; FRENCH, B.K. - Measurement of soil moisture in the field by neutron moderation. "J. Soil Sci.", 18, 1967, p.149-166.
- LOOMIS, R.S. - Crop manipulations for efficient use of water: An overview, in "Limitations to Efficient Water Use in Crop Production", Madison, American Society of Agronomy, 1983, p.345-374.
- MARSH, B. a'B. - Measurement of length in random arrangements of lines. "J. Appl. Eco.", 8, 1971, p.265-267.
- MARSHALL, T.; MILLINGTON, R.J. - Flooding tolerance of some western australian pasture legumes. "Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.", 7, 1967, p.367-371.
- MARTIN, J.H.; LEONARD, W.H.; STAMP, D.L. - Principles of field crop production, 3a ed., London, Collier Macmillan Publishers, 1976.
- Mc CULLY, M.E. - The development of lateral roots, in "The

Development and Function of Roots", New York, Academic Press, 1975, p.105-124.

- MENDONÇA, P.V. - Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite - Mather. Lisboa, "Anais do Instituto Superior de Agronomia", 22, 1958, p.271-282.
- METCALFE, D.S.; NELSON, C.J. - The botany of grasses and legumes, in "Forages", 4a ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.52-63.
- METOCHIS, C.; ORPHANOS, P.I. - Alfalfa yield and water use when forced into dormancy by withholding water during the summer. "Agron. J.", 73, 1981, p.1048-1050.
- MINCHIN, F.R.; PATE, J.S. - Effect of water, aeration and salt regime on nitrogen fixation in a nodulated legume. Definition of an optimum root environment. "J. Exp. Bot.", 26, 1975, p.60-69.
- MONTEITH, J.L. - Light interception and radiation exchange in crop stands, in "Physiological Aspects of Crop Yield", Madison, American Society of Agronomy, 1969, p.81-111.
- MOREIRA, N.T. - Cultura de forragens e pastagens. Vila Real, Instituto Universitário de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 1980. (Mimeografado).
- MOREIRA, T.S. - Da ecologia do cafeeiro na Estação Regional do Amboim (Angola). Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1961. (Relatório final do curso de engenheiro agrónomo). (Mimeografado).
- MORLEY, F.H.W. - Subterranean clover. "Advances in Agronomy", 13, 1961, p.57-123.

- MOSHER, W.D. - Livestock production and forestry on western Oregon hill country. "Proc. Hillands Int. Symp.", Morgantown, 1976, p.661-665.
- MOUAT, M.C.H. - Competitive adaptation by plants to nutrient shortage through modification of root growth and surface charge. "New Zealand J. Agric. Res.", 26, 1983, p.327-332.
- MOULE, C. - Fourrages. "Phytotechnie Spéciale", Tome I, Paris, La Maison Rustique, 1971.
- MUNNS, D.N. - Nodulation of Medicago sativa in solution culture. II-Compensating effects of nitrate and of prior nodulation. "Plant and Soil", 28, 1968, p.246-257.
- MUNNS, D.N. - Mineral nutrition and the legume symbiosis, in "A Treatise on Dinitrogen Fixation". New York, J.Wiley and Sons Inc., 1977, p.353-391.
- MUNNS, D.N.; FOGLE, V.W.; HALLOCK, B.G. - Alfalfa root nodule distribution and inhibition of nitrogen fixation by heat. "Agron. J.", 69, 1977, p.377-380.
- NEWMAN, E.I. - A method of estimating the total lenght of root in a sample. "J. Appl. Ecol.", 3, 1966, p.139-145.
- NEWMAN, E.I. - Resistance to water flow in soil and plant. I- Soil resistance in relation to amounts of root: Theoretical estimates. "J. Appl.Ecol.", 6, 1969a, p.1-12.



- NEWMAN, E.I. - Resistance to water flow in soil and plant.
II- Review of experimental evidence on the rhizosphere
resistance. "J. Appl. Ecol.", 6, 1969b, p.261-272.
- NEWMAN, E.I. - Root and soil water relations, in "The Plant
Root and its Environment", Charlottesville, University
of Virginia Press, 1974, p.363-440.
- NIELSEN, K.F. - Roots and root temperature, in "The Plant Root
and its Environment", charlottesville, University of
Virginia Press, 1974, p.293-333.
- NIELSEN, K.F.; HALSTEAD, R.L.; McLEAN, A.J.; HOLMES, R.M.;
BOURGET, S.J. - Effects of soil temperature on the
growth and chemical composition of lucerne. "Proc. 8th
Int. Grassland Cong.", 1960. p.287-292.
- NIELSEN, K.F.; HUMPHRIES, E.C. - Effects of root temperature
on plant growth. "Soils. Fertilizers", 29, 1966, p.1-7.
- NORRIS, I.B. - Soil moisture and growth of contrasting
varieties of Lolium, Dactylis and Festuca species.
"Grass and Forage Science", 37, 1982, p.273-283.
- NUTMAN, P.S. - Varietal differences in the nodulation of
subterranean clover. "Aust. J. Agric. Res.", 18, 1967,
p.381-425.
- OCUMPAUGH, W.R.; MATCHES, A.G. - Autumn - winter yield and
quality of tall fescue. "Agron. J.", 69, 1977, p.639-
-643.
- OLIVEIRA, M.R.G.; PORTAS, C.A.M. - Estudo laboratorial da
relação entre resistência mecânica, densidade aparente
e teor de água num solo Hb14. "Revista de Ciências

- Agrárias", Lisboa, vol.5, Tomo I, 1982a, p.17-24.
- OLIVEIRA, M.R.G.; PORTAS, C.A.M. - Crescimento do sistema radical do sorgo forrageiro em solo compactado. "Revista de Ciências Agrárias", Lisboa, vol.5, Tomo II, 1982b, p.31-44.
- OLIVEIRA, M.R.G.; PORTAS, C.A.M. - Estudo da distribuição radical numa consociação de festuca, azevém e trevo branco e num luzernal. Comunicação apresentada na VIII Reunião de Primavera da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens", Évora, 1987. (p/ publicação).
- OLLERENSHAW, J.H.; HODGSON, D.R. - The effect of constant and varying heights of cut on the yield of italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). "J. Agric. Sci.", 89, 1977, p.425-435.
- O'NEIL, K.J.; CARROW, R.N. - Perennial ryegrass growth, water use and soil aeration status under soil compaction. "Agron. J.", 75, 1983, p.177-180.
- OZANNE, P.G.; ASHER, C.J.; KIRTON, D.J. - Root distribution in a deep sand and its relationship to the uptake of added potassium by pasture plants. "Aust. J. Agric. Res.", 16, 1965, p.785-800.
- PANKHURST, C.E.; GIBSON, A.H. - Rhizobium strain influence on disruption of clover nodule development at high root temperature. "J. Gen. Microbiol.", 74, 1973, p.219-231.

- PARDO, E.M.; GARCIA, C.R. - Praderas e forrajes. Produccion y aprovechamiento. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1984.
- PASSIOURA, J.B. - A mathematical model for the uptake of ions from the soil solution. "Plant and Soil", 18, 1963, p.225-228.
- PAVLYCHENKO, T.K. - Root systems of certain forage crops in relation to management of agricultural soils. "Publs. Natn. Res. Coun. Canada", 1088, 1942, p.1-46.
- PEARSALL, W.H. - Growth studies. IV-On the relative sizes of growing plant organs. "Ann. Bot.", 41, 1927, p. 549-556.
- PEARSON, R.W. - Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research, in "The Plant Root and its Environment", Charlottesville, University Press of Virginia, 1974, p.247-267.
- PEARSON, C.J.; HUNT, L.A. - Effects of temperature on primary growth and regrowths of alfalfa. "Can. J. Plant Sci.", 52, 1972, p.1017-1027.
- PENDLETON, J.W. - Increasing water use efficiency by crop management, in "Plant Environment and Efficient Water Use", Madison, American Society of Agronomy, 1966, p.231-258.
- PERSSON, H. - The distribution and productivity of fine roots in boreal forests. "Plant and Soil", 71, 1983, p.87-101.

- PIERRE, W.H; KIRKHAM, D.; PESEK, J.; SHAW, R. - Plant environment and efficient water use. Madison, American Society of Agronomy, 1966.
- PINKERTON, A.; SIMPSON, J.R. - Effect of subsoil acidity on the shoot and root growth of some tropical and temperate forage legumes. "Aust. J. Agric. Res.", 32, 1981, p.453-463.
- POLLE, E.; KONZAK, C.F.; KITTRICK, J.A. - Rapid screening of wheat for tolerance to aluminum in breeding varieties better adapted to acid soils. "Technical Series Bulletin", 21, Washington, 1978.
- PORTAS, C.A.M. - Acerca do sistema radical de algumas culturas hortícolas. Luanda, Universidade de Luanda, 1970.
- PORTAS, C.A.M. - Early growth of tomato root systems: some parameters and techniques related with water use and direct-seeding. "Proceedings CEE Agrimed Seminar on Drip Irrigation", Bologne, 1979, p.137-143.
- PORTAS, C.A.M. - Estudios del sistema radical de cultivos hortícolas. "XXIV Congresso Brasileiro e I Reunião Latino Americana de Olericultura", Jabotical, 1984, p.16-50.
- PORTAS, C.A.M. - Programa da disciplina de sistemas de agricultura. Curso de Mestrado em Produção Vegetal, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1985. (Mimeografado).

- PORTAS, C.A.M.; TAYLOR, H.M. - Growth and survival of young plant roots in dry soil. "Soil Sci.", 121, 1976, p.170-175.
- RAI, S.D.; MILLER, D.A.; HITTLE, C.N. - Response of alfalfa varieties to different water table depths at various stages of growth. "Agron. J.", 63, 1971, p.331-332.
- RECHCIGL, J. E.; RENEAU Jr., R.B.; STARNER, D.E. - Effect of subsurface amendments and irrigation on alfalfa growth. "Agron. J.", 77, 1985, p.72-75.
- REID, J.B.; GOSS, M.J. - Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (Lolium perenne). "J. Sci. Food Agric.", 31, 1980, p.325-328.
- REID, J.B.; GOSS, M.J. - Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. "J. Soil Sci.", 32, 1981, p.521-541.
- RHOADES, E.D. - Inundation tolerance of grasses in flooded areas. "Transactions of the Am. Soc. Agric. Eng.", 7, 1964, p.164-169.
- RHODES, I. - The growth and development of some grass species under competitive stress. 3-The nature of the competitive stress and characters associated with competitive ability during seedling growth. "J. Brit. Grass. Soc.", 23, 1968, p.330-335.
- RIEWE, M.E.; MONDART Jr., C.L. - The ryegrasses, in "Forages", 4th ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.241-246.

- RITCHIE, J.T.; BURNETT, E. - Dryland evaporative flux in a subhumid climate. II-Plant influences. "Agron. J.", 63, 1971, p.56-62.
- ROWSE, H.R.; PHILLIPS, D.A. - An instrument for estimating the total length of root in a sample. "J. Appl. Eco.", 11, 1974, p.309-314.
- RUSSELL, R.S. - Plant root systems: Their function and interaction with the soil. London, McGraw-Hill Book Company, 1977.
- RUSSELL, R.S. - Cultivation, soil conditions and plant growth in temperate agriculture, in "Modification of Soil Structure" New York, John Wiley and Sons, 1978, p.353-362.
- RUSSELL, R.S.; GOSS, M.J. - Physical aspects of soil fertility. The response of roots to mechanical impedance. "Neth. J.Agric. Sci.", 22, 1974, p.305-318.
- RUSSELL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R. - The soil/root system in relation to brazilian agriculture. Londrina, Paraná, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981.
- SAMMIS, T.W. - Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. "Agron. J.", 73, 1981, p.323-329.
- SCHUURMAN, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. - Methods for the examination of root systems and roots, 2a ed., Wageningen, Pudoc, 1971.
- SCOTT, T.W.; ERICKSON, A.E. - Effect of aeration and mechanical impedance on the root development of

- alfalfa, sugar beets and tomatoes. "Agron. J.", 56, 1964, p.575-576.
- SERRALHEIRO, R.P. - Necessidades de rega das culturas. Évora, Universidade de Évora, 1985.
- SERVIÇO DE RECONHECIMENTO E ORDENAMENTO AGRÁRIO - Boletim de solos, nº17, Lisboa, Secretaria de Estado da Agricultura, 1974.
- SHEEHY, J.E.; PEACOCK, J.M. - Canopy photosynthesis and crop growth rate of eight temperate forage grasses. "J. Exp. Bot.", 26, 1975, p.678-691.
- SHEESLEY, R.; GRIMES, D.W.; Mc CLELLAN, W.D.; SUMMERS, C.G.; MARBLE, V. - Influence of wheel traffic on yield and stand longevity of alfalfa. "California Agric.", 28, 1974, p.6-8.
- SILLS, M.J.; CARROW, R.N. - Soil compaction effects on nitrogen use in tall fescue. "J. Amer. Soc. Hort. Sci.", 107, 1982, p.934-937.
- SILVA, J.V. - Contribution for the study of root system development in coffee tree and cacao tree in some soils in São Tomé. "Estud. Agron.", 1) Lisboa, 1960, p.225-258.
- SIMPSON, J.R.; LIPPSETT, J. - Effects of surface moisture supply on the subsoil nutritional requirements of lucerne (Medicago sativa L.). "Aust. J. Agr. Res.", 24, 1973, p.199-209.
- SIMPSON, J.R.; PINKERTON, A.; LAZDOVSKIS, J. - Effects of subsoil calcium on the root growth of some lucerne genotypes (Medicago sativa L.) in acidic soil

- profiles. "Aust. J. Agric. Res.", 28, 1977, p.629-638.
- SIMPSON, J.R.; PINKERTON, A.; LAZDOVSKIS, J. - Interacting effects of subsoil acidity and water on the root behaviour and shoot growth of some genotypes of lucerne (Medicago sativa L.). "Aust. J. Agric. Res.", 30, 1979, p.609-619.
- SMITH, D. - Root branching of alfalfa varieties and strains. "Agron. J.", 43, 1951, p.573-575.
- SMITH, D.; NELSON, C.J. - Physiological considerations in forage management, in "Forages", 4^a ed., Ames, Iowa State University Press, 1985, p.326-337.
- SNAYDON, R.W. - The effect of total water supply, and of frequency of application, upon lucerne. I- Dry matter production. "Aust. J. Agric. Res.", 23, 1972, p.239-251.
- SOLTNER, D. - Les grandes productions végétales, 12^a ed., Sainte-Gemmes - Sur-Loire, Collection Sciences et Techniques Agricoles, 1982.
- SOUSA, E.C. - Ciclo hidrológico. Huambo, Faculdade de Ciências Agrárias, 1979.
- SPENCER, K.; HELY, F.W. - Shoot and root responses to phosphorus by Trifolium ambiguum and Trifolium repens in a montane environment. "New Zealand J. Agric. Res.", 25, 1982, p.77-85.
- SPRENT, J.I. - Water deficits and nitrogen-fixing root nodules, in "Water Deficits and Plant Growth", New York, Academic Press, 1976, p.291-313.

- SPRENT, J.I. - The biology of nitrogen-fixing organisms.
London, McGraw-Hill Book Company, 1979.
- STEEN, E.- Root and rhizome dynamics in a perennial grass crop during an annual growth cycle. "Swedish J. Agric. Res.", 15, 1985, p.25-30.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. - Predicting effects of water shortage on crop yield. "J. Irri. Drain. Div.", 95, 1969, p.91-104.
- STEWART, R.L.; TURNER, A.K.; WILSON, J.H. - Growth of subterranean clover when subirrigated from water tables at different depths. "Aust. J. Soil Res.", 18, 1980, p.75-83.
- STUCKEY, I.H. - Seasonal growth of grass roots. "Am. J. Bot." 28, 1941, p.486-491.
- TANNER, C.B. - Transpiration efficiency of potato. "Agron. J.", 73, 1981, p.59-64.
- TACKETT, J.L.; PEARSON, R.W. - Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores "Soil Sci. Am. Proc.", 28, 1964, p.600-605.
- TAYLOR, H.M. - Root behaviour as affected by soil structure and strength, in "The Plant Root and its Environment", Charlottesville, University of Virginia Press, 1974, p.271-291.
- TAYLOR, H.M. - Modifying root systems of cotton and soybean to increase water absorption, in "Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress", New York, John Wiley and Sons, 1980, p.75-84.

- TAYLOR, H.M. - Managing root systems for efficient water use: An overview, in "Limitations to Efficient Water Use in Crop Production", Madison, American Society of Agronomy, 1983, p.87-113.
- TAYLOR, H.M.; ARKIN, G.F. - Root zone modification: Fundamentals and alternatives, in "Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981, p.3-17.
- TAYLOR, H.M.; BRUCE, R.R. - Effects of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States. "9th Int. Congress Soil Sci.", 1, 1968, p.803-811.
- TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. - Use of wax substrates in root penetration studies. "Soil Sci. Soc. Am. Proc.", 24, 1960, p.79-81.
- TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. - Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. "Soil Sci.", 96, 1963, p.153-156.
- TAYLOR, H.M.; HUCK, M.G.; KLEPPER, B. - Root development in relation to soil physical conditions, in "Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields". New York, Academic Press, 1972, p.57-77.
- TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. - Limitations to efficient water use in crop production. Madison, American Society of Agronomy, 1983.

- TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. - Rooting density and water extraction patterns for corn (Zea mays L.). "Agron. J.", 65, 1973, p.965-968.
- TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. - Water relations of cotton. I-Root growth and water use as related to top growth and soil water content. "Agron. J.", 66, 1974, p.584-588.
- TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. - Water uptake by cotton root systems: An examination of assumptions in the single root model. "Soil Sci.", 120, 1975, p.57-67.
- TAYLOR, H.M.; KLEPPER, B. - The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. "Adv. Agron.", 30, 1978, p.99-128.
- TAYLOR, H.M.; MATHERS, A.C.; LOTSPEICH, F.B. - Pans in Southern Great Plains soils. I-Why root-restricting pans occur. "Agron. J.", 56, 1964, p.328-332.
- TAYLOR, H.M.; TERRELL, E.E. - Rooting pattern and plant productivity, in "CRC Handbook of Agricultural Productivity", vol. I, Boca Raton, CRC Press, 1982, p.185-196.
- TEARE, I.D. - Water-use as affected by transpiring area and root system, in "The Belowground Ecosystem: A Synthesis of Plant-associated Process". Range Science Department Science Series 26, Colorado State University, 1977, p.227-238.
- TEARE, I.D.; KANEMASU, E.T.; POWERS, W.L. JACOBS, H.S. - Water-use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation and root distribution. "Agron. J.", 65, 1973, p.207-211.

- TENNANT, D. - A test of a modified line intersect method of estimating root length. "J. Ecol.", 63, 1975, p.995-1001.
- THOMPSON, T.E.; FICK, G.W. - Growth response of alfalfa to duration of soil flooding and to temperature. "Agron. J.", 73, 1981, p.329-332.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. - The water budget and its use in irrigation. USDA Water Yearbook of Agriculture, 1955.
- TORREY, J.C.; CLARKSON, D.T. - The development and function of roots. London, Academic Press, 1975.
- TORSSELL, B.W.R.; BEGG, J.E.; ROSE, C.W.; BYRNE, F.G. - Stand morphology of Townsville lucerne (Stylosanthes humilis). Seasonal growth and root development. "Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.", 8, 1968, p.533-543.
- TOVEY, R. - Consumptive use and yield of alfalfa in the presence of static water tables. "Tech. Bull. no 232", Nevada Agric. Exp. Stn., 1963.
- TOVEY, R. - Alfalfa growth as influenced by static and fluctuating water tables. "Trans. Am. Soc. Agric. Eng.", 17, 1964, p.310-312.
- TROUGHTON, A. - Further studies on the relationship between shoot and root systems of grasses. "J. Brit. Grass. Soc.", 15, 1960, p.41-47.
- TROUGHTON, A. - A comparison of five varieties of Lolium perenne with special reference to the relationship

- between the root and shoot systems. "Euphytica", 12, 1963, p.49-56.
- TROUGHTON, A. - Grass roots. "Welsh Plant Breeding Station Annual Report", 1973, p.87-99.
- TROUGHTON, A. - Relationship between the root and shoot systems of grasses, in "The Belowground Ecosystem: A Synthesis of Plant Associated Processes", Fort Collins, Colorado State University, 1977, p.39-51.
- TROUGHTON, A. - Length of life of grass roots. "Grass and Forage Sci.", 36, 1981a, p.117-120.
- TROUGHTON, A. - Root mass and distribution, in "Sward Measurement Handbook", Hurley, British Grassland Society, 1981b, p. 159-177.
- TROUGHTON, A. - Root-shoot relationships in mature grass plants, in "Structure and Function of Plant Roots", London, Nijhoff and Junk Publishers, 1981c, p.361-365.
- UENO, M.; YOSHIHARA, K. - Spring and summer root growth of some temperate-region grasses and summer root growth of tropical grasses. "J. Brit. Grass. Soc.", 22, 1967, p.148-152.
- UNGER, P.W.; ECK, H.V.; MUSICK, J.T. - Alleviating plant water stress, in "Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981, p.61-96.
- VALENTINE, I; BARLEY, K.P. - Effects of soil temperature and phosphorus supply on an annual grass and clover grown

- in monoculture and in mixed culture. "Plant and Soil", 44, 1976, p.163-177.
- VAN HOORN, J.W. - Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. "Neth. J. Agric. Sci.", 6, 1958, p.1-10.
- VAN SOEST, P.J. - Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, Oregon, O & B Books, Inc., 1982.
- VASCONCELOS, J.C. - Ervas forrageiras. Lisboa, D.G.S.A., 1962.
- VAZ, J.T. - O estudo do sistema radicular do cafeeiro em Angola. (Comunicações à 1ª Reunião Técnica FAO-CCTA sobre Café, Abidjan, 1960). Lisboa, Junta de Exportação do Café, 1961.
- VIETS Jr., F.G. - Increasing water use efficiency by soil management, in "Plant Environment and Efficient Water Use", Madison, American Society of Agronomy, 1966, p.259-274.
- VILLAX, E.J. - La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne occidentale. Rabat, Institut National de la Recherche Agronomique, 1963.
- VOORHEES, W.B.; ALLMARAS, R.R.; JOHNSON, C.E. - Alleviating temperature stress, in "Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress", St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981, p.217-266.
- VOORHEES, W.B.; CARLSON, V.A.; HALLAUER, E.A. - Root length measurement with a computer-controlled digital

- scanning microdensitometer. "Agron. J.", 72, 1980, p.847-851.
- WALKER, J.M. - One-degree increments in soil temperatures affect maize seedling behaviour. "Soil Sci. Soc. Am. Proc.", 33, 1969, p.729-736.
- WALKER, G.K.; RICHARDS, J.E. - Transpiration efficiency in relation to nutrient status. "Agron. J.", 77, 1985, p.263-269.
- WAREING, P.F. - Growth studies on woody species. I-Photoperiodism in first-year seedlings of Pinus silvestris. "Phys. Pl.", 3, 1950, p.258-276.
- WAREING, P.F. - Growth and its coordination in trees, in "Physiology of Tree Crops", London, Academic Press, 1970, p.1-21.
- WAREING, P.F.; PATRICK, J. - Source-sink relations and the partition of assimilates in the plant, in "Photosynthesis and Productivity in Different Environments", Cambridge, Cambridge University Press, 1975, p.481-499.
- WATKIN, B.R. - The performance of pasture species in Conterbury. "Proceedings of the New Zealand Grassland Association", 36, 1975, p.180-190.
- WATTS, W.R. - Leaf extension in Zea mays. II-Leaf extension in response to independent variation of the temperature of the apical meristem of the air around the leaves and of the root zone. "J. Exp. Bot.", 23, 1972, p.713-721.

- WATTS, W.R. - Soil temperature and leaf expansion in Zea mays. "Expl. Agric.", 9, 1973, p.1-13.
- WEAVER, J.E. - Root development of field crops. New York, McGraw-Hill Book Co., 1926.
- WEAVER, J.E. - Classification of root systems of forbs of grassland and a consideration of their significance. "Ecology", 39, 1958, p.393-401.
- WEAVER, J.E.; BRUNER, W.E. - Root development of vegetable crops. New York, McGraw-Hill Book Co., 1927.
- WEAVER, T. - Distribution of root biomass in Well-drained surface soils. "The American Midland Naturalist", 107, 1982, p.393-395.
- WELBANK, P.J.; GIBB, M.J.; TAYLOR, P.J.; WILLIAMS, E.D. - Root growth of cereal crops. "Rep. Roth. Exp. Stn.", 2, 1973, p.22-66.
- WESTBROOKS, F.E.; TESAR, M.B. - Tap root survival of ladino clover. "Agron. J.", 47, 1955, p.403-410.
- WHITEMAN, P.C. - Seasonal changes in growth and nodulation of perennial tropical pasture legumes in the field. II- Effects of controlled defoliation levels on nodulation of Desmodium intortum and Phaseolus atropurpurens. "Aust. J. Agric. Res.", 21, 1970, p.207-214.
- WHITTINGTON, W.J. - Root growth. London, Butterworths, 1969.
- WIERSUM, L.K. - The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. "Plant and Soil", 9, 1957, p.75-85.

- WILHELM, W.W.; MIELKE, L.N.; FENSTER, C.R. - Root development of winter wheat as related to tillage practice in Western Nebraska. "Agron. J.", 74, 1982, p.85-88.
- WILHELM, W.W.; NORMAN, J.M.; NEWELL, R.L. - Semiautomated X-Y-plotter-based method for measuring root lengths. "Agron. J.", 75, 1983, p.149-152.
- WILLIAMS, J.D. - Effects of root temperature on growth of four lines of subterranean clover. "Aust. J. Agric. Res.", 23, 1972, p.9-15.
- WILLIAMSON, R.E.; KRIZ, G.J. - Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and soil gaseous composition. "Transactions of the Amer. Soc. Agric. Eng.", 13, 1970, p.216-220.
- WILLIAMSON, R.E.; WILLEY, C.R. - Effect of depth of water table on yield of tall fescue. "Agron. J.", 56, 1964, p.585-588.
- YOUNG, D.J.B. - A study of the influence of nitrogen on the root weight and nodulation of white clover in a mixed sward. "J. Brit. Grass. Soc.", 93, 1958, p.106-114.
- ZARROUGH, K.M.; NELSON, C.J.; COUTTS, J.H. - Relationship between tillering and forage yield of tall fescue. I-Yield. "Crop Sci.", 23, 1983, p.333-337.
- ZOBEL, R.W. - The genetics of root development, in "The Development and Function of Roots", London, Academic Press, 1975, p.261-275.

NOTA FINAL

A autora deseja expressar o seu agradecimento a todos quantos contribuíram para a realização deste trabalho. De entre estes entende dever destacar, por o seu contributo ter sido relevante: o Prof. Cat. Carlos Martins Portas, do Departamento de Fitotecnia do Instituto Superior de Agronomia, que foi seu orientador, pelo estímulo, colaboração e revisão da dissertação; o Prof. Howard M. Taylor, do Department of Agronomy da Iowa State University e depois do Department of Plant and Soil Science da Texas Tech University, pela ajuda prestada na definição dos métodos utilizados e das características radicais observadas e posteriormente na discussão dos resultados; a Prof. Aux. Maria Ermelinda Lourenço, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, pelo estímulo e ajuda que sempre lhe dispensou; o Investigador Eng^o Agrónomo José Figueiredo Marques, da Estação Agronómica Nacional e os Eng^{os} Agrónomos Ricardo Serralheiro e Lino Lúcio, da Universidade de Évora, pelas sugestões que deram respectivamente nos capítulos da nodulação, do balanço da água no solo e da análise estatística de alguns dados; a Eng^a Téc. Agr. Helena Carolino e a Sr^a D. Bertina Souto, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, pela prestimosa ajuda no tratamento laboratorial das amostras de solo e de raízes; o Eng^o Carlos Silva Carvalho e funcionários dos serviços de

Reprografia da Universidade de Évora, pela ajuda dada no que se refere à impressão deste trabalho.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito das actividades da Linha de Investigação nº 5 do Centro de Ecologia Aplicada da Universidade de Évora.

O Instituto Nacional de Investigação Científica subsidiou as despesas de execução gráfica desta dissertação, ao abrigo do Decreto-lei nº 414/80.

Análise da variância do desenvolvimento radical das espécies estudadas, a diferentes profundidades e para várias épocas de corte.

1- Azevém italiano

Densidade radical

Origem da variação	1º ano			2º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,079	0,53 NS	5	0,358	0,91 NS
Profundidades	4	35,525	235,29 **	4	51,475	130,24 **
Erro (A)	20	0,151		20	0,395	
Cortes	4	12,796	47,52 **	3	3,813	11,65 **
Prof. x Cortes	16	3,330	12,37 **	12	4,377	13,37 **
Erro (B)	100	0,269		75	0,327	
Total	149			119		

Peso radical

Origem da variação	1º ano			2º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,007	2,41 NS	5	0,020	1,31 NS
Profundidades	4	0,348	123,40 **	4	1,663	107,33 **
Erro (A)	20	0,003		20	0,015	
Cortes	4	0,099	19,75 **	3	0,083	7,44 **
Prof. x Cortes	16	0,017	3,50 **	12	0,083	7,45 **
Erro (B)	100	0,005		75	0,011	
Total	149			119		

2 - Festuca alta

Densidade radical

Origem da variação	1º ano			2º ano			3º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,167	0,55 NS	5	1,042	2,21 NS	5	0,819	0,61 NS
Profundidades	5	36,396	119,40 **	5	74,039	156,99 **	5	218,750	162,26 **
Erro (A)	25	0,305		25	0,472		25	1,348	
Cortes	3	6,924	42,40 **	3	15,473	33,51 **	3	44,548	23,65 **
Prof. x Cortes	15	3,622	22,18 **	15	5,616	12,16 **	15	19,622	10,42 **
Erro (B)	90	0,163		90	0,462		90	1,844	
Total	143			143			143		

Peso radical

Origem da variação	1º ano			2º ano			3º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,002	0,48 NS	5	0,032	2,39 NS	5	0,014	0,36 NS
Profundidades	5	0,739	191,02 **	5	2,524	191,56 **	5	5,008	132,60 **
Erro (A)	25	0,004		25	0,013		25	0,038	
Cortes	3	0,222	43,56 **	3	1,049	47,26 **	3	1,169	34,11 **
Prof. x Cortes	15	0,070	13,76 **	15	0,403	18,16 **	15	0,349	10,20 **
Erro (B)	90	0,005		90	0,022		90	0,034	
Total	143			143			143		

3- Trevo branco

Densidade radical

Origem da variação	19 ano			29 ano			39 ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,027	0,31 NS	5	0,033	0,37NS	5	0,009	0,34NS
Profundidades	4	2,917	33,46 **	4	5,589	63,84**	4	6,871	271,66**
Erro (A)	20	0,087		20	0,088		20	0,025	
Cortes	4	0,615	13,88 **	4	0,468	7,49**	4	0,453	32,51**
Prof. x Cortes	16	0,209	4,71**	16	0,196	3,14**	16	0,230	16,52**
Erro (B)	100	0,044		100	0,062		100	0,014	
Total	149			149			149		

Peso radical

Origem da variação	19 ano			29 ano			39 ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,004	2,12 NS	5	0,015	1,05NS	5	0,001	0,84NS
Profundidades	4	0,061	31,35 **	4	0,980	68,96**	4	0,799	570,42**
Erro (A)	20	0,002		20	0,014		20	0,001	
Cortes	4	0,004	2,44 NS	4	0,044	4,83**	4	0,023	28,34**
Prof. x Cortes	16	0,004	2,53 **	16	0,017	1,87NS	16	0,019	23,45**
Erro (B)	100	0,002		100	0,009		100	0,001	
Total	149			149			149		

4- Trevo subterrâneo

Densidade radical

Origem da variação	1º ano			2º ano			3º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,066	0,53 NS	5	0,082	1,33NS	5	0,004	0,40NS
Profundidades	4	2,781	22,61 **	4	2,378	38,84**	4	2,055	215,14**
Erro (A)	20	0,123		20	0,061		20	0,010	
Cortes	1	0,019	0,16 NS	1	0,218	3,51NS	1	0,078	13,66**
Prof. x Cortes	4	0,112	0,95 NS	4	0,015	0,25NS	4	0,073	12,75**
Erro (B)	25	0,118		25	0,062		25	0,006	
Total	59			59			59		

Peso radical

Origem da variação	1º ano			2º ano			3º ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,002	0,89 NS	5	0,002	0,88NS	5	0,001	0,91NS
Profundidades	4	0,048	19,42 **	4	0,076	44,21**	4	0,044	62,62**
Erro (A)	20	0,002		20	0,002		20	0,001	
Cortes	1	0,001	0,04NS	1	0,003	1,34NS	1	0,003	3,57NS
Prof. x Cortes	4	0,001	0,49 NS	4	0,004	1,93NS	4	0,001	1,07NS
Erro (B)	25	0,003		25	0,002		25	0,001	
Total	59			59			59		

5- Luzerna

Densidade radical

Origem da variação	19 ano			29 ano			39 ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,037	0,87 NS	5	0,073	1,75NS	5	0,008	0,51NS
Profundidades	5	0,971	23,02 **	5	1,571	37,45**	5	0,775	51,48**
Erro (A)	25	0,042		25	0,042		25	0,015	
Cortes	3	0,377	6,81 **	5	0,223	6,69**	5	0,054	4,79**
Prof. x Cortes	15	0,112	2,02 **	25	0,149	4,48**	25	0,022	1,95**
Erro (B)	90	0,055		150	0,033		150	0,011	
Total	143			215			215		

Peso radical

Origem da variação	19 ano			29 ano			39 ano		
	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F	g.l.	Q.M.	F
Repetições	5	0,002	0,76 NS	5	0,012	1,29NS	5	0,019	2,00NS
Profundidades	5	0,038	18,99 **	5	0,225	25,31**	5	0,188	19,73**
Erro (A)	25	0,002		25	0,009		25	0,010	
Cortes	3	0,038	10,37**	5	0,064	5,38**	5	0,080	6,73**
Prof. x Cortes	15	0,007	1,83*	25	0,025	2,09**	25	0,021	1,76*
Erro (B)	90	0,004		150	0,012		150	0,012	
Total	143			215			215		

ERRATA

pág.	linha	onde se lê	leia-se
8	17	dando	dão
13	9	memos	mesmos
43	24	resgistava	registava
43	25	ascenção	ascensão
50	16	selecionadas	seleccionadas
51 e 52	2	Obejctivo	Objectivo
53	22	correlacção	correlação
60	11	pastoreiro	pastoreio
65	12 e 13	do solo, respectivamente	do solo e com a combinação deste com os níveis de azoto e de fósfo ro no solo, res- pectivamente
103	6,20,22,24	Ca Co ₃	Ca CO ₃
118	6	que a valores	que mesmo para valores
173	9	0-10 cm	0-12 cm
179	25	que aproximam	que se aproximam
180	11 e 12	Para o presente caso, em que no terceiro ano o nível de água fornecida ao solo foi de 1337 mm e em época de colheita	Para o presente caso, durante o terceiro ano e em época de colheita
196	23	sombramento	sombreamento