

**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias

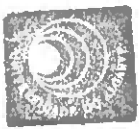
**ESTUDO COMPARATIVO DOS MECANISMOS DE RESISTÊNCIA À  
SECURA DE ALGUNS PORTA-ENXERTOS DO GÉNERO *PRUNUS*  
E SUA APLICAÇÃO AO MELHORAMENTO**

**Maria Alcinda dos Ramos das Neves**

**Faro**  
**1997**



**TESES**  
**SD**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias

**ESTUDO COMPARATIVO DOS MECANISMOS DE RESISTÊNCIA À  
SECURA DE ALGUNS PORTA-ENXERTOS DO GÉNERO *PRUNUS* E  
SUA APLICAÇÃO AO MELHORAMENTO**

**Maria Alcinda dos Ramos das Neves**

Dissertação apresentada na Universidade do Algarve  
para efeito de prestação de provas de doutoramento.

**Faro**  
**1997**

UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO

51298 | 22310

61112

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro dos Programas CIÊNCIA (Contrato BD/1686/91-IE) e PRAXIS XXI (Contrato BD/3844/94) da Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT).

## Agradecimentos

Expressamos o nosso grande reconhecimento a todos os que directa ou indirectamente contribuíram para a sua realização deste trabalho, designadamente:

Ao antigo Reitor Prof. J. Montalvão Marques e ao Conselho Científico da Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias da Universidade do Algarve pela aprovação do estágio fora do País.

Ao Doutor P.G. Schoch, Director do “INRA - Centre de Reherches Agronomiques d’Avignon”, pelas disponibilidades que me foram concedidas e por ter aceite a responsabilidade de me orientar neste trabalho.

Ao Doutor J.-G. Huguet, Investigador do INRA - Avignon, pela cedência de equipamento no domínio da micromorfometria e pelo valioso apoio no acompanhamento dos trabalhos e conselhos e sugestões apresentados.

Aos Directores da “Station de Recherches Fruitières Méditerranéennes” onde o trabalho experimental foi executado e, também, aos elementos desta Estação que me auxiliaram, nomeadamente à equipa do “Laboratoire Porte-Greffes”, membros do Secretariado e Serviços de Documentação e ao pessoal dos Domínios Experimentais de St. Paul e de l’Amarine.

Ao meu marido, Prof. Fernando Reis Cunha, pelo contínuo e inestimável apoio que me deu ao longo de todo o trabalho.

Ao Prof. Eugénio Araújo Faria pelo apoio que me concedeu enquanto Presidente da Comissão Instaladora da Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias.

Ao Prof. José Peixoto Teixeira Leitão pelas valiosas sugestões apresentadas na revisão deste trabalho.

Ao Prof. Miguel Pereira Coutinho pelos úteis conselhos e amizade que sempre me distinguiu.

## RESUMO

Neste trabalho estudou-se o comportamento de porta-enxertos de *Prunus* com diferente sensibilidade ao déficit hídrico, enxertados e não enxertados, a fim de identificar algumas características com interesse para a aplicação à selecção de porta-enxertos adaptados a condições hídricas limitantes.

Ao nível do sistema aéreo, os porta-enxertos resistentes (GF 677 e amendoeiras) apresentaram relativamente ao porta-enxerto sensível (GF 305) desenvolvimento foliar mais rápido no início do ciclo vegetativo, abrandamento do crescimento no decurso do ciclo vegetativo, menor número de ramos por planta e menor área foliar, ramos mais grossos, folhas mais pequenas e espessas, com mais tecido de parênquima de paliçada e com alto teor de clorofila, maior produção de biomassa e repartição da matéria seca na planta proporcionalmente maior nos ramos que nas folhas. Os valores da condutância estomática foram, em geral, mais altos e o potencial hídrico durante o período diurno mais baixo do que no porta-enxerto sensível. Devido ao efeito complementar da área foliar e da condutância estomática, a perda de água por planta não foi muito diferente entre os dois génotipos GF 677 e GF 305 embora variável ao longo do período vegetativo em função do ritmo de crescimento. A diferença de temperatura entre as folhas e o ar foi, em geral, menor nos porta-enxertos resistentes nas plantas bem regadas, apresentando boa correlação com a condutância estomática.

Ao nível radicular, os génotipos resistentes apresentaram, em geral, maior número de raízes grossas, maior desenvolvimento em profundidade e grande plasticidade fenotípica em relação com as condições do meio.

A influência dos porta-enxertos numa variedade de amendoeira neles enxertada apresentou-se relacionada com as características observadas no sistema aéreo dos porta-enxertos. Assim, as amendoeiras enxertadas no porta-enxerto resistente apresentaram maior crescimento e produção de matéria seca, menor SLA, valores mais baixos de potencial hídrico e, surpreendentemente, condutância estomática inferior às amendoeiras enxertadas no porta-enxerto sensível. A eficiência da utilização da água, a julgar pela discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  foi maior nas amendoeiras enxertadas no porta-enxerto mais resistente.

Foi posto em evidência o interesse da microvariação do diâmetro do tronco para a descrição do estado hídrico das plantas relativamente ao potencial hídrico, parâmetro geralmente utilizado para esse efeito.

Nos porta-enxertos estudados a resistência à secura encontra-se relacionada com numerosas características sendo particularmente interessantes para o melhoramento de porta-enxertos de *Prunus* algumas de fácil observação e de grande relevo no comportamento das plantas como o padrão de crescimento estacional, a produção de biomassa, a SLA, a capacidade de crescimento e grau de ramificação das raízes, a profundidade e volume do sistema radicular, aspectos anatómicos das folhas e dos caules e a temperatura das folhas.

## ABSTRACT

The behaviour of grafted and non grafted *Prunus* rootstocks with different water stress resistance were studied to identify some characteristics for plant breeding in restrictive water conditions.

In the plant aerial system the water stress resistant rootstocks (GF 677 and almond trees) were compared with the sensitive one (GF 305). The first two showed a faster leaf development in the beginning of the growing season but decreasing afterwards, a less number of branches and leaf area, thicker branches and thicker and small leaves with more palisade parenchyma and higher chlorophyll content, bigger biomass production and proportionally larger amount of dry matter in branches than in leaves, and, also, in general, higher leaf conductance and low leaf water potential. Due the complementary effect of leaf area and leaf conductance the differences of plant water losses of genotypes GF 677 e GF 305 were small, although varying along the growing season. The differences between leaf and air temperatures were generally less in the water resistant rootstocks with a good correlation with leaf conductance.

At the root system level, the resistant rootstocks showed, in general, a larger number of thick roots, deeper growing and great phenotypic plasticity in relation to the environmental conditions.

In the grafted plants, the rootstock influence in one almond variety, showed a relationship with some characteristics observed in aerial rootstocks systems. So, the almond trees grafted on a resistant rootstock had bigger vegetative growing and dry matter production, less SLA, lower water plant potential but, unexpectedly, less leaf conductance that those of almonds grafted on sensitive rootstocks. The water use efficiency based on the isotopic discrimination against  $^{13}\text{C}$  was bigger in the almonds on the resistant rootstock.

The interest of the stem diameter microvariation to describe the plant water behaviour was demonstrated in relation to leaf water potential, which is the parameter usually used.

In the rootstocks studied the water stress resistance is related to several characteristics some of them particularly interesting for *Prunus* rootstocks breeding programs, because they are of easy observation and very important to the plant behavior. They are the seasonal growth patten, biomass production, SLA, root growth potential and degree of ramification, profundity and volume of root system, leaf and stem anatomy and leaf temperature.

# ÍNDICE

## 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Interesse da produção frutícola no Algarve em condições de disponibilidade hídrica limitantes, em especial da amendoeira.....	1
1.2 - Efeitos do défice hídrico na produção vegetal, em especial nas espécies fruteiras. Mecanismos de resistência ou tolerância à secura.....	2
1.3 - Melhoramento de uma espécie fruteira em relação ao défice hídrico e o interesse da selecção de porta-enxertos resistentes.....	7
1.4 - Características do melhoramento de porta-enxertos. Caso particular da amendoeira.....	10
1.5 - Objectivos do trabalho e linhas de investigação escolhidas.....	13

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Material vegetal.....	16
2.2 - Características gerais climáticas e edáficas dos locais de experimentação.....	17
2.3 - Dispositivos experimentais.....	17
2.3.1 - Resistência ao défice hídrico em dois porta-enxertos do género <i>Prunus</i> (sistema aéreo).....	18
2.3.2 - Influência do porta-enxerto nas características de uma variedade de amendoeira.....	21
2.3.3 - Características dos sistemas aéreo e radicular de jovens <i>Prunus</i> em estufa.....	23
2.3.4 - Características dos sistemas aéreo e radicular de jovens <i>Prunus</i> em viveiro.....	26
2.4 - Métodos.....	29
2.4.1 - Medições do crescimento e da área foliar.....	29
2.4.2 - Pesagens dos vasos.....	29
2.4.3 - Microvariação do diâmetro do caule.....	29
2.4.4 - Medição do potencial hídrico.....	29
2.4.5 - Medição da condutância estomática.....	30
2.4.6 - Extracção e determinação do teor de clorofila.....	30
2.4.7 - Determinação do número de estomas.....	31
2.4.8 - Observações anatómicas.....	31
2.4.9 - Medição da temperatura das folhas.....	32
2.4.10 - Propriedades ópticas das folhas.....	33
2.4.11 - Discriminação isotópica em relação ao $^{13}\text{C}$ .....	34
2.4.12 - Determinação da área específica das folhas.....	35
2.5 - Tratamento estatístico dos dados.....	35

## 3 - RESISTÊNCIA AO DÉFICE HÍDRICO DE DOIS PORTA-ENXERTOS DO GÉNERO

<i>PRUNUS</i> (SISTEMA AÉREO).....	36
3.1 - Evolução do estado hídrico das plantas durante o período experimental.....	36
3.1.1 - Condições meteorológicas durante o período do ensaio.....	36
3.1.2 - Evolução do estado hídrico das plantas através da microvariação do diâmetro dos caules.....	38



3.1.3 - Evolução do estado hídrico com base na variação do peso dos vasos (1992).....	43
3.2 - Crescimento e produção de biomassa.....	45
3.2.1 - Aspectos gerais.....	45
3.2.2 - Desenvolvimento foliar.....	45
3.2.2.1 - Emissão foliar.....	45
3.2.2.2 - Evolução do crescimento foliar nos ramos.....	49
3.2.3 - Crescimento dos ramos.....	53
3.2.4 - Estimativa da área foliar.....	56
3.2.5 - Diâmetro dos caules e produção de biomassa.....	58
3.2.6 - Observações do crescimento dos porta-enxertos GF 305, GF 677 e Garrigues em viveiro (l'Amarine).....	61
3.2.7 - Discussão e conclusões.....	65
3.3 - Parâmetros hídricos e condutância estomática.....	70
3.3.1 - Aspectos gerais.....	70
3.3.2 - Comparação entre os porta-enxertos com base nos valores médios por grupo.....	71
3.3.2.1 - Microvariação do diâmetro do tronco.....	71
3.3.2.2 - Potencial hídrico.....	72
3.3.2.3 - Condutância estomática.....	75
3.3.2.4 - Relações entre a condutância estomática e o potencial hídrico.....	76
3.3.3 - Comparação entre os porta-enxertos quanto à evolução de diversos parâmetros durante um período de 11 dias.....	78
3.3.3.1 - Metodologia.....	78
3.3.3.2 - Microvariação de diâmetro do tronco.....	81
3.3.3.3 - Potencial hídrico.....	85
3.3.3.4 - Condutância estomática.....	90
3.3.3.5 - Perda de água das plantas.....	91
3.3.3.6 - Relação entre a microvariação do diâmetro do tronco e o potencial hídrico.....	96
3.3.3.7 - Relação entre o potencial hídrico e a condutância estomática.....	100
3.3.3.8 - Relação entre o potencial hídrico e a perda de água.....	102
3.3.3.9 - Relação entre a condutância estomática e a perda de água.....	103
3.3.4 - Discussão e conclusões.....	104
3.4 - Características funcionais e anatómicas das folhas e dos caules com interesse na adaptação das plantas à secura.....	108
3.4.1 - Aspectos gerais.....	108
3.4.2 - Número de estomas.....	111
3.4.3 - Área média das folhas.....	112
3.4.4 - Área específica da folha.....	113
3.4.5 - Teor de clorofila.....	114
3.4.6 - Características anatómicas dos caules.....	117
3.4.7 - Características anatómicas das folhas.....	119
3.4.8 - Discussão e conclusões.....	122
3.5 - Temperatura das folhas.....	128
3.5.1 - Aspectos gerais.....	128
3.5.2 - Resultados.....	128
3.5.3 - Discussão e conclusões.....	133
3.6 - Propriedades ópticas das folhas.....	137

3.6.1 - Aspectos gerais.....	137
3.6.2 - Resultados.....	139
3.6.3 - Discussão e conclusões.....	142
3.7 - Discriminação isotópica em relação ao <sup>13</sup> C.....	145
3.7.1 - Aspectos gerais.....	145
3.7.2 - Resultados e discussão.....	146
4 - INFLUÊNCIA DO PORTA-ENXERTO NAS CARACTERÍSTICAS DE UMA VARIEDADE DE AMENDOEIRA.....	147
4.1 - Aspectos gerais.....	147
4.2 - Condições experimentais.....	148
4.3 - Crescimento e produção de biomassa.....	149
4.3.1 - Medições.....	149
4.3.2 - Crescimento dos ramos principais.....	149
4.3.3 - Características das ramificações antecipadas.....	149
4.3.4 - Produção de biomassa das amendoeiras em função do porta-enxerto Sua relação com o diâmetro e o comprimento dos ramos.....	151
4.4 - Potencial hídrico e condutância estomática.....	153
4.4.1 - Ciclo experimental de 1993.....	153
4.4.2 - Ciclo experimental de 1994.....	156
4.5 - Área específica da folha e teor de clorofila.....	161
4.6 - Discriminação isotópica em relação ao <sup>13</sup> C.....	161
4.7 - Discussão e conclusões.....	162
5- CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DO SISTEMA RADICULAR DE JOVENS <i>PRUNUS</i> . RELAÇÕES COM O SISTEMA AÉREO.....	167
5.1 - Aspectos gerais.....	167
5.2 - Plantas cultivadas em recipientes de parede transparente.....	170
5.2.1 - Condições gerais de experimentação.....	170
5.2.2 - Observações realizadas durante o ensaio.....	170
5.2.3 - Observações no fim do período experimental.....	177
5.2.4 - Conclusões do ensaio.....	180
5.3 - Plantas cultivadas em tubos.....	181
5.4 - Observações de plantas em viveiro.....	184
5.4.1 - Considerações gerais.....	184
5.4.2 - Escavação de raízes.....	184
5.4.3 - Observação das raízes em perfis do solo.....	189
5.4.3.1 - Considerações gerais.....	189
5.4.3.2 - Perfis a 85 cm da linha de plantação.....	190
5.4.3.3 - Perfis a 35 cm da linha de plantação.....	192
5.4.3.4 - Conclusões.....	194
5.4.4 - Discussão e conclusões do estudo das raízes.....	195
6 - SÍNTESE E CONCLUSÕES GERAIS.....	198

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\alpha$	Absorvidade
$\Delta$	Discriminação isotópica em relação ao $^{13}\text{C}$
$\psi$	Potencial hídrico foliar
$\rho$	Reflectividade
$\tau$	Transmissividade
A	Amendoeira
A/H	Amendoeiras enxertadas no híbrido GF 677
A/P	Amendoeiras enxertadas no pessegueiro GF 305
ABA	Ácido abcísico
ACD	Amplitude de contracção diária dos órgãos vegetais
$A_f$	Área das folhas
$\text{Clo}A_f$	Teor de clorofila por unidade de área foliar
$\text{Clo}P_s$	Teor de clorofila por unidade de peso seco
DS	Défice de saturação de vapor de água
ED	Evolução diária do diâmetro do caule
$g_s$	Condutância estomática
H	Híbridos GF 677
HD	Híbridos GF 677 submetidos ao tratamento seco
HR	Híbridos GF 677 bem regados
P	Pessegueiros GF 305
PD	Pessegueiros GF 305 submetidos ao tratamento seco
PMA	Perda máxima de água
PR	Pessegueiros GF 305 bem regados
PRA	Perda real de água
$P_{sa}$	Peso seco da parte aérea das plantas
$P_{sr}$	Peso seco das raízes
SLA	Área específica da folha
$SLA_d$	Área específica de discos foliares
T1	Plantas sempre bem regadas
T2	Plantas inicialmente bem regadas mas sujeitas a défice hídrico a partir de Agosto
T3	Plantas inicialmente sujeitas a défice hídrico mas regadas a partir de Agosto
T4	Plantas continuamente submetidas a défice hídrico
$T_a$	Temperatura do ar
TD	Tratamento seco
$T_f - T_a$	Diferença de temperatura entre as folhas e o ar
$T_f$	Temperatura das folhas
TR	Tratamento bem regado
TU	Tempo universal

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - Interesse da produção frutícola no Algarve em condições de disponibilidade hídrica limitantes, em especial da amendoeira.

O Algarve, região semi-árida, compreende uma paisagem agrícola, em sequeiro, na qual predominam espécies arbóreas e arbustivas muito resistentes à aridez como a amendoeira (*Prunus dulcis* L.), a figueira (*Ficus carica* L.), a alfarrobeira (*Ceratonia siliqua* L.), a oliveira e o zambujeiro (*Olea europea* L.), e entre as espécies da flora espontânea, a azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.), o medronheiro (*Arbutus unedo* L.), a aroeira (*Pistacia lentiscus* L.) e o carrasco (*Quercus coccifera* L.).

Do ponto de vista agrícola, o cultivo de espécies arbóreas adaptadas a condições de défice hídrico, apresenta em relação ao cultivo de espécies arvenses, em geral, maior estabilidade interanual das produções face a um ambiente climático caracterizado por uma grande irregularidade da precipitação.

Embora o aproveitamento total dos recursos hídricos regionais e o uso de técnicas de rega adequadas possam permitir, em princípio, um aumento significativo da área regada no Algarve, as características climáticas de semi-aridez da região, com precipitação bastante irregular e ocorrência de períodos de anos secos, condicionam a extensão do regadio e comprometem os rendimentos das culturas. É, assim, evidente a necessidade de dispor de alternativas agrícolas para a região, quer através de culturas de sequeiro, quer de culturas que embora regadas se adaptem a condições de disponibilidades de rega muito variáveis de ano para ano. Para ambas as situações, são necessárias espécies e variedades capazes do melhor aproveitamento dessas condições ambientais.

A amendoeira, espécie tradicional do pomar de sequeiro algarvio, é não só capaz de satisfazer esses condicionalismos, como é uma espécie cuja produção é deficitária na União Europeia onde o seu consumo apresenta um aumento contínuo nos últimos anos. Por isso, num contexto marcado pelos excedentes de vários produtos agrícolas, trata-se de uma espécie com boas perspectivas de comercialização, inclusive no mercado nacional.

O estado actual de abandono generalizado do amendoal algarvio, a quase totalidade de sequeiro, demonstra, no entanto, que as técnicas de cultivo tradicionais não permitem uma rentabilidade económica aceitável. Nesta situação, eventuais medidas de incentivo ao cultivo da amendoeira devem ser acompanhadas da proposição de novas técnicas de produção, de acordo com as exigências da agricultura moderna e, estas, capazes de garantir a melhor utilização do principal factor limitante da produtividade nessas condições climáticas que é a água.

Em particular, o melhoramento de plantas é uma das estratégias fundamentais para o aumento da produção em condições ambientais adversas para as plantas, como seja, o défice hídrico do solo, sendo a utilização de material vegetal seleccionado tão importante

como a adopção de práticas culturais adequadas às condições do meio, nomeadamente no que respeita aos compassos de plantação, poda, fertilização, aplicação racional dos recursos hídricos disponíveis para rega e os trabalhos de preparação do solo.

## **1.2 - Efeitos do défice hídrico na produção vegetal, em especial nas espécies fruteiras. Mecanismos de resistência ou de tolerância à secura.**

### **a) Efeitos do défice hídrico**

O efeito do défice hídrico nas plantas manifesta-se por diferentes aspectos, quer no comportamento global do indivíduo, quer em alterações metabólicas e fisiológicas que se exprimem nos vários órgãos das plantas ou ao nível dos processos celulares.

A principal consequência do défice hídrico na planta é a redução do desenvolvimento vegetativo e da produção. Estes aspectos estão abundantemente relatados na bibliografia em relação à generalidade de espécies fruteiras e nomeadamente nas prunóideas, como no damasqueiro (*Prunus armeniaca*) (Brown, 1953), no pessegueiro (*Prunus persica*) (Proebsting e Middleton, 1980; Rieger e Duemmel, 1992) e na amendoeira (Castel e Fereres, 1982; Torrecillas *et al.*, 1989 a).

A limitação do desenvolvimento vegetativo em condições de défice hídrico é, principalmente, uma consequência da alteração dos fenómenos de crescimento ao nível celular (Hsiao, 1973), que provocam uma redução importante da área foliar devido à diminuição das dimensões das folhas e da planta.

O crescimento dos órgãos vegetais é a resultante de vários processos, como seja, a divisão, a diferenciação e a expansão celular. No caso das folhas, o primeiro processo determina a sua área potencial, mas esta só é atingida quando a expansão celular ocorre normalmente.

A expansão foliar é considerado o processo mais sensível ao défice hídrico. A dependência entre a expansão foliar e o estado hídrico da planta tem sido explicado pela acção directa da pressão de turgescência naquele processo (Cosgrove, 1986).

A redução da área foliar das plantas em condições de défice hídrico pode ser também provocada por fenómenos como a queda de folhas durante o ciclo vegetativo, a desfoliação antecipada das plantas no Outono e o enrolamento das folhas. Todos estes aspectos foram observados nas prunóideas (Day, 1953; El-Sharkawi e El-Monayeri, 1976; Proebsting e Middleton, 1980; Castel e Fereres, 1982).

Além da redução da área foliar, outros factores afectam a produção em condições de défice hídrico. Nas árvores fruteiras são muito importantes os efeitos do défice hídrico na diferenciação floral e no vingamento e queda dos frutos, aspectos documentados por vários autores (Brown, 1953; Hartmann e Panetsos, 1961; Brun *et al.*, 1985), assim como na redução do calibre dos frutos (Brown, 1953).

Nas plantas em défice hídrico verifica-se, em geral, redução da taxa fotossintética por unidade de área foliar sendo este aspecto principalmente atribuído à diminuição da condutância estomática em condições de défice hídrico moderado ou suave (Cornic *et al.*, 1987). Resultados concordantes foram obtidos nas espécies fruteiras (Tan e Buttery, 1982; Xiloyannis *et al.*, 1988; Lakso, 1979), nomeadamente na amendoeira e no pessegueiro (Castel e Fereres, 1982; Hand *et al.*, 1982). A relação entre a condutância estomática e o défice hídrico parece estar dependente, em certos casos, de um teor hídrico crítico nos tecidos (West e Gaff, 1976; Lakso, 1979), mas a espécie, o estado vegetativo da planta e as condições ambientais têm um papel importante nessa relação.

Em condições de défice hídrico severo, a limitação não estomática da actividade fotossintética foi demonstrada nas plantas lenhosas por Bunce (1977) e Briggs *et al.* (1986), entre outros. No entanto, alguns autores (Downton *et al.*, 1988; Kozłowski *et al.* 1991) sugerem que a análise de resultados desse tipo deve ser feita tendo em consideração a pouca precisão das técnicas utilizadas para a medição da fotossíntese nos trabalhos mais antigos. A redução não estomática da fotossíntese pode ser devida a factores como o decréscimo da actividade enzimática, em particular da ribulose bifosfato carboxilase oxigenase (Vu e Yelenovsky, 1988) e a redução da eficiência do transporte de electrões, da fotofosforilação e do teor de clorofila (Alberte e Thornber, 1977).

A produção das plantas em ambientes caracterizados pelo défice hídrico, além dos factores já referidos, é também condicionada pelo consumo dos produtos fotossintéticos na respiração e fotorrespiração, assim como pela repartição dos fotoassimilados nos diferentes órgãos da planta, nomeadamente entre os tecidos fotossintéticos e não fotossintéticos (Passioura, 1982).

Quanto à respiração, os efeitos do défice hídrico não são bem conhecidos. Se em certos casos se observa um decréscimo da taxa de respiração associada à redução dos processos de crescimento e à diminuição da actividade metabólica, noutros casos verifica-se um aumento da taxa de respiração em consequência de fenómenos de senescência, de aumento da temperatura foliar e de outros aspectos (Hanson e Hitz, 1982; Passioura, 1982; McCree, 1986). Pelo contrário, a fotorrespiração parece contribuir nas espécies lenhosas para a adaptação das plantas ao défice hídrico, como sugerem os trabalhos de Bunce e Miller (1976).

O défice hídrico está geralmente associado a aumento da proporção das raízes relativamente à parte aérea (Passioura, 1982; Ranney *et al.*, 1990; Fabião *et al.*, 1995). Uma possível explicação para este fenómeno foi apresentada por Hsiao e Acevedo (1974) sendo esse comportamento devido à maior sensibilidade do crescimento do que a fotossíntese ao défice hídrico e, como consequência, a um aumento da disponibilidade dos fotoassimilados na planta, os quais seriam então utilizados pelas raízes.

O défice hídrico é responsável também por numerosas alterações metabólicas, quer associadas à produção de substâncias protectoras dos tecidos vegetais em relação a esse factor de *stress*, quer como consequência do mau funcionamento dos processos

metabólicos normais. Entre os produtos acumulados pelas plantas em déficit hídrico é muito comum a prolina, como foi observado, por exemplo, nos citrinos (Levy, 1983). Embora tenham sido discutidos numerosos processos nos quais este metabolito pode ter um papel significativo na resposta da planta ao déficit hídrico (Stewart e Hanson, 1980), a sua função na célula ainda não está completamente elucidada.

O metabolismo do azoto é igualmente afectado pelo déficit hídrico, em particular a actividade da nitrato reductase (Hanson e Hitz, 1982).

O déficit hídrico está, ainda, associado ao incremento da produção de certos reguladores de crescimento, em particular do ácido abscísico (ABA) (Davies *et al.*, 1986; Voesenek e van der Veen, 1994). Por exemplo, Xiloyannis *et al.* (1980) observaram no pessegueiro que a produção de ABA em árvores não regadas chega a duplicar em relação às plantas testemunha. Contudo, apesar da influência do ABA em vários processos determinantes da resposta da planta ao déficit hídrico, como a condutância estomática, a relação entre a presença de ABA e o funcionamento da planta nestas condições ainda não está devidamente esclarecida.

#### **b) Mecanismos de resistência ou tolerância ao déficit hídrico**

Os mecanismos de resistência ao déficit hídrico nas plantas têm sido documentados extensivamente nas culturas herbáceas e em menor extensão nas árvores (Rieger e Duemmel, 1992). Nas plantas lenhosas, a adaptação ao déficit hídrico depende de mecanismos que retardam a carência de água na planta, como o aumento da absorção hídrica ou a limitação das perdas de água, e de mecanismos que permitem à planta tolerar os efeitos nocivos da desidratação dos tecidos (Kozłowski *et al.*, 1991).

A presença de um sistema radicular capaz de explorar um grande volume de solo é de grande importância (Passioura, 1982; Kozłowski *et al.*, 1991). As características das raízes que favorecem a adaptação das plantas aos solos secos são numerosas, variando muito com as espécies e os tipos de solos. Em geral, o sistema radicular das plantas das regiões áridas apresentam em relação às plantas mesofíticas grande capacidade para se desenvolverem em profundidade, maior desenvolvimento, grande rapidez de crescimento nas primeiras fases de vida da planta, maior capacidade das raízes retomarem rapidamente o crescimento após um período de secura, e características anatómicas que lhes conferem protecção contra a dessecação e aumentam o seu poder absorvente e, por vezes, um papel importante como reservatório de água (Killian e Lemée, 1956).

A contribuição devida à presença de micorrizas, nomeadamente das ectomicorrizas, na exploração das reservas de água do solo tem sido sugerida como um factor favorável para a adaptação ao déficit hídrico em algumas espécies lenhosas (Dixon *et al.*, 1980; Feil *et al.*, 1988). Relativamente às associações normalmente encontradas nas espécies fruteiras (endomycorrizas), os seus efeitos benéficos para a planta são controversos, dado que estes fungos, ao contrário das ectomicorrizas, não contribuem para o aumento do volume do solo

explorado pelas raízes. No entanto, Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi (1983) citam vários trabalhos nos quais as plantas infectadas com endomicorrizas apresentavam maior tolerância a défices hídricos moderados do que as plantas não infectadas. A acção das endomicorrizas nessas condições foi atribuída a um aumento da condutividade hidráulica das raízes, além do melhor estado nutricional das plantas micorrizadas, em particular em fósforo e potássio. Em condições de défice hídrico severo, contudo, o consumo dos fotoassimilados devido à maior intensidade de transpiração das raízes micorrizadas pode ter efeitos negativos na economia da utilização da água pela planta. Não obstante, Mejsstrik e Cudlin (1983) observaram em numerosas espécies nas condições áridas do deserto da Argélia, crescendo no seu habitat natural, associações com endomicorrizas.

Características como a densidade radicular por unidade de volume de solo e a resistência ao fluxo hídrico, que condicionam a eficiência da absorção hídrica, têm também um papel na adaptação das plantas ao défice hídrico.

Ao nível do sistema aéreo, numerosas características morfológicas e funcionais influenciam a perda de água pelas folhas. Entre as primeiras, incluem-se a dimensão e a espessura das folhas (Cutler *et al.*, 1977; Nobel, 1980), o número, dimensões e características dos estomas, a presença de ceras ou de pêlos (Ludlow e Muchow, 1988; Ehleringher e Werk, 1986) e a espessura da cutícula e no segundo grupo, podem citar-se a regulação da abertura estomática, a orientação da folha face à luz incidente (Begg, 1980) e o enrolamento do limbo (Nilsen, 1987). Relativamente aos referidos aspectos foram encontradas relações evidentes com a resistência ao défice hídrico em grande número de espécies mas, noutros casos, essas relações não foram observadas.

No que se refere à redução da área foliar em condições de défice hídrico, provocada pela inibição do crescimento e outros fenómenos, é de notar que essa redução contribui para uma diminuição do consumo de água das plantas, embora à custa da sua produtividade. Assim, na amendoeira, Castel e Fereres (1982) observaram uma redução substancial do índice de área foliar efectiva com o défice hídrico, devido aos efeitos conjugados da desfoliação e do enrolamento do limbo. Considerando a notável adaptação desta espécie a períodos prolongados de secura, as vantagens adaptativas desse comportamento parecem evidentes.

Apesar dos aspectos morfológicos e estruturais terem um papel determinante para a adaptação a períodos prolongados de défice hídrico, como salienta Passioura (1982), o controlo do funcionamento estomático parece ser o principal mecanismo responsável pelas diferenças na perda de água entre genótipos de espécies afins adaptados a condições ecológicas semelhantes. Assim, Pallardy e Kozłowski (1979) observaram uma relação directa entre a transpiração e o funcionamento estomático de vários clones de *Populus*, independentemente das diferenças entre eles quanto ao número e dimensões dos estomas. Por seu lado, McCree e Richardson (1987) verificaram, entre espécies de ciclo anual com diferentes mecanismos de adaptação ao défice hídrico, o efeito muito positivo da regulação da condutância estomática no retardamento do ritmo de desidratação das plantas.



A regulação da condutância estomática é um mecanismo activo, que actua através de modificações da turgescência das células estomáticas, as quais dependem de processos metabólicos complexos que envolvem o metabolismo e movimento de iões inorgânicos. Os mecanismos pelos quais a regulação estomática reage ao défice hídrico do solo parecem ser mediados pelo potencial hídrico, embora outras hipóteses tenham sido propostas (Schulze, 1986). Alguns resultados experimentais põem em evidência uma acção directa do teor hídrico do solo, ou das raízes, sobre a condutância estomática, a qual poderia ser mediada pelos reguladores de crescimento, nomeadamente pelas citoquininas (Blackman e Davies, 1985; Turner, 1986). O aumento da concentração em ABA nas plantas em défice hídrico, parece desempenhar também um papel importante no funcionamento dos estomas (Davies *et al.*, 1986; Davies e Zhang, 1991).

Além da redução da condutância estomática com o défice hídrico, as plantas adaptadas aos ambientes secos apresentam padrões distintos na evolução diária dessa variável ao longo do período de crescimento, com grande relevo na economia de água, as quais estão na dependência de vários factores ambientais, externos e internos à planta (Lange, 1988). À medida que o défice hídrico do solo se acentua, as taxas máximas de condutância estomática e da fotossíntese observam-se progressivamente mais cedo durante o dia, seguidas de uma depressão acentuada durante as horas quentes e de forte intensidade evaporativa e da recuperação parcial no período da tarde.

A tolerância das plantas à desidratação é muito distinta entre as espécies e tem, provavelmente, um papel significativo na distribuição natural das espécies (Parker e Pallardy, 1985; Martin *et al.*, 1987).

Relativamente a outras fruteiras, a amendoeira é uma das mais resistentes à desidratação, nomeadamente quando se compara com espécies próximas como o pessegueiro e o damasqueiro (Oppenheimer, 1932 citado por Kozłowski *et al.*, 1991), factor que deve contribuir para a tolerância daquela espécie a condições de secura.

Entre os mecanismos fisiológicos que permitem às plantas suportar a desidratação, o ajustamento osmótico e as propriedades elásticas das paredes celulares são frequentemente referidos.

O ajustamento osmótico, considerado como o processo de acumulação activa de solutos em resposta ao défice hídrico e à salinidade (Turner e Jones, 1980), permite às plantas manter o potencial de turgescência a níveis superiores aos que se registariam na ausência deste fenómeno quando o potencial hídrico da planta baixa. Este fenómeno é comum em várias espécies, tanto herbáceas como lenhosas (Myers e Neales, 1986; Abrams, 1990; Vance e Zaerr, 1991), nomeadamente na amendoeira (Castel e Fereres, 1982), na macieira (Davies e Lakso, 1978; Lakso *et al.*, 1984; Wang e Stutte, 1992), no damasqueiro (Ruggiero *et al.*, 1988), na cerejeira (Ranney *et al.*, 1991 *a e b*), na videira (Rodrigues *et al.*, 1993) e, entre as espécies herbáceas, no morangueiro (Savé *et al.*, 1993).

As propriedades elásticas das paredes celulares podem ter, igualmente, alguma importância na tolerância à desidratação. As paredes com maior elasticidade permitem às

células adaptar o seu volume osmótico à medida que a desidratação aumenta, mantendo o potencial de turgescência positivo a potenciais hídricos inferiores aos que seriam observados se as células tivessem paredes mais rígidas (Cheung *et al.*, 1975; Tyree, 1976; Tyree e Jarvis, 1982 ).

Os estudos comparativos entre espécies lenhosas de ambientes com diferentes graus de xeromorfismo permitem caracterizar alguns mecanismos de resistência ao déficit hídrico. As espécies melhor adaptadas a este factor apresentam, em geral, relativamente às espécies menos bem adaptadas os seguintes aspectos:

- Taxas superiores de transpiração, de condutância estomática e de fotossíntese líquida;
- capacidade de manter a fotossíntese a valores de potenciais hídricos mais negativos;
- potenciais osmóticos no ponto de turgescência inferiores;
- maior proporção de raízes relativamente ao sistema aéreo;
- folhas mais pequenas e espessas, com maior massa por unidade de superfície;
- taxas de crescimento dos caules e de desenvolvimento foliar mais elevadas.

É de salientar a concordância entre os resultados obtidos a níveis de comparação muito distintos: entre espécies de diferentes géneros (Ni e Pallardy, 1991; Ranney *et al.*, 1990), entre espécies do mesmo género (Ranney *et al.*, 1991c; Myers e Landsberg, 1989), entre ecótipos de uma mesma espécie (Abrams *et al.*, 1990) ou, ainda, entre clones (Griffin *et al.*, 1991).

### **1.3 - Melhoramento de uma espécie fruteira em relação ao déficit hídrico e o interesse da selecção de porta-enxertos resistentes**

As plantas fruteiras são vulgarmente constituídas por dois genótipos, pertencendo o sistema radicular e uma pequena parte do tronco a um deles (porta-enxerto) e a restante parte aérea ao outro (variedade). Esta associação é indispensável devido à multiplicação vegetativa da grande maioria das variedades de fruteiras, em consequência da natureza heterozigótica de muitas espécies.

A utilização de porta-enxertos na produção frutícola apresenta várias vantagens, e alguns inconvenientes, dado a influência que o sistema radicular tem na expressão de numerosas características do sistema aéreo. Os principais aspectos positivos associados à utilização de um porta-enxerto são:

- Cultivo de uma variedade em solos nos quais o seu sistema radicular não está adaptado, nomeadamente a problemas de alcalinidade, acidez, salinidade, secura e baixas temperaturas do solo;
- resistência do sistema radicular do porta-enxerto a agentes patogénicos do solo, como os fungos e os nemátodos;

- resistência a pragas e doenças próprias da variedade e que também afectem o sistema radicular;
- modulação do nível de vigor da variedade;
- entrada em frutificação mais precoce;
- possibilidade de contornar fenómenos como a fadiga dos solos que impede, por vezes, a replantação de uma espécie no mesmo solo;
- influência positiva nas características qualitativas da variedade neles enxertada, como o calibre e a coloração dos frutos, o teor em açúcares, a época de maturação, etc.
- influência positiva sobre características do sistema aéreo da variedade como o tipo de ramificação e de frutificação com influência na condução do pomar (poda, colheita e outras operações de cultivo).

Os inconvenientes da utilização de porta-enxertos são devidos principalmente a eventuais fenómenos de incompatibilidade com a variedade neles enxertada, de origem viral ou de origem genética. No primeiro caso, a situação é facilmente ultrapassada com a utilização de material saudável enquanto a incompatibilidade genética é impossível de contornar. Como esta é, por vezes, muito lenta a exprimir-se, a sua identificação conduz a um aumento significativo da duração dos ciclos de selecção de novos porta-enxertos. Assim, um dos objectivos da investigação no domínio do melhoramento de porta-enxertos é o desenvolvimento de testes precoces para a detecção deste tipo de incompatibilidade. Outro problema associado à utilização de porta-enxertos é, por vezes, a indução de vigor excessivo na variedade neles enxertada e, como consequência, um atraso da maturação ou falta de coloração dos frutos. Além disso, alguns porta-enxertos têm uma tendência exagerada para a produção de ramos de origem radicular.

Actualmente, os progressos na técnica de multiplicação vegetativa através da cultura *in vitro* permitem a propagação de numerosas variedades de fruteiras por auto-enraizamento, em particular de pessegueiro e de macieira (Quamme e Brownlee, 1993). As principais vantagens desse tipo de material são a garantia de um bom estado sanitário e a ausência de fenómenos de incompatibilidade entre a variedade e o porta-enxerto ou de outros possíveis efeitos negativos induzidos pelo porta-enxerto. Contudo, a utilização de variedades auto-enraizadas é limitada a condições precisas de solos, de natureza físico-química e biológica, favoráveis ao desenvolvimento das raízes da variedade, além de que o número de variedades que é razoável multiplicar por esta via representa apenas uma pequena fracção das variedades utilizadas na fruticultura.

O melhoramento vegetal para a resistência ao défice hídrico na amendoeira pode ser conseguido pelo melhoramento das variedades e ou dos porta-enxertos. O melhoramento de porta-enxertos apresenta certas vantagens relativamente ao melhoramento varietal, em consequência dos aspectos a seguir descritos.

### **a) Variabilidade genética**

Ao nível dos porta-enxertos existe maior variabilidade genética do que entre as variedades devido à possibilidade de utilização directa como porta-enxerto de outras espécies além da amendoeira, assim como de vários híbridos interespecíficos. Além disso, a exploração da variabilidade genética no melhoramento vegetal é também mais fácil nos porta-enxertos na medida em que nestes interessam principalmente as características do sistema vegetativo, enquanto nas variedades temos de considerar ainda as características do sistema produtivo.

O género *Prunus* compreende numerosas espécies, agrupadas em 5 sub-géneros na classificação de Rheder (1947) referida por Watkins (1976). O centro de origem das espécies ancestrais, todas com um número básico de 8 cromossomas, situa-se na Ásia Central, a partir do qual teria havido importante difusão geográfica e consequente diferenciação evolutiva. A área de distribuição natural das espécies silvestres de amendoeiras, predominantemente nas montanhas pedregosas e áridas da Ásia Central e Ocidental (Kester e Asay, 1975), é indicativa do alto grau de adaptação destas espécies ao défice hídrico, apresentando algumas delas características nitidamente xeromórficas.

Contudo, as espécies muito resistentes ao défice hídrico são, frequentemente, plantas do tipo arbustivo com pouco vigor e de desenvolvimento muito lento, características desfavoráveis num porta-enxerto de utilização comercial. Com efeito, uma estratégia frequentemente desenvolvida pelas plantas das regiões áridas consiste na redução da área foliar com o objectivo de limitar as perdas de água pelo sistema aéreo. No entanto, apesar dessas características agronómicas desfavoráveis, algumas espécies podem ter interesse como fontes de certas características de resistência ao défice hídrico no melhoramento de porta-enxertos que não afectem o vigor da planta.

As hibridações entre espécies do género *Prunus* são geralmente fáceis no interior dos sub-géneros, dando origem a populações F<sub>2</sub> caracterizadas por grande segregação genética, nas quais é possível seleccionar algumas formas de tipo parental, embora predominem os indivíduos com um fenótipo intermédio em relação às características morfológicas dos progenitores (Kester e Asay, 1975).

### **b) Importância do porta-enxerto na alimentação hídrica das fruteiras**

A selecção de porta-enxertos na alimentação hídrica das fruteiras tem a vantagem de actuar directamente sobre as características do sistema radicular, principal órgão envolvido na resistência ou adaptação ao défice hídrico do solo, como se referiu.

A acção dos porta-enxertos na exploração dos recursos hídricos do solo encontra-se documentada em vários trabalhos. Nos *Prunus* tem particular interesse a publicação de Day (1953) que descreve, com base em numerosas observações, o comportamento das principais espécies cultivadas em condições de secura conforme o tipo de porta-enxerto

utilizado. Este autor considera a amendoeira como o porta-enxerto melhor adaptado a essas condições devido à profundidade do seu sistema radicular e boa colonização de todos os horizontes do solo com raízes finas.

Nos citrinos, Castle e Krezdorn (1977) relacionam o volume do sistema radicular dos porta-enxertos com a utilização da água do solo pela variedade neles enxertada, e na macieira os trabalhos de Higgs e Jones (1990) mostram que a utilização da água do solo pelas variedades é condicionada pela condutividade hidráulica dos porta-enxertos.

Além do efeito dos porta-enxerto na alimentação hídrica da variedade, como consequência da sua capacidade de extracção da água do solo e da condutividade da água na planta, os porta-enxertos podem também agir sobre a eficiência da utilização da água pela variedade. Assim, existe evidência experimental em várias espécies de fruteiras relativamente à influência do porta-enxerto na taxa de transpiração das variedades (Costa e Filiti, 1974; Natali *et al.*, 1985), na condutância estomática (Giulivo *et al.*, 1985; Higgs e Jones, 1990) e na fotossíntese (Ferree e Barden, 1971; Schechter *et al.*, 1991).

### **c) Eficiência da selecção ao nível dos porta-enxertos**

Os porta-enxertos do género *Prunus* são geralmente compatíveis com diferentes espécies e variedades, sendo geralmente um dos objectivos nos programas de melhoramento de porta-enxertos a sua polivalência em relação às espécies amendoeira, pessegueiro, damasqueiro e ameixeira. Devido a este facto, os avanços conseguidos neste domínio podem ser valorizados através da utilização desses porta-enxertos melhorados em várias espécies cultivadas.

## **1.4 - Características do melhoramento de porta-enxertos. Caso particular da amendoeira.**

O melhoramento de porta-enxertos, tendo em conta a duração do ciclo de vida das árvores e o grande número de atributos que deve possuir um bom clone ou variedade, é um trabalho de longa duração, à semelhança do melhoramento varietal. No entanto, os métodos de melhoramento geralmente utilizados são simples e baseiam-se principalmente na selecção fenotípica dos descendentes de cruzamentos, intra e interespecíficos, realizados afim de obter a reunião ou combinação das características favoráveis dos progenitores nos descendentes. No caso dos porta-enxertos multiplicados vegetativamente, é possível tirar rapidamente partido dos indivíduos seleccionados. Assim, o sucesso da maioria dos programas de melhoramento dos porta-enxertos depende da exploração da variabilidade genética existente, ou criada por hibridação interespecífica, cuja descrição e conhecimento têm um interesse fundamental.

A selecção de porta-enxertos compreende duas fases principais. A primeira fase corresponde às observações efectuadas em viveiro, quer em relação a características do porta-enxerto com interesse no funcionamento da planta (como a resistência do sistema

radicular aos agentes patogénicos do solo e a factores de *stress*), quer a características que condicionam a produção económica dos porta-enxertos. A duração desta fase é variável dependendo da facilidade de aplicação dos critérios de selecção programados sobre as plantas jovens. A possível existência de fenómenos de incompatibilidade entre a variedade e o porta-enxerto obriga a que as observações em viveiro se prolonguem, no mínimo, por dois a três anos após a enxertia, período insuficiente, no entanto, para detectar os tipos de incompatibilidade que se manifestam mais tardiamente.

Aparte as primeiras observações relativas à incompatibilidade, as características da planta que resultam da interacção variedade x porta-enxerto, como o vigor e o tipo de ramificação, são observadas numa segunda fase, primeiro em parcelas experimentais com características semelhantes às plantações comerciais e, finalmente, em ensaios multilocais. Esta fase tem uma duração mínima de 8 a 10 anos.

Na **amendoeira**, os objectivos do melhoramento de porta-enxertos são geralmente os seguintes:

- Plantas com bom vigor vegetativo e ramificações secundárias pouco numerosas, sobretudo na base do caule (as quais prejudicam a enxertia), de porte erecto, apresentando resistência no sistema aéreo a doenças criptogâmicas e a afídeos vectores de vírus e outras características que facilitem a produção económica dos porta-enxertos;
- boa homogeneidade entre as plantas provenientes de semente e produtividade regular da variedade produtora das sementes, no caso dos porta-enxertos de multiplicação seminal;
- boa aptidão para a multiplicação vegetativa nos porta-enxertos que se multiplicam por esta via;
- quanto à adaptação pedoclimática, os porta-enxertos de amendoeira devem apresentar boa tolerância aos solos calcários, à asfixia radicular, à salinidade, e no caso da cultura em sequeiro ou com rega deficitária, boa adaptação aos solos secos;
- resistência às doenças criptogâmicas e bacterianas que atacam o sistema radicular (*Armillaria mellea*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Phytophthora sp.*, *Verticillium*, etc.);
- resistência ou tolerância aos nemátodos parasitas das plantas (*Meloidogyne sp.* e *Pratylenchus vulnus*);
- ausência de fenómenos de incompatibilidade com as variedades de amendoeira.

Os porta-enxertos de amendoeira actualmente utilizados incluem os francos, certas variedades de pessegueiro de multiplicação seminal, híbridos interespecíficos pessegueiro x amendoeira e, nos solos asfixiantes, alguns híbridos de ameixeira e clones de Marianna (*Prunus myrobalan* x *P. hortulana*).

Os porta-enxertos que melhor satisfazem as necessidades da produção são os híbridos pessegueiro x amendoeira, que associam as melhores características dos progenitores sem os defeitos principais de cada um deles. Em particular, estes porta-enxertos apresentam um excelente vigor, aptidão para a multiplicação vegetativa, resistência a vários parasitas e doenças do solo (variável segundo os clones), em particular aos nemátodos do grupo *Meloidogyne*, e resistência à clorose férrica e à asfixia radicular. Alguns híbridos podem ser multiplicados por via seminal, o que permite uma produção muito económica de plantas, embora em detrimento da homogeneidade das plantas relativamente à multiplicação vegetativa. Um híbrido deste tipo foi obtido pela polinização da variedade de amendoeira Titan com o pessegueiro Nemaguard (Jones, 1969).

Os francos de amendoeira, muito utilizados nas regiões mediterrânicas no cultivo de sequeiro devido à sua notável resistência ao défice hídrico e à clorose férrica, apresentam grande sensibilidade a vários agentes patogénicos do solo, nomeadamente *Phytophthora* e *Agrobacterium tumefaciens*, e à asfixia radicular, razão pela qual não devem ser utilizados em cultura regada (Day, 1953; Grasselly e Crossa-Raynaud, 1980). Além disso, devido ao modo de multiplicação seminal destes porta-enxertos, observa-se, em geral, grande heterogeneidade entre as plantas no viveiro e no pomar. Por outro lado, a amendoeira é uma espécie com grande sensibilidade à transplantação. Estes porta-enxertos devem ser reservados para condições de cultivo marginais de sequeiro em solos calcários e não asfíxiantes.

Os pessegueiros e os híbridos de ameixeira têm como principal desvantagem uma grande sensibilidade ao défice hídrico e à clorose calcária. Os pessegueiros são os porta-enxertos tradicionalmente utilizados na cultura de regadio, formando combinações vigorosas com a amendoeira (embora a longevidade das plantas seja menor que com os porta-enxertos francos) e muito uniformes no pomar (Day, 1953). Os pessegueiros são menos sensíveis que a amendoeira aos fungos do solo e à asfixia radicular. A produção de plantas é económica devido à multiplicação seminal da espécie (espécie predominante autogâmica). Em cultura regada e solos muito férteis, os pessegueiros podem ser preferíveis aos híbridos pessegueiro x amendoeira devido ao excessivo vigor destes porta-enxertos nessas condições.

Tendo em consideração as múltiplas exigências a que deve obedecer a selecção do material vegetal para a sua utilização como porta-enxerto, o principal esforço do seu melhoramento em relação ao défice hídrico, a curto prazo, deve ser feito com base nas espécies que actualmente têm maior interesse para esse fim e que apresentam boa tolerância a esse factor ambiental: a amendoeira e os híbridos pessegueiro x amendoeira. A médio e a longo prazo, pode estudar-se a criação de novos tipos de híbridos interespecíficos (entre a amendoeira e outras espécies) e a introdução nos porta-enxertos de características de resistência úteis provenientes das espécies afins das regiões áridas (por introgressão ou por métodos da engenharia genética).

Contudo, o êxito de um programa de melhoramento de porta-enxertos tolerantes a condições de secura depende da capacidade de identificar os indivíduos mais resistentes ao défice hídrico ao longo das várias etapas de selecção. Na medida em que os mecanismos de tolerância ou resistência ao défice hídrico podem ser muito diferentes segundo as espécies, o conhecimento dos que são mais eficientes nos *Prunus* é essencial para se conseguir esse objectivo.

### 1.5 - Objectivos do trabalho e linhas de investigação escolhidas

Os objectivos dos trabalhos empreendidos foram os seguintes:

- Identificação das características morfológicas e dos mecanismos fisiológicos favoráveis à adaptação dos porta-enxertos de *Prunus* a condições de défice hídrico e com interesse potencial para o seu melhoramento em relação a esse factor de *stress*;
- eleição de características com interesse para a selecção precoce dos genótipos resistentes ao défice hídrico nos programas de melhoramento;
- determinação da influência do porta-enxerto na resistência ao défice hídrico de uma variedade de amendoeira neles enxertada, e a pesquisa de relações entre o comportamento do porta-enxerto enxertado e não enxertado.

Embora este tipo de estudos devam ser conduzidos em condições semelhantes àquelas nas quais as espécies são geralmente cultivadas, nas plantas lenhosas esse procedimento reveste-se, em regra, de grandes dificuldades, devido à relativa lentidão do crescimento das plantas e ao grande volume ocupado por cada indivíduo, tanto em relação ao sistema aéreo como ao sistema radicular. Por estas razões, os trabalhos realizados foram conduzidos em plantas jovens, cultivadas em vaso e em viveiro.

As limitações de ordem prática quanto ao número de plantas a estudar não permitiu utilizar uma gama alargada de genótipos, como seria desejável, tendo-se optado por eleger como modelo experimental dois porta-enxertos muito utilizados no cultivo da amendoeira e bem caracterizados quanto ao seu comportamento agronómico: um resistente ao défice hídrico, o híbrido interespecífico pessegueiro x amendoeira GF 677, e outro sensível, a variedade de pessegueiro GF 305. Estes porta-enxertos são normalmente utilizados como referência nos programas de melhoramento. Com um carácter menos exaustivo, também se fizeram observações sobre uma variedade de amendoeira (Garrigues) conhecida pela sua aptidão como porta-enxerto. Nos ensaios com plantas enxertadas utilizou-se como variedade a amendoeira Ferragnès.

Como foi referido, os efeitos e os mecanismos de adaptação ao défice hídrico são múltiplos e complexos, sendo impossível abordar todos esses aspectos nesta tese. A análise da volumosa bibliografia nesse domínio (Neves, 1989) põe em evidência duas limitações importantes nos trabalhos publicados. Por um lado, a lenta progressão dos conhecimentos ao nível fundamental, por outro a pouca utilização dos elementos disponíveis no



melhoramento de plantas em relação ao défice hídrico, mesmo se o interesse potencial de certas características de resistência para esse fim é frequentemente salientado.

Em relação a este último aspecto podem apontar-se as seguintes razões para esse comportamento:

- Em muitos casos, a relativa pouca importância do melhoramento vegetal nas regiões semi-áridas, em particular no domínio das espécies lenhosas, e o facto de se encarar, em geral, o aumento de produtividade nestas regiões pela intensificação do uso dos recursos hídricos, enquanto ao nível das técnicas de produção, incluindo a selecção varietal e de porta-enxertos, se continua a seguir os modelos das regiões temperadas;
- a frequente falta de ligação entre os trabalhos de melhoramento vegetal e as outras ciências do domínio fundamental como a fisiologia;
- o facto das características de resistência ao défice hídrico serem frequentemente estudadas de forma isolada, enquanto apenas o funcionamento integrado do indivíduo permite pôr em relevo as estratégias de sua adaptação ao meio, como salienta Givnish (1986).

Neste trabalho embora se tivesse estudado um conjunto amplo de mecanismos relacionados com a resposta das plantas ao défice hídrico, o principal objectivo dos trabalhos realizados foi a identificação de algumas características com potencialidades para a selecção de génotipos resistentes, devido à sua associação com mecanismos importantes de adaptação ao défice hídrico e à possibilidade de serem avaliadas sobre um grande número de plantas. Essas características reflectem, em geral, múltiplos processos de adaptação ao nível morfológico, estrutural e funcional da planta. Por outro lado, as características estudadas estão principalmente relacionadas com a utilização das plantas como porta-enxerto.

Os principais aspectos abordados são mencionados seguidamente, assim como os objectivos associados.

Em primeiro lugar, são apresentados e discutidos os aspectos relacionados com a evolução do crescimento dos porta-enxertos GF 305 e GF 677 sob dois regimes hídricos contrastantes. O ritmo de crescimento estacional das plantas e os efeitos do défice hídrico no crescimento têm grande importância para caracterizar a adaptação de um génotipo à secura, dado a sua relação com a produção de biomassa, e reflecte a acção integrada dos vários mecanismos que contribuem para essa adaptação. É também analisada a capacidade de produção de biomassa dos porta-enxertos nas duas situações experimentais.

Depois, são apresentadas as relações hídricas e alguns aspectos relativos às trocas gasosas dos dois porta-enxertos. A análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes condições hídricas teve como objectivo caracterizar o comportamento do génotipo melhor adaptado à secura em várias situações e verificar em que medida os processos referidos são afectados pelo défice hídrico.

Entre as numerosas características morfológicas, anatómicas e estruturais associadas com a resistência à secura foram investigadas algumas com interesse potencial no melhoramento de porta-enxertos. Assim, são descritas algumas características morfológicas e bioquímicas das folhas e características anatómicas dos caules e das folhas dos dois porta-enxertos indicados e de uma variedade de amendoeira.

A medição da temperatura das plantas por termometria de infravermelhos é uma técnica de fácil aplicação que pode ajudar a distinguir as plantas melhor adaptadas a condições de secura. Os resultados obtidos com a utilização desta técnica são apresentados e discutidas as potencialidades da sua utilização na selecção de porta-enxertos resistentes. Este estudo foi complementado com observações sobre as propriedades ópticas das folhas devido à influência destas no balanço térmico das folhas.

Depois são apresentados os resultados relativos à composição isotópica em  $^{13}\text{C}$ , o que tem permitido em algumas espécies identificar linhas ou genótipos de plantas com melhor eficiência da utilização da água e produtividade em condições de défice hídrico.

Na segunda parte estuda-se a influência dos porta-enxertos referidos no desenvolvimento aéreo e nas relações hídricas e de condutância estomática de uma variedade de amendoeira.

Na terceira parte analisam-se as características morfológicas e estruturais dos sistemas aéreo e radicular de jovens *Prunus* através da observação, em estufa, de plantas cultivadas em recipientes com parede transparente e em tubos, e também em viveiro pela escavação de raízes e pela observação em perfis do solo.

No capítulo final discute-se o funcionamento global dos dois porta-enxertos, enxertados e não enxertados, procurando-se integrar os resultados obtidos em cada capítulo. O interesse e os limites de aplicação das técnicas estudadas na selecção de porta-enxertos resistentes à secura são também considerados. São apresentadas novas perspectivas para a selecção de genótipos tolerantes a condições de défice hídrico nos programas de melhoramento de porta-enxertos.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 - Material vegetal

Os genótipos escolhidos para o estudo dos porta-enxertos foram o pessegueiro GF 305 e o híbrido pessegueiro x amendoeira GF 677 e a amendoeira Garrigues.

O pessegueiro GF 305 é uma antiga selecção INRA de polpa branca e de caroço não aderente, conferindo quando usado como porta-enxerto um grande vigor à variedade nele enxertada. Este pessegueiro é multiplicado por semente, dando origem a descendências homogêneas devido à autogamia predominante da espécie.

O GF 677 é um híbrido natural pessegueiro x amendoeira de grande vigor, resistente à clorose férrica e à secura, e apresenta uma certa tolerância à asfixia radicular e ao *Phytophthora cactorum*. Descoberto em 1938, foi estudado por Bernard e Grasselly na "Station de Recherches d'Arboriculture Fruitière de la Grande-Ferrade" e seleccionado em 1950 pelo seu vigor e pela tolerância da parte aérea às doenças criptogâmicas. Este porta-enxerto é multiplicado vegetativamente por estaca de ramos herbáceos ou semi-lenhosos ou através de técnicas *in vitro*.

Embora a resistência da amendoeira à secura seja bem conhecida existem poucos estudos comparativos de variedades desta espécie quanto à sua aptidão como porta-enxerto. No entanto, o trabalho de Ramos (1976), em Espanha, permitiu identificar duas variedades com um comportamento superior em cultivo de sequeiro, razão da sua larga utilização como porta-enxerto naquele País. Dessas duas variedades escolhemos a Garrigues devido ao seu melhor comportamento agronómico do que a Atocha.

Os porta-enxertos GF 677 e GF 305 apresentam, em relação às variedades de amendoeira, uma vantagem muito importante nos estudos efectuados: perfeita homogeneidade genética em contraste com a heterogeneidade das descendências das variedades de amendoeira, como consequência da alogamia característica desta espécie e da utilização de sementes para a produção de porta-enxertos. Por outro lado, são dois genótipos muito utilizados como porta-enxertos na Europa (tanto para a amendoeira como para outras espécies), de comportamento agronómico bem caracterizado e perfeitamente adaptados às condições climáticas da região onde o trabalho foi realizado. Esses genótipos são geralmente incluídos como testemunhas nos ensaios de selecção de novos porta-enxertos do género *Prunus*. Por isso, nos ensaios em que se elegeram apenas dois porta-enxertos foram escolhidos esses dois genótipos.

No estudo da interacção variedade x porta-enxerto enxertou-se a amendoeira Ferragnès nos porta-enxertos GF 677 e GF 305. A variedade Ferragnès, produzida pelo INRA de Bordeaux e seleccionada na região de Nîmes, caracteriza-se por excelente comportamento agronómico, bom vigor, porte vertical, bom nível de resistência às doenças criptogâmicas e é uma das variedades mais cultivadas em França e noutros países mediterrânicos.

## 2.2 - Características gerais climáticas e edáficas dos locais de experimentação

Os ensaios foram realizados na “Station de Recherches Fruitières Méditerranéennes” do “Centre de Recherches Agronomiques d’Avignon”, França, nos Domínios Experimentais de St. Paul, em Montfavet, e de l’Amarine, próximo de Nîmes.

De acordo com a classificação de Köppen, ambos os locais possuem um clima mediterrânico do tipo *Csa* (mesotérmico, de estação seca e muito quente no Verão). Segundo a classificação climática de Thorthwaite são do tipo *C<sub>2</sub>B<sub>2</sub>s<sub>2</sub>a'* (sub-húmido chuvoso, mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão e muito pequena concentração da eficiência térmica na estação quente).

Em ambos os locais a temperatura média anual do ar é de 14 °C com os valores extremos mensais médios de 6,5 °C (Dez. - Jan.) e de 23 °C (Jul. - Ago.). Os valores médios mensais da temperatura máxima do ar observam-se em Julho (29 °C) e os da temperatura mínima em Dez.- Jan. (cerca de 2 °C). Os valores absolutos em Montfavet foram de 36,2 °C e de -11,6 °C.

A precipitação média anual em ambos os locais é de cerca de 750 mm distribuídos por 96 dias, sendo os meses mais chuvosos os de Outubro (114 mm) e de Setembro (81 mm). No conjunto dos dois meses mais secos (Jul. e Ago.) caem, em média, 60 a 70 mm em 9 dias. Os valores médios mensais da humidade relativa do ar variam de 60 a 70 %.

O vento predominante é do quadrante norte, ocorrendo com relativa frequência o vento de drenagem designado por “mistral” que sopra, em geral, com velocidades superiores a 40 km/h e que ultrapassa, por vezes, os 100 km/h (Pouget e Orioux, 1984).

O solo no Domínio Experimental de l’Amarine onde se realizaram os ensaios de campo tem uma textura limo-argilo-arenosa, ligeiramente alcalino (pH em KCl de 7,4), com baixo teor em matéria orgânica. De acordo com a classificação dos solos apresentada no “Soil Map of European Communities”, escala 1:1 000 000 (Commission of European Communities, Luxembourg, 1985), os solos da região estão englobadas na unidade cartográfica dominante Bc-2a, correspondendo Bc a cambisolos crómicos e a a solos de fraco declive.

## 2.3 - Dispositivos experimentais

Para o estudo das características dos sistemas aéreo e radicular dos porta-enxertos foram realizados vários ensaios durante os anos de 1992 a 1994. O primeiro ensaio, instalado em 1992 e com a duração de dois anos, teve como objectivo o estudo do sistema aéreo dos porta-enxertos GF 677 e GF 305 em relação ao défice hídrico. A influência dos porta-enxertos no comportamento de uma variedade de amendoeira foi objecto de um ensaio que decorreu em 1993 e 1994. O estudo dos sistemas radiculares realizou-se em estufa, num sistema simplificado de cultura em substrato artificial (1993), e em condições naturais com plantas cultivadas em viveiro (1994).

Seguidamente descreve-se as características desses ensaios, relativamente ao material utilizado, aos dispositivos adoptados e às principais observações feitas em cada caso.

### **2.3.1 - Resistência ao défice hídrico de dois porta-enxertos do género *Prunus* (sistema aéreo)**

Este ensaio foi realizado nos anos de 1992 e 1993 com plantas cultivadas em contentores de 36 litros de capacidade.

O local do ensaio consistiu num pequeno talhão do Domínio Experimental de St. Paul, Montfavet, bem exposto à radiação solar e protegido dos ventos fortes por meio de sebes de *Cupressus* (Foto 1).

O substrato utilizado nos vasos consistiu numa mistura de turfa, perlite e vermiculite nas proporções 2:1:1, semelhante ao utilizado por Abrams *et al.* (1990) num ensaio com plantas em vasos de *Fraxinus pensylvanica*, sendo a perlite e a vermiculite (materiais muito porosos) utilizadas para evitar os problemas de asfixia radicular. A fim de reduzir o aquecimento excessivo dos vasos pela radiação solar, com consequências graves na actividade das raízes, os vasos foram envolvidos exteriormente com um material termicamente isolante (poliestireno) de 2 mm de espessura e com uma face reflectora de alumínio.

As plantas, GF 305 e GF 677, foram adquiridas com um ano de idade no comércio viveirista (Pepinières Lafond), com um diâmetro do caule à plantação de 10 a 12 mm.

A plantação foi feita em 11 de Fevereiro de 1992. As plantas foram colocadas em estufa até 9 de Abril a fim de antecipar a rebentação dos gomos, que ocorreu na segunda semana de Março, e acelerar o crescimento na fase inicial do ciclo vegetativo. A instalação das plantas no local definitivo, ao ar livre, teve lugar em 24 de Abril, depois de previamente aclimatadas às condições exteriores à estufa sob uma rede de ensombramento durante 15 dias.

Após a plantação, distribuiu-se à superfície dos vasos uma camada de 5 cm de areia calibrada com o objectivo de facilitar o humedecimento regular do substrato e cobriu-se essa superfície com uma folha de plástico de cor branca, a fim de limitar as perdas de água dos vasos por evaporação (Foto 2).

Os vasos foram dispostos em duas linhas de 12 plantas cada uma. A distância entre os vasos foi de 1,2 m na linha e de 2 m entre as linhas. Na linha, as plantas foram distribuídas em três blocos de quatro plantas, duas por genótipo, e submetidas a dois tratamentos hídricos diferentes em cada bloco, representando cada planta uma combinação particular genótipo x tratamento e alternando-se as plantas submetidas a cada tratamento.

O dispositivo de rega era constituído por 2 tubos independentes de alimentação de água por linha, um para cada tratamento hídrico.



Foto 1 - Ensaio experimental ao ar livre no Domínio Experimental de St. Paul (1992)



Foto 2 - Vasos cobertos com plástico branco para limitar a evaporação



Foto 3 - Ensaio em túnel sob cobertura de polietileno (1993)

Em consequência de condições meteorológicas desfavoráveis à experimentação em 1992, este ensaio inicialmente previsto com a duração de um ano foi prosseguido em 1993, no mesmo local, mas sob uma cobertura (túnel) de polietileno transparente, com as dimensões de 28 x 9 m e altura máxima de 3 m (Foto 3).

A disposição das plantas no túnel foi um pouco diferente do ano anterior, tendo sido distribuídas em 3 linhas de 8 plantas cada. A distância entre as plantas na linha foi de 1,5 m e entre as linhas de cerca de 2 m. Cada linha era formada por 2 blocos de 4 plantas, constituídos como em 1992.

O regime hídrico seguido neste ensaio consistiu na rega periódica (bissemanal, diária, ou em intervalos mais curtos, segundo a fase do ciclo vegetativo e as condições meteorológicas) de metade das plantas de cada genótipo até à saturação do substrato - **tratamento bem regado (TR)**, enquanto a outra metade era regada, em geral, apenas quando as plantas se encontravam em défice hídrico severo - **tratamento seco (TD)**. No primeiro tratamento, pretendeu-se manter o teor hídrico do substrato próximo da capacidade máxima de retenção da água (em média 50% da água em volume) ao longo do período experimental. No TD, as plantas sofreram ciclos sucessivos de secura, alternados por períodos de rega a fim de permitir a completa rehidratação das plantas e do substrato. Quando a rega era feita simultaneamente em todas as plantas do ensaio, aplicava-se um adubo completo solúvel por fertirrigação. Desta forma, as plantas do TR e do TD receberam a mesma quantidade de nutrientes durante o ensaio.

Com o objectivo de seguir a evolução do teor hídrico do substrato, no TR colocaram-se em dois vasos de cada genótipo tensiómetros a 25 e a 40 cm de profundidade, enquanto no TD foram colocados às mesmas profundidades blocos de gesso. Os vasos foram também pesados regularmente em 1992 para a determinação temporal das perdas de água assim como num curto período de 1993.

Em 4 plantas de cada combinação genótipo x tratamento hídrico foram instalados captadores para o registo da microvariação do diâmetro do tronco. Este equipamento foi utilizado para seguir a evolução do estado hídrico das plantas durante o período experimental e também como instrumento de estudo de outras características da planta, nomeadamente da evolução do crescimento durante o ciclo vegetativo.

As observações realizadas nos quatro grupos de plantas do ensaio, híbridos bem regados (**HR**), pessegueiros bem regados (**PR**), híbridos em défice hídrico (**HD**) e pessegueiros em défice hídrico (**PD**), foram referentes aos seguintes aspectos:

- Crescimento do sistema aéreo;
- relações hídricas da planta e trocas gasosas;
- características associadas com a resistência à secura como o número de estomas, o teor de clorofila, a área específica da folha (SLA) e aspectos anatómicos do caule e das folhas;
- discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$ ;

- temperatura e propriedades ópticas das folhas.

### **2.3.2 - Influência do porta-enxerto nas características de uma variedade de amendoeira**

Um primeiro ensaio foi instalado no ano de 1992, no qual se procedeu à preparação do material vegetal, tendo as observações sido feitas no ciclo vegetativo de 1993. Plantas de GF 305 e GF 677, com as mesmas características e proveniência que as plantas do ensaio anterior, plantadas na mesma época e nas mesmas condições que essas plantas, foram enxertados com a variedade de amendoeira Ferragnès em 10 de Abril de 1992 e instalados no local definitivo uma semana depois. O local de experimentação e o dispositivo experimental adoptado foram também os mesmos que no ensaio de porta-enxertos (Foto 1).

Durante o ano de 1992 as plantas foram regadas com regularidade a fim de facilitar o desenvolvimento vegetativo. No ano de 1993 os tratamentos hídricos seguidos foram idênticos aos descritos no ensaio de porta-enxertos.

As observações realizadas incidiram sobre o crescimento, o potencial hídrico e a condutância estomática, e algumas características morfológicas das folhas.

Este ensaio foi interrompido, extemporaneamente, no final de Junho de 1993, devido ao desenvolvimento anormal das amendoeiras enxertadas sobre GF 305 (encurtamento dos entrenós na extremidade dos ramos, com necroses das folhas jovens e, finalmente, desfoliação). Estes sintomas foram provocados por uma deficiência em cobre que afectou exclusivamente aquelas plantas, como se comprovou pela análise da composição química das folhas.

Em sua substituição foi instalado um novo ensaio no mesmo local em Fevereiro de 1994, com as mesmas combinações variedade x porta-enxerto. As plantas, adquiridas no viveirista antes referido, com um ano de idade, tinham sido enxertadas no viveiro em Setembro de 1993.

Com o objectivo de garantir ao longo do ensaio condições hídricas do substrato semelhantes em todas as plantas submetidas ao mesmo tratamento hídrico, o dispositivo experimental foi modificado em relação ao ensaio precedente, tendo-se plantado as amendoeiras em grupos de duas por contentor, uma enxertada sobre GF 305 e outra sobre GF 677 (Foto 4). Com efeito, sendo possível que o consumo de água das amendoeiras fosse influenciado pelo porta-enxerto e como as regas eram idênticas em todas as plantas do mesmo tratamento, poderia verificar-se condições hídricas do substrato diferentes segundo o tipo de porta-enxerto, com prejuízo das comparações a realizar entre eles.

Os vasos, de grande capacidade (80 l), foram divididos interiormente em duas metades, por uma rede de malha fina, a fim de garantir a cada planta o mesmo volume de substrato (turfa fertilizada). Esses vasos, em número de 10, foram colocados no centro do







Foto 4 - Amendoeiras Ferragnès enxertadas sobre GF 305 e GF 677 no mesmo vaso.



Foto 5 - Ensaio de porta-enxertos no Domínio Experimental de l'Amarine

túnel, numa única fila, alternando cada um dos 5 vasos sujeitos a déficit hídrico com um dos vasos bem regados.

Como nos ensaios antes descritos, o tratamento hídrico aplicado consistiu na rega frequente (de duração e periodicidade variáveis segundo a fase do ciclo vegetativo e as condições ambientais) de metade das plantas, enquanto a outra metade só era regada após a manifestação de sintomas de deficiência hídrica severa.

As observações realizadas neste ensaio foram relativas ao crescimento, ao diâmetro final dos caules, à SLA, ao potencial hídrico e condutância estomática, e à discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$ .

Com o objectivo de comparar os resultados obtidos nas plantas em vasos e em abrigo com o comportamento de plantas cultivadas no campo, instalou-se outro ensaio no Domínio Experimental de l'Amarine que incluiu os porta-enxertos GF 305, GF 677 e a amendoeira Garrigues, todos enxertados com a variedade de amendoeira Ferragnés (Foto 5).

A preparação das plantas foi feita em estufa, com a sementeira de amêndoas e caroços de pêssego, previamente estratificados, em pequenos vasos a 23 de Janeiro de 1992. As plantas assim obtidas e estacas de GF 677, provenientes de cultura *in vitro* e com o mesmo calibre, foram plantadas em viveiro em 4 de Março desse ano, depois de previamente aclimatadas ao ar livre sob uma rede de ensombramento.

No viveiro, foram distribuídas 54 plantas por porta-enxerto em duas linhas de 18 m de comprimento. Em cada linha, as plantas foram dispostas em blocos, cada um constituído por 9 plantas. Nestes blocos incluímos os três genótipos, representados por conjuntos de 3 plantas, sendo a sequência dos genótipos no bloco estabelecida ao acaso. A distância entre as plantas na linha foi de 20 cm e a distância entre linhas de 2 m. Estas plantas foram enxertadas em Abril do ano seguinte, tendo-se feito algumas observações sobre elas durante esse ano e em 1994.

### **2.3.3 - Características do sistema aéreo e radicular de jovens *Prunus* em estufa.**

Este ensaio, que teve como objectivo estudar o desenvolvimento radicular dos porta-enxertos GF 305 e GF 677 e a sua relação com as características do sistema aéreo, foi realizado em estufa de vidro climatizada, tendo-se utilizado 12 plantas de cada genótipo (24 plantas no total).

A preparação do material vegetal iniciou-se em 8 de Janeiro de 1993, tendo-se semeado em pequenos vasos as sementes de GF 305, previamente estratificadas. Duas semanas depois foram introduzidas na estufa plantas de GF 677 com cerca de 10 cm de altura provenientes de cultura *in vitro*.

Em 11 de Março as plantas tinham dimensões, em geral, compreendidas entre os 12 a 15 cm de altura. Nessa altura, fez-se a sua transplantação para um sistema especial de

observação de raízes, com base no sugerido por Philipson (1988) que os designou por “root observation boxes”, expressão também adotada por Hipps *et al.* (1995) para um sistema similar. À falta de uma expressão apropriada em português designaremos estes sistemas por **recipientes de paredes transparentes** ou simplesmente recipientes. Sistemas análogos têm sido também designados como “slant boxes” (McMichel *et al.*, 1992) e por “clear-faced containers” (Glinski *et al.*, 1993).

Os recipientes utilizados (Foto 6) foram feitos a partir de caleiras de escoamento de água, em PVC de 5 mm de espessura. As dimensões internas máximas da secção transversal da caleira, de forma aproximadamente parabólica, eram de 16 e 10 cm e o comprimento de 80 cm. As caleiras foram fechadas, no sentido do comprimento, colando-se sobre os bordos uma placa transparente de policarbonato incolor, de 80 x 19,5 cm. O fundo deste dispositivo foi tapado com uma placa perfurada do mesmo material rígido. A parede transparente de cada recipiente foi coberta com uma folha de plástico preto e opaco, fixada com adesivos e facilmente removível para permitir a observação das raízes.

Cada recipiente, com um volume útil de cerca de 8,5 litros, foi cheio com vermiculite, de granulometria entre 1 a 2 mm, substrato escolhido devido à facilidade de separação das raízes deste material. Previamente, colocou-se no fundo de cada recipiente uma camada de grânulos de argila de 8 a 16 mm de diâmetro, para facilitar o escoamento da água de rega na fase inicial. O mesmo material foi disposto sobre o substrato, após a transplantação, para reduzir as perdas de água por evaporação.

Depois das plantas transplantadas, os recipientes foram inclinados contra uma superfície de apoio fazendo um ângulo com a perpendicular de aproximadamente 20°, como se pode ver à direita da Foto 7. Essa inclinação visou facilitar o crescimento das raízes ao longo da superfície transparente.

Os recipientes dispuseram-se de forma a alternar as plantas de GF 305 e de GF 677 e os dois tratamentos hídricos a que as plantas foram submetidas: metade das plantas regadas com frequência (TR) e a outra metade sujeita a défice hídrico (TD). Assim, a disposição das plantas no local experimental obedeceu à repetição do seguinte esquema: HR, PR, HD, PD.

Na altura da transplantação os pessegueiros estavam mais vigorosos que os híbridos e, por isso, fez-se uma pequena poda naquelas plantas para que as dimensões do sistema aéreo ficassem relativamente semelhantes nos dois genótipos.

Periodicamente, todas as plantas foram observadas em relação ao crescimento aéreo (comprimento dos ramos e diâmetro da base do caule) e às características do sistema radicular. Em cada data de observação, a posição das raízes visíveis na parede transparente do recipiente foi desenhada sobre uma folha de acetato de celulose, fixada nessa parede com adesivos, utilizando-se em cada data um marcador de cor diferente para se distinguir o crescimento relativo aos vários períodos.

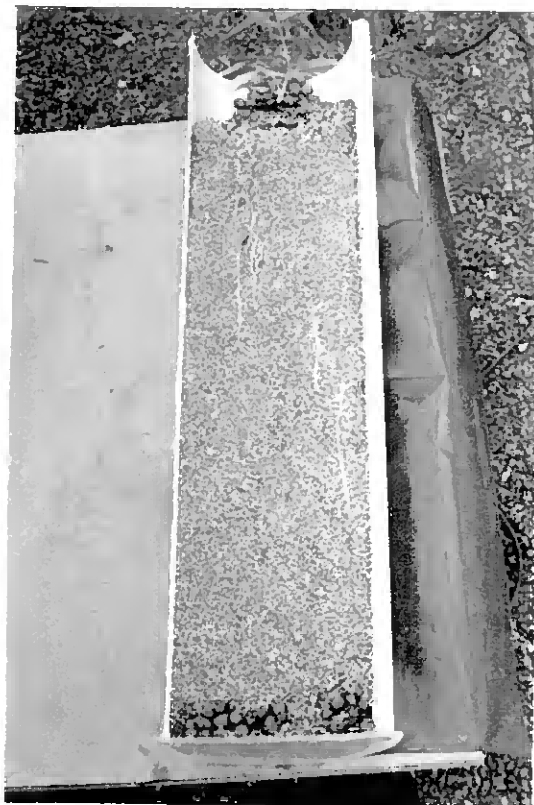


Foto 6 - Recipiente de parede transparente para observação do sistema radicular de jovens *Prunus* em estufa.



Foto 7 - Aspecto geral do ensaio de jovens *Prunus* em estufa, em que se observa os recipientes inclinados sobre uma superfície de apoio (à direita) e tubos de PVC dentro de contentores.

No final do ciclo experimental, em 22 de Abril, as plantas foram objecto de avaliações destrutivas para determinação da matéria seca dos sistemas radicular e aéreo e da área foliar.

Em paralelo com o cultivo das plantas em recipientes, outras plantas com a mesma origem foram cultivadas em tubos de PVC de 8 cm de diâmetro e 80 cm de comprimento, num sistema semelhante ao utilizado por Lehman e Engelke (1991) e Glinski *et al.* (1993). Este ensaio complementar teve como objectivo fornecer informações adicionais quanto à relação entre a biomassa aérea e radicular nos genótipos estudados e ao efeito do défice hídrico nessa relação.

As plantas deste último ensaio, 24 por genótipo, foram distribuídas por 6 blocos, 3 regados diariamente (TR) e 3 regados quando as plantas manifestavam sintomas de carência de água (TD). Em cada bloco as plantas dos dois genótipos encontravam-se misturadas.

Para manter os tubos na posição vertical estes foram colocados dentro de contentores cheios de casca de pinheiro. Este sistema permitiu, além disso, manter os tubos a uma temperatura mais uniforme do que se verificaria se eles estivessem expostos ao ar. Em cada contentor colocaram-se 8 tubos, metade de cada genótipo (Foto 7).

#### **2.3.4 - Características dos sistemas aéreo e radicular de jovens *Prunus* em viveiro.**

Este ensaio foi realizado com o objectivo de caracterizar o desenvolvimento do sistema radicular de alguns porta-enxertos em viveiro e, ao mesmo tempo, de comparar os resultados obtidos nos recipientes de parede transparente com os obtidos em condições naturais. O ensaio foi instalado no Domínio Experimental de l'Amarine e utilizou-se como material vegetal os porta-enxertos GF 305, GF 677 e Garrigues.

Antes da plantação no viveiro, as plantas foram produzidas em estufa, à semelhança do procedimento adoptado no ensaio precedentemente instalado em l'Amarine. Sementes de Garrigues e de GF 305, previamente estratificadas, foram colocadas em pequenos vasos a 8 de Janeiro de 1993 e mantidas em estufa até ao princípio do mês de Março. Na estufa foram também introduzidas pequenas plantas de GF 677 provenientes de cultura *in vitro* e adquiridas no comércio. As plantas depois de aclimatadas às condições exteriores foram plantadas a 25 desse mês.

No terreno foram dispostas 48 plantas de cada genótipo em quatro linhas, a uma distância de 30 cm entre si. A distância entre linhas foi de 2,5 metros. Em cada linha, as plantas foram distribuídas em dois blocos, formados por conjuntos de 6 plantas por genótipo, sendo a ordem destes no bloco determinada aleatoriamente. Outras plantas de amendoeira foram usadas como bordadura do ensaio.

Após a instalação do ensaio e a fim de controlar o desenvolvimento de ervas infestantes, as entrelinhas foram semeadas com *Lolium*, enquanto a linha de plantação,

incluindo uma faixa de terreno de cerca de 1 m de largura de cada lado da planta foi mantida limpa de ervas.

Estas linhas deveriam ter sido regadas de forma diferente. O objectivo pretendido era de manter duas linhas com um teor de água do solo entre 80 e 100 % da capacidade de campo e as outras duas com um teor de água entre a capacidade de campo e a coeficiente de emurchecimento.

Para o controlo do teor hídrico do solo foram instalados tensiómetros e blocos de gesso. Contudo, esse esquema de rega não foi aplicado devido ao mau desenvolvimento inicial das plantas, registando-se muitas falhas após a transplantação, em grande parte devido a um período prolongado de vento forte durante a instalação do ensaio. Além disso, o desenvolvimento inicial das plantas foi prejudicado por condições meteorológicas caracterizadas por períodos frequentes de chuva e de baixas temperaturas. Assim, para obviar os efeitos negativos dessas ocorrências no crescimento das plantas optou-se por na fase seguinte do ciclo vegetativo regar todas as plantas.

Em 1994, o esquema de rega programado também não foi aplicado devido à frequência de períodos chuvosos e conseqüente abundante disponibilidade hídrica do solo até ao início da realização das observações em princípios de Maio.

Neste ensaio foram feitos dois tipos de estudos sobre os sistemas radiculares: num caso, procedeu-se à escavação manual do sistema radicular de algumas plantas de cada genótipo; no outro, as raízes foram observadas em valas abertas paralelamente à linha de plantação, à distância de aproximadamente 85 e 35 cm do tronco. O sistema aéreo das plantas foi também estudado no que se refere à distribuição da matéria seca entre os diferentes órgãos da planta.

A **escavação das raízes** (Foto 8) foi feita a partir de uma vala aberta mecanicamente a 1 metro de distância das plantas, retirando-se cuidadosamente a terra que envolvia as raízes. Os utensílios usados para pôr a descoberto as raízes foram os mais diversos. A utilização de água sob pressão, também ensaiada, foi de pouca utilidade devido à natureza argilosa do solo.

Este método requer trabalho demorado e laborioso e, por isso, o número de árvores a remover tem de ser limitado e, assim, a amostragem da população, geralmente, não é adequada. Dudney (1972) estimou que 22 a 37 % do peso das raízes permanece no solo depois de uma escavação. Devido ao tempo considerável deste método de observação, o número de plantas observadas foi apenas de 2 amendoeiras, 2 híbridos e 1 pessegueiro.

A abertura das valas paralelamente à linha de plantação, a fim de permitir a **observação das raízes no perfil do solo**, foi feita mecanicamente a 90 cm da linha de plantação numa primeira fase (Foto 9) e a 40 cm numa segunda fase. As valas tinham as dimensões de 0,7 m de largura por 1 m de profundidade sendo o comprimento superior a 1 metro. A parede de vala na qual se fizeram as observações foi escavada cuidadosamente com um canivete, removendo-se uma camada de solo com 5 cm de espessura, antes da



Foto 8 - Escavação manual das raízes no ensaio de porta-enxertos (1ª Amarine).



Foto 9 - Abertura das valas para observação das raízes no perfil do solo (1ª Amarine).

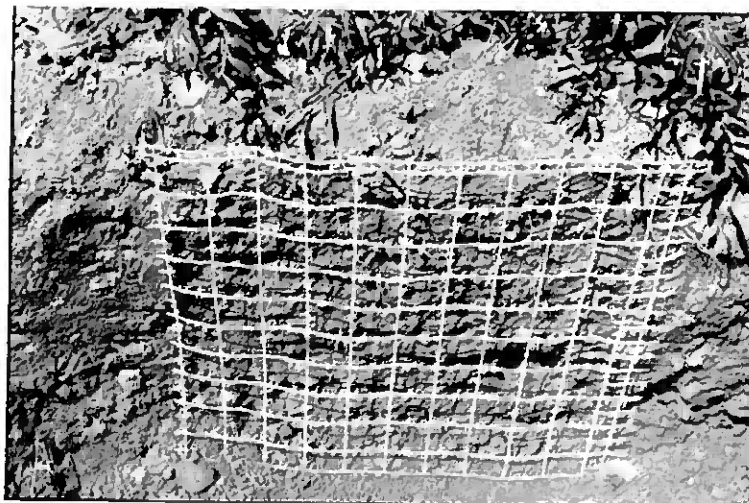


Foto 10 - Rede metálica com malha quadrada de 10 cm de lado para estudo dos perfis

realização das observações. Desta forma pôs-se a descoberto raízes arrancadas pela pá mecânica.

Relativamente a cada porta-enxerto, seleccionaram-se três conjuntos homogêneos de plantas para o estudo dos perfis. Para a observação das raízes, fixou-se no perfil do solo uma rede metálica, pintada de branco, com as dimensões de 1 x 1 m e com uma malha quadrada de 10 cm de lado (Foto 10). A superfície definida por esta rede correspondeu à área de observação em cada conjunto de plantas. As observações realizadas consistiram na determinação do número de raízes que interceptavam o plano vertical em cada quadricula e a medição do respectivo diâmetro quando superior a 0,5 mm.

## **2.4 - Métodos**

### **2.4.1 - Medições de crescimento e de área foliar**

As observações de crescimento foram efectuadas com base em medições periódicas do comprimento dos ramos e dimensões das folhas, do diâmetro dos caules com craveira de precisão, e por contagens do número de folhas. A área das folhas foi determinada com o medidor de áreas foliares LI-COR, mod. 3000A.

### **2.4.2 - Pesagem dos vasos**

Na pesagem dos vasos utilizou-se uma balança electrónica digital METLER com a capacidade de 60 kg e a precisão de 5 g.

### **2.4.3 - Microvariação do diâmetro do tronco**

A microvariação do diâmetro foi feita por um micromorfómetro (sistema PEPISTA, INRA, modelo 1986) que permite detectar e registar microvariações do diâmetro dos caules da ordem dos 0,01 mm, dispondo de captadores de deslocamento linear de indução diferencial colocado num suporte INVAR, em que a sua geometria e o tipo de material utilizados foram estudados de forma a minimizar o risco de interferências que possam influenciar as medições ou afectar a sua confiança (Huguet, 1985; Li *et al.*, 1989). O intervalo escolhido para o registo das medições foi de 30 minutos.

Cada conjunto de 8 captadores funciona em ligação com um módulo de aquisição de dados que permite o registo e o armazenamento das informações de cada captador durante um certo intervalo de tempo, os quais são periodicamente transferidos para um computador portátil.

### **2.4.4 - Medição do potencial hídrico**

O potencial hídrico foi medido com a câmara de pressão de Scholander, tendo-se adoptado as precauções recomendadas por Ritchie e Hinckley (1976), Turner (1988) e Koide *et al.* (1991).



#### 2.4.5 - Medição da condutância estomática

O aparelho utilizado foi um porómetro de difusão (Delta-T Device, modelo MK3). As medições de resistência estomática foram feitas sobre a face inferior das folhas. As resistências, calculadas a partir das curvas de calibração correspondentes, foram transformadas em condutâncias estomáticas.

#### 2.4.6 - Extração e determinação do teor de clorofila

A extração da clorofila e determinação da sua concentração nas folhas foram feitas pelo método de Moran e Porath (1980), utilizando-se como solvente a dimetilformamida (DMF). Este solvente, não volátil nem cáustico, é aconselhado quando a extração da clorofila é difícil. A estabilidade das clorofilas nesse solvente é bastante boa quando se trabalha a baixas temperaturas.

As amostras colhidas para extração da clorofila eram compostas de 5 discos foliares com 8 mm de diâmetro (a que corresponde uma área de 251 mm<sup>2</sup>). Cada disco foi obtido sobre uma folha distinta e cada amostra proveniente de uma só planta. Nas folhas utilizadas para a obtenção da amostra cortaram-se outros dois discos, na mesma posição da folha, que foram utilizados para estimar o peso seco da amostra.

As amostras foram colocados em 15 ml de solvente, depois de golpeados os discos com um bisturi para facilitar a penetração do solvente nos tecidos foliares, e mantidos em câmara fria a 4 °C durante 48 horas até se efectuar a leitura espectrofotométrica.

A quantidade de material vegetal e de solvente utilizados foram objecto de uma experimentação prévia. Além disso, o protocolo descrito foi comparado com o método clássico de extração da clorofila a partir de material vegetal moído e centrifugado, tendo-se verificado boa concordância entre os dois métodos. A ausência de moagem facilita bastante a realização destas observações e, sobretudo, permite uma economia de tempo importante. De acordo com Hiscox e Israelstam (1979), a ausência de moagem contribui para maior estabilidade da preparação de clorofila.

O espectro foi registado entre 750 e 600 nm e os picos principais de absorção do vermelho determinados automaticamente num espectrofotómetro Perkin - Elmer.

As equações usadas para a determinação da concentração em clorofila foram as propostas por Porra e Thompson. (1989). De acordo com os autores, essas equações representam um melhoramento das equações de Arnon, as mais geralmente usadas, que em comparação com outros métodos dão concentrações inferiores de clorofila **a** e especialmente de clorofila **b**.

O material vegetal foi, por vezes, sujeito a um período de conservação em câmara frigorífica a -18 °C, após congelação em azoto líquido.

#### **2.4.7 - Determinação do número de estomas**

A contagem do número de estomas da epiderme inferior de folhas foi feita ao microscópio óptico em preparações ampliadas 400 vezes.

As folhas, completamente desenvolvidas, foram seleccionadas na extremidade apical dos ramos principais. Em geral, as folhas foram colhidas no 2º ou 3º nó abaixo das folhas em crescimento activo. Em cada grupo de plantas, obteve-se uma amostra constituída pelo mesmo número de folhas por planta. No laboratório, cortou-se o terço central das folhas, os quais foram fixados e conservados a 4 °C até ao momento das observações numa solução de FAA (formaldeído, ácido acético glacial e álcool).

A preparação do material vegetal consistiu no destacamento da epiderme da página inferior das folhas após o amolecimento dos parênquimas por autoclavagem a 120 °C numa solução aquosa de bissulfito de sódio a 5 %. O tempo de autoclavagem, determinado por ensaio prévio, foi de 20 minutos nos híbridos e nas amendoeiras e de 15 minutos nos pessegueiros, estando relacionado com a espessura das folhas. As epidermes foram colocadas 10 minutos numa solução aquosa a 10 % de hipoclorito de sódio (para eliminação de células do mesófilo aderentes), lavadas e coradas, primeiro com azul de metileno e depois com vermelho de ruténio, após o que foram colocadas sobre uma lâmina, cobertas com lamela e observadas ao microscópio.

Em cada data de amostragem foram observadas 20 folhas por grupo de plantas em 1992 e 10 em 1993. A contagem do número de estomas de cada folha foi feita em 5 campos ópticos seleccionados entre as nervuras secundárias e aproximadamente à mesma distância da nervura principal.

#### **2.4.8 - Observações anatómicas**

##### **a) Caules lenhosos**

Os caules utilizados para as observações histológicas foram obtidos no fim do ciclo vegetativo de 1992 nos porta-enxertos cultivados no túnel. Em cada grupo de plantas foram colhidos 5 ramos, cada um proveniente de uma planta distinta, seleccionados em posições comparáveis na planta, tendo-se anotado o lado do ramo exposto ao sol. No laboratório, cortou-se um pequeno troço na posição central de cada ramo, o qual foi seccionado longitudinalmente em duas metades com uma lâmina, tendo-se recuperado a parte exposta ao sol. Neste material fizeram-se cortes transversais, dentro de água, obtendo-se vários semi-discos de 2 a 3 mm de espessura, os quais foram fixados em glutaraldeído e, posteriormente, incluídos em historesina.

No final do processo, os semi-discos provenientes de cada ramo foram colados num cubo de madeira e cortados num micrótomo Reichert-Yung 2045, equipado com uma lâmina de carbureto de tungsténio com perfil D, em secções transversais com 3 µm de

espessura. O material obtido foi corado com azul de toluidina, desidratado, montado em bálsamo do Canadá e observado ao microscópio. Em duas secções transversais por caule mediu-se o respectivo diâmetro e a espessura do xilema e do córtex. Dado o contorno irregular dos caules fizeram-se 5 medições de cada variável por secção. Contou-se também o número de vasos na posição central do xilema (5 campos ópticos por secção).

As dimensões dos vasos foram determinadas sobre fotografias feitas na zona central do xilema e na zona junto do câmbio. Em cada uma dessas posições fizeram-se 4 fotografias por grupo de plantas (cada foto correspondendo a um ramo). Em ambos os casos, as fotografias foram feitas a partir de cortes ampliados 400 vezes.

### **b) Folhas**

As observações histológicas foram feitas em 6 folhas de cada grupo de plantas, colhidas no início de Setembro de 1993. Todas as plantas se encontravam bem regadas nesta altura. O material vegetal foi fixado em FAA durante 24 horas e conservado no álcool a 70 %, desidratado, incluído na historesina e cortado ao micrótomo com 2  $\mu$ m de espessura.

Em cada folha foram observados dois cortes, medindo-se a espessura da folha (objectiva 4 x), do parênquima de paliçada (objectiva 10 x) e das epidermes (objectiva 40 x). O número de camadas celulares do parênquima de paliçada foi anotado.

Todas as medições foram feitas aproximadamente à mesma distância da nervura principal, devido à diminuição gradual da espessura das folhas entre essa nervura e as margens e em secções do limbo entre as nervuras secundárias. Mesmo com estas precauções, as secções observadas apresentavam uma certa heterogeneidade de espessura, sobretudo na amendoeira, pelo que cada valor é a média de várias leituras por corte.

### **2.4.9 - Medição da temperatura das folhas**

A medição da temperatura das folhas foi feita com um termómetro de infravermelhos marca Everest, modelo 110. A resolução do aparelho é de 0,1 °C e a sua precisão de 0,5 °C.

Nas plantas em vasos, a temperatura foi determinada em folhas individuais, seleccionadas em todas as condições de exposição em relação ao sol. Durante as medições, o aparelho era orientado perpendicularmente à superfície das folhas e as medições efectuadas a uma distância de cerca de 25 cm das mesmas. No viveiro, mediu-se a temperatura das plantas com o termómetro orientado perpendicularmente à linha de plantação e a cerca de 2 m de distância. Neste caso, fez-se o mesmo número de medições no lado das plantas exposto ao sol e no lado à sombra. Tendo em conta as características técnicas do aparelho e a distância a que foram feitas as medições, as áreas visadas pelo termómetro foram de 1,3 cm<sup>2</sup> nas plantas em vaso e de 86 cm<sup>2</sup> no viveiro, de acordo com as fórmulas de O'Toole e Real (1983).

No ensaio de plantas em vasos, o número mínimo de folhas amostradas por grupo de plantas foi de 25 por genótipo e por tratamento em cada período de observação. As medições foram feitas em dias de céu limpo e sem vento. Não obstante, procedeu-se sempre com rapidez e alternando as medições entre os grupos de plantas de forma a reduzir o impacto da variação das condições meteorológicas durante as medições com influência directa na temperatura das folhas (Jackson, 1982).

Nos ensaios em viveiro fizeram-se, em geral, 30 medições por genótipo em cada período de observação. Essas medições foram tomadas em grupos de 10, alternadamente em cada um dos genótipos.

As medições de temperatura das plantas foram sempre acompanhadas por leituras da temperatura e da humidade relativa do ar junto à copa das plantas com um psicrómetro de Assmann.

Nas plantas em vasos a folhagem dos híbridos era pouco densa, observando-se espaços vazios entre as folhas. Embora nesse ensaio se tivesse medido a temperatura das folhas individuais, optou-se por aproximar os vasos dos 4 grupos de plantas antes da medição para aumentar a densidade das folhas por unidade de volume.

Durante as medições da temperatura das folhas, o funcionamento do termómetro de infravermelhos foi aferido frequentemente através da medição periódica, no local de experimentação, de corpos de temperatura conhecida, de acordo com o preconizado por Verbrughe e Guyot (1992). Neste caso, utilizou-se água a diferentes temperaturas, pelo doseamento de água quente e água fria, sendo a temperatura do líquido medida simultaneamente com o termómetro de infravermelhos e com um termómetro de mercúrio. Durante a medição, a água era agitada continuamente a fim de manter a sua temperatura constante.

#### **2.4.10 - Propriedades ópticas das folhas**

As observações relativas às propriedades ópticas das folhas foram realizadas com um espectrofotómetro especial dotado de uma esfera integradora, Varian Cary 17 DI, com uma banda passante de 2 a 4 nm no infravermelho e de 1 a 2 nm no visível, sendo o grau de precisão das medições superior a 1%. Este aparelho é provido de um dispositivo para o traçado automático do espectro de reflectividade e de transmissividade. Por outro lado, os valores numéricos destas variáveis de 10 em 10 nm ao longo do espectro seleccionado, foram registados automaticamente com um micro-computador.

Os comprimentos de onda utilizados foram entre 400 e 700 nm no visível e entre 700 e 2500 nm na banda do infravermelho.

As folhas nas quais foram feitas as medições de transmissividade e de reflectividade foram seleccionadas no terço superior dos ramos principais, tendo-se colhido uma folha de cada planta do ensaio (6 folhas para cada combinação genótipo x

tratamento). Após a colheita, as folhas foram colocadas individualmente em sacos de plástico e mantidas até ao momento da sua utilização em caixas térmicas a 4°C.

O procedimento experimental seguido consistiu na medição primeiro da reflectividade e depois da transmissividade na face superior das folhas, face escolhida por ser geralmente a mais exposta à radiação solar.

No início e no fim da cada manipulação, o funcionamento do aparelho foi controlado, através da realização de um espectro em branco, a fim de efectuar as oportunas correcções nos valores das variáveis medidas.

#### **2.4.11 - Discriminação isotópica em relação ao $^{13}\text{C}$**

No ensaio de porta-enxertos, as análises relativas à discriminação em relação ao  $^{13}\text{C}$  foram efectuadas no final do período vegetativo de 1993. Devido à heterogeneidade entre as plantas quanto às características das folhas optou-se por colher apenas um lote por grupo de plantas (combinação genótipo x tratamento), obtido a partir de todas as plantas e representativo dos vários tipos de folhas produzidas durante o ciclo. Em geral, seleccionou-se 3 ramos por planta nos quais foram colhidos folhas a distâncias regulares ao longo dos eixos.

A preparação das amostras para análise foi feita de acordo com Griffiths (1993). No laboratório, as folhas foram lavadas e depois secas na estufa a 70 °C durante 72 horas. Finalmente, foram moídas até ficarem reduzidas a partículas de dimensões inferiores a 0,1 mm.

De cada grupo de folhas obteve-se 4 amostras de aproximadamente 0,5 g que foram enviadas ao "Service Central d'Analyse" do CNRS. Aí o material vegetal foi analisado em relação à sua composição em  $^{13}\text{C}$  num espectómetro de massa isotópica FINNIGAN delta S. Este aparelho mede a razão  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$  no  $\text{CO}_2$  purificado extraído de cada amostra, em relação ao padrão internacional, o carbonato de PDB (belemnite fóssil da formação Pee Dee). O grau de precisão do aparelho é muito elevado em relação a moléculas puras (0,01 %), mas em material vegetal o erro situa-se normalmente entre 0,2-0,5 % devido à variabilidade da amostra.

No mesmo ensaio procedeu-se também à análise de amostras de madeira da parte basal dos ramos de dois anos obtidas no final do ensaio. Para o efeito, os ramos previamente secos na estufa a 70 °C foram cortados mecanicamente em secções finas e a serradura dos cortes recuperada. O material vegetal relativo a um mesmo grupo de plantas foi misturado e moído até se obter uma granulometria fina, o qual foi dividido em duas amostras e enviado para análise.

Em 1994, no ensaio relativo ao estudo da influência do porta-enxerto no comportamento de uma variedade de amendoeira, colheram-se também amostras, uma por planta, para a análise da discriminação isotópica. A colheita e a preparação das amostras foi idêntica ao acima descrito.

#### **2.4.12 - Determinação da área específica das folhas**

A área específica das folhas (SLA) é uma grandeza definida de acordo com Jarvis (1985) pelo quociente entre a área foliar e o peso seco das folhas.

Para a determinação da SLA seleccionaram-se, em geral, as 2 ou 3 primeiras folhas completamente desenvolvidas a contar do ápice. O número mínimo de folhas colhidas por planta foi de 6, sendo cada amostra constituída pelas folhas de uma única planta embora, por vezes, se tenham obtido valores de SLA com base no conjunto de todas as folhas colhidas num grupo. Imediatamente após a colheita, as folhas foram colocadas em sacos de plástico hermeticamente fechados, os quais foram mantidos numa caixa térmica à temperatura de 4°C até à chegada ao laboratório.

No laboratório, seccionou-se o limbo do pecíolo e mediu-se a área das folhas. Estas foram depois envolvidas em papel de alumínio e colocadas na estufa a 70 °C durante 48 horas, para a determinação do peso seco. No final, obteve-se as médias referentes às 6 plantas de cada grupo.

#### **2.5 - Tratamento estatístico dos dados**

Os dados obtidos foram analisados através de estatísticas simples (médias, desvios padrão, teste-t) e de análise de variância, utilizando o programa SYSTAT. Na descrição dos resultados a utilização dos termos não significativo, significativo e muito significativo são exclusivamente utilizados quando os dados foram submetidos a tratamento estatístico.

### **3 - RESISTÊNCIA AO DÉFICE HÍDRICO DE DOIS PORTA-ENXERTOS DO GÉNERO *PRUNUS* (SISTEMA AÉREO)**

#### **3.1 - Evolução do estado hídrico das plantas durante o período experimental**

##### **3.1.1 - Condições meteorológicas durante o período de ensaio**

No ensaio de porta-enxertos, os elementos meteorológicos de maior importância no comportamento das plantas no ano de 1992 (ensaio ao ar livre) foram a radiação solar, a temperatura do ar, a precipitação e a velocidade do vento. No ano de 1993 (ensaio no túnel) não se considerou, evidentemente, a precipitação e a velocidade do vento.

Os dados apresentados foram obtidos pelo STEFCE, organismo do INRA ligado à Bioclimatologia, numa estação agrometeorológica situada a 100 m do local de ensaio. Em 1992 esses dados são representativos das condições nas quais as plantas foram cultivadas, mas o mesmo não se verifica em 1993 devido ao cultivo das plantas no túnel.

Relativamente ao ano de 1992, os valores médios diários da radiação solar e da temperatura do ar nos meses de ensaio apresentam-se na Fig. 3.1. Os aspectos mais relevantes dos dados apresentados foram a grande variação desses valores nos meses de Maio e Junho. Foram particularmente críticos para o desenvolvimento das plantas, os períodos de 19 a 24 de Maio, com céu muito nublado, temperatura relativamente baixa e radiação solar global diária de apenas 10 a 15 MJ/m<sup>2</sup>, e de 29 de Maio a 8 de Junho, no qual alternaram-se os dias de céu nublado com dias de sol e radiação solar alta. Durante estes dois meses registaram-se também noutros dias (5, 10, 21 e 22 de Junho) condições meteorológicas desfavoráveis. Nos meses de Julho e Agosto, a radiação solar e a temperatura do ar foram geralmente altas, embora tivessem ocorrido alguns dias de céu nublado e de temperatura baixa.

Quanto à precipitação (Tab. 3.1) verifica-se que entre Maio e Setembro de 1992 ocorreram vários períodos de precipitação, tendo sido chuvosos os meses de Maio, Junho e Setembro. Este facto prejudicou muito a realização do ensaio, nomeadamente nos aspectos relacionados com o estudo do défice hídrico no crescimento e nas relações hídricas dos dois porta-enxertos.

Outro factor meteorológico com um impacte negativo na experimentação levada a cabo em 1992, foram os períodos de vento forte, em particular na primeira quinzena de Maio, com períodos de forte mistral entre os dias 3 e 9, e em Junho a partir do dia 10 (Fig. 3.2).

As condições meteorológicas no período de ensaio de 1993, no que se refere à radiação solar global e à temperatura do ar, foram geralmente favoráveis ao desenvolvimento vegetativo, em particular nos meses de Maio a Agosto, o que se reflectiu no crescimento das plantas no túnel.

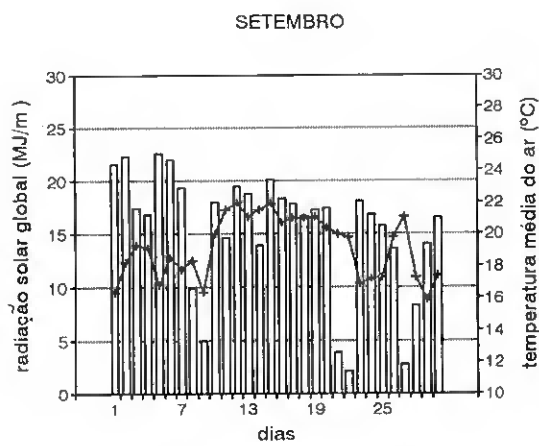
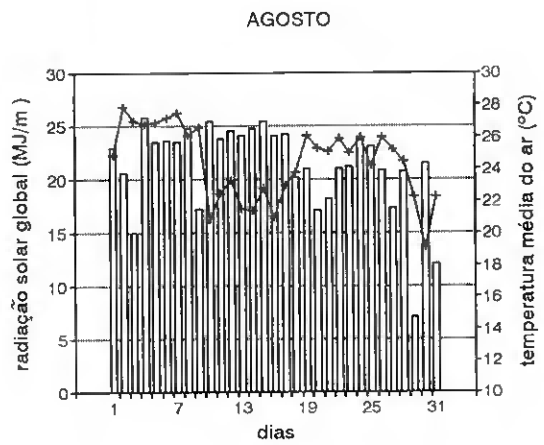
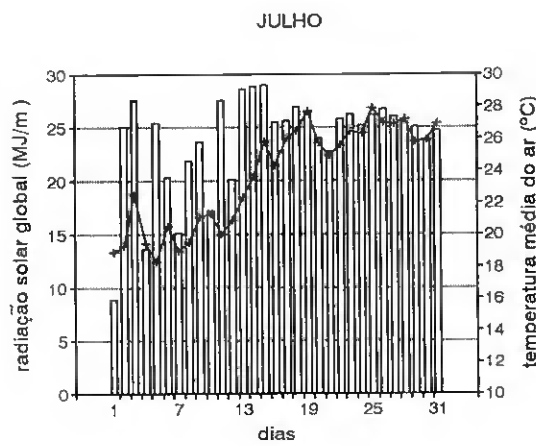
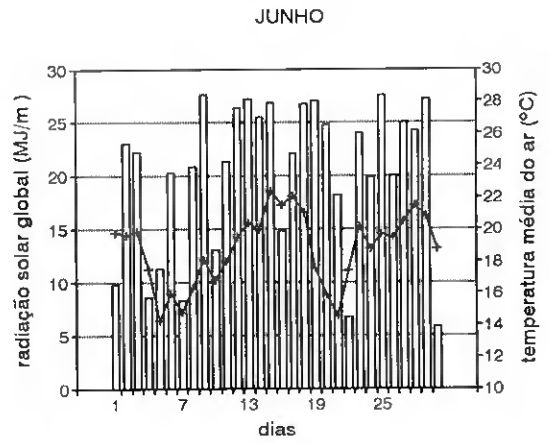
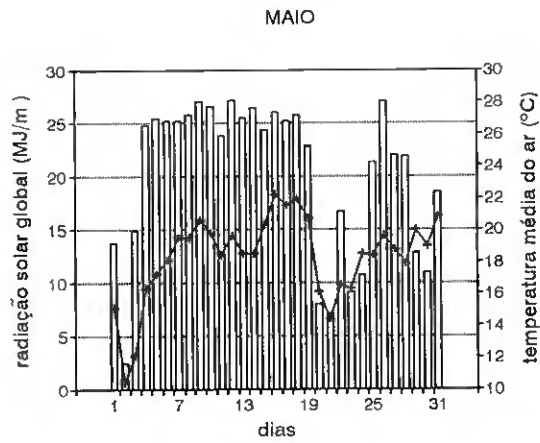


Fig.3.1 - Evolução da radiação solar global (barras) e da temperatura média diária do ar (linhas) em Montfavet (St. Paul) em 1992.



Tab. 3.1 - Quantidades diárias da precipitação (mm) no período de 1 Maio a 30 Set. de 1992

Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro	
dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm	dia	mm
1	28,0	1	28,5	1	0,5	9	31,0	6	10,5
2	51,0	4	12,0	4	12,5	29	9,0	22	159,0
19	6,0	5	1,0	8	4,0	31	1,5	27	4,5
20	3,5	7	9,0	9	0,5			28	0,5
21	4,0	8	2,5	10	6,0				
22	1,0	10	9,5	16	0,5				
24	4,0	16	1,0						
30	4,0	21	4,5						
		22	5,5						
		24	34,0						
		30	6,0						
Total	101,5		113,5		24,0		41,5		174,5

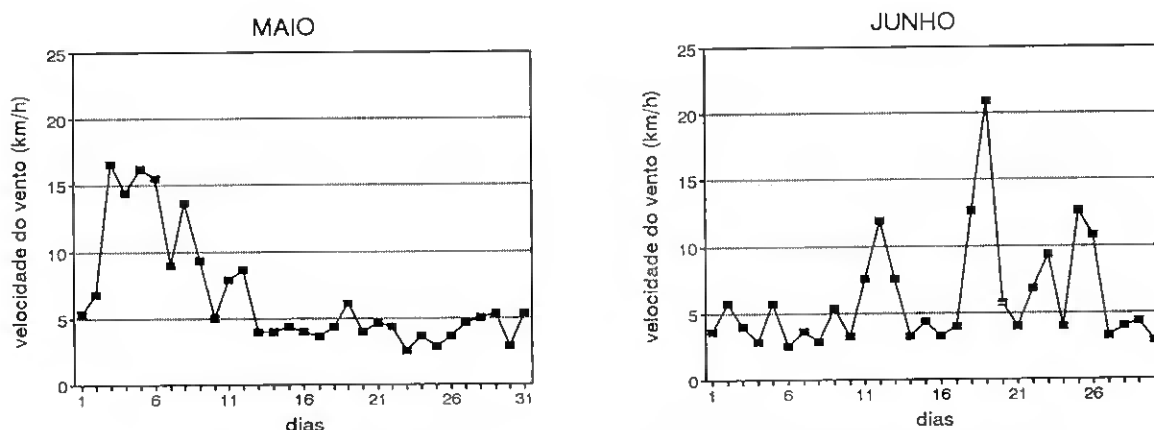


Fig. 3.2 - Velocidade média do vento (km/h) durante os meses de Maio e Junho de 1992.

### 3.1.2 - Evolução do estado hídrico das plantas através da microvariação do diâmetro dos caules

A evolução do estado hídrico das plantas no ensaio de porta-enxertos realizado nos anos de 1992 e 1993, foi seguido e registado através do sistema PEPISTA. Com este fim, instalaram-se dois módulos de aquisição de dados, correspondendo a um total de 16 captore. Cada captor foi instalado no tronco de uma planta a aproximadamente 20 cm do substrato (Foto 11). O número de plantas amostradas por grupo (HR, HD, PR, PD) foi, portanto, de 4.

Este sistema, desenvolvido com finalidade essencialmente aplicada à rega das fruteiras, tem igualmente papel muito importante no domínio da investigação. Através desta técnica pode obter-se dois tipos de informação: por um lado, a evolução temporal do estado hídrico das plantas, por outro o ritmo do crescimento e a redistribuição dos fluxos hídricos entre os tecidos (Katerji, 1982; Huguet, 1985 e Huguet *et al.*, 1990).

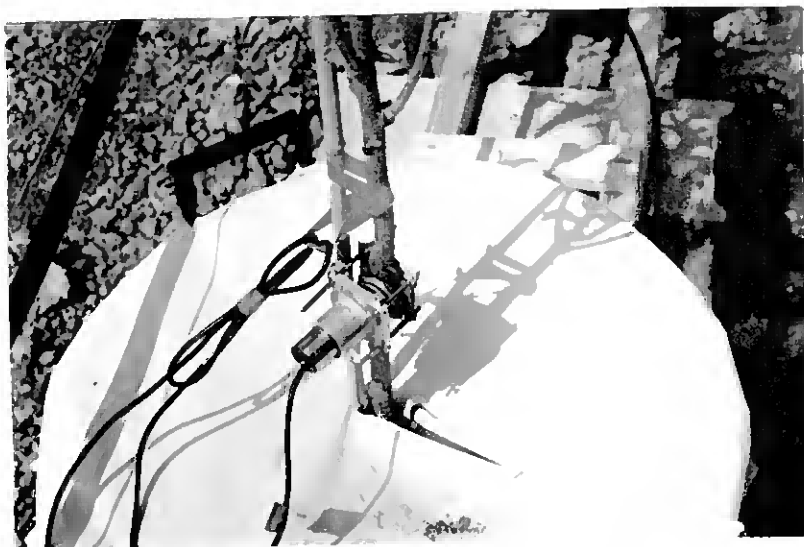


Foto 11 - Captor do sistema PEPISTA para a medição da microvariação do diâmetro dos caules.

Barrs (1968) assinala os primeiros estudos de medição do diâmetro do tronco das árvores levados a cabo por McDougal nas décadas 20 e 30 e, posteriormente, por outros autores que verificaram a ocorrência de flutuações desse diâmetro com diminuição durante o período diurno e expansão durante o fim da tarde e o princípio da noite. A introdução mais recente de novas técnicas de medição e de registo vieram reforçar e ampliar esses conhecimentos.

Nas plantas bem regadas o modelo geral da microvariação do diâmetro do caule, num dia de céu limpo, caracteriza-se por uma fase de contracção desde o amanhecer até ao período da tarde com uma amplitude, em geral, de alguns décimos de milímetro, a que se segue uma fase de expansão com um máximo no final do período nocturno (Huguet, 1985, Huguet *et al.* 1990; Schoch *et al.*, 1987 e 1990). Estes fenómenos de contracção e dilatação, de periodicidade de 24 horas, estão relacionados com os factores físicos do ambiente que afectam a transpiração das plantas, como sejam o teor hídrico do substrato e as condições evaporativas da atmosfera, e com a redistribuição da água nos tecidos das plantas em função dos gradientes de potencial hídrico e das várias resistências ao transporte de água na planta (Moltz e Klepper, 1972; Huguet *et al.*, 1992).

Relativamente aos valores máximos diários do diâmetro verifica-se que, em geral, o máximo de um dia é superior ao do dia anterior, sendo essa diferença indicativa do crescimento diário da planta e dependendo de factores ambientais, como a radiação solar e a temperatura do ar, assim como de factores internos da planta, do défice hídrico, de eventuais ataques de pragas e doenças e outros (Huguet *et al.*, 1992).

Nas plantas em défice hídrico, a amplitude da contracção diária (ACD) e a evolução diária do diâmetro do caule (ED) reflectem as condições hídricas do substrato: os valores de ACD são superiores aos das plantas bem regadas e quanto aos aumentos diários do diâmetro, eles diminuem progressivamente à medida que o défice hídrico se acentua e podem chegar a negativos.

Nas Figs 3.3 e 3.4 apresentam-se, para cada mês do período experimental de 1992 e de 1993, respectivamente, os gráficos relativos à microvariação do diâmetro no ensaio de porta-enxertos. Nestas figuras estão também indicados os dias em que houve regas e, relativamente ao ano de 1992, os dias com precipitação significativa ( $> 2$  mm).

#### **a) Observações registadas em 1992**

As curvas de microvariação do diâmetro relativas ao período de 22 a 30 de Maio (Fig. 3.3 a) mostram que as plantas nesse período se encontravam num estado hídrico normal. Em consequência, os valores de ACD foram moderados e observou-se aumento diário do diâmetro dos caules. Por outro lado, as flutuações de ACD ilustram a influência que as condições meteorológicas têm nesta variável. Assim, existe uma relação estreita entre a radiação solar global e a amplitude das contracções, correspondendo aos dias com baixos valores de radiação (dias 22, 23, 29 e 30) menores contracções.

Durante o mês de Junho (Fig. 3.3 b), devido à frequência de períodos chuvosos apenas ocorreu um ciclo de défice hídrico nas plantas TD, entre os dias 15 e 19. Em comparação com as plantas TR, os valores de ACD foram maiores e os de ED menores no TD. Este período de défice hídrico coincidiu com ventos fortes e baixas temperaturas.

Em Julho (Fig. 3.3 c), as plantas do TD foram sujeitas a dois ciclos de défice hídrico, entre os dias 2 e 4 e os dias 11 e 16. No entanto, no dia 13 houve uma pequena recuperação do estado hídrico das plantas devido a uma rega de curta duração. O défice hídrico foi particularmente severo entre os dias 14 e 16. A partir do dia 16 as plantas foram bem regadas e fertilizadas em ambos os tratamentos.

No mês de Agosto (Fig. 3.3 d), as plantas estiveram submetidas a 4 ciclos de défice hídrico (dias 1 a 3; 12 a 14; 19 a 21; e 25 a 27). Tendo em conta os valores altos da temperatura e da radiação solar, a fraca precipitação e o maior desenvolvimento foliar das plantas relativamente aos meses anteriores, as condições foram propícias à ocorrência de ciclos de secura. No entanto, entre os períodos de défice hídrico foi necessário prolongar as regas durante alguns dias para garantir uma boa recuperação das plantas e rehidratar bem o substrato.

Em Setembro e até à queda das folhas todas as plantas foram bem regadas e fertilizadas.

#### **b) Observações registadas em 1993**

Os gráficos relativos à microvariação do diâmetro dos caules no período de 1 de Maio a 23 de Agosto (Fig. 3.4), mostram que em 1993 as plantas TD estiveram submetidas com regularidade a ciclos de défice hídrico (14 no total). O estabelecimento das condições de *stress* foram facilitadas em relação ao ano anterior devido ao cultivo das plantas em túnel e à sua maior área foliar, a qual contribuiu para a diminuição rápida do teor de água do substrato.

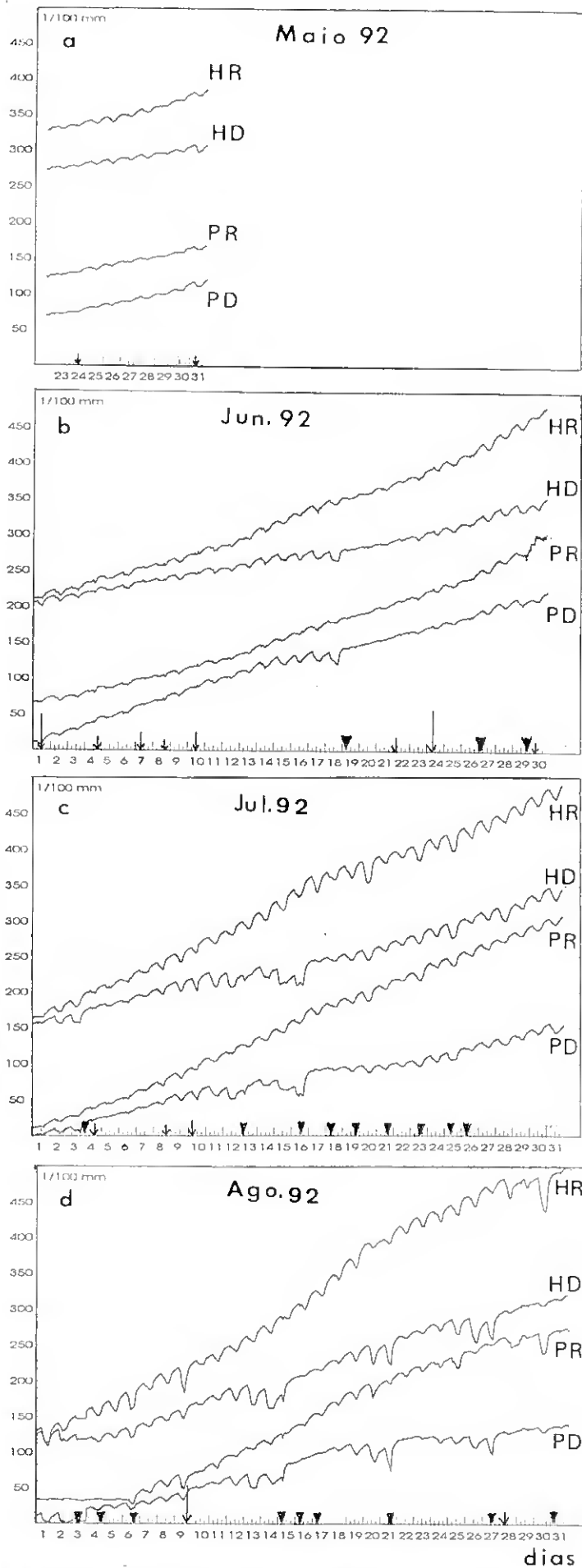


Fig. 3.3 - Microvariação do diâmetro do caule no ensaio de porta-enxertos de Maio a Agosto de 1992 (↓ precipitação; ▼ regas). Nota: a origem das linhas na ordenada é escolhida arbitrariamente.

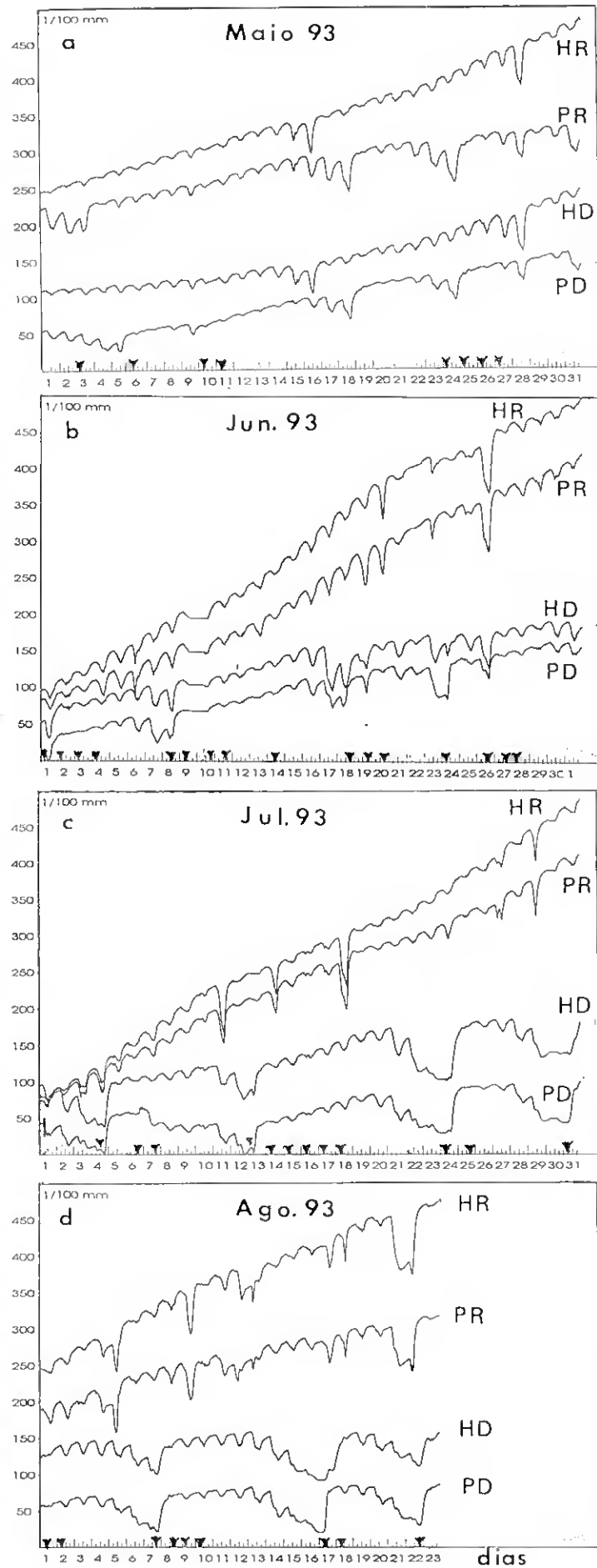


Fig. 3.4- Microvariação do diâmetro do caule no ensaio de porta-enxertos de Maio a Agosto de 1993 (▼ regas). Nota: a origem das linhas na ordenada é escolhida arbitrariamente.

Em relação ao ano anterior, é de notar nas plantas TD que em certos períodos de Julho e de Agosto (Figs 3.4 *c* e *d*) os valores de ACD foram muito pequenos revelando condições de grande défice.

Por outro lado, observa-se claramente que os valores de ACD aumentam ao longo do ciclo vegetativo, em ambos os tratamentos, embora este aspecto seja mais evidente nas plantas TD. Esse comportamento, que também se observou em 1992, deve estar relacionado com a variação estacional das condições evaporativas da atmosfera e com o aumento da área foliar provocando situações temporárias de défice hídrico nas plantas. Nos grupos TD este aspecto é acentuado pela diminuição das disponibilidades hídricas do substrato.

### 3.1.3 - Evolução do estado hídrico com base na variação do peso dos vasos (1992)

Em 1992, a evolução do estado hídrico das plantas foi também seguida pela pesagem periódica dos vasos das plantas do ensaio.

Os pesos dos vasos em diferentes datas apresentam-se na Fig. 3.5, na qual estão também indicados, para facilidade de análise, os períodos de défice hídrico identificados nas curvas de microvariação de diâmetro, assim como os dias de precipitação mais significativa (>5 mm) e de rega.

A comparação do peso dos vasos entre os dois tratamentos, TR (Fig. 3.5 a) e TD (Fig. 3.5 b), mostra que os valores no TD foram claramente inferiores aos dos vasos do TR durante o período experimental. Por outro lado, em ambos os tratamentos, o peso dos vasos diminuiu regularmente ao longo do tempo, verificando-se que as regas aplicadas foram insuficientes para manter o teor de água do substrato aos níveis observados no princípio do ensaio, apesar da escorrência abundante observada nos vasos no final das regas. Por este motivo aumentou-se o número de gotejadores por vaso no ano seguinte.

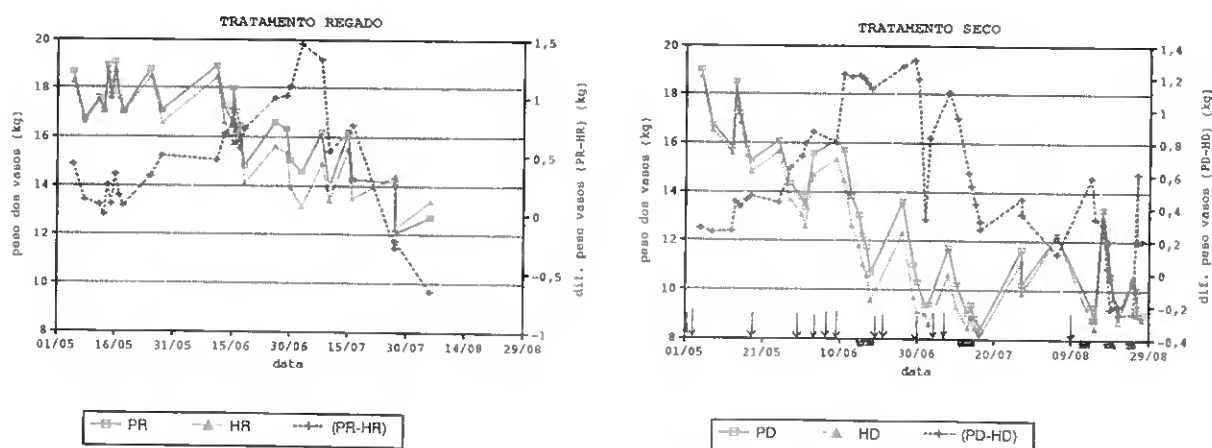


Fig. 3.5 - Peso dos vasos durante parte do ciclo vegetativo de 1992, no ensaio do túnel (↓ precipitação; ■ períodos de défice hídrico).

Não obstante a perda importante do peso dos vasos no TD durante o período das observações (aproximadamente 19 kg no início), as plantas somente apresentaram sintomas de déficit hídrico quando o peso dos vasos era inferior a cerca de 10 kg. Este facto pode indicar comportamento diferente das plantas cultivadas em substrato artificial relativamente ao das plantas cultivadas em condições naturais. Nesta última situação, o déficit hídrico das plantas é geralmente gradual e desencadeia-se em paralelo com a redução do teor de água do solo.

A diferença entre os dois genótipos foi, em geral, pequena, independentemente do tratamento hídrico. Os menores valores foram observados no início do período experimental e aumentaram progressivamente devido, aparentemente, ao maior consumo de água nos híbridos do que nos pessegueiros, atingindo valores máximos no mês de Junho no TD e na primeira quinzena de Julho no TR. Depois, as diferenças no peso dos vasos dos dois genótipos diminuíram, facto que deve estar relacionado com a evolução da área foliar dos dois genótipos.

Em geral, observaram-se pequenas diferenças entre os pessegueiros e os híbridos, em ambos os tratamentos. No TR, os pessegueiros tinham no início da experimentação (Maio) maior consumo de água que os híbridos, mas essa situação inverteu-se progressivamente. Contudo, a partir de meados de Julho o consumo era semelhante nos dois genótipos, indicando uma redução do consumo dos híbridos relativamente aos pessegueiros na última fase das observações. Este fenómeno observou-se também no TD nos dois últimos meses das observações.

A perda de água das plantas está estreitamente relacionada com a sua área foliar. Com o objectivo de se conhecer a relação entre estas duas variáveis, nos híbridos e nos pessegueiros, obtiveram-se regressões entre os valores de perda de água (P) por planta no mês de Maio e a respectiva área foliar (AF).

Pessegueiros	$P = 0,56 + 0,41 \text{ AF}$	$r^2 = 0,93$
Híbridos	$P = 0,55 + 0,48 \text{ AF}$	$r^2 = 0,95$

Estas regressões mostram que existem diferenças relativamente acentuadas entre os dois genótipos quanto ao consumo de água por unidade de área foliar.

A instalação de tensiómetros nos vasos TR e de blocos de gesso nos vasos TD não deu resultados úteis pelo que se conclui que este equipamento não se adapta à medição do teor hídrico no substrato utilizado neste ensaio.

## **3.2 - Crescimento e produção de biomassa**

### **3.2.1 - Aspectos gerais**

A redução da área foliar é o meio mais eficaz de diminuir a transpiração em condições de déficit hídrico. No entanto, para manter um nível de produtividade aceitável as plantas devem produzir a maior quantidade possível de biomassa nas condições em que são cultivadas, nomeadamente em relação à componente hídrica.

Neste capítulo pretende-se comparar os processos de crescimento e a superfície foliar dos dois porta-enxertos (híbridos e pessegueiros), quer em condições hídricas favoráveis quer na presença de déficit hídrico.

Numerosos trabalhos documentam o efeito do déficit hídrico no crescimento e na repartição da matéria seca das plantas herbáceas. Assim, a expansão foliar tem-se mostrado particularmente sensível ao *stress* hídrico (Boyer, 1968; Hsiao, 1973; Takami *et al.*, 1981), embora com muitas excepções (Hoogenboom *et al.*, 1987), pois os factores intervenientes são múltiplos. No entanto, pouca informação existe relativamente ao crescimento e produção de biomassa em árvores de fruto, em especial nas prunóideas. É, contudo, de assinalar os trabalhos de Chalmers e van den Ende's (1975), Haun e Coston (1983) e Steinberg *et al.*, (1990) no pessegueiro sobre a distribuição do peso seco nos diferentes órgãos da planta e o crescimento das folhas e dos frutos, e de Evenari *et al.* (1977) no damasqueiro.

O crescimento e a produção de biomassa nos dois genótipos são analisados em relação aos seguintes aspectos:

- Desenvolvimento foliar
- Crescimento dos ramos
- Estimativa da área foliar
- Diâmetro dos caules e produção de biomassa

### **3.2.2 - Desenvolvimento foliar**

O desenvolvimento foliar foi estudado tendo em consideração dois aspectos principais: a emissão foliar das plantas e a evolução da área foliar num ramo seleccionado por planta.

#### **3.2.2.1 - Emissão foliar**

A emissão foliar foi estudada em 1992. Para este efeito, contou-se o número de folhas formadas em cada planta em períodos de 8 a 10 dias, entre 29 de Maio e 21 de Agosto, o que abrange parte significativa do ciclo vegetativo. Em cada observação considerou-se todos os ramos e todas as plantas do ensaio.



Nos pessegueiros a emissão foliar foi, em geral, homogênea nas 6 plantas de cada grupo, enquanto nos híbridos se verificou maior variabilidade entre as plantas. O número médio diário de folhas emitidas entre observações sucessivas em 1992 figura na Tab. 3.2.

Na primeira fase das observações, entre 29 de Maio e 9 de Junho, todas as plantas se encontravam em boas condições hídricas. A produção foliar nessa fase foi maior nos pessegueiros que nos híbridos e superior nos grupos TD do que nos TR, reflectindo este último aspecto diferenças entre os grupos quanto ao vigor.

No período de 9 a 16 de Junho verificou-se em todas as plantas grande aumento no número de novas folhas pois as condições meteorológicas foram mais favoráveis para o crescimento que no período anterior. As diferenças observadas entre os grupos foram, provavelmente, devidas à ocorrência de ventos fortes, soprando em rajada, que provocaram a quebra de alguns ramos.

Entre 16 e 23 de Junho a emissão foliar diminuiu em todos os grupos, em consequência de valores baixos da temperatura do ar e da radiação solar. Os grupos TD foram mais afectados devido à ocorrência de condições de défice hídrico entre os dias 14 e 19.

No período de 23 de Junho a 6 de Julho, a emissão de folhas diminuiu nos híbridos, em particular no TD (15 % no TR e 35 % no TD), e aumentou nos pessegueiros em ambos os tratamentos (14% no TR e 34 % no TD). As plantas sofreram um curto período de défice hídrico entre os dias 2 e 4.

No período seguinte, de 6 a 17 de Julho, no qual ocorreu um ciclo prolongado de seca, observou-se grande decréscimo na produção de novas folhas nos híbridos, tanto nos HR (cerca de 50%) como, principalmente, nos HD em que a produção foi quase nula. No mesmo período, nos pessegueiros a produção de novas folhas aumentou de 17 % nos PR e diminuiu de 28 % nos PD.

Entre 17 de Julho e 5 de Agosto a emissão foliar aumentou em relação ao período anterior, moderadamente nos grupos TR e substancialmente nos grupos TD. Este comportamento deve estar relacionado com a rega abundante e a fertilização aplicada neste tratamento durante a segunda quinzena do mês de Julho. Nesse período, as diferenças entre os dois genótipos foram máximas, pois considerando os dois tratamentos em conjunto, o número de folhas produzidas pelos pessegueiros foi cerca de 6 vezes superior ao dos híbridos, e no TD esse valor foi ainda maior.

Finalmente de 5 a 21 de Agosto a emissão de folhas apresentou pequenas variações relativamente aos valores observados no período anterior, nalguns casos de redução, noutros casos de aumento. Contudo, durante este período alguns pessegueiros não estavam nas melhores condições vegetativas (ataque de oídio), pelo que estes dados devem ser interpretados com alguma reserva.

Em síntese, a emissão média diária de folhas foi muito diferente nos dois genótipos e nos dois tratamentos hídricos. O número médio diário de folhas emitidas por planta foi, em

Tabela 3.2 - Número médio diário de folhas emitidas entre observações sucessivas no período de 29 de Maio a 21 de Agosto de 1992 (desvios padrão entre parentesis). Média de 6 plantas por grupo.

GRUPOS	PERIODOS DE OBSERVAÇÃO												
	29/05 a 09/06	09/06 a 16/06	$\frac{(b-a) \times 100}{a}$	16/06 a 23/06	$\frac{(c-b) \times 100}{b}$	23/06 a 06/07	$\frac{(d-c) \times 100}{c}$	06/07 a 17/07	$\frac{(e-d) \times 100}{d}$	17/07 a 05/08	$\frac{(f-e) \times 100}{e}$	05/08 a 21/08	$\frac{(g-f) \times 100}{f}$
	(a)	(b)	a	(c)	b	(d)	c	(e)	d	(f)	e	(g)	f
HR	4,3 (1,7)	8,9 (5,3)	107,0	5,8 (2,7)	-0,35	4,9 (2,8)	-15,5	2,4 (1,2)	-51,0	2,8 (1,0)	16,7	2,30 (0,8)	-17,9
HD	6,1 (2,2)	6,9 (2,8)	12,6	4,2 (3,5)	-0,39	2,7 (2,2)	-35,4	0,1 (0,5)	-96,7	1,2 (1,2)	1188,9	3,5 (2,3)	200,1
PR	6,5 (1,1)	10,2 (2,8)	56,4	5,8 (1,8)	-0,43	6,6 (1,9)	14,1	7,7 (1,8)	17,2	10,8 (1,5)	39,2	10,6 (4,4)	-1,1
PD	9,2 (2,1)	12,8 (2,2)	39,8	4,5 (2,3)	-0,65	6,0 (2,1)	33,9	4,3 (0,8)	-27,8	11,3 (2,1)	161,6	10,6 (3,0)	-5,8
P/H	1,51	1,46	0,80	1,03	1,46	1,66	-0,94	4,84	0,07	5,56	0,17	3,68	-0,04
PD/PR	1,41	1,26	0,71	0,77	1,51	0,90	2,40	0,56	-1,61	1,05	4,13	1,00	5,02
HD/HR	1,42	0,77	0,12	0,72	1,13	0,55	2,28	0,04	1,89	0,41	71,33	1,51	-11,21

Notas relativas às condições ambientais e de cultivo nos períodos de observação indicados na tabela:

(a) Más condições para o desenvolvimento das plantas.

(b) Boas condições para o desenvolvimento das plantas mas períodos de vento forte.

(c) Ocorrência de déficit hídrico entre os dias 14 e 19.

(d) Ocorrência de déficit hídrico entre os dias 2 e 4.

(e) Ocorrência de déficit hídrico entre os dias 11 e 16.

(f) Rega abundante e fertilização de todas as plantas até ao fim de Julho seguido de um período hídrico de 1 a 3 Agosto.

(g) Ocorrência de dois ciclos de déficit hídrico nos períodos de 12 a 14 e de 19 a 21.

geral, maior nos pessegueiros do que nos híbridos. As diferenças entre os dois genótipos observaram-se principalmente nos meses de Julho e Agosto devido a uma redução acentuada da emissão foliar nos híbridos, a partir da última semana de Junho no TD e da segunda semana de Julho no TR, aspecto que não se registou nos pessegueiros. Nestas plantas, a emissão foliar nas últimas observações foi superior à registada nas fases iniciais.

Em ambos os genótipos, o défice hídrico provocou uma redução significativa na formação de novas folhas, embora se deva salientar que o restabelecimento de condições hídricas normais após um ciclo de défice, como ocorreu de 17 de Julho a 5 de Agosto, esteve associado a valores altos de emissão foliar.

Os dois genótipos diferiam significativamente no início do período experimental quanto ao número de ramificações, aspecto que se acentuou durante o ciclo vegetativo devido ao desenvolvimento de ramificações antecipadas. Nestas circunstâncias, a formação de folhas ao nível da planta poderia reflectir apenas diferenças entre os dois porta-enxertos nas características de ramificação. No entanto, essa situação não se confirmou pois, como se observa na Fig. 3.6, a emissão foliar por ápice vegetativo seguiu, em linhas gerais, as tendências ao nível da planta apresentadas na Tab. 3.2, embora as diferenças entre os grupos tenham sido menos marcadas.

As diferenças entre os porta-enxertos e os tratamentos hídricos estão claramente expressas na Fig. 3.7 em que se representam algumas relações entre os valores de emissão média diária de folhas dos vários grupos por ápice vegetativo. À semelhança do que se observou ao nível da planta, a emissão de novas folhas foi, em média, superior nos pessegueiros durante todo o período de observação, excepto entre 16 e 23 de Junho. A partir desta última data, a emissão foliar dos pessegueiros relativamente à dos híbridos aumentou substancialmente até ao final do período experimental.

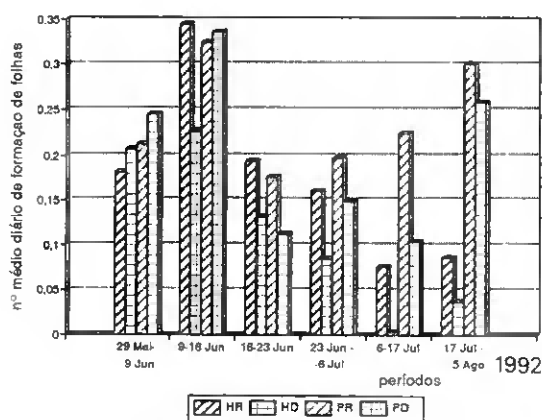


Fig. 3.6 - Número médio diário de formação de folhas por ápice vegetativo.

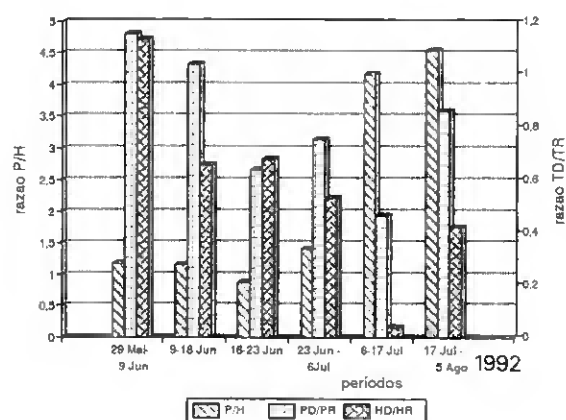


Fig. 3.7 - Relações entre os dois genótipos (P/H) e entre os dois tratamentos (PD/PR e HD/HR) quanto à formação foliar por ápice vegetativo.

Em relação ao défice hídrico verificou-se a partir de 9 de Junho no caso dos híbridos, e de 16 de Junho no caso dos pessegueiros, que a produção de folhas no TD foi inferior ao TR. O número de folhas produzidas pelas plantas do TD no período de 16 Junho a 5 Agosto foi, relativamente às plantas bem regadas, de 63% nos híbridos e de cerca de 70% nos pessegueiros.

### 3.2.2.2 - Evolução do crescimento foliar nos ramos

A evolução do crescimento das folhas foi seguida num ramo seleccionado em cada uma das 24 plantas do ensaio. No ano de 1992 o período das observações foi de 3 de Julho a 21 de Agosto e em 1993 de 29 de Abril a 19 de Maio.

Em 1992 mediu-se periodicamente o comprimento ( $c$ ) e a largura máxima ( $l$ ) das folhas em crescimento, o que correspondeu, em geral, às folhas do terço apical dos ramos. Esses parâmetros foram utilizados para a estimativa da área das folhas através de equações de regressão previamente obtidas para cada genótipo. Foi também medido o comprimento das folhas ainda fechadas quando estas já se encontravam relativamente desenvolvidas.

Em 1993, como as observações começaram quase no início do ciclo vegetativo, o número de folhas por ramo era pequeno e, assim, foi possível medir as dimensões de todas as folhas abertas dos ramos seleccionados. Por outro lado, tendo-se verificado no ano anterior que as folhas fechadas contribuíram pouco para a área foliar dos ramos, estas não foram consideradas.

As equações de regressão entre as dimensões lineares das folhas,  $c$  e  $l$ , e a respectiva área,  $A_f$ , à semelhança do que foi feito por Steinberg *et al.* (1990) no pessegueiro, foram estabelecidas a partir de medições de 180 a 200 folhas por genótipo, tendo-se obtido as seguintes expressões:

1992 (26 de Maio)

Híbridos	$A_f = 0,47 + 0,63 c \times l$	$r^2 = 0,97$
Pessegueiros	$A_f = 0,21 + 0,67 c \times l$	$r^2 = 0,98$

1993 (21 de Abril)

Híbridos	$A_f = 0,71 + 0,72 c \times l$	$r^2 = 0,98$
Pessegueiros	$A_f = 0,46 + 0,63 c \times l$	$r^2 = 0,95$

É de assinalar que existe, também, boa correlação entre a área das folhas e o respectivo comprimento, tanto nos híbridos como nos pessegueiros (coeficientes de determinação superiores a 0,90) e, assim, a área das folhas pode ser estimada a partir do seu comprimento com um grau de precisão aceitável.

A área das folhas ainda não completamente abertas foi determinada em função do comprimento, com base em valores médios obtidos por amostragem e que se apresentam na Tab. 3.3.

Tab. 3.3 - Área média das folhas não completamente abertas por classe de comprimento

Comprimento (cm)	Área das folhas (cm <sup>2</sup> )	
	GF 677	GF 305
< 6	5,3	3,8
6 a 8	9,5	7,8
8 a 10	10,9	-

### a) Evolução da área foliar dos ramos

A evolução da área foliar dos ramos nas 6 plantas de cada grupo foi bastante homogênea, tendo sido os valores médios durante o período experimental sempre maiores nos híbridos do que nos pessegueiros. Esta tendência acentuou-se desde o início do ensaio até meados de Junho e depois decresceu gradualmente (Fig. 3.8 a).

Da análise da Figs 3.8 a e b, vê-se que o déficit hídrico teve efeito depressivo pouco acentuado, tendo mesmo na última quinzena de Junho a área média foliar de ambos os genótipos do TD aumentado apreciavelmente em relação à das plantas TR, o que não seria de esperar. A partir do fim de Junho embora a razão TD/TR para ambos os genótipos se tivesse mantido superior à unidade, o efeito do déficit hídrico foi progressivamente aumentando e no fim do ensaio os valores médios da área foliar em ambos os tratamentos hídricos eram praticamente iguais.

No ensaio de 1993, em que as plantas estavam abrigadas no túnel, a área foliar média dos ramos foi, como no ano anterior, maior nos híbridos que nos pessegueiros em

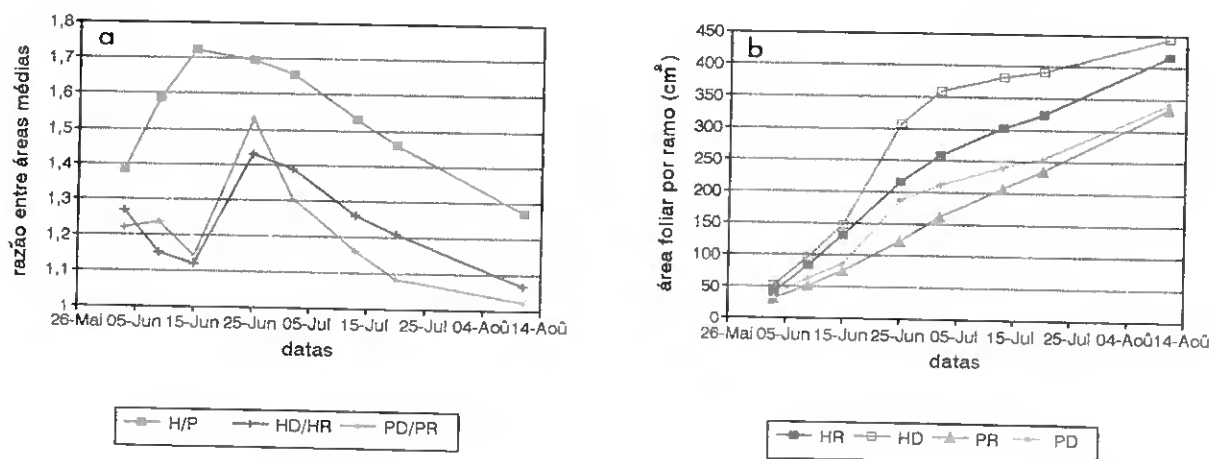


Fig 3.8 - Evolução da área foliar dos ramos em 1992. Média de 6 plantas por grupo.

ambos os tratamentos e o défice hídrico foi evidente em ambos os genótipos provocando marcada redução do crescimento.

### **b) Crescimento das folhas**

Em relação às folhas que estavam em crescimento no início da experimentação de 1992 (3 Jun.), a evolução da respectiva área durante o período das observações foi semelhante nos dois genótipos (Fig. 3.9). Em todas as plantas observou-se uma fase inicial de crescimento rápido, a que se seguiu um período no qual a área das folhas se manteve quase estacionária. Nas folhas mais jovens (menos de 5,5 cm de comprimento), o aumento da área foliar durante a primeira fase foi um pouco superior ao das folhas mais desenvolvidas, mas a duração dessa fase foi semelhante em todas elas. No final do período de crescimento a área foliar era maior nos híbridos que nos pessegueiros.

Nessas folhas, o crescimento foi mais rápido nos grupos TD que nos TR no período de 15 a 25 de Junho, sobretudo nos híbridos, enquanto nos pessegueiros esse aspecto só foi evidente nas folhas mais desenvolvidas (comprimento superior a 9,5 cm). No período de 25 de Junho a 20 de Julho o crescimento das folhas foi praticamente nulo nas plantas TD e muito pequeno no TR em ambos os genótipos. No final das observações a área das folhas dos híbridos era maior no TD que no TR e nos pessegueiros as diferenças entre os tratamentos eram muito pequenas.

No que se refere às folhas formadas entre 3 de Junho e 2 de Julho (Fig. 3.10), o crescimento foi relativamente rápido nas que iniciaram o crescimento entre 3 e 15 de Junho (Figs 3.10 *a* e *b*) e mais lento nas folhas formadas depois desse período (Figs 3.10 *c* e *d*). A acção do défice hídrico no crescimento das folhas formadas depois de 3 de Junho foi semelhante ao descrito nas folhas em crescimento no início da experimentação.

### **c) Evolução do número de folhas**

A evolução do número de folhas em crescimento nos ramos seleccionados durante o período das observações de 1992 seguiu o mesmo padrão que os parâmetros anteriores observando-se maior número de folhas nos híbridos que nos pessegueiros. As diferenças entre os dois genótipos foram máximas na segunda quinzena de Junho e início de Julho e diminuíram depois progressivamente mas mantendo-se a superioridade dos híbridos.

Nos grupos submetidos a défice hídrico, o número de folhas em crescimento foi geralmente superior ao dos grupos TR, sobretudo no fim de Junho a princípio de Julho, mas depois o efeito depressivo do défice hídrico no número de folhas em crescimento foi-se acentuando.

Em 1993, o número de folhas era aproximadamente igual nos 4 grupos de plantas no início do período experimental mas no fim das observações (19 Maio) existiam diferenças nítidas entre os grupos sendo o número de folhas maior nos HR que nos PR e menor nos grupos TD que nos TR.

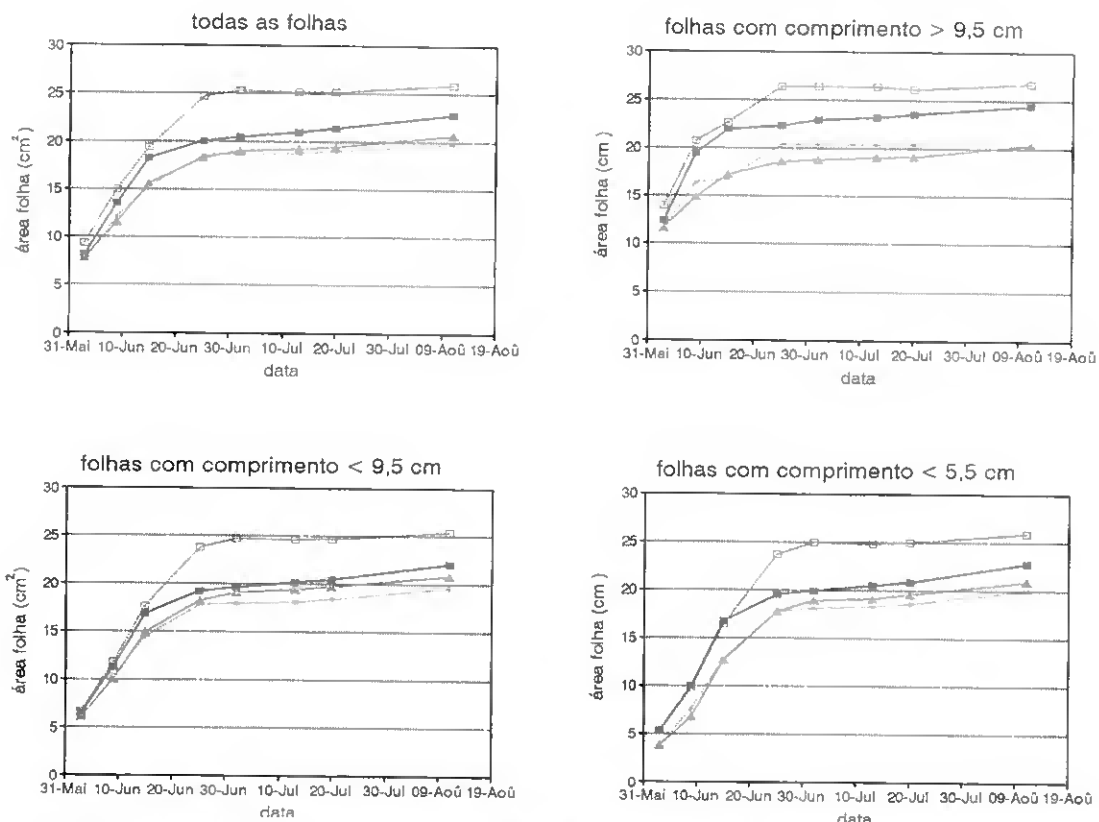


Fig. 3.9 - Evolução da área foliar em 1992 para todas as folhas e para as de diferente comprimento. (Legenda: —■— HR —□— HD —▲— PR —△— PD)

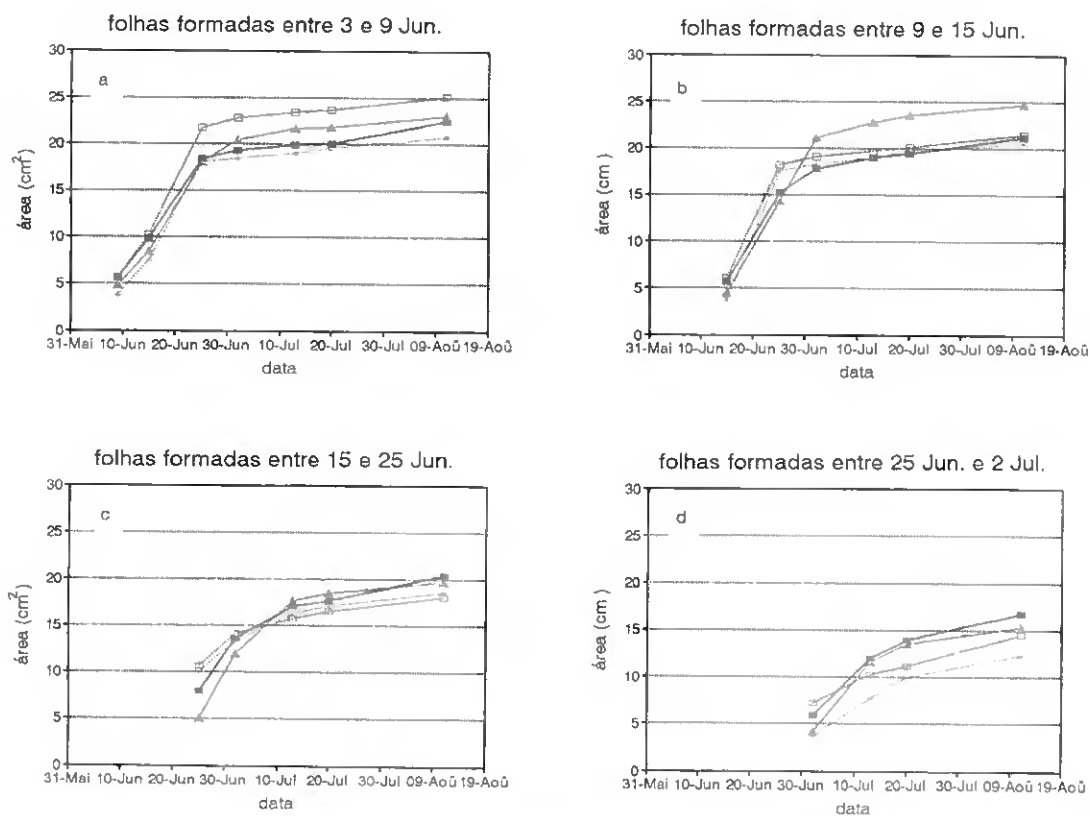


Fig. 3.10 - Evolução da área foliar em 1992 para as folhas formadas em diferentes períodos. (Legenda: —■— HR —□— HD —▲— PR —△— PD)

Em conclusão, o número de folhas em crescimento por ramo e a respectiva área foliar são dois parâmetros estreitamente relacionados, podendo, por isso, o número de folhas ser utilizado como indicador da área foliar do ramo. Para melhorar a precisão desta relação, convém determinar por amostragem a área média das folhas, pois estas apresentam diferentes ritmos de crescimento durante o ciclo vegetativo.

### 3.2.3. Crescimento dos ramos

A evolução do crescimento dos ramos foi seguida pela medição periódica, em geral mensal, do comprimento dos ramos de todas as plantas.

Relativamente a 1992, a evolução do crescimento dos ramos principais apresenta-se na Fig. 3.11. O comprimento do conjunto dos ramos de cada planta (valores médios por grupo) foram sempre maiores nos pessegueiros que nos híbridos independentemente do tratamento hídrico. Este aspecto reflecte, essencialmente, diferenças entre os dois génotipos quanto ao número de ramos por planta. Nos pessegueiros, esse número foi geralmente de 4 por planta, enquanto nos híbridos variou de 2 a 4, como consequência da quebra dos ramos devido aos ventos fortes que ocorreram em Maio.

Em geral, o crescimento dos ramos principais diminuiu a partir do fim de Junho, à excepção dos HR que mantiveram um ritmo de crescimento importante até ao final do ciclo. As diferenças entre os dois tratamentos hídricos foram pequenas nos pessegueiros, embora o crescimento dos ramos tivesse sido menor nos PD a partir do fim de Junho. Nos híbridos as diferenças foram mais importantes devido ao maior abrandamento do ritmo de crescimento nos HD a partir do mês de Julho.

Alguns parâmetros representativos do desenvolvimento de ramos antecipados em 1992 são apresentados na Tab. 3.4, como sejam, o comprimento médio dos ramos e o número médio dos ramos por planta. Com base nesses valores elaborou-se a Fig. 3.12 relativa ao comprimento médio por planta do conjunto dos ramos antecipados, obtido pelo

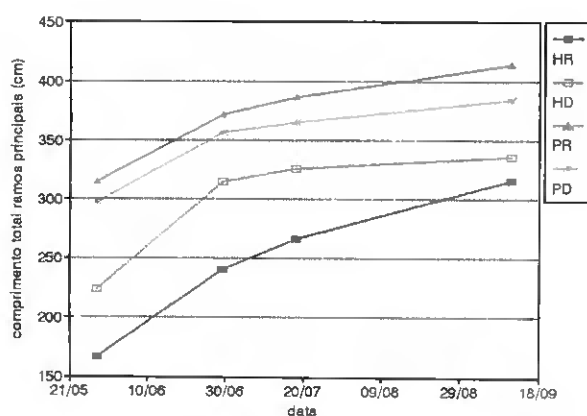


Fig. 3.11 - Comprimento total por planta dos ramos principais em 1992. Média de 6 plantas por grupo.

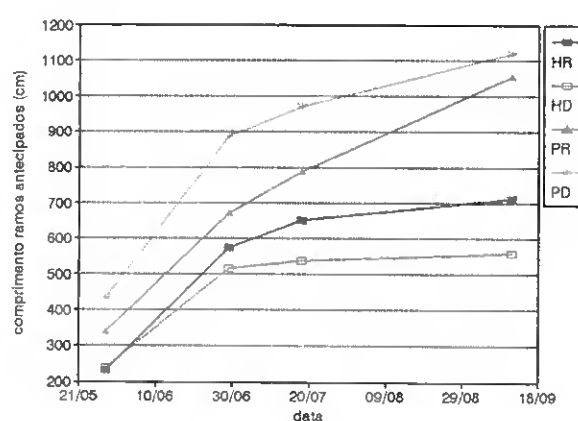


Fig. 3.12- Comprimento total por planta dos ramos secundários em 1992. Média de 6 plantas por grupo.



produto dos valores das colunas (a) e (b) daquela tabela, para cada data de observação e para cada grupo de plantas. A evolução ao longo do ciclo vegetativo do comprimento total dos ramos antecipados dependeu do aumento do comprimento dos ramos iniciais e, também, da emissão contínua de novos ramos.

Tab. 3.4 - Comprimento e número médio dos ramos antecipados em 1992

GRUPOS	Comprimento médio (cm)				N.º médio de ramos por planta			
	a)				b)			
	28/05	29/06	18/07	11/09	28/05	29/06	18/07	11/09
HR	10,8	19,8	22,6	24,4	17,7	27,3	29,3	29,5
HD	8,3	20,1	18,9	19,0	25,3	28,5	28,5	29,3
PR	11,7	22,4	25,6	30,4	25,8	29,2	30,8	35,0
PD	13,3	25,1	27,0	29,5	32,7	35,8	37,7	44,7

Na Tab. 3.4 verifica-se que o comprimento e o número médios dos ramos antecipados foram maiores nos pessegueiros que nos híbridos em ambos os tratamentos, verificando-se que o número de ramos variou pouco nos híbridos a partir do fim de Junho mas continuou a aumentar até ao fim do ciclo vegetativo nos pessegueiros. A formação destes ramos não parece ter sido influenciada pelo défice hídrico.

Contudo, o efeito do défice hídrico no comprimento do conjunto dos ramos antecipados foi relativamente importante nos dois genótipos, em particular nos híbridos.

Em 1993, a densidade dos gomos no início do ciclo vegetativo era muito maior nos pessegueiros do que nos híbridos. Apesar de se ter eliminado muitos ramos nos pessegueiros após a rebentação, mesmo assim o número médio de ramos manteve-se maior nos pessegueiros que nos híbridos.

Em todas as plantas, a quase totalidade do crescimento dos ramos principais teve lugar antes de 16 de Junho (Fig. 3.13). Em 20 de Abril, à excepção dos HR, não haviam diferenças significativas entre os vários grupos, mas nos outros dois períodos de observação o comprimento total dos ramos dos pessegueiros era maior que nos híbridos.

O efeito do défice hídrico foi marcado em ambos os genótipos. As diferenças entre os grupos do TR e do TD foram maiores nos pessegueiros que nos híbridos, mas neste genótipo o número de ramos era maior no grupo TD o que contribuiu para a redução das diferenças entre os dois tratamentos.

O comprimento médio dos ramos principais dos híbridos a 20 de Abril (29 cm) era superior ao dos pessegueiros (22 cm) (Fig. 3.14) e nas datas seguintes no TR os valores mantiveram-se superiores nos híbridos e no TD as diferenças foram pequenas.

Ao contrário dos ramos principais, o comprimento do conjunto dos ramos antecipados por planta foi, em média, maior nos pessegueiros do que nos híbridos e o défice hídrico teve um efeito muito marcado (Fig. 3.15). As diferenças entre os dois

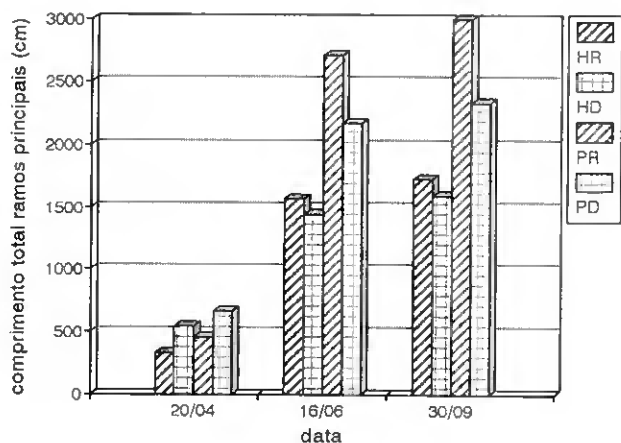


Fig. 3.13 - Comprimento total por planta dos ramos principais em 1993. Média de 6 plantas por grupo.

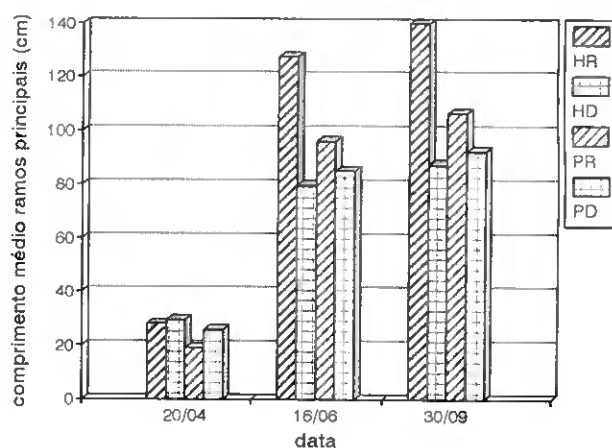


Fig. 3.14 - Comprimento médio por planta dos ramos principais em 1993. Média de 6 plantas por grupo.

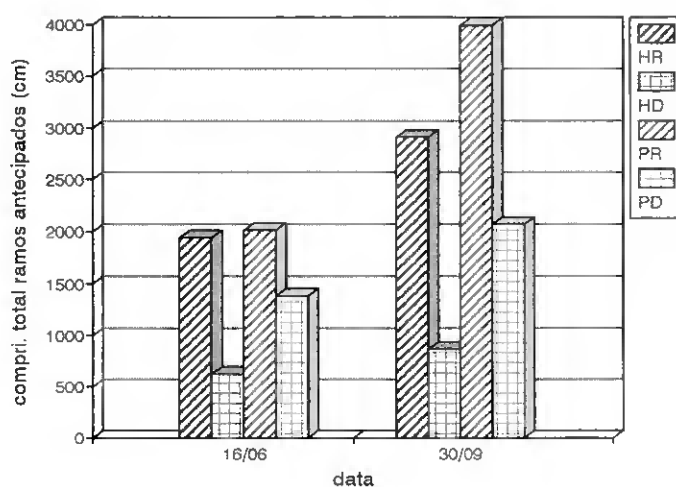


Fig. 3.15 - Comprimento total por planta do conjunto dos ramos antecipados em 1993. Média de 6 plantas por grupo.

tratamentos foram maiores nos híbridos que nos pessegueiros, mas este facto pode estar relacionado com o menor número de ramos principais dos HR e, em consequência, maior desenvolvimento das ramificações antecipadas.

No fim do ciclo, o número médio de ramos antecipados por planta nos pessegueiros era quase duplo do observado nos híbridos e o défice hídrico reduziu o número de ramos antecipados de 48% nos híbridos e de 38 % nos pessegueiros. O comprimento médio dos ramos antecipados foi maior nos grupos TR que nos grupos TD, sobretudo nos híbridos.

Em conclusão, a evolução do crescimento dos ramos em 1992 e em 1993 mostrou que os pessegueiros formam maior número de ramos principais e antecipados que os híbridos, aspecto que se reflecte no maior comprimento total das ramificações desse genótipo. Por outro lado, o crescimento dos ramos, nomeadamente das ramificações

principais na primeira metade do ciclo e das antecipadas na segunda, foi praticamente contínuo nos pessegueiros durante o ciclo, ou, pelo menos, sem grandes variações de ritmo, enquanto nos híbridos a velocidade de crescimento diminuiu nitidamente nos meses de Verão, com excepção dos HR em 1993, pelas razões que foram referidas oportunamente.

O défice hídrico reduziu de forma muito evidente o crescimento dos ramos em ambos os porta-enxertos, provocando diminuição do comprimento dos ramos e limitando a formação de ramificações antecipadas.

### 3.2.4 - Estimativas da área foliar

As estimativas das áreas foliares foram obtidas no início de 1992 e em Abril, Junho e Outubro de 1993.

Em 1992 fizeram-se duas estimativas de área foliar após a instalação das plantas no local definitivo, uma no princípio e outra no fim do mês de Maio. Com este objectivo mediu-se o comprimento e a largura de todas as folhas de cada planta. Estes valores foram transformados em áreas foliares através das equações apresentadas anteriormente.

Em 1993, o método utilizado para a estimativa da área foliar foi mais expedito mas com o inconveniente de incluir algumas avaliações destrutivas. A área foliar foi estimada com base na determinação do comprimento dos ramos das plantas e da relação entre a área foliar dos ramos e esses comprimentos, estabelecida por amostragem. Essa relação foi obtida por diferentes processos de acordo com as características das plantas ao longo do ciclo vegetativo.

Em Abril, a razão entre a média das áreas foliares dos ramos e a média dos respectivos comprimentos foi determinada sobre uma amostra de ramos colhidos nas plantas e os valores obtidos foram de 5,3 cm<sup>2</sup>/cm nos pessegueiros e 8,9 cm<sup>2</sup>/cm nos híbridos. Neste período, entre TR e TD não se encontraram diferenças nas dimensões médias das folhas em qualquer dos genótipos.

Em Junho, nos pessegueiros seleccionaram-se 3 ramos por planta em distintas posições e de comprimento variável nos quais se mediu o comprimento e a área foliar. Em relação às ramificações antecipadas, mediu-se o comprimento e a área foliar de um conjunto representativo desses ramos. As razões obtidas entre a área foliar e o comprimento dos ramos foram nos ramos principais de 10,7 cm<sup>2</sup>/cm nos PR e 9,9 cm<sup>2</sup>/cm nos PD; e nos ramos antecipados de 6,0 e de 4,6 cm<sup>2</sup>/cm, respectivamente.

Nos híbridos, como o número de ramos principais era menor e de maior comprimento que nos pessegueiros, a eliminação de alguns ramos poderia prejudicar o equilíbrio da planta. Assim, colheu-se apenas uma folha de cinco em cinco ao longo de 3 eixos principais por planta e extrapolou-se a partir dos resultados obtidos a área foliar dos ramos correspondentes. Em relação aos ramos antecipados, seguiu-se o procedimento indicado para os pessegueiros. Nos ramos principais, as razões entre a área foliar e o

comprimento dos ramos neste genótipo foram de 11,2 cm<sup>2</sup>/cm nos HR e de 10,0 nos HD. Nos ramos antecipados, essas razões foram iguais nos dois tratamentos (5,3 cm<sup>2</sup>/cm).

Em **Outubro**, estimou-se a área foliar que as plantas teriam se tivessem conservado todas as folhas, mas na realidade nesse mês elas já tinham perdido a maior parte delas. Essa estimativa foi baseada no número médio de folhas, determinado a partir do número de gomos axilares dos ramos principais e antecipados e da área média das respectivas folhas previamente obtida no mês de Setembro (Tab. 3.5). Apesar dos métodos indirectos utilizados neste período, os valores obtidos foram, em termos relativos, da mesma ordem dos resultados observados em Junho.

As duas medições de área foliar feitas em 1992, não obstante o pequeno intervalo de tempo que as separou, tiveram resultados muito diferentes (Tab. 3.6). Enquanto no início de Maio (aproximadamente mês e meio após a rebentação dos gomos) a área foliar dos híbridos era superior à dos pessegueiros (+ 14%), no final desse mês a área foliar tinha aumentado substancialmente e os pessegueiros tinham maior área que os híbridos (+ 33%).

No início do ciclo vegetativo de 1993, a 20 de Abril, os híbridos apresentavam uma área foliar 1,2 vezes superior aos pessegueiros. Tal como em 1992, em ambos os genótipos, os grupos TD tinham inicialmente uma área superior aos grupos TR.

Tab. 3.5 - Valores utilizados para a estimativa da área foliar no final do ciclo vegetativo de 1993.

GRUPOS	RAMOS PRINCIPAIS			RAMOS ANTECIPADOS		
	Nº médio de folhas por cm de ramo	Área média das folhas (cm <sup>2</sup> )	Área foliar por cm de ramo (cm <sup>2</sup> )	Nº médio de folhas por cm de ramo	Área média das folhas (cm <sup>2</sup> )	Área foliar por cm de ramo (cm <sup>2</sup> )
PR	0,38	36,9	14,0	0,63	16,9	10,6
PD	0,42	33,3	14,0	0,76	9,8	7,4
HR	0,34	36,0	12,2	0,50	14,5	7,3
HD	0,42	26,3	11,0	0,81	9,1	21,4

Tab. 3.6 - Áreas foliares médias estimadas (cm<sup>2</sup>). (O valor relativo a 30 de Out. corresponde à área produzida no conjunto do ciclo vegetativo).

GRUPOS	1992		1993		
	5-9 Mai.	19-23 Mai.	20 Abr.	15 Jun.	30 Out.
PR	819	2075	2841	41085	93625
PD	985	2447	3504	27927	53407
HR	888	1541	2974	27783	46626
HD	1175	1850	4835	17586	24945
H/P	1,14	0,75	1,23	0,66	0,49
PD/PR	1,20	1,18	1,23	0,68	0,57
HD/HR	1,32	1,20	1,63	0,63	0,53

Em 15 de Junho, os pessegueiros apresentavam vantagem e a área foliar era 1,5 vezes superior aos híbridos. As plantas dos grupos TD tinham menor área foliar que as dos grupos TR (cerca de 67% da área destes). Pode concluir-se, portanto, que nesta fase o déficit hídrico teve efeito muito marcado nos dois génotipos, em especial nos híbridos.

No final do ciclo vegetativo (30 Out.) os pessegueiros teriam, segundo a estimativa realizada, produzido durante o ciclo vegetativo, em média, uma área foliar por planta cerca de duas vezes superior aos híbridos. A área foliar dos grupos TD, expressa em percentagem da área dos grupos TR, era de 57% nos pessegueiros e de 53% nos híbridos.

A área foliar da planta, à excepção da fase inicial do ciclo vegetativo, resulta de duas componentes: a área das folhas dos ramos principais, incluindo a área das folhas axilares, e a área das folhas dos ramos antecipados. A contribuição da área foliar dos ramos antecipados na área total aumentou regularmente durante o ciclo vegetativo nos dois génotipos. Em 15 de Junho ela correspondia a cerca de 27% da área foliar dos híbridos e dos pessegueiros e em 30 de Setembro esses valores eram cerca de 35% nos dois casos.

Os ramos antecipados desenvolveram-se mais rapidamente nos HR do que nos PR e o efeito do déficit hídrico, muito significativo, manifestou-se nos HD principalmente antes de 15 de Junho e nos PD depois dessa data.

A importância das folhas axilares na área foliar dos ramos principais aumentou gradualmente durante o ciclo vegetativo. Inexistentes em Abril, a sua área total em Junho, expressa em relação à área das folhas principais, era de cerca de 10 % nos PR, 13% nos PD e insignificante nos híbridos. Em Setembro, a área das folhas axilares representava 22% da área das folhas principais nos PR, 15% nos PD, 20% nos HR e 7% nos HD. Portanto, o desenvolvimento das folhas axilares foi mais lento nos híbridos do que nos pessegueiros e muito reduzido em condições de déficit hídrico, especialmente nos híbridos.

Em conclusão, a área foliar dos pessegueiros foi muito superior à área foliar dos híbridos durante o ciclo vegetativo, à excepção do período inicial. A redução da área total das plantas do TD deveu-se simultaneamente à menor área foliar dos ramos principais que nas plantas TR e, sobretudo, à menor área foliar dos ramos antecipados. Esse fenómeno foi, ainda, acentuado pela menor formação de folhas axilares no TD.

### **3.2.5 - Diâmetro dos caules e produção de biomassa**

#### **a) Diâmetro dos caules**

O diâmetro dos caules foi medido a 5 cm do colo das plantas com uma craveira digital em várias datas de 1992 e 1993 (Tab. 3.7). Em regra, em cada período de medição tomaram-se duas medidas por secção de caule, em direcções perpendiculares entre si, devido ao contorno irregular dos caules.

O diâmetro médio dos caules no momento da plantação (Fev. 92) era aproximadamente o mesmo nos pessegueiros (11,7 cm) e nos híbridos (11,5 mm).

Contudo, devido à existência de alguma heterogeneidade entre as plantas de cada genótipo, a distribuição aleatória das plantas nos dois tratamentos hídricos conduziu a médias um pouco superiores nos grupos TD que nos grupos TR.

Tab. 3.7 - Diâmetro dos caules dos porta-enxertos (mm). Médias de 6 plantas por grupo e desvios padrão.

GRUPO	26/02/92	28/12/92	30/01/94
PR	11,5 ± 0,5	21,9 ± 0,4	33,5 ± 0,4
PD	11,9 ± 0,9	18,6 ± 0,5	24,5 ± 0,9
HR	11,2 ± 0,9	22,7 ± 1,1	36,1 ± 1,2
HD	11,8 ± 0,8	20,3 ± 1,0	26,1 ± 1,5

No fim do ciclo vegetativo de 1992, o diâmetro de cada planta quase tinha duplicado. As diferenças entre os híbridos e os pessegueiros evidenciaram-se em ambos os tratamentos a favor dos híbridos. O efeito do déficit hídrico traduziu-se por menor aumento de diâmetro nos grupos do TD em relação aos grupos TR.

No ciclo vegetativo seguinte, a vantagem dos híbridos em relação aos pessegueiros manteve-se, embora pequena, e as diferenças entre os tratamentos hídricos aumentaram relativamente a 1992.

#### b) Produção total de biomassa

A produção de biomassa foi estimada através do peso seco da madeira após a queda das folhas. Desta forma, a quantidade total de biomassa produzida pelos dois genótipos ficou subestimada dado que não se considerou o peso seco das folhas produzidas durante o ciclo vegetativo. No entanto, a fracção de biomassa investida na madeira é muito importante nas árvores pois é a base material da produção vegetativa no ano seguinte.

No final de 1993, os híbridos tinham produzido uma quantidade de matéria seca 1,3 vezes superior aos pessegueiros, considerando ambos os tratamentos hídricos (Tab. 3.8). A principal diferença entre os dois genótipos manifestou-se no TR, correspondendo o peso seco dos ramos dos pessegueiros a 73% do peso seco dos ramos dos híbridos. No TD, as diferenças foram menores tendo os pessegueiros produzido uma quantidade de matéria seca equivalente a 85% da produzida pelos híbridos.

Tab. 3.8 - Matéria seca dos ramos dos pessegueiros e dos híbridos, regados e não regados, no final do ciclo vegetativo de 1993. Valores médios do peso seco (em gramas) dos ramos de dois anos (Rm2), dos ramos do ano (Rm1) e dos ramos antecipados (Rma) e respectivos desvios padrão

GRUPOS	Rm2	Rm1	Rma	Total
PR	332 ± 42	522 ± 23	146 ± 36	999 ± 37
PD	157 ± 15	226 ± 21	59 ± 34	442 ± 38
HR	421 ± 38	743 ± 169	203 ± 60	1367 ± 193
HD	214 ± 35	264 ± 44	40 ± 14	517 ± 83

O déficit hídrico teve efeito muito marcado nos dois genótipos. A produção de matéria seca nos PD correspondeu a 44% da matéria seca dos PR, e nos HD a 38% dos HR.

No que respeita à repartição da matéria seca na planta entre os vários tipos de ramos, incluindo o tronco, verificou-se que nos grupos TR o peso seco das ramificações antecipadas representava uma proporção do peso seco total aproximadamente igual nos pessegueiros e nos híbridos (cerca de 15 %), enquanto no TD essa proporção era apenas um pouco menor que a dos grupos regados nos pessegueiros (13%) e substancialmente inferior nos híbridos (8%).

No que se refere à proporção de matéria seca da madeira de 2 anos em relação ao peso seco total, esta foi maior no TD (39 %) do que no TR (32 %), registando-se as maiores diferenças entre os dois tratamentos no caso dos híbridos (31 % no HR e 41 % nos HD).

### **c) Relações entre a biomassa e o diâmetro**

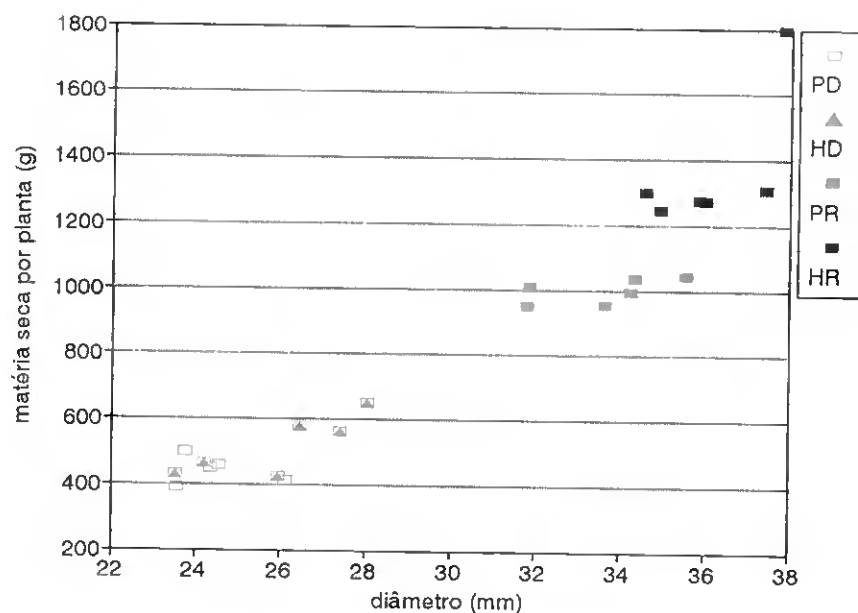
A avaliação do diâmetro do tronco é normalmente utilizada na selecção de porta-enxertos como um indicador do vigor dos genótipos, admitindo-se que o diâmetro do tronco fornece uma boa estimativa da biomassa aérea produzida pelas plantas. A grande vantagem deste indicador é a facilidade e rapidez da sua medição, além desta não ter um carácter destrutivo.

Neste ensaio, a regressão linear do diâmetro de todas as plantas no final da experiência e a respectiva biomassa aérea mostrou um bom ajustamento das duas variáveis ( $r^2 = 0,90$ ), podendo ser utilizada para comparar os 4 grupos de plantas relativamente ao efeito do déficit hídrico e do genótipo (Fig. 3.16).

Em cada grupo, provavelmente devido ao pequeno número de plantas, a regressão entre a biomassa e o diâmetro do tronco foi menos precisa ( $r^2 = 0,60$ ) o que está, no entanto, dentro do leque de valores encontrados noutras espécies (Sebillote, 1964). Uma parte da imprecisão dessa relação deve ter origem no erro experimental associado à medição do diâmetro, cujo contorno era bastante irregular, em especial nos pessegueiros.

O genótipo tem, também, uma influência marcada nesta relação, bem evidente quando se comparam as relações entre a biomassa média dum grupo e o respectivo diâmetro médio. Com efeito, a razão entre a biomassa e o diâmetro é particular para cada um dos genótipos (Tab. 3.9). Por unidade de diâmetro a biomassa correspondente é maior nos híbridos do que nos pessegueiros.

Em conclusão, as relações de diâmetro dependem do genótipo e das condições de cultivo, podendo sofrer a influência das condições do ano. Contudo, é um indicador com muito interesse na comparação de grupos de plantas no que respeita à produção de biomassa aérea, como se previa.



Tab. 3.9 - Relação entre a matéria seca e o diâmetro para cada grupo de plantas no final do ciclo vegetativo de 1993. Valores médios por grupo.

GRUPO	Matéria seca (g) (a)	Diâmetro (mm) (b)	Razão a/b
PR	996	33,6	29,7
PD	442	24,7	18,1
HR	1367	36,1	37,9
HD	517	25,9	19,9

### 3.2.6 - Observações do crescimento dos porta-enxertos GF 305, GF 677 e Garrigues em viveiro (l'Amarine).

Apesar dos objectivos do estudo das plantas em viveiro estarem centrados nas características dos sistemas radiculares, devido à estreita relação entre estes e a parte aérea das plantas fizeram-se igualmente observações sobre o sistema aéreo dos porta-enxertos. Como os genótipos estudados nesse ensaio foram os mesmos que no ensaio com plantas em vaso (GF 305 e GF 677) e incluíam, além disso, amendoeiras, essas observações têm um carácter complementar das observações de crescimento e produção de biomassa nos ensaios em vaso. Por este motivo, apresentam-se seguidamente os resultados relativos ao estudo da parte aérea desse ensaio.

O estudo do sistema aéreo foi realizado em dois períodos do ano de 1994, o primeiro durante a segunda quinzena de Junho de 1994 e o segundo cerca de um mês depois, em plantas de dois anos. As observações realizadas visaram caracterizar os porta-enxertos quanto à produção de biomassa do sistema aéreo e a sua distribuição entre os ramos e as folhas, distinguindo-se ainda a quantidade de matéria seca nos ramos do ano e a dos ramos do ano anterior.



O número de plantas amostradas por genótipo foi de três no primeiro período e de quatro no segundo. Em Junho, o procedimento experimental adoptado consistiu na colheita às primeiras horas da manhã separadamente das folhas, dos ramos do ano e dos ramos do ano anterior, planta a planta. As folhas foram colocadas em sacos de plástico e depois mantidas em caixas térmicas até à chegada ao laboratório nas instalações da "Station de Recherches Fruitières" em Montfavet onde foram pesadas e secadas em estufa. Os ramos foram colocados em sacos de plástico e pesados com a maior rapidez possível após a colheita, nas instalações do Domínio Experimental de l'Amarine. Depois até ao transporte para o laboratório de Montfavet, para a secagem em estufa, foram mantidos numa câmara frigorífica a 4 °C.

Em Julho seguiu-se o mesmo procedimento geral mas, em vez de se secar na estufa todo o material vegetal colhido por planta secou-se apenas uma amostra devido ao grande volume das plantas nesse período.

#### **a) Biomassa produzida e sua repartição entre os órgãos aéreos da planta**

Na Tab. 3.10 apresenta-se os valores de matéria seca produzida pelos três porta-enxertos nos dois períodos acima referidos. A análise desses resultados mostra que:

- Em ambos os períodos, a produção total de biomassa do sistema aéreo foi maior nos híbridos que nos pessegueiros e nas amendoeiras;
- no segundo período (Julho), em comparação com o primeiro período (Junho), as diferenças entre os híbridos e os pessegueiros diminuíram enquanto nas amendoeiras o peso seco foi nitidamente inferior ao dos outros genótipos.

A percentagem de matéria seca em relação ao peso fresco nos diferentes órgãos vegetais e na planta apresenta-se na Tab. 3.11. Em geral, os valores foram semelhantes nos dois períodos em cada tipo de órgão e em cada genótipo. A percentagem de matéria seca dos ramos foi superior à das folhas em todos os genótipos.

Ainda no que se refere à parte aérea das plantas, apresentam-se nas Tabs. 3.12 e 3.13 a repartição da matéria fresca e da matéria seca nos vários órgãos da planta. Tal como se tinha observado no ensaio de plantas em vaso, os sistemas aéreos dos porta-enxertos GF 305 e GF 677 diferem muito no que respeita à repartição da biomassa entre as folhas e os ramos, aspecto que também se regista no caso das amendoeiras.

Quer se considere as relações entre os vários órgãos no que se refere ao peso fresco ou ao peso seco, os quocientes entre os pesos das folhas e dos ramos foram maiores nos pessegueiros do que nos híbridos e, em ambos os casos, superiores ao das amendoeiras. Diferenças da mesma natureza observam-se quando se exprime o peso das folhas em relação à biomassa total. O peso dos ramos do ano representa aproximadamente a mesma

Tab. 3.10 - Quantidade de matéria seca, em gramas, de 3 porta-enxertos e respectivo desvio padrão. Observações relativas a árvores de 2 anos em viveiro e em dois períodos. Na 2a quinzena de Junho as médias referem-se a 3 plantas e a 4 na 2a quinzena de Julho.

ORGÃOS	PESSEGUEIROS		HÍBRIDOS		AMENDOEIRAS	
	1º PERÍODO	2º PERÍODO	1º PERÍODO	2º PERÍODO	1º PERÍODO	2º PERÍODO
FOLHAS	191,7±36,	451,2±159	251,4±19,	366,5±158	151,4±23,	251,7±117
RAMOS do ANO	180,5±34,	410,9±127	285,0±16,	512,9±265	204,9±72,	340,7±211
RAMOS 2 ANO	144,3±25,	285,2±71,	300,3±46,	396,9±123	337,8±138	383,2±66,
TOTAL	516,5±79,4	1147,2±35	838,7±54,	1276,2±53	694,1±94,	975,1±322

Tab. 3.11 - Percentagem de matéria seca nos órgãos aéreos de 3 porta-enxertos e respectivo desvio-padrão. Valores relativos a dois períodos de observação em árvores de dois anos em viveiro. Médias de 3 plantas por porta-enxerto no primeiro período e de 4 plantas no segundo.

ORGÃOS	PESSEGUEIROS			HÍBRIDOS			AMENDOEIRAS		
	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA
FOLHAS	32,9±0,9	33,7±0,9	33,3	38,2±2,2	36,4±0,8	37,3	37,0±1,2	36,8±1,5	36,9
RAMOS do ANO	41,9±0,4	43,7±1,6	42,8	46,1±0,3	47,4±1,3	46,8	45,6±2,2	44,1±1,8	44,9
RAMOS 2 ANOS	48,0±1,1	48,5±0,3	48,3	51,1±2,4	48,8±0,4	50,0	54,0±2,6	53,3±3,2	53,7
PLANTA	39,4±0,6	39,8±0,3	39,6	44,9±2,1	44,2±0,2	44,6	46,7±2,9	45,2±1,2	46,0

Tab. 3.12 - Proporções entre o peso fresco das folhas (Pff) e dos ramos (Pfrm) de um ano e de dois e entre esses pesos e o peso fresco da parte aérea da planta (Pfa)

ORGÃOS	PESSEGUEIROS			HÍBRIDOS			AMENDOEIRAS		
	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA
Pff/Pfrm ano	1,36±0,08	1,38±0,16	1,37±0,12	1,07±0,16	0,93±0,10	0,99±0,14	0,97±0,27	0,98±0,22	0,97±0,22
Pff/Pfrm 2 anos	1,95±0,30	2,22±0,46	2,10±0,40	1,13±0,14	1,23±0,23	1,18±0,19	0,76±0,38	0,96±0,50	0,87±0,43
Pff/Pfa	0,44±0,01	0,46±0,03	0,45±0,02	0,35±0,03	0,34±0,01	0,35±0,02	0,28±0,05	0,30±0,04	0,29±0,04
Pfrm ano/Pfa	0,33±0,02	0,33±0,02	0,33±0,02	0,33±0,02	0,37±0,04	0,35±0,04	0,31±0,11	0,33±0,10	0,32±0,10
Pfrm 2 anos/Pfa	0,23±0,03	0,21±0,03	0,22±0,03	0,31±0,02	0,28±0,04	0,30±0,03	0,42±0,16	0,37±0,14	0,39±0,14

Tab. 3.13 - Proporções entre o peso seco das folhas (Psf) e o peso seco dos ramos (Psrsm) de um e de dois anos e entre esses pesos secos e o peso seco da parte aérea da planta (Psa)

ORGÃOS	PESSEGUEIROS			HÍBRIDOS			AMENDOEIRAS		
	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA	1º PERÍODO	2º PERÍODO	MÉDIA
Psf/Psrsm ano	1,06±0,06	1,09±0,09	1,08±0,07	0,89±0,11	0,74±0,08	0,80±0,12	0,76±0,20	0,81±0,16	0,80±0,17
Psf/Psrsm 2 anos	1,34±0,26	1,56±0,28	1,47±0,26	0,85±0,14	0,91±0,17	0,88±0,15	0,52±0,25	0,68±0,35	0,61±0,30
Psf/Psa	0,37±0,02	0,39±0,02	0,38±0,02	0,30±0,03	0,29±0,01	0,29±0,02	0,22±0,05	0,25±0,04	0,24±0,04
Psrsm ano/Psa	0,35±0,03	0,36±0,02	0,35±0,02	0,34±0,02	0,39±0,04	0,37±0,04	0,30±0,11	0,32±0,11	0,31±0,10
Psrsm 2 anos/Psa	0,28±0,04	0,25±0,03	0,26±0,04	0,36±0,03	0,32±0,04	0,34±0,04	0,48±0,16	0,43±0,15	0,45±0,14

fracção da biomassa total nos vários porta-enxertos e o peso seco dos ramos de dois anos é maior nas amendoeiras que nos híbridos e nestes maior que nos pessegueiros.

A análise de variância mostra que o efeito do genótipo foi muito significativo em todas as relações apresentadas, excepto no que se refere ao quociente entre o peso dos ramos do ano e a biomassa total em que as diferenças entre os genótipos não foram significativas.

As amendoeiras apresentaram em relação aos outros genótipos maior variabilidade entre os indivíduos, aspecto provavelmente relacionado com a variabilidade genética entre as plantas desse porta-enxerto, devido à sua natureza heterozigótica e multiplicação por semente, face à homogeneidade dos outros genótipos. A observação visual das plantas mostrou, com efeito, grandes diferenças entre as amendoeiras quanto à área foliar. As relações entre os genótipos quanto à repartição de biomassa entre os vários órgãos da planta foram semelhantes nos dois períodos de observações.

Ao considerarmos o peso seco das folhas é necessário ter em conta a parte que corresponde ao peso dos pecíolos, a qual foi maior nas amendoeiras do que nos híbridos e nestes maior do que nos pessegueiros (Tab. 3.14). Este aspecto contribui ainda para a diminuição do tecido foliar dos híbridos e amendoeiras relativamente aos pessegueiros.

Tab. 3.14 - Razão entre os pesos secos do pecíolo e da folha. Médias e desvios padrão de três amostras por genótipo (cada amostra foi obtida a partir de 50 folhas).

GENÓTIPO	(%)
GF 305	4,4 ± 0,6
GF 377	7,4 ± 0,5
GARRIGUES	7,9 ± 0,4

Os resultados obtidos confirmam, portanto, uma repartição muito distinta da biomassa nos três porta-enxertos, sendo os comportamentos extremos representados pela amendoeira e pelo pessegueiro, enquanto o híbrido tem uma posição intermédia.

#### **b) Relação entre biomassa e diâmetro**

As relações entre a biomassa e o diâmetro do caule foram obtidas com vista à confirmação dos resultados obtidos nas plantas em vaso, nas quais o diâmetro na base do tronco parece ser um bom indicador da quantidade de matéria seca produzida no sistema aéreo.

Os diâmetros foram medidos a 5, 20 e 50 cm do solo, a fim de se verificar se a correlação entre a biomassa e o diâmetro era influenciada pela região do caule na qual era feita a medição e, no caso positivo, determinar a altura em relação ao solo mais adequada à medição para obter uma boa relação entre as duas variáveis.

Neste estudo, foram medidas cerca de 18 plantas por genótipo. O peso seco dessas plantas foi estimado a partir do peso fresco através da relação entre o peso fresco e o peso seco obtida anteriormente para cada genótipo.

A regressão entre a produção de biomassa (matéria seca) e o diâmetro foi boa nas medições efectuadas a 5 e a 20 cm do solo ( $r^2=0,83$  e  $r^2=0,81$  respectivamente). O grau de precisão diminuiu quando a medição foi feita a 50 cm ( $r^2=0,70$ ) e aumentou quando se considerou a média das medições a 5 e a 20 cm do solo ( $r^2 = 0,90$ ).

A análise de variância em relação ao genótipo e diâmetro na biomassa das plantas mostra que o diâmetro tem um efeito muito significativo ( $p < 0,01$ ) e o genótipo um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na relação entre os dois parâmetros. Quando se compararam os genótipos dois a dois foram significativas as diferenças entre os pessegueiros e os híbridos e entre os pessegueiros e as amendoeiras.

Em conclusão os resultados relativos ao sistema aéreo dos porta-enxertos cultivados em l'Amarine mostraram grandes diferenças entre os genótipos quanto à produção de biomassa, percentagem de matéria seca por unidade de peso fresco e na repartição da matéria fresca e seca entre os vários órgãos da planta.

Em qualquer dos períodos de observações, a produção de matéria seca foi maior nos híbridos que nos outros genótipos, enquanto as relações entre estes foram diferentes segundo o período de observação, maior nas amendoeiras que nos pessegueiros em Junho e menor em Julho. Este comportamento sugere que o crescimento das amendoeiras foi muito rápido no período inicial do ciclo vegetativo e que o ritmo desse crescimento abrandou entre os meses de Junho e de Julho.

O teor de água nos tecidos assim como a proporção de biomassa investida nas folhas foi maior nos pessegueiros que nas amendoeiras, apresentando os híbridos características intermédias entre esses genótipos. Nas amendoeiras a quantidade de biomassa investida na madeira de dois anos foi maior que nos outros genótipos e as folhas tinham pecíolos mais longos, e nos híbridos as características foram intermédias entre as amendoeiras e os pessegueiros.

O estudo do sistema aéreo permitiu comprovar o interesse das medições de diâmetro, em particular quando se associam medições a 5 e a 20 cm do solo, para a estimativa da biomassa foliar.

### **3.2.7 - Discussão e conclusões**

No ensaio com plantas em vaso, as diferenças entre os pessegueiros GF 305 e os híbridos GF 677 foram importantes no que respeita às características de ramificação da planta, apresentando os pessegueiros relativamente aos híbridos maior produção de folhas e maior quantidade de ramos por planta, e portanto maior área foliar, mas quer o diâmetro dos caules quer a produção de biomassa foram, em geral, inferiores aos dos híbridos. O crescimento dos pessegueiros foi praticamente contínuo durante o ciclo vegetativo,

enquanto nos híbridos se verificou uma tendência para a redução da emissão foliar e do crescimento dos ramos nos meses de Verão. Esta redução do ritmo de crescimento dos híbridos, em particular quanto ao desenvolvimento de novas folhas, foi compensada pelo maior desenvolvimento foliar dos ramos no início do ciclo.

Em ambos os genótipos o défice hídrico reflectiu-se por redução da produção foliar, do crescimento dos ramos, da formação de ramificações secundárias, da área foliar, do diâmetro das plantas e da produção de biomassa. Os resultados, obtidos em condições de défice hídrico moderado em 1992 e severo em 1993, foram, em geral, concordantes nos dois anos do ensaio, o que permite considerá-los representativos do comportamento dos dois porta-enxertos em diferentes condições de défice hídrico. A interacção entre o genótipo e o tratamento hídrico não ficou bem elucidada devido à heterogeneidade das plantas nos grupos, em especial no caso dos híbridos.

Alguns dos aspectos referidos foram também observados nas plantas cultivadas ao ar livre no viveiro de l'Amarine. Neste ensaio, que incluía também uma variedade de amendoeira, o comportamento dos híbridos foi intermédio entre o dos pessegueiros e o das amendoeiras.

No que respeita à emissão foliar, parâmetro muito sensível às variações ambientais, as diferenças de vigor entre os grupos de plantas tiveram muita influência nos resultados obtidos, em particular no que se refere às diferenças entre os grupos TR e TD. A quebra accidental de ramos ocorrida em períodos de vento forte em 1992 também influenciou certamente os resultados, sendo uma causa provável das diferenças no comportamento dos grupos TR e TD não relacionadas com o défice hídrico, como por exemplo no período de 9 a 16 de Junho.

Relativamente ao desenvolvimento da área foliar dos ramos, observado em 1992, tem especial interesse os resultados relativos ao período de 15 a 25 de Junho, em que se observou crescimento mais intenso nos grupos TD que nos TR. Apesar do défice hídrico que afectou as plantas entre os dias 14 e 19 de Junho o referido comportamento deve estar relacionado, não com o tratamento hídrico, mas com a emissão foliar nas semanas que precederam este período nos dois tratamentos. Assim, a emissão de folhas nos grupos TD foi maior na primeira semana de Junho, donde o maior número de folhas em crescimento activo entre os dias 15 e 25, e menor na segunda semana o que reduziu a competição entre as folhas e permitiu às que se encontravam em crescimento activo atingir área média superior à dos grupos TR. Embora em certos casos as plantas submetidas a curtos períodos de défice hídrico possam apresentar um crescimento mais intenso que as plantas regadas (Hoogenboom *et al.*, 1987), a análise da evolução micromorfométrica do diâmetro do tronco não apoia esta hipótese.

À semelhança dos resultados deste ensaio, Giovannini *et al.* (1994) observaram estreita relação entre o crescimento dos ramos e a produção de folhas em variedades de

pessegueiros com distintos hábitos de ramificação. Também Barlow (1980), na macieira, tinha observado uma relação directa entre a área foliar dos ramos e o número de folhas.

As diferenças importantes entre os híbridos e os pessegueiros no que se refere ao padrão estacional de produção foliar foram, ao nível da área foliar dos ramos, atenuadas pela progressiva diminuição do ritmo de crescimento das folhas ao longo do ciclo vegetativo. É de salientar que a adaptação das plantas à secura em climas de verões quentes e secos pode exprimir-se por alterações fenológicas de acordo com as condições hídricas do meio, como foi observado no damasqueiro (Evenari *et al.*, 1977).

À medida que os ciclos de défice hídrico se tornaram mais frequentes, as diferenças entre os grupos TR e TD aumentaram devido à redução da taxa de emissão foliar e da dimensões das folhas em TD, aspectos frequentemente observados nas espécies lenhosas (Wang *et al.*, 1988; Myers e Landsberg, 1989; Steinberg *et al.*, 1990; Roden *et al.*, 1990; Kleiner *et al.*, 1992; Sadras *et al.*, 1993; Chartzoulakis *et al.*, 1993).

O estudo do crescimento dos ramos pôs em evidência as características de ramificação dos dois porta-enxertos e confirmou as tendências no ritmo de crescimento observadas na evolução foliar desses genótipos. A paragem do crescimento mais cedo nos híbridos que nos pessegueiros está de acordo com o que seria de esperar face ao comportamento característico das plantas resistentes à secura em condições de aridez (Spiegel-Roy *et al.*, 1971 e 1977). Contudo, deve salientar-se que no pessegueiro existe bastante variabilidade intraespecífica em relação aos ritmos de crescimento (Giovannini *et al.*, 1994).

O crescimento dos ramos apresentou grande sensibilidade ao défice hídrico, à semelhança do observado noutros ensaios com fruteiras (Steinberg *et al.*, 1990; Chartzoulakis *et al.*, 1993). Aparentemente esse défice teve efeito mais marcado no alongamento dos entrenós que no número de entrenós formados.

A evolução do crescimento dos ramos, quando associada à estimativa da respectiva área foliar através de métodos simplificados, permite acompanhar de forma relativamente rápida o desenvolvimento foliar das plantas.

A formação e o crescimento dos ramos antecipados seguiram as mesmas tendências nos dois genótipos que as observadas nos ramos principais e a mesma evolução ao longo do ciclo vegetativo que estes.

Do ponto de vista genético as variações genotípicas, ao nível intraespecífico, na tendência de formação de ramificações antecipadas são relativamente pequenas como mostram estudos de Génard *et al.* (1994) nos pessegueiros. Estes autores sugerem que a ramificação é controlada em cada espécie por um conjunto de mecanismos fisiológicos comuns, sendo específico de cada variedade o nível a que ocorre a activação desses mecanismos. É também interessante notar que existe uma relação positiva entre a tendência para a produção de ramificações antecipadas nas formas juvenis e nas árvores adultas (Scorza *et al.*, 1989).

Em relação à área foliar, os aspectos mais relevantes foram o desenvolvimento inicialmente mais rápido da área foliar dos híbridos relativamente aos pessegueiros, a maior área deste genótipo durante grande parte do ciclo vegetativo e a grande sensibilidade desse parâmetro ao déficit hídrico. Tendo em consideração que a área foliar é uma função do desenvolvimento foliar e do crescimento dos ramos esse comportamento está de acordo com o que seria de esperar tendo em consideração a evolução destas variáveis.

Os resultados relativos à matéria seca do sistema aéreo dos porta-enxertos do ensaio de l'Amarine parecem confirmar as diferenças observadas no ensaio em vasos, se tivermos em consideração as relações entre os 3 genótipos em Junho e o incremento de matéria seca entre Junho e Julho, maior nos pessegueiros que nos outros genótipos.

O desenvolvimento particularmente rápido da área foliar dos ramos nos híbridos relativamente aos pessegueiros até meados de Junho, e provavelmente ainda mais rápido no caso das amendoeiras, período que nas regiões mediterrânicas corresponde geralmente a condições hídricas satisfatórias para as plantas, prova a adaptação ecológica desse genótipo nestas regiões, processo semelhante aos mecanismos de resistência à *secura* designados na terminologia inglesa por *drought escape* (Levitt, 1980).

A quantidade de biomassa investida no tronco e nos ramos das jovens plantas foi maior nos híbridos que nos pessegueiros no ensaio em vasos, em qualquer dos tratamentos hídricos, e também no ensaio de l'Amarine.

No ensaio de l'Amarine, os resultados relativos à biomassa estão de acordo com as relações de vigor normalmente observadas nestes porta-enxertos em condições de regadio. À semelhança dos resultados obtidos no ensaio no túnel, os híbridos foram, em geral, mais vigorosos que os pessegueiros, como é frequentemente observado em viveiro (Felipe, 1987; Kester e Grasselly, 1987). Os dados obtidos nas amendoeiras, apesar de uma grande variabilidade entre os indivíduos, sugerem que o seu ritmo de desenvolvimento aéreo tende a diminuir ao longo do ciclo vegetativo mais rapidamente que nos outros genótipos. Este aspecto, a confirmar-se, poderia explicar a razão porque as variedades de amendoeira e de pessegueiro enxertados sobre amendoeira são geralmente menos vigorosos que quando enxertadas sobre pessegueiro ou híbrido em pomares de regadio (Day, 1953; Felipe, 1987; Kester e Grasselly, 1987).

No mesmo ensaio, as diferenças entre os porta-enxertos quanto à distribuição da biomassa entre as folhas e os ramos põem em evidência a importância dos tecidos condutores e de suporte nas espécies mais resistentes à *secura* (amendoeiras e híbridos). A relação entre a área foliar e o tecido condutor é geralmente constante numa dada espécie e independente das condições de cultura (Kaufmann e Troendle, 1981), o que sugere a existência de um balanço fisiológico entre o tecido condutor e as necessidades hídricas da parte aérea. Assim, nos porta-enxertos estudados, não somente essas relações são distintas, mas além disso, essas diferenças estruturais estão relacionadas com diferentes

produtividades fotossintéticas: para uma produção de biomassa equivalente, a área foliar das amendoeiras e dos híbridos foi bastante inferior à dos pessegueiros.

No ensaio em vasos, a produção de biomassa nos dois tratamentos hídricos está relacionada com a área foliar desenvolvida nas duas situações. Também em ensaios em vasos com pessegueiros jovens, Steinberg *et al.* (1990) verificaram que a quantidade de biomassa estava relacionada principalmente com a redução da ramificação e produção de novas folhas nas plantas submetidas a vários níveis de déficit hídrico, sendo a influência de outros factores como a redução da condutância estomática apenas significativos nos tratamentos mais severos. Sadras *et al.* (1993) obtiveram resultados semelhantes em girassol.

A biomassa apresentou uma relação directa com o diâmetro basal das plantas, tanto no ensaio em vasos como no ensaio em viveiro. Ao nível da espécie o volume do tronco está normalmente correlacionado directamente com a área foliar (Ridge *et al.*, 1986; Roden *et al.*, 1990) mas entre espécies diferentes existe grande variabilidade nessa relação em função dos vários aspectos que condicionam a eficiência fotossintética por unidade de área foliar (Ford, 1992). O efeito do déficit hídrico foi muito significativo nos dois porta-enxertos, resultados semelhantes com os observados em árvores adultas de amendoeira, damasqueiro e pistacheiro em que o crescimento anual do tronco se mostrou directamente relacionado com a disponibilidade hídrica do solo (Uriu *et al.*, 1970; Spiegel- Roy *et al.*, 1971 e 1977).

Desta forma, pode concluir-se que apesar do diâmetro pode servir como alternativa rápida e simples às determinações de biomassa, nomeadamente quando as diferenças de vigor entre os genótipos são grandes, as determinações de área foliar são importantes para a comparação de diferentes espécies.



### 3.3 - Parâmetros hídricos e condutância estomática

#### 3.3.1 - Aspectos gerais

O conhecimento dos parâmetros que governam o estado hídrico das plantas é a base para o estabelecimento de critérios de selecção das espécies e variedades a cultivar numa determinada região com o objectivo da melhor utilização da água pelas plantas. Estes aspectos revestem particular importância quando os recursos hídricos são escassos.

Neste capítulo, apresenta-se o comportamento dos dois porta-enxertos em condições hídricas contrastantes através do estudo da microvariação do diâmetro dos órgãos vegetais, do potencial hídrico, da condutância estomática e da perda de água das jovens plantas cultivadas em vaso.

Muitos estudos tem sido realizados com o objectivo de estabelecer relações entre a **micromorfometria dos órgãos vegetais** e os indicadores fisiológicos do estado hídrico das plantas, como a resistência estomática e o potencial hídrico foliar (Pereira e Kozlowski, 1976; Garnier, 1985; Huguet, 1985; Schoch *et al.*, 1987). Nas plantas de ciclo curto, como no caso do tomate e da beringela, tem sido evidente a relação entre o aumento do diâmetro dos troncos e as condições do estado do tempo e de aspectos micrometeorológicos (Schoch *et al.*, 1987, 1990)

O **potencial hídrico** ( $\psi$ ) constitui a forma mais vulgarmente utilizada para a avaliação do estado hídrico das plantas. Nas células vegetais,  $\psi$  pode considerar-se como a soma de duas componentes principais: o potencial osmótico,  $\pi$ , e o potencial de turgescência, P.

Embora a relação entre  $\psi$  e o teor de água da planta não seja linear, devido às propriedades elásticas das células e às suas características osmóticas, os dois parâmetros estão, em geral, estreitamente associados. A par da maior facilidade de medição relativamente a outros parâmetros relacionados com o estado hídrico dos tecidos,  $\psi$  é uma variável determinante no movimento de água entre o solo e a planta e dentro da planta, pelo que a importância do seu estudo é perfeitamente justificada. Além disso,  $\psi$  tem um papel importante na fisiologia e no metabolismo das plantas, como salienta Boyer (1989).

A **condutância estomática** ( $g_s$ ) é uma característica com uma importância fundamental na produtividade das plantas e na sua adaptação ao meio ambiente. Com efeito,  $g_s$  controla directamente a resistência à difusão do  $CO_2$  e a perda de água por transpiração, influencia o balanço térmico das folhas e, deste modo, a sua temperatura, o potencial hídrico foliar e a capacidade fotossintética do mesófilo (Cowan, 1977; Schulze e Hall, 1982; Givnish, 1986).

A condutância estomática depende de numerosos factores internos à planta, nomeadamente do seu estado hídrico, em particular no que se refere ao potencial hídrico da folha, e das condições do meio exterior que regulam a fisiologia da planta (Klepper, 1968; Xiloyannis *et al.*, 1980; Kaufmann, 1982; Harrison *et al.*, 1989). Entre essas

condições têm muita influência a quantidade de radiação visível, a temperatura e a humidade do ar. Estes dois factores, relativamente à sua influência em  $g_s$ , podem ser integrados no défice de vapor de água da atmosfera, excepto quando esse défice é muito pequeno.

Nas espécies lenhosas, nomeadamente nas árvores fruteiras, numerosos estudos põem em evidência uma relação directa entre  $g_s$  e a fotossíntese, as quais parecem ter grande significado ecológico (Schulze e Hall, 1982). Segundo estes autores existe uma relação linear entre  $g_s$ , avaliada em condições nas quais a taxa de assimilação de  $CO_2$  é máxima, e a taxa máxima fotossintética para uma dada espécie, a qual depende da origem geográfica das plantas. Aos mesmos níveis de  $g_s$  correspondem taxas de assimilação do  $CO_2$  superiores nas plantas melhor adaptadas à secura e aos ambientes luminosos (DeJong, 1983).

As plantas xerofíticas apresentam grande diversidade no seu comportamento face à **transpiração**, apresentando frequentemente taxas semelhantes às plantas mesofíticas quando bem providas em água (Killian e Lemée, 1956). Contudo, quando observadas nos seus ambientes naturais, verificam-se diferenças importantes entre as espécies, com base nas quais se pode caracterizar as plantas relativamente à quantidade de água consumida anualmente e quanto ao ritmo estacional e diário da utilização da água (Oppenheimer, 1953, citado em Killian e Lemée, 1956). As amendoeiras, tal como um certo número de espécies lenhosas da região mediterrânea, é considerada uma espécie grande consumidora de água quando as disponibilidades são abundantes e mesmo durante os períodos de secura devido ao grande desenvolvimento do seu sistema radicular.

A estreita relação entre  $\psi$  e  $g_s$  justifica a análise conjunta da evolução diária destes dois parâmetros. O encerramento dos estomas pode conduzir a um aumento de  $\psi$ , se a humidade do solo for adequada e, igualmente, os baixos valores de  $\psi$  são acompanhados de diminuição de  $g_s$  (Harrison *et al.*, 1989).

Os resultados do ensaio estão divididos em dois grupos. No primeiro, apresentam-se os resultados obtidos no conjunto das plantas do ensaio em vários dias do ciclo vegetativo nos anos de 1992 e de 1993 (comparação de valores médios por grupo), relativamente a  $\psi$  e  $g_s$ . No segundo, os resultados são relativos a um ensaio complementar realizado em 1993, com um pequeno número de plantas de cada grupo, no qual se acompanhou os vários parâmetros estudados durante um período de 11 dias.

### **3.3.2 - Comparação entre os porta-enxertos com base nos valores médios por grupo**

#### **3.3.2.1 - Microvariação do diâmetro do tronco**

Os dados obtidos neste ensaio relativamente à microvariação do diâmetro do tronco ao longo do ensaio foram apresentados e comentados no cap. 3.1.2. A medição deste

parâmetro permitiu a identificação dos períodos de déficit hídrico. Entre os dois genótipos observou-se um grande paralelismo nas amplitudes de contracção diária do tronco (ACD) dos dois porta-enxertos, tanto no TR como no TD.

Estes resultados mostram que, não obstante as diferenças na área foliar e no consumo hídrico das plantas, os dois genótipos sofreram déficit hídrico semelhante.

### 3.3.2.2 - Potencial hídrico

A experimentação prévia realizada nas plantas do ensaio mostrou que  $\psi$  era geralmente semelhante nas folhas de cada planta, excepto nas horas de maior intensidade evapotranspirativa, nas quais se verificou grande influência da posição ocupada pela folha no ramo e da posição deste na planta. Assim, o número de folhas amostradas para a determinação de  $\psi$  variou com a hora do dia e com as condições meteorológicas prevaletentes, sendo maior, em geral, nos períodos mais quentes. Por outro lado, para evitar a possível influência da idade da folha (Torrecillas *et al.*, 1988), seleccionaram-se folhas jovens mas completamente desenvolvidas, situadas no terço superior dos ramos.

As medições de  $\psi$  foram feitas em períodos nos quais as plantas TD se encontravam em condições de déficit hídrico, a fim de se poder comparar os dois genótipos em condições hídricas diferentes. Como os períodos de déficit hídrico foram pouco frequentes em 1992, as observações nesse ano foram pouco numerosas. Em 1993 optou-se por associar a medição de  $\psi$  com os outros indicadores do estado hídrico cujos resultados se analisam conjuntamente.

Sempre que possível fizeram-se as observações de  $\psi$  a intervalos regulares durante o dia, de forma a obter as curvas de evolução deste parâmetro, escolhendo-se dias de céu limpo e calmos. As medições foram feitas em sequência sobre conjuntos de quatro plantas (bloco), representando cada uma delas uma combinação diferente de genótipo e tratamento hídrico. O número de conjuntos medidos em cada período de observações foi variável.

Na Fig. 3.17 apresentam-se curvas de variação diária de  $\psi$  em 1992 e 1993. Os dados de 1992 foram obtidos no final de dois ciclos de secura, um em Julho e outro em Agosto e em 1993 as observações são relativas a 4 dias no período de Maio a Julho.

**Nos dias 15 e 16 de Julho de 1992**,  $\psi$  foi medido em intervalos de cerca de 2 a 3 horas. O número de plantas amostradas por grupo em cada período de medição foi de 4 e mediu-se 2 ou 3 folhas por planta.

Analisando os valores obtidos nesse período verifica-se que, tanto no **TR** como no **TD**, a média dos valores de  $\psi$  durante o dia foi, geralmente, mais baixa nos híbridos que nos pessegueiros.

No **TR**, na primeira observação efectuada, os valores de  $\psi$  eram relativamente próximos nos dois genótipos, tendo as diferenças entre eles aumentado rapidamente nas primeiras horas da manhã. Depois, embora os valores de  $\psi$  se mantivessem inferiores nos híbridos, as diferenças entre os dois genótipos diminuíram progressivamente.

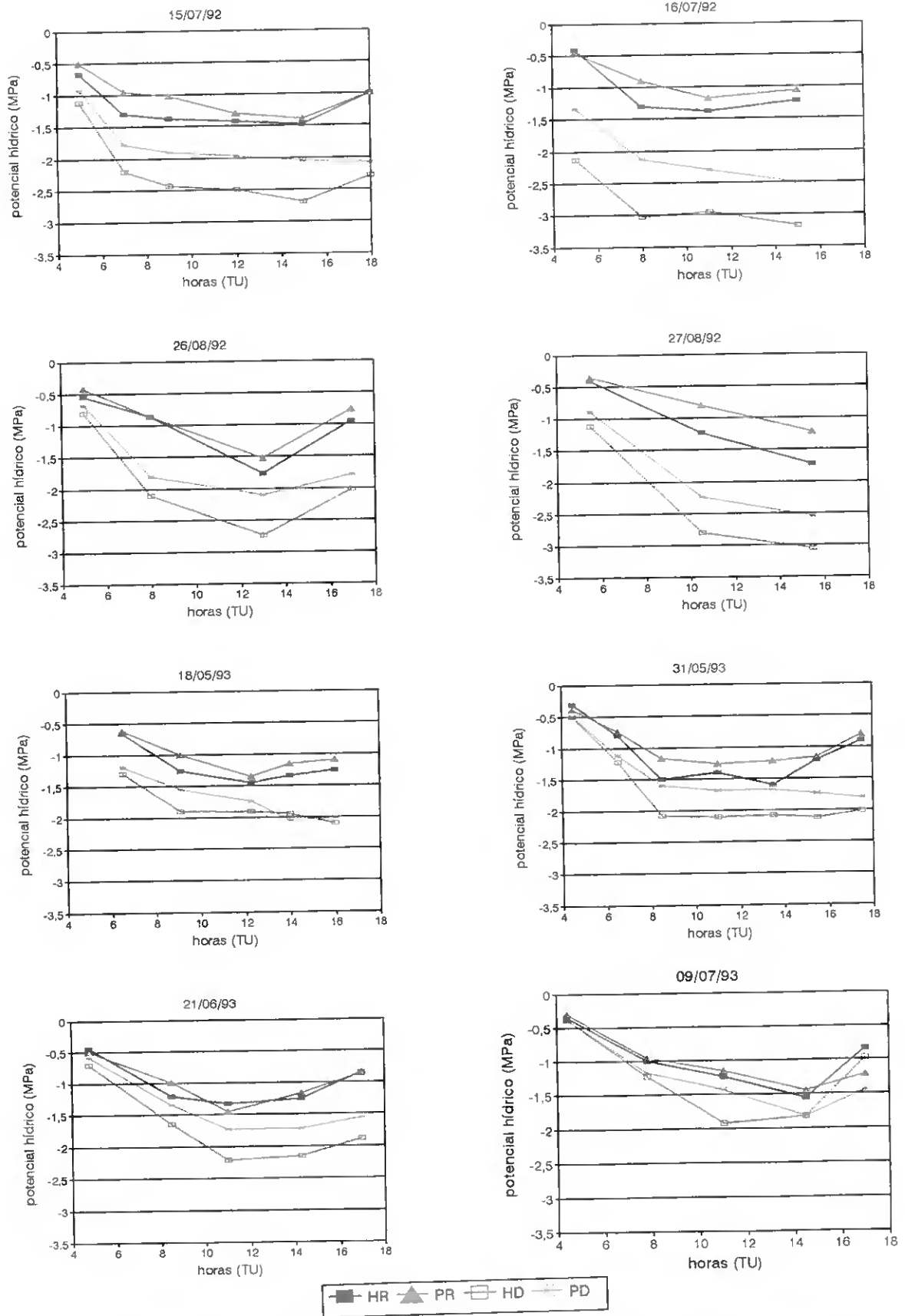


Fig. 3.17 - Evolução ao longo do período diurno do potencial hídrico dos híbridos e dos pessegueiros bem regados (TR) e em déficit hídrico (TD) em alguns dias de 1992 e 1993.

No **TD**, os valores de  $\psi$  foram muito diferentes do TR e entre os dois dias analisados devido ao aumento do déficit hídrico. No dia 15 os valores de  $\psi$  eram próximos nos dois genótipos na primeira observação da manhã, à semelhança das plantas do TR. Nas observações seguintes, as diferenças entre eles foram superiores às observadas no TR e aumentaram progressivamente até cerca das 16 horas. No final da tarde observou-se recuperação de  $\psi$  nos híbridos cujos valores se aproximaram dos medidos nos pessegueiros.

No dia 16, as diferenças entre os dois porta-enxertos foram grandes desde a primeira observação do dia, atingindo valores da ordem dos - 0,8 MPa e mantiveram-se aproximadamente constantes ao longo do dia.

Nos dias **26 e 27 de Agosto de 1992**, os resultados obtidos foram semelhantes, em termos gerais, aos observados no período anterior, tanto nas plantas do TR como nas plantas do TD.

No ano de **1993** as medições de  $\psi$  foram feitas nos dias 18 e 31 de Maio, 21 de Junho e 9 de Julho. O número de plantas amostradas por grupo foi variável segundo os dias e as horas das observações e, em geral, mediram-se, pelo menos, duas folhas por planta.

O comportamento das plantas neste ano foi semelhante ao descrito em 1992. No **TR**  $\psi$  foi, em geral, muito próximo nos dois genótipos ao nascer do sol, aumentando as diferenças durante a manhã. Depois das 12 horas  $\psi$  aumentou, em geral, de forma mais marcada nos híbridos que nos pessegueiros e, em consequência, nos dias em que se fizeram medições relativamente tarde (cerca das 17 horas)  $\psi$  era, como nas primeiras horas da manhã, semelhante nos dois genótipos.

No **TD**, nos dias em que o déficit era pequeno  $\psi$  foi semelhante nos dois tratamentos na primeira medição do dia e os porta-enxertos apresentavam, em geral, alguma capacidade de recuperação no período da tarde, aparentemente maior nos híbridos que nos pessegueiros. Nos dias de déficit mais severo  $\psi$  foi sempre inferior que no TR e não se observou recuperação no fim do dia.

Nas plantas em déficit, os valores de  $\psi$  na primeira observação da manhã foram, geralmente, mais baixos nos híbridos do que nos pessegueiros e o comportamento dos dois genótipos foi semelhante nas observações seguintes.

Em alguns dias do período de 13 e 21 de Agosto de 1992 fizeram-se medições de  $\psi$  cerca das 5 e das 14 horas (Tab. 3.15). Apesar do pequeno número de plantas amostradas por observação, as relações entre os dois genótipos são concordantes com o comportamento já descrito.

Em conclusão, os dados relativos aos anos de 1992 e 1993 indicam que os híbridos tiveram, relativamente aos pessegueiros, maiores amplitudes diárias de variação de potencial hídrico, decréscimo mais rápido durante as primeiras horas da manhã, valores mais baixos nas horas seguintes e maior capacidade de recuperação ao fim da tarde, excepto quando o teor de água do substrato foi muito reduzido.

Tab. 3. 15 - Valores de potencial hídrico (MPa) dos porta-enxertos GF 677 (HR e HD) e GF 305 (PR e PD) no período de 13 a 21 de Agosto de 1992. Cada valor representa a média de duas plantas e de duas folhas por planta.

DIA	HORA (TU)	HR	PR	HD	PD
13	5	-0,38	-0,43	-0,68	-0,72
14	5	-0,45	-0,48	-1,23	-0,83
15	5	-0,61	-0,68	-1,81	-1,26
18	5	-0,34	-0,39	-0,47	-0,51
19	5	-0,43	-0,49	-0,50	-0,56
20	5	-0,47	-0,43	-0,61	-0,69
21	5	-0,51	-0,51	-0,91	-0,96
14	14	-1,94	-1,90	-3,20	-2,13
17	14	-1,88	-1,44	-2,22	-1,86
18	14	-1,70	-1,71	-2,14	-1,70
19	14	-1,82	-1,91	-2,57	-2,05
20	14	-1,65	-1,35	-2,41	-2,34
21	14	-1,38	-1,38	-2,68	-2,50

### 3.3.2.3 - Condutância estomática

Em 1992 fizeram-se várias medições de  $g_s$  nos meses de Maio a Agosto. As medições foram feitas por blocos, compreendendo cada bloco uma planta por genótipo e por tratamento. Os valores médios por grupo relativamente ao conjunto das observações apresentam-se na Tab. 3.16, tendo-se verificado que as diferenças entre os grupos foram estatisticamente significativas na generalidade desses períodos.

No **TR**,  $g_s$  foi, em geral, maior nos híbridos que nos pessegueiros e as diferenças entre os dois genótipos foram nítidas. No **TD**, as diferenças foram ainda mais evidentes, apresentando os híbridos valores muito superiores aos pessegueiros.

A evolução de  $g_s$  ao longo do dia, encontra-se ilustrada na Fig. 3.18 relativamente a alguns dias dos anos de 1992 e de 1993. Além dos aspectos referidos quanto à natureza das diferenças entre os dois genótipos e os dois tratamentos, pode ver-se também que as diferenças entre os genótipos foram, em geral, mais acentuadas nos períodos em que as taxas de  $g_s$  foram maiores. Em condições de grande défice hídrico essas diferenças reduziram-se apreciavelmente.

Entre os dias analisados verifica-se grande variabilidade no padrão de evolução diária de  $g_s$  e, também, no que respeita ao período do dia no qual as diferenças entre os dois genótipos foram máximas, aspectos sem dúvida relacionados com as variações dos factores meteorológicos.

A comparação entre as Figs 3.17 e 3.18 põe em relevo a relação entre o estado hídrico das plantas e a evolução de  $g_s$  ao longo do dia. Em condições de défice moderado

Tab. 3.16 - Valores médios de condutância estomática observados em 1992

DATA	HORA (T U)	CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (cm/s)			
		PR	HR	PD	HD
11/05	10	0,41	0,43	-	-
13/05	10	1,03	0,99	0,67	1,03
14/05	7	0,47	0,51	0,40	0,47
14/05	10	0,47	0,57	0,48	0,64
14/05	13	0,60	1,03	0,69	0,95
15/05	11	0,88	1,17	0,77	1,19
17/05	10	0,41	0,45	0,38	0,44
17/05	15	0,45	0,55	0,44	0,60
18/05	11	0,43	0,48	0,41	0,49
26/05	13	0,45	0,66	0,40	0,70
01/06	10	0,86	1,06	0,34	0,84
03/06	13	0,69	1,15	0,35	1,06
14/06	13	0,63	0,99	0,32	0,68
17/06	13	0,41	0,56	0,06	0,13
28/06	10	0,64	1,03	0,45	0,47
29/06	13	0,38	0,49	0,19	0,19
30/06	7	0,36	0,44	0,12	0,17
30/06	10	0,64	1,09	0,25	0,32
10/07	8	0,52	0,67	0,30	0,36
14/07	13	0,47	0,62	0,08	0,11
21/07	15	1,00	1,13	0,21	0,56
18/08	15	0,37	0,62	0,25	0,47
19/08	14	0,68	1,03	0,12	0,33
20/08	14	0,36	0,48	0,09	0,26
21/08	14	0,70	1,32	0,04	0,16
26/08	9	0,59	1,25	0,15	0,24
26/08	14	0,94	1,33	0,10	0,31
26/08	17	0,14	0,59	0,05	0,14
27/08	9	0,74	1,01	0,13	0,35
27/08	11	0,57	1,07	0,05	0,18

(21 de Junho)  $g_s$  foi inferior aos valores das plantas regadas mas seguiu evolução semelhante, excepto no período da tarde no qual a redução de  $g_s$  foi mais acentuada que em TR. Em condições de déficit severo (15 Jul. 92 e 18 e 31 Maio 93)  $g_s$  diminuiu progressivamente ao longo do dia em ambos os genótipos.

Em conclusão, verifica-se que os híbridos têm taxas de  $g_s$  maiores que os pessegueiros, tanto no TR como no TD. Em condições de déficit hídrico moderado, as diferenças entre os dois genótipos são muito importantes mas diminuem quando o déficit hídrico é muito severo.

#### 3.3.2.4 - Relações entre a condutância estomática e o potencial hídrico.

Tendo em conta que as medições de  $g_s$  e de  $\psi$  foram feitas em horas distintas do dia, as relações entre os dois parâmetros foram estabelecidas com base nos valores medidos de  $g_s$  e em valores estimados de  $\psi$  para os horas correspondentes às medições de  $g_s$ . Os valores de  $\psi$  foram obtidos por interpolação a partir dos valores medidos.

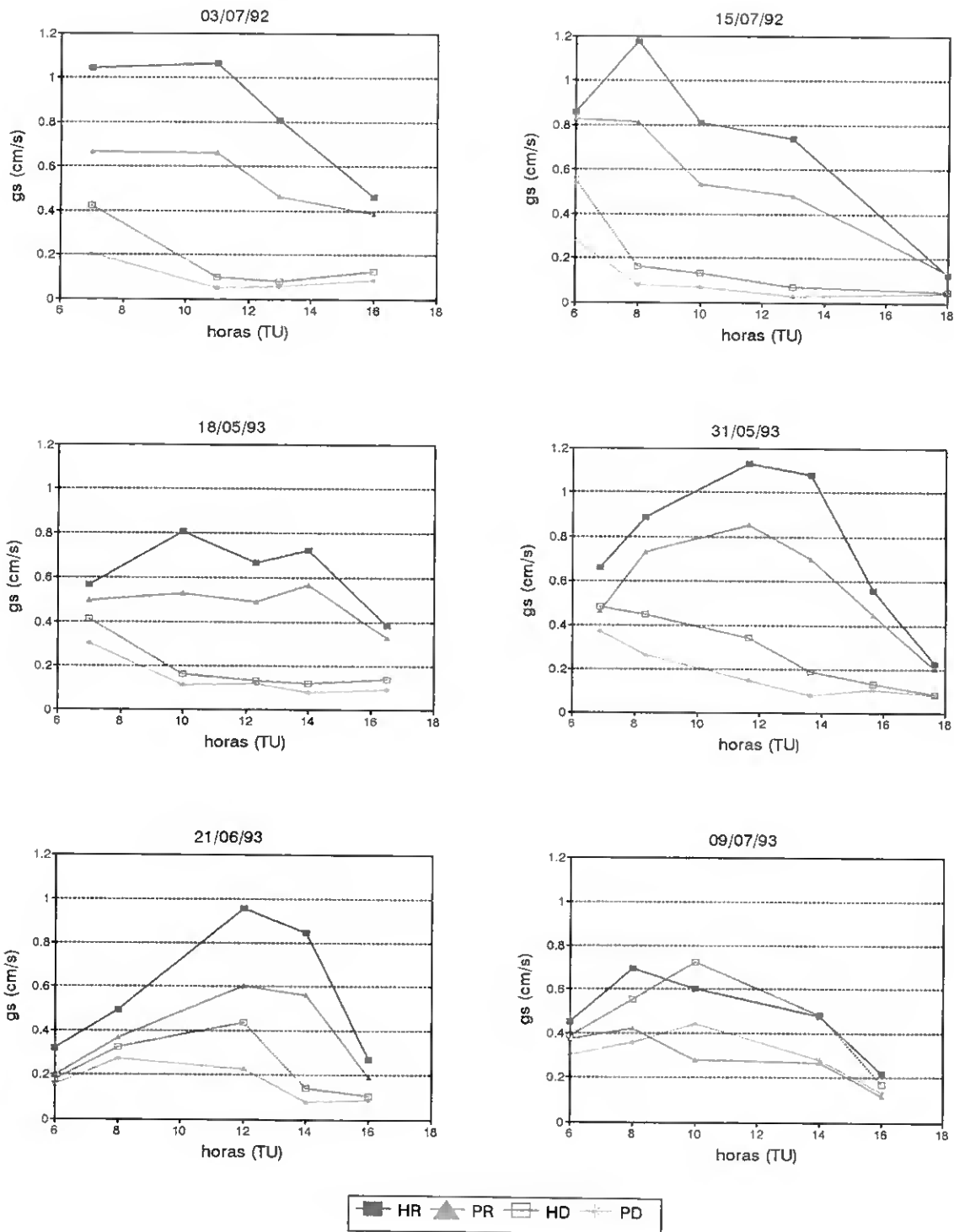


Fig. 3.18 -Evolução ao longo do período diurno da condutância estomática ( $g_s$ ) nos híbridos e nos pessegueiros bem regados (TR) e em déficit hídrico (TD) em alguns dias de 1992 e de 1993.



A evolução simultânea do  $\psi$  e de  $g_s$  apresenta-se na Fig. 3.19. Além das diferenças entre os dois genótipos acima referidas verifica-se que, a um dado valor de  $\psi$ , os valores correspondentes de  $g_s$  são, em geral, maiores nos híbridos que nos pessegueiros.

Por outro lado, enquanto as diferenças de  $g_s$  são geralmente muito importantes entre os dois genótipos, nomeadamente no período da manhã, no que se refere às diferenças de  $\psi$  observa-se maior variabilidade de situações segundo os dias de observação, provavelmente em consequência das exigências evaporativas da atmosfera e, portanto, da capacidade da planta compensar as perdas de água por transpiração. As diferenças entre os dois genótipos quanto a  $\psi$  são geralmente mais importantes nas plantas em condições de défice hídrico que nas plantas bem regadas.

Ao longo do dia, à medida que o défice de saturação do ar aumenta,  $g_s$  diminui de forma mais acentuada nos híbridos que nos pessegueiros, enquanto as diferenças entre os dois genótipos relativamente a  $\psi$  mantêm-se estáveis ou diminuem. Este comportamento indica que os híbridos são capazes de manter valores de  $g_s$  superiores aos pessegueiros sem que isso provoque maior agravamento do seu estado hídrico.

A evolução de  $\psi$  e de  $g_s$  no TD mostra que as diferenças entre os dois genótipos neste tratamento são particularmente importantes no período da manhã. Por outro lado, a diminuição de  $g_s$  em consequência do défice hídrico observa-se a valores de potencial hídrico muito mais altos nos pessegueiros que nos híbridos.

Em conclusão, a relação entre  $g_s$  e  $\psi$  põe em evidência que a valores iguais de  $\psi$ ,  $g_s$  é superior nos híbridos que nos pessegueiros e a diminuição de  $g_s$  com o défice hídrico observa-se a valores de  $\psi$  mais altos nos pessegueiros que nos híbridos.

Apesar de muito relevantes por corresponderem a um número muito importante de observações e a medições sobre várias plantas, os resultados apresentados por terem sido obtidos em dias descontínuos ou durante períodos de apenas 2 ou 3 dias, não permitem descrever com confiança a evolução no comportamento das plantas ao longo dos períodos de secura e no período pós-défice. Assim, foi necessário a realização de observações consecutivas durante um período mais longo, cujos resultados relativos a 11 dias se apresentam a seguir.

### **3.3.3 - Comparação entre os porta-enxertos quanto à evolução de diversos parâmetros durante um período de 11 dias**

#### **3.3.3.1 - Metodologia**

Este estudo decorreu de 19 a 29 de Julho de 1993 e teve como objectivo analisar de forma pormenorizada a evolução temporal dos parâmetros relacionados com a perda de água pelas plantas, em diferentes condições de alimentação hídrica e durante um período

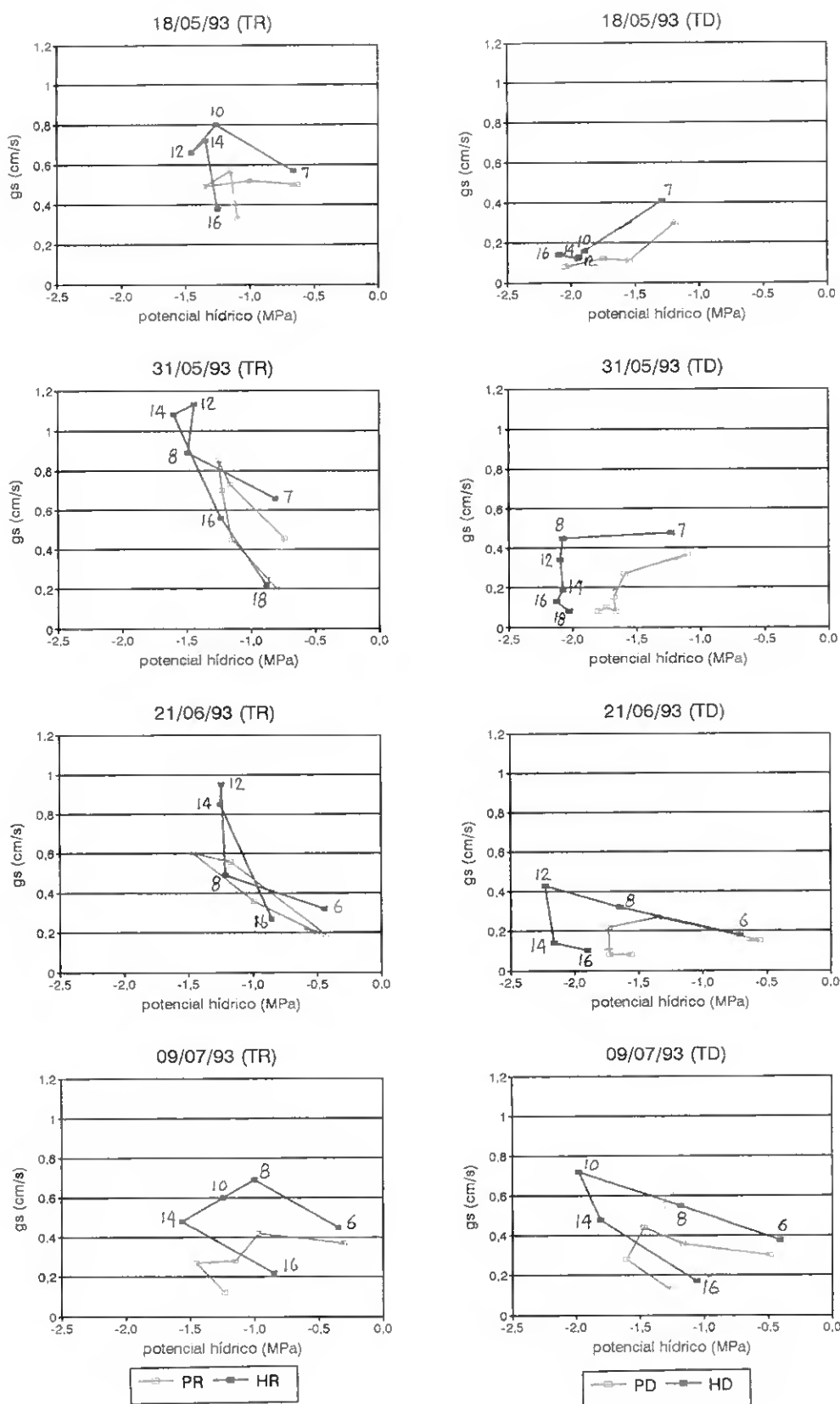


Fig. 3.19 - Evolução simultânea do potencial hídrico e da condutância estomática (gs) ao longo do período diurno das plantas bem regadas (TR) e em déficit hídrico (TD) em alguns dias de 1993. Os números junto às linhas correspondem às horas TU aproximadas das observações para ambos os genótipos.

quente e seco do ano. Atenção particular foi dispensada à evolução desses parâmetros durante o agravamento do déficit hídrico e no período pós-stress.

Além do estudo da microvariação do diâmetro do tronco, potencial hídrico e condutância estomática, obteve-se também a perda de água dos vasos por meio de pesagens, correspondente à evapotranspiração potencial e real.

Devido ao grande número de medições ao longo do dia, apenas foi possível trabalhar com pequeno número de plantas, duas por genótipo e tratamento hídrico.

Na Tab. 3.17 apresentam-se as características das plantas seleccionadas relativamente à área foliar. Esta foi determinada por contagem do número de folhas no início do ensaio e medição da respectiva área média numa amostra colhida no final do ensaio.

Tab. 3.17 - Área foliar das plantas no início do ensaio

GRUPO	PLANTA	ÁREA FOLIAR (m <sup>2</sup> )
HR	15A	3,25
	17A	3,11
HD	4A	1,77
	12A	2,22
PR	13A	4,66
	21A	4,30
PD	7A	2,74
	11A	2,96

As plantas foram colocadas no exterior do túnel (Foto 12), sendo regadas abundantemente no período que precedeu o ensaio.

No caso das plantas bem regadas (TR), o substrato foi mantido permanentemente num estado próximo da capacidade máxima de retenção da água, através da reposição da água perdida aproximadamente de duas em duas horas. A escolha desse período foi o



Foto 12 - Aspecto geral do ensaio realizado durante 11 dias consecutivos

resultado de uma experimentação prévia, tendo-se constatado que nas condições ambientais em que decorreu o ensaio e em face das características das plantas, das dimensões dos vasos e do tipo de substrato, além desse período de duas horas não havia a certeza da água da transpiração das plantas ocorrer à sua máxima capacidade. Períodos de idêntica duração foram adoptados por alguns autores em estudos da mesma natureza (Torrecillas *et al.*, 1989; Harrison *et al.*, 1989; Lloyd *et al.*, 1991; Sánchez-Blanco *et al.*, 1991). A primeira rega do dia era feita pouco depois do nascer do sol e a última ao pôr do sol, sendo os vasos pesados antes e depois de cada rega.

Nas plantas submetidas ao défice hídrico (TD), as regas foram efectuadas quando as plantas apresentavam sintomas muito evidentes de desidratação (emurchecimento) e os indicadores fisiológicos indicavam situações de grande défice. Em geral, foram efectuadas duas regas durante o ensaio em cada planta (Tab. 3.18).

Tab. 3.18 - Regas efectuadas nas plantas em défice hídrico entre 19 e 30 de Julho de 1993 (horas em TU)

PLANTA	1ª rega		2ª rega	
	DIA	HORA	DIA	HORA
4A	23	6	29	5.30
12A	22	5.30	26	5.45
7A	24	6	29	5.45
11A	23	6	28	5.15

No local do ensaio foram feitas observações da temperatura e da humidade do ar por meio de um psicrómetro de Assmann e de um termohigrógrafo e comparadas com os valores fornecidos pela estação agrometeorológica de St. Paul, situada perto do local do ensaio.

Durante o período deste estudo, a radiação solar global manteve-se aproximadamente constante, com excepção do dia 25, no qual se observou forte nebulosidade durante quase todo o dia associada a períodos de precipitação fraca durante a manhã. Nos últimos três dias do ensaio verificou-se aumento importante da temperatura do ar com valores máximos que chegaram a 35°C, enquanto os valores de humidade relativa do ar foram muito baixos (valores mínimos inferiores a 35%). Em consequência, o défice de saturação do vapor de água da atmosfera aumentou bastante nesses últimos dias.

### 3.3.3.2 - Microvariação do diâmetro do tronco

As plantas seleccionadas para este estudo dispunham todas de um captor de deslocamento linear no tronco e outro na zona basal de uma das ramificações.

A interpretação dos resultados relativamente aos dois génotipos e tratamentos foi feita com base na evolução da amplitude de contracção diária (ACD) e da evolução diária do diâmetro do tronco ou do ramo (ED).

Nas Figs 3.20 e 3.21, apresentam-se as linhas relativas ao registo da variação do diâmetro das 8 plantas estudadas, entre os dias 19 e 29 de Julho. A representação é feita a partir de uma origem arbitrariamente fixada em zero. O diâmetro dos troncos nos pontos em que foram colocados os captadores variavam, no início do ensaio, entre 2,1 a 2,9 cm e o dos ramos entre 1,3 e 1,9 cm.

Nas plantas TR (Fig. 3.20) ED aumentou continuamente e nas TD (Fig. 3.21) ED e ACD evoluíram em função da progressiva desidratação do substrato e das regas.

No TR, a microvariação do diâmetro, tanto do tronco como dos ramos, segue o modelo clássico de um dia de céu limpo (Huguet, 1985), como se verificou, em geral, durante o período do ensaio. Nas primeiras horas da manhã observou-se um máximo relativo do diâmetro diário da planta e, em seguida, iniciou-se uma fase de contracção com uma amplitude de alguns décimos de milímetro, atingindo-se um mínimo entre as 10 e as 14 horas. Seguiu-se uma fase de aumento de diâmetro até às primeiras horas da manhã do dia seguinte, sendo o valor máximo atingido superior ao do dia anterior e estando a diferença entre os dois máximos diários relacionada com o crescimento da planta. Vários autores descreveram comportamento semelhante noutras espécies fruteiras (Huguet *et al.*, 1990).

Entre os dois genótipos não se observaram diferenças na evolução do diâmetro ao longo do dia.

Como as condições do tempo, nomeadamente da radiação solar, mantiveram-se relativamente estáveis durante o período do ensaio, com excepção do dia 25, como vimos, a evolução do diâmetro dos órgãos vegetais no TR apresenta uma progressão regular embora com algumas oscilações devidas a pequenas variações do estado do tempo ou a efeitos locais.

A evolução do diâmetro dos ramos acompanhou a variação de diâmetro dos jovens troncos.

Os aumentos de diâmetro dos troncos e dos ramos durante os 11 dias de ensaio, apresentam-se na Tab. 3.19. Nas plantas TR, o aumento de diâmetro dos troncos variou de

Tab. 3.19 - Variação de diâmetro durante o ensaio nos troncos e ramos.

PLANTA	Diâmetro inicial (mm)		Aumento de diâmetro (mm)	
	Caule	Ramo	Caule	Ramo
15A (HR)	29,0	18,5	1,5	1,7
17A (HR)	28,7	13,4	2,1	2,1
4A (HD)	24,0	19,0	0,5	0,5
12A (HD)	25,2	19,2	0,6	-0,3
13A (PR)	27,3	16,2	1,8	1,4
21A (PR)	27,5	17,9	2,0	1,5
7A (PD)	22,0	16,0	0,3	0,6
11A (PD)	21,4	14,0	0,4	0,5

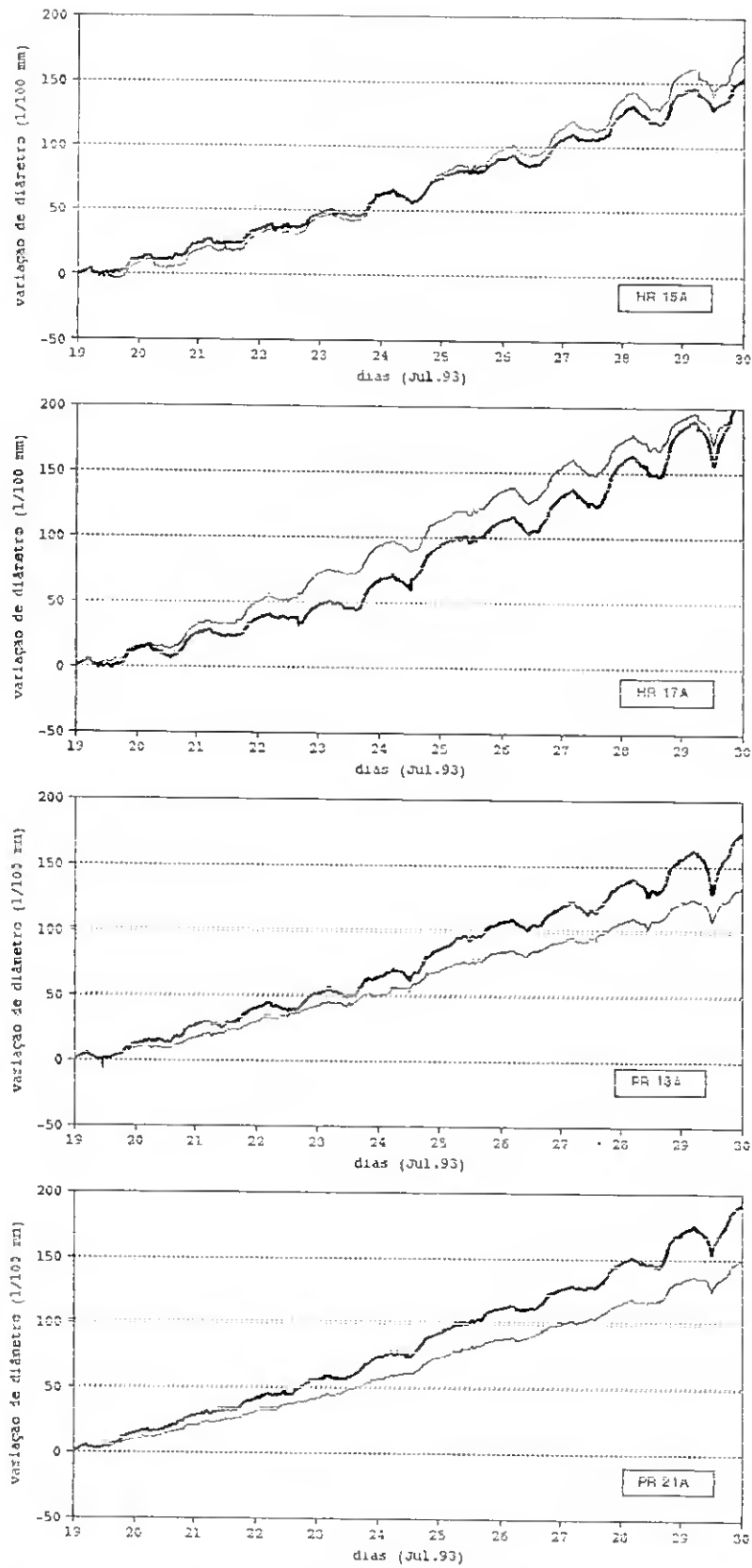


Fig. 3.20 - Microvariação do diâmetro do troncos (—) e do ramos (—) dos híbridos e dos pessegueiros bem regados (HR e PR).

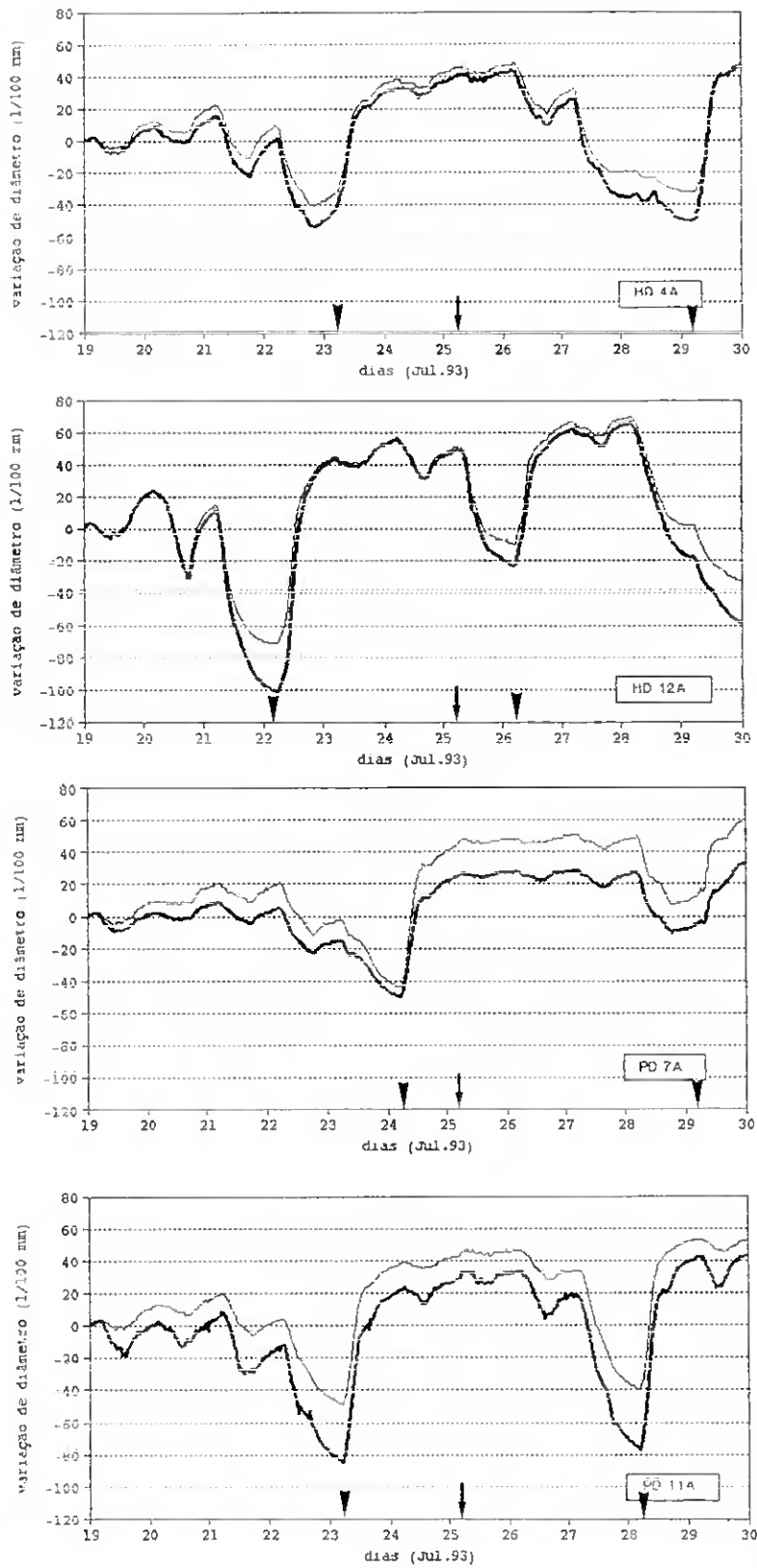


Fig. 3.21 - Microvariação do diâmetro do troncos (—) e do ramos (---) dos híbridos e dos pessegueiros em déficit hídrico (HD e PD). ( ▼ regas, ↓ precipitações)

1,5 a 2,1 mm, não obstante os diâmetros iniciais serem aproximados nas 4 plantas. No TD, o valor máximo foi de 0,5 mm e verificou-se mesmo um caso de redução de diâmetro (-0,6 mm) num dos híbridos.

Relativamente ao comportamento das duas plantas de cada grupo, observou-se maior uniformidade entre os pessegueiros que entre os híbridos.

O aumento de diâmetro foi maior nos ramos do que nos caules de cada planta, se não em termos absolutos pelo menos quando expresso em relação ao diâmetro inicial.

Considerando que o crescimento dos órgãos nos quais esteve instalado o captor pode ser representado pela linha definida pelos valores máximos matinais, verifica-se que nas plantas bem regadas o crescimento foi maior na fase final do ensaio do que no início, como consequência das condições meteorológicas prevaletes nessas fases.

No TD (Fig. 3.21), à medida que o déficit hídrico progride, ACD aumenta substancialmente em relação às plantas bem regadas. Os declives de contracção durante a manhã são igualmente mais acentuados e o período de recuperação tem início significativamente mais tarde que nas plantas bem regadas.

No que respeita ao crescimento, verificou-se aumento de diâmetro no período imediatamente a seguir à rega e diminuição entre o 2º e o 4º dia após a rega, conforme as características das plantas, correspondente ao início de novo ciclo de *stress*. Após as regas observou-se rápido aumento do diâmetro do tronco e dos ramos, os quais atingiram no período nocturno valores superiores aos máximos anteriores. Este comportamento indica a continuação de fenómenos de divisão celular mesmo durante a fase de déficit hídrico agudo.

Não se observaram diferenças no comportamento das plantas entre os dois ciclos de secura.

### 3.3.3.3 - Potencial hídrico

As medições de  $\psi$  foram feitas entre o nascer e o pôr do sol, medindo-se duas folhas por planta em cada observação.

Na Fig. 3.22 apresenta-se a evolução de  $\psi$  nas plantas TR ao longo do ensaio, comparando entre si os dois híbridos e os dois pessegueiros, assim como os valores médios dos dois génotipos. Os valores máximos diários observam-se, como é normal, na primeira medição do dia (potencial de base) e os mínimos durante a tarde.

À semelhança do que se observou anteriormente, no TR os híbridos apresentaram maior amplitude de variação diária de  $\psi$  que os pessegueiros. No início e no fim do período diurno  $\psi$  foi semelhante nos dois génotipos variando, em geral, entre -0,6 e -0,4 MPa. Durante a tarde os valores mínimos oscilaram em torno de -1,5 MPa nos híbridos, à excepção dos 3 últimos dias em que chegaram a -2,0 MPa, e de -1,2 MPa nos pessegueiros, à excepção dos últimos dias em que  $\psi$  atingiu -1,7 MPa, reflectindo ambos os génotipos a dependência de  $\psi$  com as exigências evaporimétricas.



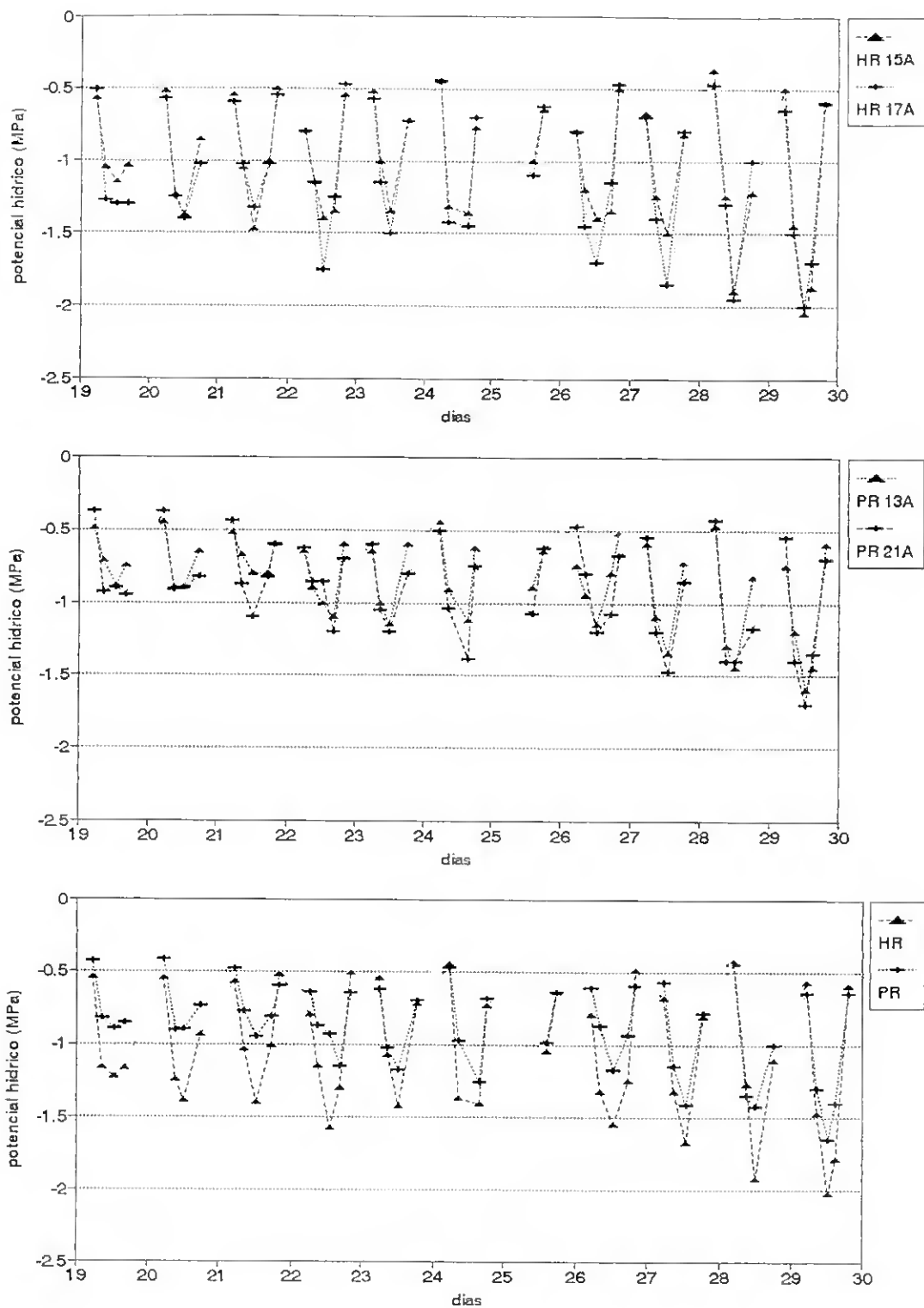


Fig. 3.22 - Evolução do potencial hídrico nos híbridos e nos pessegueiros bem regados (HR e PR) ao longo do ensaio (19 a 29 de Jul. 93)

A recuperação no final do período diurno foi mais rápida quando a evapotranspiração foi menor, como se pode ver nas mesmas figuras comparando os primeiros e os últimos dias do ensaio.

No TD (Fig. 3.23), os valores mínimos de  $\psi$  foram significativamente mais baixos que nas plantas bem regadas, tendo os híbridos atingindo valores de cerca de -4,0 MPa e os pessegueiros de -3,5 MPa. Durante os períodos entre regas verificou-se progressivo abaixamento dos valores de potencial de base e dos observados no fim da tarde.

A evolução de  $\psi$  no TD foi distinta no que se refere ao tempo que as plantas demoraram a atingir os valores mínimos registados entre as regas. Em geral, foi menor nos híbridos que nos pessegueiros e, entre as plantas do mesmo genótipo,  $\psi$  baixou mais rapidamente no híbrido 12A do que no 4A e no pessegueiro 11A que no 7A, estando as diferenças entre as plantas do mesmo genótipo relacionadas directamente com a respectiva área foliar (Tab. 3.17, pág. 80). Contudo, as diferenças entre os dois genótipos não podem ser explicadas desse modo.

O comportamento das plantas TD após a aplicação das regas, efectuadas no período da manhã, caracterizou-se por aumento rápido de  $\psi$  durante o dia, sendo os valores medidos na manhã do dia a seguir às regas semelhantes ao das plantas TR.

A evolução de  $\psi$  ao longo do período diurno mostra que o agravamento das condições de *stress* traduz-se, em geral, por diminuição rápida de  $\psi$  durante a manhã, aumento da diferença entre os valores mínimos de  $\psi$  de TR e TD e diminuição do potencial de base e da capacidade de recuperação de  $\psi$  no fim da tarde. Os valores mínimos de  $\psi$  foram registados no segundo ciclo de secura devido às condições meteorológicas dos dias 27 a 29.

Na Fig. 3.24 apresentam-se para uma planta de cada grupo (PR, HR, PD e HD), a evolução de  $\psi$  ao longo do período diurno e dos 11 dias do ensaio. Englobam as considerações feitas anteriormente em relação apenas a uma das duas variáveis (dias e horas), agora considerando simultaneamente esses dois parâmetros. São, assim, gráficos a 3 variáveis que permitem avaliar, em conjunto, a evolução de  $\psi$  durante o ensaio. Permitiram, também, verificar a validade dos valores observados, tendo sido necessário eliminar apenas 2, num total de 180, que estavam afastados do que seria de esperar pelo traçado das curvas.

Observa-se que os valores mínimos das plantas bem regadas (PR e HR) ocorreu no período de maior aquecimento diurno ou pouco depois (entre as 12 e as 14 TU), com os valores mais baixos nos últimos dias do ensaio quando as exigências atmosféricas foram máximas (cerca de -2,0 e -2,1 MPa para os pessegueiros e os híbridos, respectivamente). O outro núcleo mínimo (um pouco inferior a -1,4 MPa) ocorreu entre os dias 21 e 24. O dia 25, em que, como vimos, houve nebulosidade forte, os valores foram mais altos, separando os núcleos de valores mínimos. A partir do início da noite e até ao nascer do sol, em todas as plantas, os valores foram máximos entre -0,6 e -0,4 MPa.

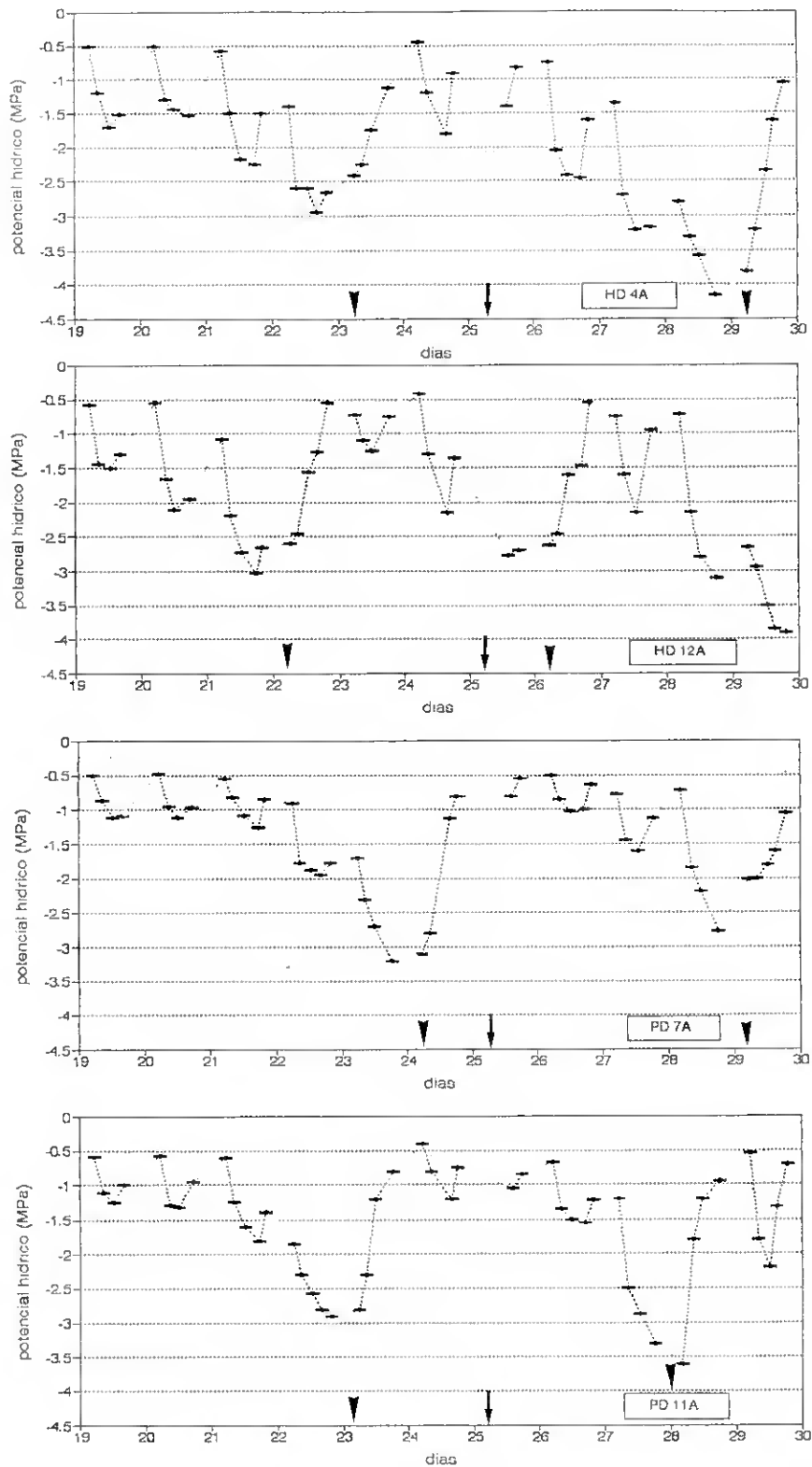


Fig. 3.23 - Evolução do potencial hídrico nos híbridos e nos pessegueiros em déficit hídrico (HD e PD) ao longo do ensaio (19 a 29 de Jul. 93) ( ▼ regas, ↓ precipitações)

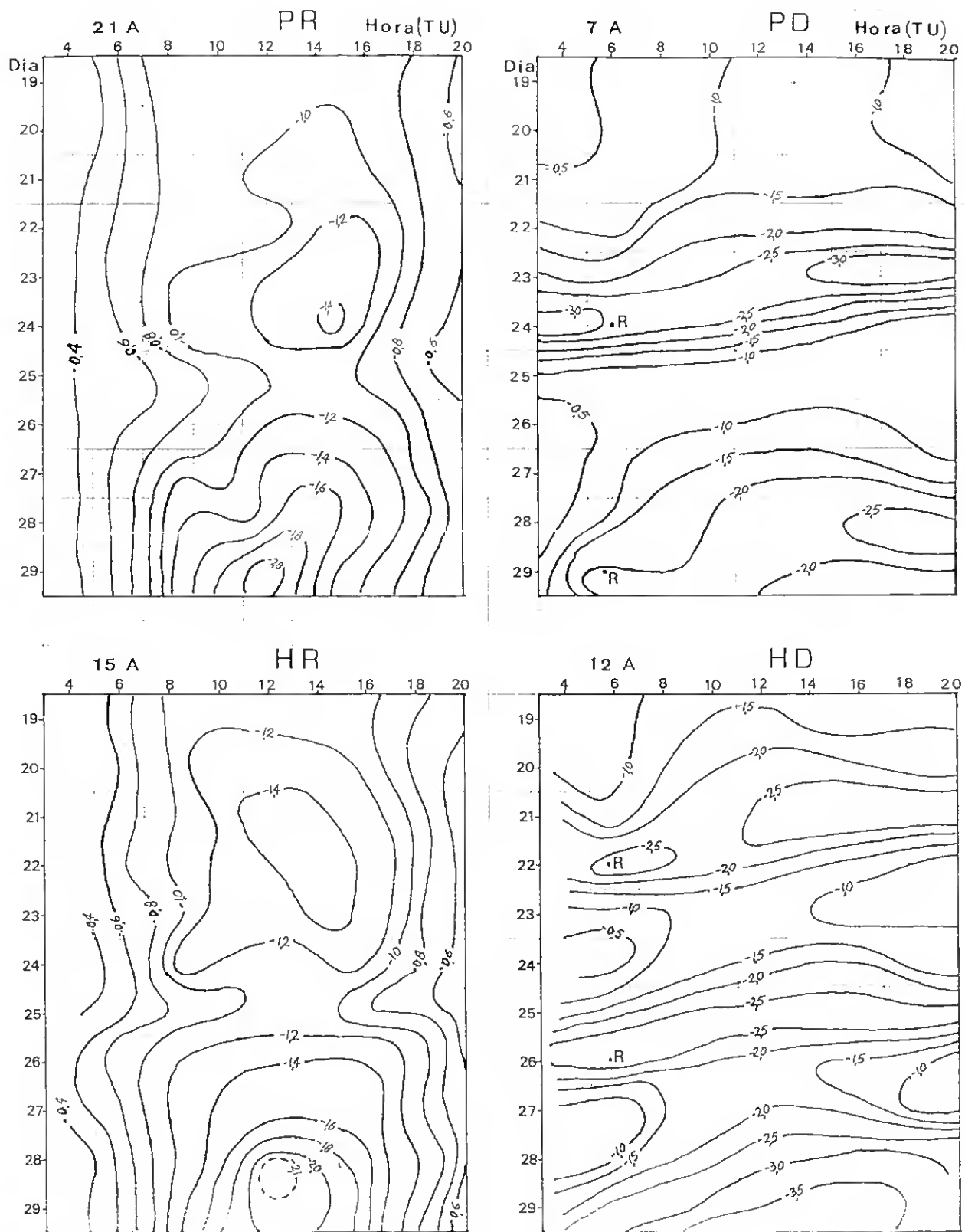


Fig. 3.24 - Isopletas do potencial hídrico em MPa ao longo do período diurno e durante o ensaio (19 a 29 de Jul. 93). (R- regas)

Nas plantas submetidas ao déficit hídrico (PD e HD), a análise dos gráficos apresentados põe em evidência a relação entre  $\psi$  com o estado do tempo e, sobretudo, com as regas. Nomeadamente, é de notar os valores de  $\psi$  relativamente altos no início do ensaio e após as regas, assim como a sua rápida diminuição, em geral, dois dias depois das regas, até valores abaixo dos -3,0 MPa. Os valores mínimos mais baixos foram observados no híbrido e, em ambos os genótipos, os núcleos de valores mínimos estenderam-se pelos períodos crepusculares e, provavelmente, também durante a noite.

A leitura deste tipo de gráficos permitiu, assim, conhecer em pormenor e ter uma visão global da evolução do potencial hídrico das folhas ao longo de todo o ensaio.

### 3.3.3.4 - Condutância estomática

As observações de condutância estomática ( $g_s$ ) foram feitas também com intervalos de aproximadamente duas horas e após a pesagem dos vasos. No mínimo, fizeram-se 4 a 5 medições por planta em cada observação.

Os valores médios de  $g_s$  dos dois genótipos no TR estão representados na Fig. 3.25 a. Como se esperava, tendo em consideração os resultados descritos anteriormente,  $g_s$  foi sempre superior nos híbridos relativamente aos pessegueiros. A condutância média diária variou, aproximadamente, entre 0,3 e 0,6  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  nos híbridos e entre 0,2 a 0,4  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  nos pessegueiros. As diferenças entre as duas plantas do mesmo genótipo foram, em geral, pequenas.

Em relação às plantas TD, os valores médios de  $g_s$  (Fig. 3.25 b) foram, também, maiores nos híbridos que nos pessegueiros. Contudo, em condições de déficit hídrico muito acentuado, como ocorreu nos últimos dias do ensaio, os híbridos tiveram valores de  $g_s$  tão baixos como os pessegueiros.

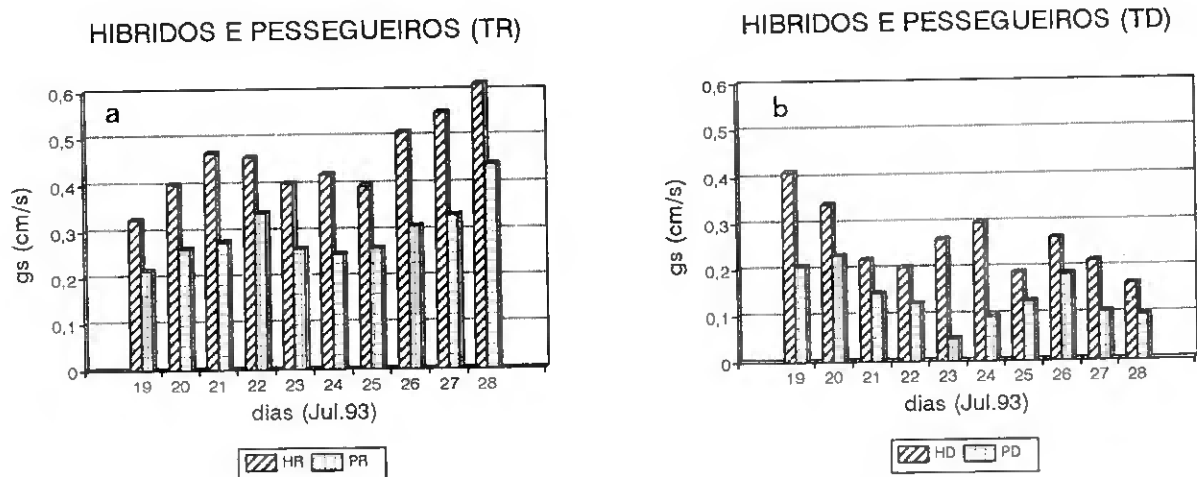


Fig. 3.25 – Evolução dos valores médios diários da condutância estomática ( $g_s$ ) durante o período do ensaio

A partir do segundo dia após o início das observações, os valores de  $g_s$  foram sempre menores no TD que no TR mesmo nos dias após as regas, tendo sido o comportamento das plantas em relação a  $g_s$  função essencialmente das regas e das condições meteorológicas.

Relativamente à evolução diária de  $g_s$  (Fig. 3.26) verificou-se que no TR, de um modo geral, os valores máximos foram atingidos no meio da manhã ou no princípio da tarde, observando-se a seguir diminuição dos valores, provavelmente devido ao encerramento parcial dos estomas como reacção às condições atmosféricas. Este comportamento é semelhante ao descrito na amendoeira por Castel e Fereres (1982) e Torrecillas *et al.* (1988), nos pessegueiros por Xiloyannis *et al.* (1980) e, também, por outros autores em diferentes espécies como Dolman e van den Burg (1988) no carvalho. Tal como se viu em relação aos valores médios diários, os híbridos apresentaram maior condutância que os pessegueiros durante o dia. As diferenças entre os dois genótipos foram, em geral, mais marcadas no período da manhã.

No que se refere a TD, o comportamento dos híbridos e dos pessegueiros diferiu do das plantas bem regadas no sentido de que os níveis máximos de  $g_s$  decresceram mais rapidamente reduzindo, desta forma, o tempo diurno de abertura dos estomas, à semelhança do que tinham observado Henson *et al.* (1982) nos pessegueiros. Pode observar-se também no dia 23 no caso dos híbridos e no dia 24 nos pessegueiros, a recuperação lenta e parcial das plantas após a rega, em que somente se verificou resposta das plantas (híbrido 4A e pessegueiro 7A) ao fim da tarde. Além disso, as plantas regadas anteriormente (dia 22 no caso do híbrido 12A e dia 23 no caso do pessegueiro 11A) apresentavam valores de  $g_s$  inferiores aos das plantas TR do mesmo genótipo. Verifica-se, assim, que a acção do défice hídrico sobre  $g_s$  persiste após o restabelecimento das condições hídricas normais dos tecidos.

Na Fig. 3.27 apresentam-se as isopletas da variação de  $g_s$  ao longo do período diurno nos 11 dias do ensaio, relativamente a uma planta de cada grupo: 21A (PR), 7A (PD), 15A (HR) e 12A (HD). Estes gráficos, análogos aos que foram feitos para o potencial hídrico, permitem analisar em pormenor a evolução de  $g_s$ , em função das condições do meio. Observa-se que nos dois tratamentos hídricos os híbridos apresentam valores máximos diários nitidamente mais altos que os dos pessegueiros, observados geralmente durante a manhã, antes das 10 horas até ao dia 22 e entre as 11 e as 14 horas nos dias seguintes. No TR os valores máximos nos híbridos chegaram a  $1,0 \text{ cm s}^{-1}$  enquanto nos pessegueiros foram até  $0,6 \text{ cm s}^{-1}$  e no TD eles foram de  $0,6$  e  $0,3 \text{ cm s}^{-1}$ , respectivamente.

### 3.3.3.5 - Perda de água das plantas

A perda de água das plantas, correspondente à evapotranspiração potencial (ETP) e à real (ETR), foi medida por pesagens periódicas dos vasos. Os dados obtidos visam a

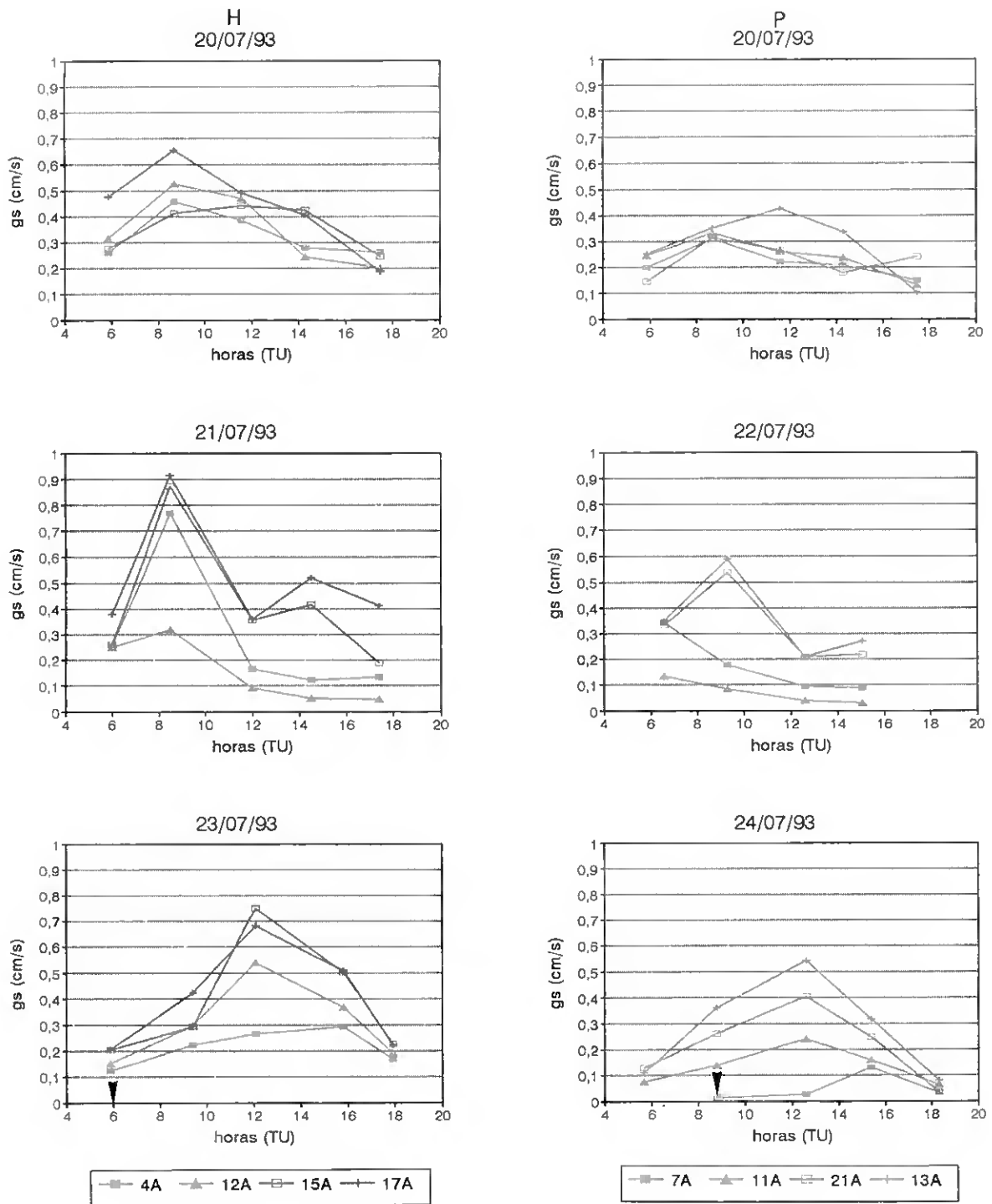


Fig. 3.26 - Comparação da evolução durante o período diurno da condutância estomática (gs) entre os híbridos do tratamento bem regado (HR) e do tratamento seco (HD) e entre os pessegueiros do tratamento bem regado (PR) e do tratamento seco (PD) durante a primeira fase do ensaio. ( ▼ regas)

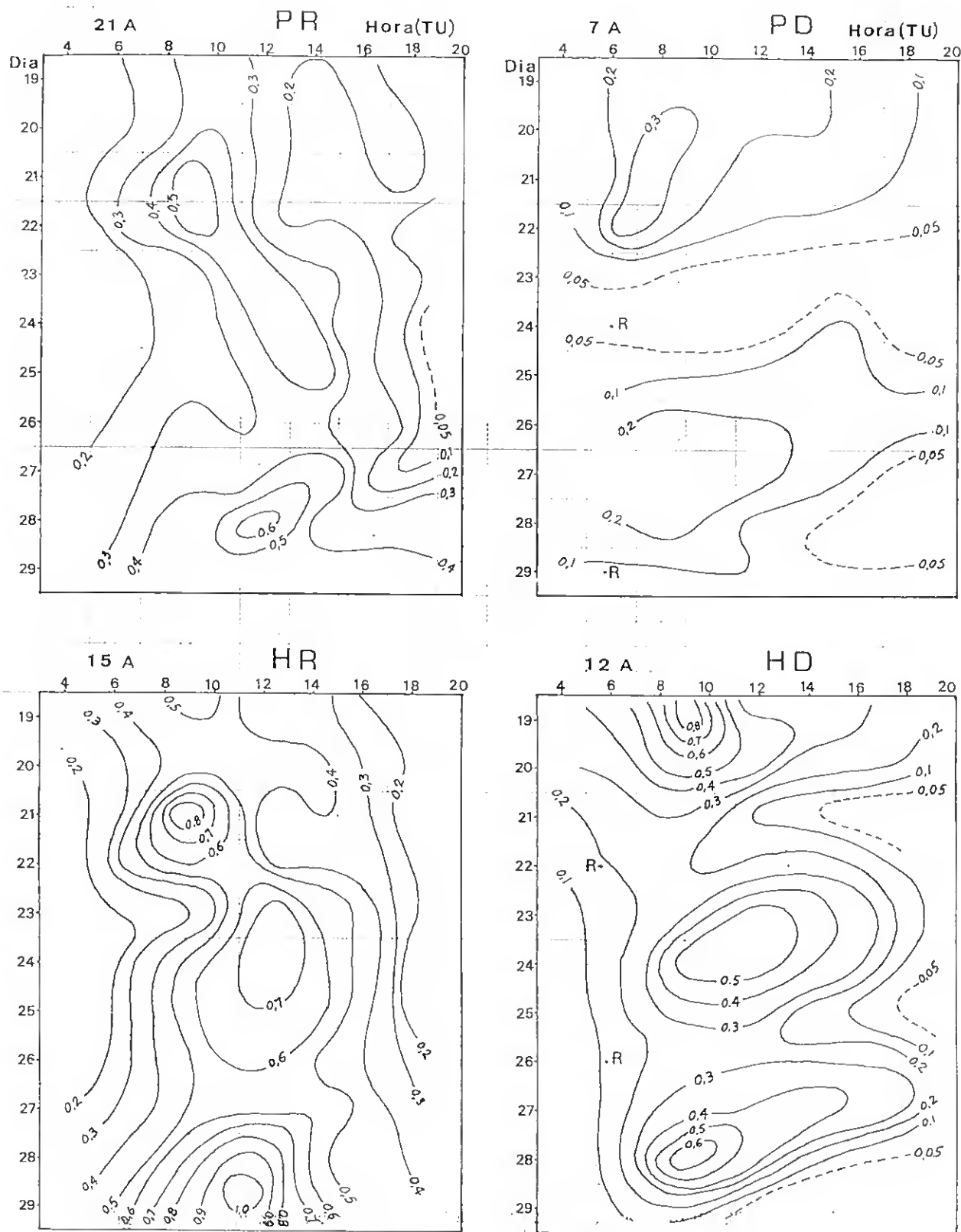


Fig. 3.27 - Isopletas da condutância estomática ( $\text{cm. s}^{-1}$ ) ao longo do período diurno e durante o ensaio (19 a 29 Jul. 93). (R- regas)



comparação dos dois genótipos relativamente à perda máxima de água (PMA) nas plantas nas quais o substrato se manteve próximo da saturação, e à perda real de água nas plantas submetidas a défice hídrico (PRA), assim como, o estudo da relação destes elementos com os outros parâmetros avaliados neste ensaio.

### a) Perda máxima de água (PMA)

Durante o ensaio, o peso dos vasos das plantas bem regadas pouco variou, dado que as regas efectuadas periodicamente durante o dia correspondiam aproximadamente à quantidade de água perdida durante as duas horas precedentes.

O histograma relativo aos valores médios diários de PMA (Fig. 3.28 a) mostra que as diferenças entre os dois genótipos foram pequenas, embora os híbridos tivessem perdido um pouco mais de água que os pessegueiros sobretudo nos dias em que a evapotranspiração foi maior. No entanto, os valores de PMA expressos em relação à área foliar (Fig. 3.28 b) foram nitidamente maiores nos híbridos que nos pessegueiros.

Os valores de PMA relativamente baixos que se observaram no dia 25 foram devidos à menor radiação global observada neste dia. Os valores altos registados nos últimos três dias do ensaio, podem explicar-se sobretudo pelo aumento da temperatura do ar e pela baixa humidade relativa, dado que a radiação global pouco variou em relação ao início do ensaio.

A PMA registada no período nocturno oscilou, em geral, entre 3 a 6% dos valores diurnos, os quais estão dentro dos limites observados por Cunha (1973) e Li *et al.* (1990). As principais excepções registaram-se no dia 25, no qual ultrapassou um pouco os 10%, o que se explica pelos baixos valores diurnos, e nos últimos dias do ensaio, que foi apenas de 1%, devido aos altos valores diurnos e à humidade relativa nocturna que atingiu

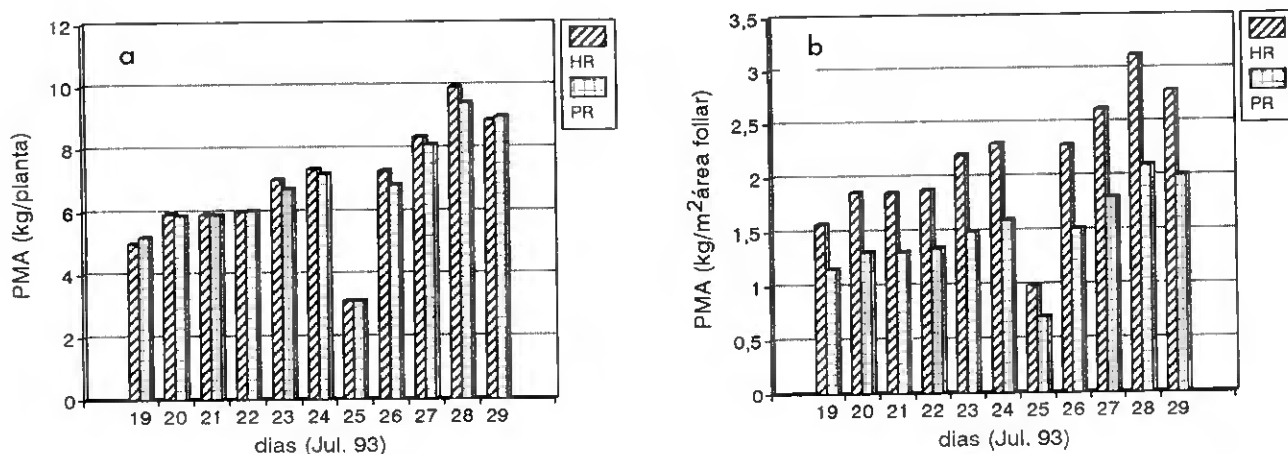


Fig. 3.28 – Valores médios diários da perda máxima de água (PMA) dos híbridos e dos pessegueiros durante o período do ensaio

a saturação. As perdas de água registadas durante o período nocturno devem, na realidade, corresponder em grande parte à perda de água durante os períodos crepusculares, sobretudo no fim do período diurno. Durante o período nocturno, a PMA dos pessegueiros foi superior à dos híbridos, sendo a média por genótipo de 350 e 250 g respectivamente, comportamento que deve estar relacionado com a área foliar das plantas.

Analisou-se a relação entre os valores médios diários de PMA dos dois genótipos e os valores de referência da evapotranspiração potencial obtidos pela fórmula de Penman relativos à estação meteorológica próxima do local do ensaio, fornecidos pelo departamento de Bioclimatologia do INRA de Avignon. Para ambos os genótipos a correlação é fraca, sendo o coeficiente de determinação de 0,38 para os pessegueiros e de 0,41 para os híbridos. Contudo, se eliminarmos os dias mais quentes e mais secos, ou seja os 4 dias de valores altos do défice de saturação de vapor de água, o coeficiente de determinação passa para 0,91 e 0,88 para os referidos genótipos, respectivamente.

Embora o número de observações seja relativamente pequeno, esses resultados sugerem que nas condições em que o termo aerodinâmico da fórmula de Penman tem um papel importante no valor total, em detrimento do termo radiativo, a correlação é fraca, enquanto nos dias em que o termo radiativo é predominante, os resultados são bastante razoáveis. Assim, no caso de ensaios com plantas em vasos, pode pensar-se que a fórmula de Penman em condições de saturação de água do substrato poderá dar uma indicação da intensidade evaporativa das plantas quando o défice de saturação de vapor de água é baixo e a velocidade do vento é fraca.

A evolução ao longo do dia da PMA foi essencialmente função de  $g_s$  e das condições da atmosfera quanto à temperatura e humidade relativa, aumentando, em geral, nas horas mais quentes do dia. Na medida em que os factores ambientais afectaram de forma semelhante os dois genótipos, os padrões diários de evolução de PMA foram também semelhantes nos dois casos.

#### **b) Perda real de água (PRA)**

A perda real de água dos vasos foram obtidas por medições nas plantas TD.

Nos primeiros três dias do ensaio todas as plantas estiveram submetidas às mesmas condições hídricas, ou seja, sob a acção de um défice hídrico progressivo. Neste período, a perda de água foi maior nos híbridos que nos pessegueiros nos dois primeiros dias do ensaio e inferior no terceiro.

Embora tivesse havido, em geral, a necessidade de regar em dias diferentes, conforme a evolução do estado hídrico de cada planta, a primeira rega coincidiu no híbrido 4A e no pessegueiro 11A (às 6 horas TU do dia 23). Assim, foi possível analisar comparativamente a evolução de PRA nestas duas plantas durante os 9 primeiros dias do ensaio (Fig. 3.29 a). Durante o primeiro ciclo de *stress*, a perda de água foi aproximada

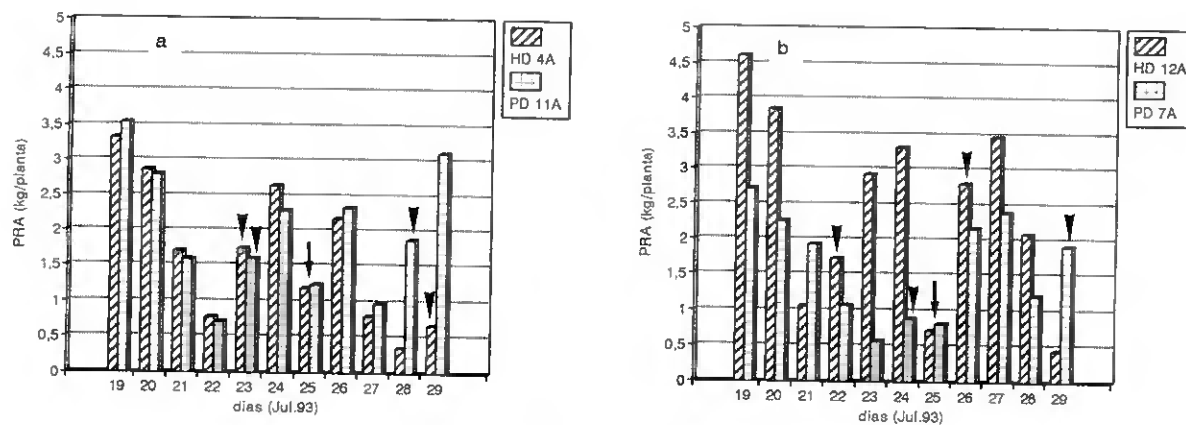


Fig. 3.29- Comparação da perda real de água (PRA) diária nos híbridos e nos pessegueiros. (↓ prec.; ↑ regas)

nas duas plantas, enquanto nos dois dias após a rega o híbrido perdeu um pouco mais água que o pessegueiro, situação que se inverteu quando o déficit hídrico se acentuou. A segunda rega teve lugar no dia 28 no pessegueiro e no dia 29 no híbrido. No caso do pessegueiro, observou-se um aumento rápido de PRA mas a planta apenas recuperou nitidamente no dia seguinte. No híbrido, não se registou praticamente o efeito da rega sobre PRA nesse mesmo dia.

A comparação de PRA no híbrido 12A e pessegueiro 7A (Fig. 3.29 b) mostra grandes diferenças entre as duas plantas durante o primeiro ciclo de déficit hídrico, as quais estão relacionadas com a sua área foliar relativamente ao híbrido e ao pessegueiro analisados na Fig. 3.29 a. Após a primeira rega, a comparação entre o híbrido 12A e o pessegueiro 7A é difícil devido a terem sido regados em dias diferentes. O pessegueiro levou mais tempo a recuperar que o híbrido, o que indica que a recuperação das plantas após o déficit depende da intensidade do *stress* a que as plantas foram submetidas.

### 3.3.3.6 - Relação entre a microvariação do diâmetro do tronco e o potencial hídrico

A microvariação do diâmetro do tronco e o potencial hídrico estão estreitamente relacionados, como se pode observar nas Figs 3.30 e 3.31 referentes a um híbrido e a um pessegueiro bem regados e submetidos ao tratamento seco, respectivamente. Para se comparar a evolução ao longo do dia das duas variáveis deve considerar-se a periodicidade com que as mesmas foram medidas: de 30 em 30 minutos no caso da variação de diâmetro e de 2 a 3 horas no que se refere ao potencial hídrico.

No TR, as curvas de  $\psi$  no período diurno apresentam uma forma parabólica, sendo os dois braços da curva praticamente simétricos. Pelo contrário, as curvas de microvariação do diâmetro apresentam uma forma sinusoidal com um máximo relativo cerca das 4 horas TU e um máximo absoluto, muito superior, ao fim do dia. Por este

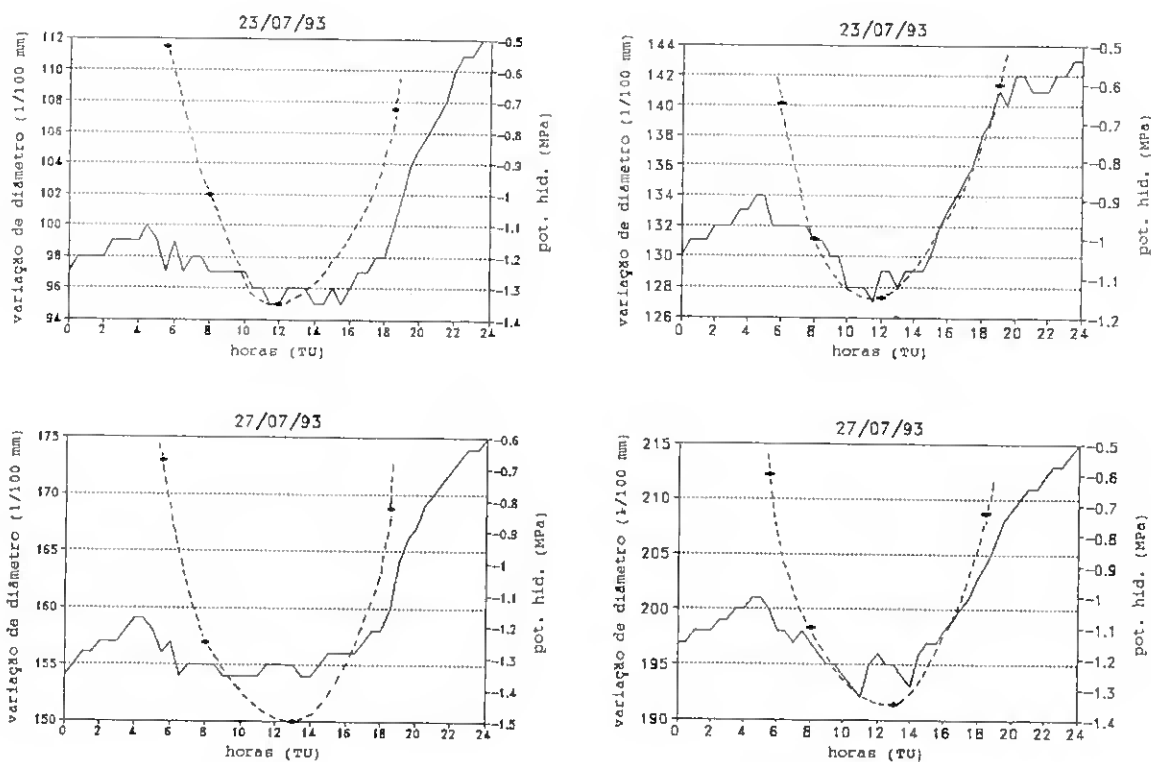


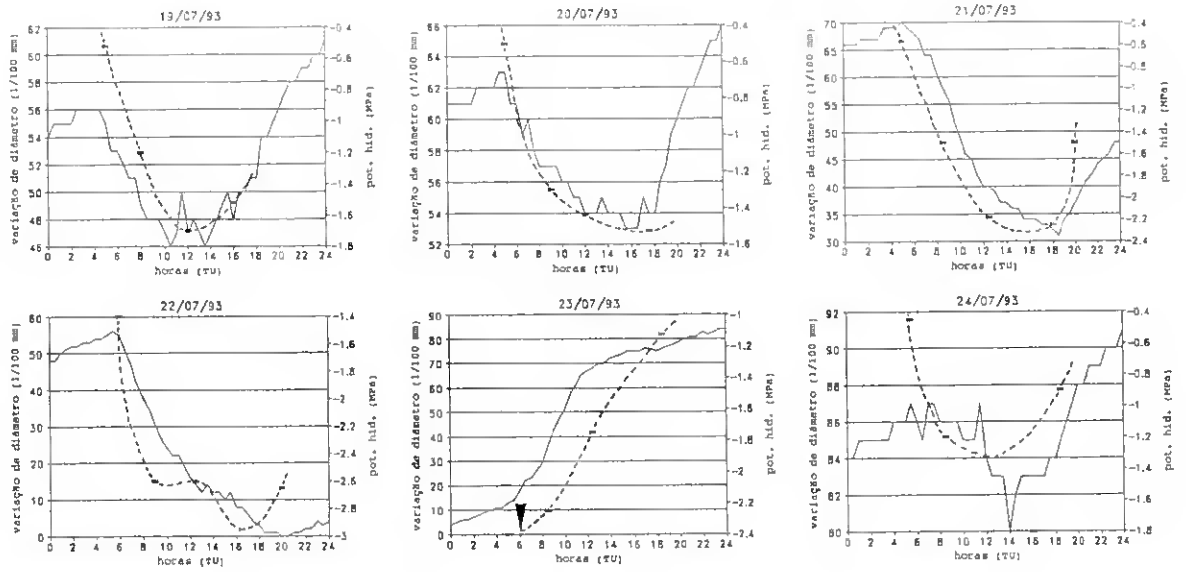
Fig. 3.30 - Relação entre a variação do diâmetro dos caules (—) e do potencial hídrico (---) para um híbrido e um pessegueiro bem regados.

motivo, durante as fases diárias de desidratação e rehidratação das plantas, a variação de  $\psi$  e do diâmetro, embora obedecendo às mesmas tendências, têm amplitudes de variação distintas numa e noutra fase.

A evolução simultânea das duas variáveis ao longo do dia no TD (Fig. 3.31) foi semelhante à do TR quando o teor hídrico do substrato não era limitante, à exceção dos dias em que se fizeram as regas que tiveram características particulares. Em condições de déficit hídrico moderado, a evolução dos dois parâmetros foi semelhante, havendo bom ajustamento entre as duas curvas tanto nos híbridos como nos pessegueiros. Em condições de déficit hídrico severo, o abaixamento de  $\psi$  foi, em geral, mais rápido no período da manhã do que a contração do diâmetro dos caules e ramos, notando-se maior afastamento no traçado das linhas respectivas. Essas diferenças foram maiores nos dias quentes e secos que em condições ambientais mais moderadas, e entre as plantas do mesmo genótipo, mais acentuadas nas de maior área foliar. Pelo contrário, não se observaram diferenças nítidas entre os dois genótipos. Após a rega, o aumento de diâmetro dos órgãos vegetais foi geralmente mais rápido que o aumento de  $\psi$ , independentemente do genótipo.

Nas Figs 3.32 *a* e *b* estão representados, relativamente às plantas TR, a variação do diâmetro do tronco e de  $\psi$  entre duas medições consecutivas durante os vários dias do ensaio, com exceção dos períodos nocturnos. Tanto nos híbridos como nos pessegueiros a

## HÍBRIDO 4A



## PESSEGUIRO 11A

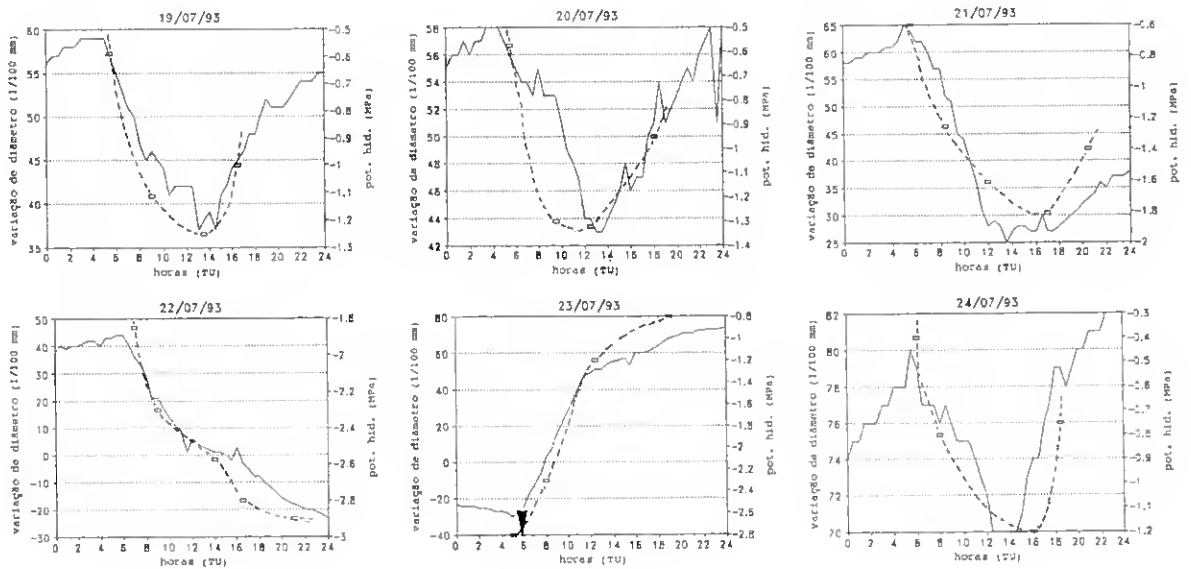


Fig. 3.31 - Relação entre a variação do diâmetro dos caules (—) e do potencial hídrico (---) ao longo do dia para um híbrido e um pessegueiro do tratamento seco. (▼ regas)

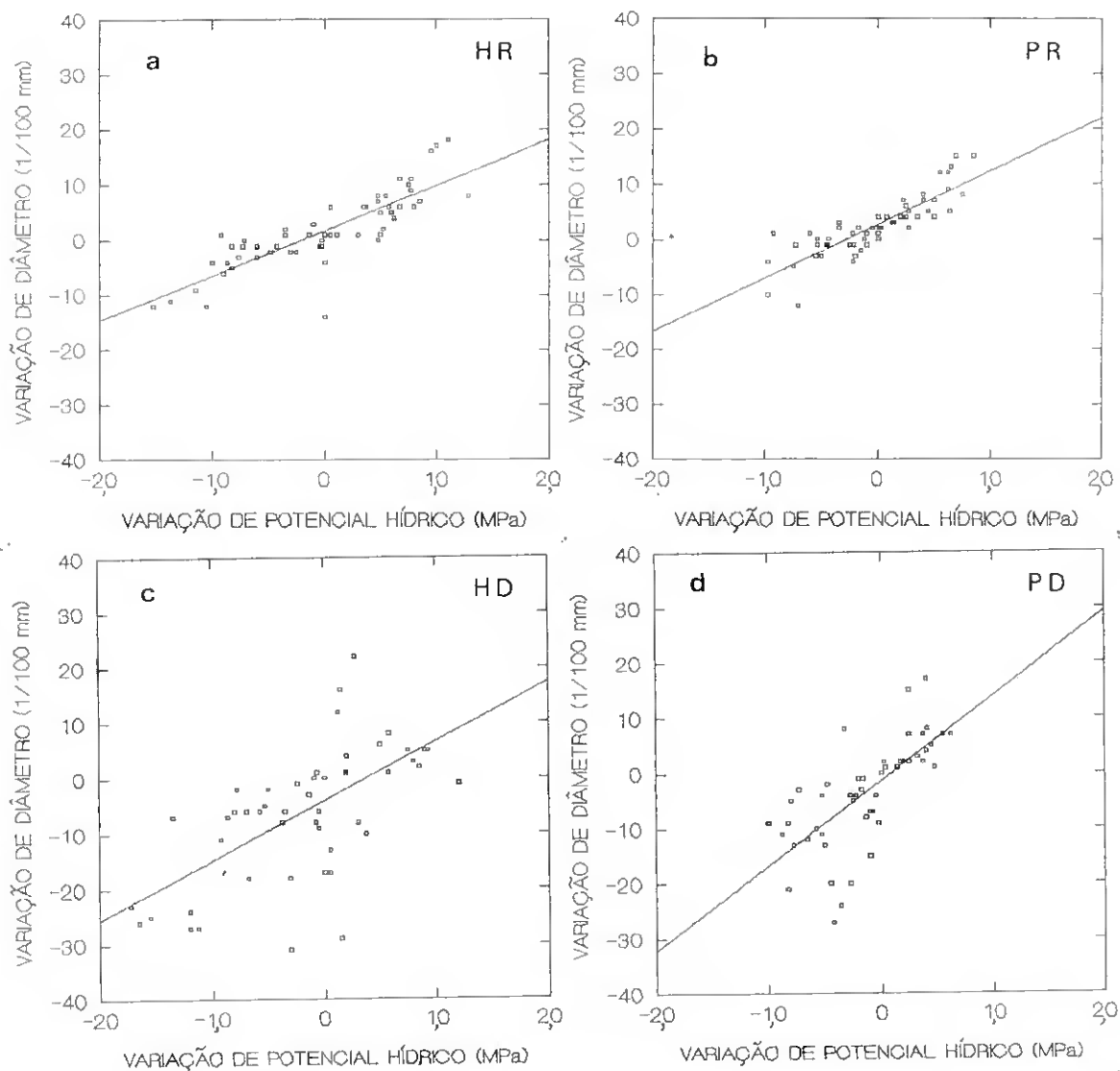


Fig. 3.32 - Comparação entre as variações do diâmetro do tronco e do potencial hídrico em períodos correspondentes de tempo relativamente aos híbridos e pessegueiros e aos dois tratamentos hídricos.

variação de  $\psi$  esteve, em geral, compreendida entre -1 e 1 MPa, e a variação de diâmetro entre  $-15 \times 10^{-2}$  e  $15 \times 10^{-2}$  mm. Contudo, nos híbridos registaram-se nalguns casos valores além destes limites, ao contrário dos pessegueiros. A recta com melhor ajustamento linear aos valores observados foi semelhante nos dois porta-enxertos. A dispersão dos pontos em torno desta recta revela as dinâmicas distintas na evolução diária das duas variáveis.

Em relação às plantas TD (Figs 3.32 c e d) verifica-se maior dispersão de valores que no caso do TR. As relações entre os dois genótipos foram distintas quanto às variações de  $\psi$ , registando-se nos híbridos variações máximas entre duas medições consecutivas de cerca de -2,0 MPa, enquanto nos pessegueiros não ultrapassaram -1,0 MPa. Quanto à variação de diâmetro, observou-se nos períodos de grande *stress* valores muito superiores aos registados nas plantas bem regadas, sendo os limites de variação semelhantes nos

híbridos e nos pessegueiros. Em consequência, as principais diferenças entre os dois genótipos reflectem-se por maior redução do potencial hídrico nos híbridos que nos pessegueiros em situações de déficit hídrico acompanhadas de variações de diâmetro da mesma grandeza que nos pessegueiros.

Nalguns casos observou-se nos híbridos forte variação de diâmetro (positiva ou negativa) praticamente sem variação de  $\psi$ , que correspondem provavelmente a situações de grande déficit e aos períodos mais quentes do dia. Este comportamento não se registou nos pessegueiros.

Vários autores têm referido a dependência entre ACD e o diâmetro do órgão vegetal em que está instalado o captor. A fim de eliminar esse factor de heterogeneidade, no TR os captosres foram colocados em secções do tronco com diâmetros equivalentes. No entanto, a semelhança nas amplitudes de variação dos troncos e dos ramos indica que, na gama de diâmetro destes órgãos, este não interfere na relação acima descrita.

Em conclusão, as tendências da evolução das duas variáveis com o estado hídrico apresentam grande paralelismo e, assim, ambas dão informação semelhante no que se refere à evolução do estado hídrico das plantas durante um ciclo de secura ou de recuperação pós-rega. Contudo, a avaliação conjunta das duas características permite pôr em evidência diferenças de comportamento entre os dois porta-enxertos.

### 3.3.3.7 - Relação entre o potencial hídrico e a condutância estomática

As Figs 3.33 e 3.34 ilustram a variação diurna entre  $\psi$  e  $g_s$  nos dois genótipos e nos dois tratamentos hídricos em alguns dias do ensaio. No TR cada valor representa a média das duas plantas de cada genótipo e no TD escolheu-se o híbrido 4A e o pessegueiro 11A devido à evolução semelhante do seu estado hídrico na primeira fase do período experimental, tendo coincidido a primeira rega no dia 23. Garnier e Berger (1987) em pessegueiros e Torrecillas *et al.* (1988) em amendoeiras apresentaram figuras semelhantes.

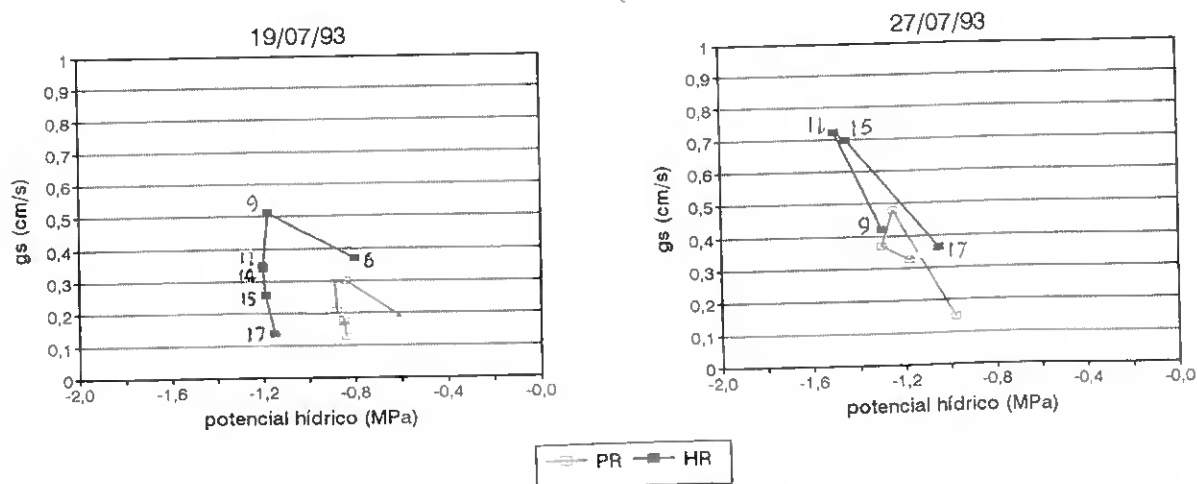


Fig. 3.33 - Variação ao longo do período diurno do potencial hídrico e da condutância estomática ( $g_s$ ) dos híbridos e dos pessegueiros bem regados (HR e PR). Os números junto às linhas correspondem às horas TU aproximadas das observações em ambos os genótipos.

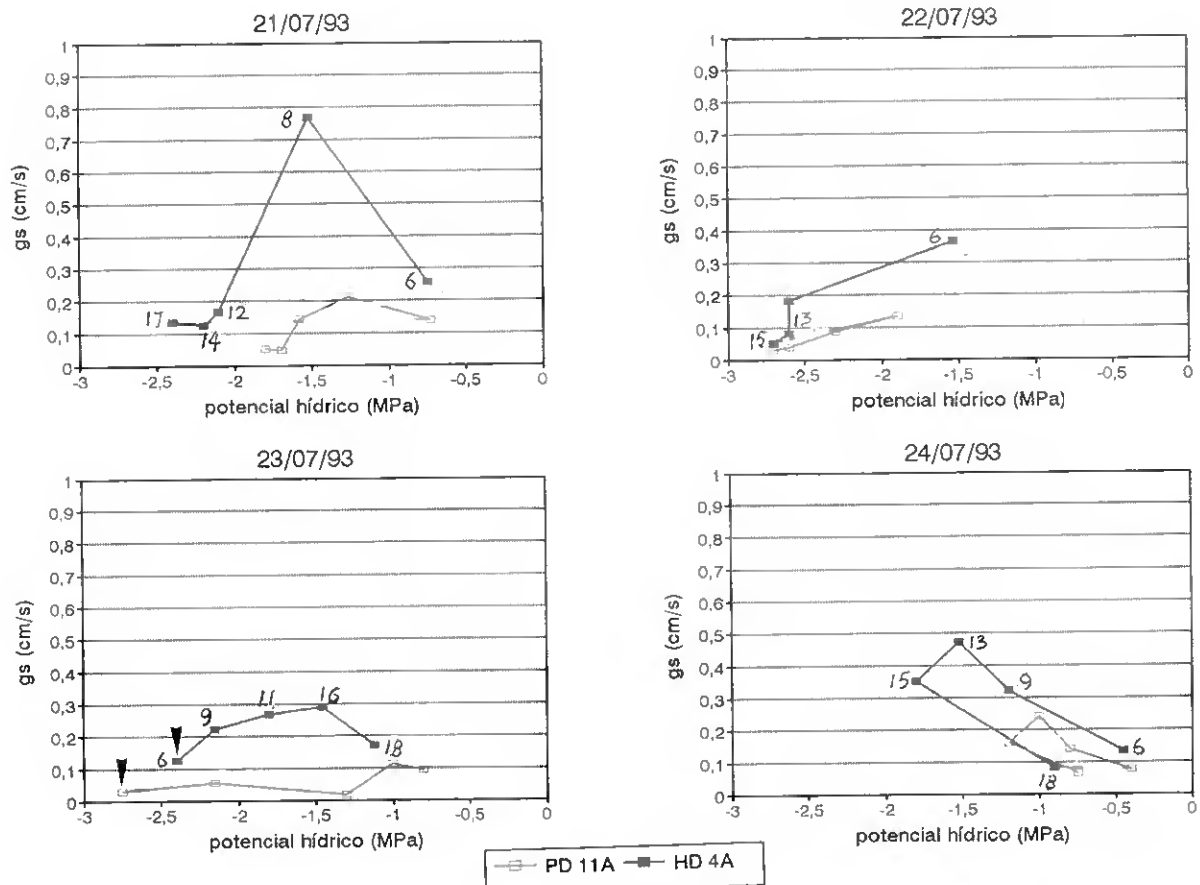


Fig. 3.34- Variação ao longo do período diurno do potencial hídrico e da condutância estomática ( $g_s$ ) do híbrido 4A e do pessegueiro 11A (tratamento seco). Os números junto às linhas correspondem às horas TU aproximadas das observações em ambos os genótipos.

Nas plantas **TR** é de salientar a semelhança que se observa entre os dois genótipos em relação à variação ao longo do dia de  $\psi$  e  $g_s$ , a qual dependeu fundamentalmente das condições ambientais, pelo que as diferenças verificadas entre os dois genótipos foram relativas principalmente aos valores máximos e mínimos obtidos.

A análise conjunta de  $\psi$  e  $g_s$  ao longo do dia e durante o ensaio mostrou que:

- As diferenças entre os dois genótipos quanto aos valores mínimos de  $\psi$  parecem estar relacionados, em grande parte, com os respectivos valores de  $g_s$  durante as observações da manhã;
- durante a tarde, todas as plantas manifestaram a capacidade de evitar a descida de  $\psi$ , estando esse comportamento associado, na maioria dos casos, a diminuição nítida de  $g_s$ ;
- para valores iguais de  $\psi$ , os híbridos são capazes de manter taxas de  $g_s$  superiores aos pessegueiros;
- a histerese foi, em geral, mais marcada nos híbridos que nos pessegueiros.

Comportamentos semelhantes nesses diferentes aspectos foram assinalados por vários autores, nomeadamente por Fereres *et al.* (1981), Castel e Fereres (1982) e por Torrecillas *et al.* (1988) para a amendoeira e por DeJong (1986) para o pessegueiro.



Nas plantas **TD**, a redução simultânea de  $\psi$  e  $g_s$  devido ao déficit hídrico assim como a recuperação parcial desses parâmetros após a rega estão ilustrados na Fig. 3.34. Para valores de  $\psi$  abaixo de aproximadamente -2 MPa,  $g_s$  permaneceu praticamente constante. A existência de um valor limite de  $\psi$  a partir do qual  $g_s$  não varia foi observado por vários autores, nomeadamente por Fereres *et al.* (1979) e Beadle *et al.* (1979).

As diferenças de  $\psi$  entre os dois tratamentos hídricos no período mais quente do dia não foram, em geral, grandes a não ser quando o déficit hídrico era muito intenso, o que pode ser atribuído aos valores mais baixos de  $g_s$  no **TD**, como também verificou Steinberg *et al.* (1990) em pessegueiros no Texas.

O acentuar do déficit hídrico esteve associado a grandes amplitudes diárias de variação de  $\psi$  e a redução acentuada de  $g_s$ ; e em condições de déficit hídrico extremo (dia 22)  $\psi$  foi sensivelmente semelhante nos dois genótipos não obstante a taxa de  $g_s$  dos híbridos se ter mantido mais alta.

Após a rega, as duas plantas reagiram de forma distinta. Enquanto no híbrido o aumento de  $\psi$  foi acompanhado por um pequeno aumento de  $g_s$  no dia 23, no pessegueiro apenas se registou uma pequena recuperação da actividade estomática no fim da tarde desse dia.

### 3.3.3.8 - Relação entre o potencial hídrico e a perda de água

Ao comparar-se os valores de  $\psi$  ao longo do dia e a taxa média horária da perda de água é necessário ter em consideração, por um lado, a variação contínua destas variáveis, e por outro, a natureza pontual das medições efectuadas. Nestas condições, a interpretação dos resultados é particularmente difícil apenas fornecendo tendências da variação conjunta das variáveis.

No que respeita às plantas **TR**, os períodos diários nos quais se registaram os valores mínimos de  $\psi$  coincidiram, em geral, com os períodos de máxima perda de água em todas as plantas deste tratamento.

Em comparação com as plantas **TR**, o comportamento das plantas **TD** caracterizou-se por desfasamento marcado entre o período de maior perda de água e o período no qual se observou os valores mais baixos de  $\psi$ . Assim, à medida que o déficit hídrico aumentou, as taxas diárias máximas de perda de água registaram-se progressivamente mais cedo durante o dia e os valores mínimos de  $\psi$ , sempre mais baixos, cada vez mais tarde. Um dia depois da rega, o padrão de variação diária dessas duas variáveis era semelhante ao das plantas bem regadas, embora em termos quantitativos os valores de PRA fossem menores que os registados antes do período de déficit hídrico, não obstante o aumento da capacidade evaporativa da atmosfera.

### 3.3.3.9 - Relação entre a condutância estomática e a perda de água

Na Fig. 3.35 representa-se a relação entre os valores médios diários da perda de água e de  $g_s$ . No caso de **TR**, apesar de  $g_s$  ser maior nos híbridos do que nos pessegueiros, a perda de água por planta foi equivalente nos dois genótipos (Fig. 3.35 a). No **TD** (Fig. 3.35 b), os híbridos apresentaram, em geral, maior perda de água e maior  $g_s$  que os pessegueiros. Pelo contrário, quando se relaciona a perda de água por unidade de área foliar com  $g_s$  obtêm-se uma relação linear e idêntica nos dois genótipos, como seria de esperar (Fig. 3.35 c e d).

A linearidade da relação entre a perda de água por unidade de área foliar e  $g_s$  é também evidente na Fig. 3.35e, na qual se relaciona a redução da perda de água no TD, relativamente ao TR, com a redução de  $g_s$ .

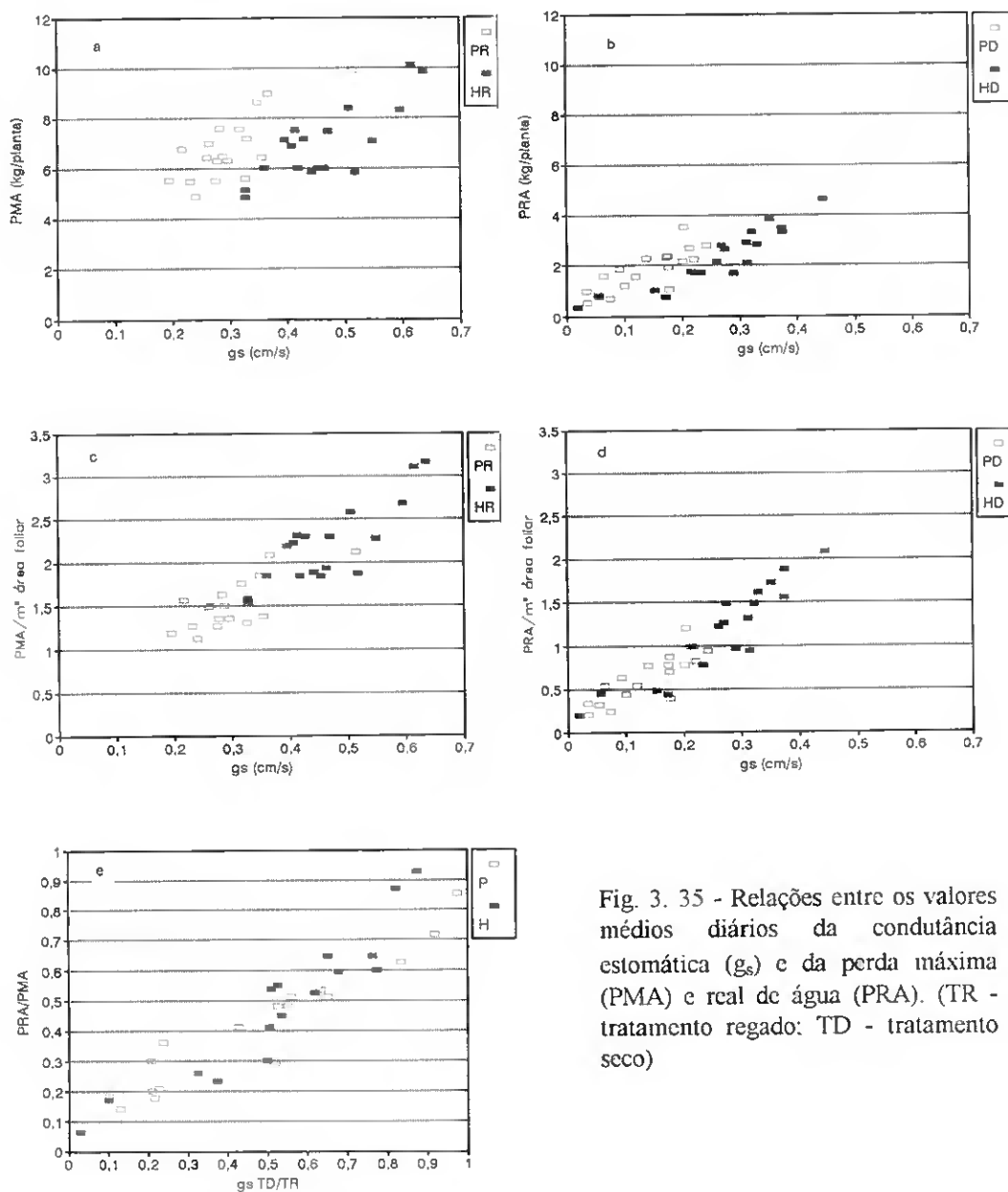


Fig. 3. 35 - Relações entre os valores médios diários da condutância estomática ( $g_s$ ) e da perda máxima (PMA) e real de água (PRA). (TR - tratamento regado; TD - tratamento seco)

### 3.3.4 - Discussão e conclusões

O estudo dos porta-enxertos GF 677 e GF 305 em relação a parâmetros utilizados como indicadores directos e indirectos do estado hídrico das plantas, designadamente a microvariação do diâmetro dos caules, o potencial hídrico das plantas ( $\psi$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e a perda de água pelas plantas conduziu nos nossos ensaios a resultados muito positivos. Com efeito, foram encontradas diferenças importantes no comportamento desses genótipos relacionadas com a sua adaptação a condições de secura e, por outro lado, foi possível analisar o interesse e as potencialidades desses parâmetros nos estudos desta natureza.

Um dos parâmetros que apresentou maior interesse foi a variação micromorfométrica do diâmetro dos caules que, entre outras, tem a vantagem de permitir descrever os processos de hidratação e desidratação das plantas, independentemente do tratamento hídrico e do genótipo. Nomeadamente, foi evidente a relação entre a entrada de água nas plantas e o aumento do diâmetro dos caules após as regas e, de um modo geral, foi patente a influência das condições meteorológicas no ritmo de crescimento das plantas.

As observações de potencial hídrico têm interesse complementar ao pôr em relevo diferenças genótípicas com influência no transporte de água nas plantas. O decréscimo de  $\psi$  foi mais rápido nos híbridos que nos pessegueiros durante a manhã e os valores mínimos durante o período diurno foram mais baixos. Em condições semelhantes de défice hídrico, os híbridos mantêm gradientes de potencial maiores que os pessegueiros, facilitando, desse modo, o transporte de água para as folhas.

As leituras de  $\psi$  antes do nascer do sol (potencial de base) seguiu estreitamente as disponibilidades de água do substrato, sendo de esperar que os valores de  $\psi$  da planta sejam muito inferiores aos do solo, como foi observado por alguns autores (Newmann, 1974; Tardieu *et al.*, 1990), pois a resistência ao transporte de água entre o solo e a planta é, geralmente, muito grande. Este facto é agravado quando se utiliza a turfa no substrato, como nos nossos ensaios, devido à sua fraca condutividade hidráulica, o que esteve na origem da falta de resposta dos tensiómetros e dos blocos de gesso instalados nos vasos.

Os valores medidos de  $\psi$  nas plantas bem regadas não descenderam a menos de -2 MPa, mas em condições de grande *stress* foram muito variáveis atingindo -4 MPa. Estes resultados são concordantes com muitos estudos para diferentes espécies (Davies e Kozlowski, 1977; Xiloyannis *et al.*, 1988), como igualmente para o pessegueiro (Proebsting e Middleton, 1980; Tan e Buttery, 1982; Natali *et al.*, 1985; Garnier e Berger, 1987; Metcalfe *et al.*, 1990; Li *et al.*, 1990).

Em relação ao potencial de base, obtivemos para as plantas bem regadas valores próximos de -0,5 MPa e nas plantas em défice hídrico valores variáveis com o estado de *stress* que atingiram -3 a -3,5 MPa. Torrecillas *et al.* (1988) num pomar de amendoeiras em condições de secura mediram valores de -1,7 MPa.

Deve, contudo, atender-se a que em condições naturais no campo, sobretudo nas espécies lenhosas, a comparação com ensaios em vaso deve ser feita com precaução, pois nessas condições o sistema radicular é mais extenso e profundo, podendo os valores de  $\psi$  atingir valores da ordem de -4 a -6 MPa (Lakso, 1979; Fereres *et al.*, 1979) e, além disso, a recuperação é mais lenta após a rega (Chalmers *et al.*, 1983).

Em condições normais, a relação que se observa entre  $\psi$  e as condições atmosféricas, tanto no que respeita aos valores mínimos diários como à recuperação no fim da tarde foram também reportadas por Ruiz-Sanchez *et al.* (1988).

Como se sabe, o potencial hídrico está relacionado directamente com o crescimento pelo que é interessante referir os estudos de Evenari *et al.* (1977) no damasqueiro. Nesse trabalho os autores verificaram que apesar da duração do período de crescimento ter sido maior no tratamento regado que nas plantas em défice hídrico, este cessou em ambos os tratamentos quando o potencial de base atingiu - 0,7 a - 0,8 MPa e valores mínimos da ordem de -3,5 a -4,0 MPa.

Foi muito interessante ter-se observado boa concordância na evolução de  $\psi$  e da variação de diâmetro do caule, tanto nas plantas bem regadas como nas plantas em défice hídrico moderado, enquanto o relativo desfasamento na evolução dos dois parâmetros em condições de *stress* severo está de acordo com o que seria de esperar tendo em conta a resistência na planta ao movimento da água e que cada parâmetro é medido em órgãos diferentes.

Em relação à condutância estomática ( $g_s$ ), os valores medidos foram sempre maiores nos híbridos do que nos pessegueiros, em igualdade de circunstâncias, tanto no TR como no TD, embora em condições de défice hídrico muito severo os valores de  $g_s$ , muito baixos, tivessem sido semelhantes nos dois genótipos.

Nas plantas em défice hídrico existe uma relação muito nítida entre o grau de *stress* e  $g_s$ . A ocorrência dos valores máximos cada vez mais cedo durante o dia à medida que o défice hídrico aumentou foi também observado por Lange (1988) na flora mediterrânea. Contudo, é normal que o padrão de variação diária de  $g_s$  seja distinto em espécies diferentes cultivadas nas mesmas condições experimentais reflectindo estratégias particulares de adaptação ao ambiente natural (Larsen *et al.*, 1989).

Nos nossos ensaios os valores máximos diários de  $g_s$  variaram de 0,4 a 1,1  $\text{cm s}^{-1}$  no TR, não ultrapassando, em geral, 0,4  $\text{cm s}^{-1}$  no TD, chegando mesmo a 0,1  $\text{cm s}^{-1}$  em períodos de forte *stress*, sendo comparáveis aos valores obtidos noutros trabalhos (DeJong, 1986; Larsen *et al.*, 1989; Boland *et al.*, 1993)

Devido a diferentes condições experimentais relacionadas com as características climáticas onde os estudos decorreram e com a época do ano, a espécie e o tipo de equipamento utilizado, as análises comparativas são também neste caso, por vezes, difíceis de interpretar.

A relação entre  $\psi$  e  $g_s$  depende fundamentalmente das condições meteorológicas, das condições hídricas do solo, do estado de desenvolvimento e das condições de crescimento das plantas, além de outros aspectos secundários (Lakso, 1979; Solarova e Pospisilova, 1983; Torrecillas *et al.*, 1988; Olien e Flore, 1990; Lloyd *et al.*, 1991). A relação entre os dois parâmetros nem sempre é linear pois a diminuição de  $g_s$  pode actuar como regulador de  $\psi$  provocando, em certas situações, valores mais negativos nas plantas bem regadas que nas em défice hídrico, além de que os estomas de muitas espécies podem responder directamente à secura do ar independentemente de  $\psi$  (Garnier e Berger, 1987).

Nos nossos ensaios, observou-se que nas plantas TD o agravamento do défice hídrico traduziu-se pela diminuição dos valores mínimos diários de  $\psi$  e progressivo abaixamento dos valores de potencial de base e dos observados no fim da tarde, assim como pela contínua diminuição de  $g_s$ , fenómenos acompanhados por emurchecimento, enrolamento e queda das folhas. Após a rega,  $\psi$  aumentou rapidamente e atingiu valores semelhantes ao das plantas bem regadas em menos de 24 horas, enquanto a recuperação de  $g_s$  foi lenta no primeiro dia após a rega, apenas se observando alguma resposta ao fim da tarde. Boyer (1989) considera como possíveis razões para este comportamento o facto da abertura dos estomas não depender exclusivamente da turgescência das células ostiolares, mas também da presença de solutos, particularmente o potássio, o qual pode ser perdido pelas células ostiolares em apenas poucos minutos quando as plantas estão submetidas ao défice hídrico, enquanto a sua recuperação para níveis normais após um período de *stress* depende do restabelecimento do metabolismo normal da planta.

O comportamento dos híbridos relativamente aos pessegueiros quanto aos valores relativos de  $\psi$  e  $g_s$  foi semelhante ao observado por Girona *et al.* (1993) nas amendoeiras em comparação com espécies mais exigentes em água.

Em relação à perda máxima de água (PMA) verificou-se pequenas diferenças entre as plantas independentemente do genótipo. Contudo, quando PMA foi expressa por unidade de área foliar as diferenças entre os genótipos foram relativamente importantes e muito superiores nos híbridos que nos pessegueiros.

No que se refere à perda real de água (PRA), ela aumentou rapidamente após a rega, excepto em condições de défice muito severo em que em ambos os genótipos a recuperação foi lenta e apenas se manifestou com nitidez no dia seguinte. Os valores de PMA e PRA expressos por unidade de área foliar apenas foram apenas idênticos no início das observações.

Comparando a perda de água com  $\psi$  verificou-se boa concordância entre esses dois parâmetros nas plantas bem regadas, como também foi observado por Lloyd *et al.* (1991) em *Macadamia integrifolia*, e diferenças mais ou menos acentuadas no tratamento seco, dependendo da intensidade do défice hídrico. Durante o período diurno a perda máxima de água verificou-se antes dos valores de  $\psi$  atingirem os valores mínimos.

A relação entre a perda de água por unidade de área foliar e  $g_s$  foi idêntica nos dois genótipos, verificando-se que no TD os híbridos apresentaram, em geral, maior perda de água e maior  $g_s$  que os pessegueiros.

### 3.4 - Características funcionais e anatômicas das folhas e dos caules com interesse na adaptação das plantas à secura

#### 3.4.1 - Aspectos gerais

Ao nível das folhas podem ser avaliadas várias características com influência na sua capacidade fotossintética. Entre estas, temos o teor de clorofila, a espessura da folha, o peso seco da folha por unidade de área foliar, o teor de açúcares e as características e dimensões dos estomas. Algumas destas características estão inter-relacionadas como, por exemplo, a espessura da folha e o teor de clorofila ou de açúcares solúveis.

Em geral, as espécies lenhosas adaptadas aos ambientes áridos apresentam folhas pequenas e espessas, com grande peso seco por unidade de área foliar, maior frequência estomática e menores dimensões das células estomáticas (Jackson, 1967; Carpenter e Smith, 1975 e 1981; Abrams, 1986; Abrams *et al.*, 1990).

Neste capítulo são apresentadas algumas características anatômicas e funcionais das folhas dos pessegueiros, híbridos e amendoeiras cultivados no túnel e alguns dados obtidos nos mesmos genótipos cultivados no viveiro de l'Amarine. A inclusão neste capítulo das observações feitas sobre as amendoeiras em boas condições vegetativas (as enxertadas sobre híbrido) justifica-se devido à semelhança das condições experimentais e das observações realizadas neste genótipo e nos dois porta-enxertos. Por outro lado, dadas as estreitas relações genéticas entre os três genótipos, a sua comparação simultânea permite compreender melhor o respectivo funcionamento.

As características estudadas neste ensaio foram o número de estomas, as dimensões foliares, o peso seco por unidade de área foliar, o teor de clorofila e aspectos anatômicos das folhas e do caule como a espessura da epiderme e dos parênquimas, características das células foliares, o número e o diâmetro dos vasos lenhosos do caule e, ainda, a proporção relativa do xilema e dos outros tecidos do caule.

Em relação **ao número de estomas** vários estudos têm demonstrado que as plantas adaptadas aos ambientes mais secos têm maior frequência estomática e tem sido, também, observada uma relação positiva entre o número de estomas e o vigor dos genótipos. Esta relação foi encontrada nos porta-enxertos de diversas espécies, nomeadamente da macieira (Beakbane e Majunder, 1975; Pathak *et al.*, 1976), da ameixeira (Pathak *et al.*, 1977) e de beringela (Daunay *et al.*, 1986). O estabelecimento das referidas relações entre a frequência estomática com o vigor e o habitat natural das plantas tem grande interesse, pois como referem Beakbane e Majunder (1975) o exame da camada exterior das folhas embora provavelmente não forneça a mesma informação sobre o crescimento potencial dos genótipos que o estudo detalhado dos tecidos da raiz, do caule ou da folha, tem a vantagem de ser uma técnica simples que permite uma primeira apreciação desse carácter.

A frequência estomática apresenta grandes flutuações entre as plantas, entre as folhas de uma planta e mesmo conforme a zona da folha na qual são feitas as observações, assim como entre observações feitas em diferentes datas (Salisbury, 1927; Slack, 1974; Scienza e Boselli, 1981). Estas variações estão, em geral, associadas a variações no número de células epidérmicas e, por esse motivo, sempre que possível, deve exprimir-se o número de estomas em função do número total de células epidérmicas, ou seja, pelo índice estomático.

O número de estomas por unidade de área foliar tem, sem dúvida, papel importante nas trocas gasosas de uma planta. Contudo, outros factores são igualmente de considerar como as dimensões dos estomas e o grau de abertura do ostíolo, características que não se encontram necessariamente correlacionadas entre si (Paul, 1992).

A determinação das **dimensões das folhas** apenas tem interesse de um ponto de vista comparativo devido à sensibilidade desta característica aos factores ambientais. Em geral, o défice hídrico tem um efeito muito marcado nesta característica (Simons, 1956), em consequência da redução das dimensões das células, geralmente acompanhadas de um aumento de espessura das paredes celulares (Cutler *et al.*, 1977).

A **área específica da folha, SLA**, expressa frequentemente em  $\text{cm}^2$  de área foliar por unidade de peso seco da folha, está relacionada com a produtividade nas espécies fruteiras. Relações negativas, lineares e curvilíneas, foram estabelecidas entre os valores de SLA e a quantidade de floração e frutificação em espécies como a noqueira (Klein *et al.*, 1991), a ameixeira (Southwick *et al.*, 1990) e o pessegueiro (DeJong e Day, 1991).

Vários trabalhos têm mostrado uma associação negativa entre a SLA e a fotossíntese líquida em espécies como a *Robinia pseudoacacia* (Mebrathu e Hanover, 1991), a macieira (Barden, 1974 e 1978) e o pessegueiro (Kappel e Flore, 1983; Marini e Sowers, 1990), sendo a taxa de fotossíntese líquida maior nas plantas com menores valores de SLA (folhas mais espessas). Apesar desta relação depender de outros factores, nomeadamente da radiação fotossinteticamente activa e do teor de azoto e ser, por isso, muito variável com os factores ambientais, a maior facilidade da medição de SLA do que da taxa de fotossíntese justifica o interesse dessa relação, mesmo que os valores de SLA sejam apenas indicativos das potencialidades fotossintéticas das plantas. Neste contexto, Hobbs (1988) no género *Brassica* sugere que a SLA pode ser utilizada para o estudo da variabilidade genética da fotossíntese.

A relação negativa entre a SLA e a fotossíntese líquida encontrou-se também na comparação entre espécies diferentes (McMillen e McClendon, 1983; Myers e Landsberg, 1989; Abrams *et al.*, 1990; Ranney *et al.*, 1990 e 1991b; Ni e Pallardy, 1991; Griffin *et al.*, 1991).

O **teor de clorofila** está relacionado positivamente com a taxa de fotossíntese em numerosas espécies como o algodoeiro (Patterson *et al.*, 1977), a macieira (Pickett e Kenworthy, 1939; Ghosh, 1973; Svihra *et al.*, 1975; Schechter *et al.*, 1992) e o pessegueiro (Kappel e Flore, 1983).



Kenworthy (1949) observou em macieiras que o déficit hídrico provocava a redução do teor de clorofila e que esta redução estava associada a menor crescimento relativamente às plantas bem regadas.

O teor de clorofila tem potencialmente grande interesse para a aplicação ao melhoramento vegetal, pois existem vários métodos não destrutivos (Monje e Bugbee, 1992; Andrieu *et al.*, 1992; Peng *et al.*, 1993) e técnicas laboratoriais simplificadas para a sua determinação (Martinez e Damidaux, 1993). No entanto, neste trabalho foram seguidos os métodos clássicos de extração da clorofila e determinação espectrofotométrica da sua concentração no solvente devido à sua maior precisão.

A **anatomia dos caules e das folhas** influencia a eficiência fotossintética das plantas devido à dependência deste parâmetro com certas características como a organização dos tecidos foliares e a condutividade hidráulica das plantas. As características do sistema vascular estão, também, relacionadas com a adaptação climática devido à importância dos fenómenos de cavitação nos elementos condutores quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico ou à acção de outros factores ambientais como as baixas temperaturas (Zimmermann e Milburn, 1982; Tyree e Sperry, 1989).

As características anatómicas das plantas estão, nalguns casos, relacionadas com o seu vigor. Nas árvores fruteiras estes aspectos foram estudados por Beakbane e colaboradores (Beakbane e Thompson, 1939; Beakbane, 1941, 1952 e 1969) e relacionam a anatomia da raiz, do caule e das folhas com o vigor e o crescimento das plantas, apresentando os porta-enxertos vigorosos menor percentagem de tecido exterior ao cilindro central na raiz e nos caules que os porta-enxertos ananizantes e maior número de células de parênquima de paliçada por unidade de área foliar. Beakbane (1953) citado por Higgs e Jones (1990) mostrou, ainda, que os porta-enxertos vigorosos de macieira têm maior número de vasos lenhosos e de maior dimensão que os de menor vigor, resultados confirmados posteriormente por McKenzie (1961).

Doley (1974) verificou que a área da secção transversal dos vasos e fibras do xilema de uma variedade de macieira estava directamente relacionada com o vigor dos porta-enxertos em que estava enxertada. Denne (1976) em coníferas encontrou relações positivas entre a produção de madeira e o diâmetro dos traqueídeos, a dimensão das células da epiderme das folhas e a espessura do parênquima de paliçada. Este autor verificou que ao longo dos anos as relações entre as características anatómicas e o potencial para o crescimento mantinha-se constante, aspecto com muito interesse para a selecção em plantas no estágio juvenil.

As relações entre as características anatómicas das plantas e o seu comportamento em condições de déficit hídrico foi estudado na macieira por Simons (1956). A comparação de duas variedades com diferente sensibilidade ao déficit hídrico mostrou que a largura das células epidérmicas foi alterada pelo déficit hídrico enquanto o comprimento dessas células é uma característica varietal e não depende dos tratamentos hídricos. O

número de células do parênquima de paliçada não foi afectado pelo défice hídrico, mas o seu comprimento diferiu significativamente entre variedades e entre os tratamentos. O diâmetro das células do xilema foi significativamente influenciado pelo tratamento.

Em plantas de milho com diferente sensibilidade à secura, o défice hídrico afectou as estruturas da folha quer em variedades sensíveis como nas resistentes (Ristic e Cass, 1991). Contudo, no período pós-défice as variedades mais resistentes apresentaram melhor recuperação.

Vários trabalhos referem a relação entre a condutividade hidráulica dos caules e das raízes e os aspectos estruturais das mesmas. Assim Kovekordes *et al.* (1988) discutem a importância da maturação tardia de elementos do xilema em relação com a nutrição hídrica e mineral das plantas e Venora e Calcagno (1991) relacionam a adaptação à secura de duas cultivares de *Triticum durum* com as características do seu sistema vascular.

A actividade cambial das plantas determina muitas características do sistema condutor, como sejam as dimensões das células e os tipos de células formadas a partir deste meristema. Essa actividade está sob o controlo de vários factores ambientais (Little e Wareing, 1981) os quais actuam por intermédio de, ou têm como consequência, alterações no equilíbrio hormonal das plantas.

#### **3.4.2 - Número de estomas**

O objectivo deste trabalho foi verificar se os genótipos diferiam quanto ao número de estomas por unidade de área foliar e se esse número era influenciado pelo tratamento hídrico seguido durante o período experimental.

Os resultados de 1992 foram obtidos sobre folhas de GF 677 e de GF 305 colhidas no fim do ciclo vegetativo. Em 1993, a contagem do número de estomas foi feita em várias fases do ciclo.

A experimentação realizada antes de adoptar o protocolo indicado no Cap. 2 (M&M), mostrou que havia uma grande variabilidade entre as folhas de uma planta quanto ao número de estomas, quando as folhas eram colhidas ao acaso sobre os ramos. Por esta razão, optou-se por comparar somente folhas colhidas aproximadamente nas mesmas posições nos ramos. Pelo contrário, a variabilidade na folha era relativamente pequena. No entanto, devido à forte ampliação utilizada, para que o número de estomas correspondesse a uma área suficientemente representativa da folha foram contados cinco campos ópticos por folha (correspondentes a uma área total aproximada de  $0,65 \text{ mm}^2$ ) e obtida a média respectiva.

Os resultados obtidos (Tab. 3.20) mostram que o número de estomas de cada genótipo diferiu apreciavelmente entre as várias datas de amostragem. Os híbridos apresentaram sempre maior número de estomas que os outros genótipos e as amendoeiras menor número. A variação do número de estomas deveu-se aparentemente à influência das

Tab. 3.20 - Número de estomas por campo óptico (cerca de 0,13 mm<sup>2</sup>). Cada valor representa a média de 5 campos ópticos em preparações ampliadas 400 vezes.

GRUPO	1992		1993		
	2 Setembro	22 Maio	17 Junho	3 Agosto	7 Setembro
PR	40, 7±2, 8	33, 3±3, 7	36, 7±4, 0	38, 8±6, 9	34, 7±2, 6
PD	41, 6±3, 9	30, 7±2, 1	31, 8±2, 8	35, 5±3, 5	33, 4±2, 5
MEDIA	41, 2±3, 3	32±2, 9	34, 2±4, 1	37, 2±5, 5	34, 1±2, 5
HR	44, 4±4, 1	37, 3±1, 2	–	42, 7±2, 3	37, 4±2, 7
HD	46, 7±3, 3	34, 4±2, 4	–	39, 4±3, 4	38, 8±5, 2
MEDIA	45, 6±3, 7	35, 8±2, 4	–	41, 1±3, 3	38, 1±4, 1
A/HR	–	26, 2±1, 6	27, 1±1, 5	27, 8±1, 1	26, 8±2, 2
A/HD	–	28, 7±1, 9	29, 4±2, 2	31, 5±3, 1	32, 0±3, 3
MEDIA	–	27, 4±2, 1	28, 3±2, 1	29, 7±2, 9	29, 4±3, 8

condições ambientais, pois, em geral, as tendências foram semelhantes nos 3 genótipos. Em 1993, o número de estomas aumentou de Maio a Agosto em todos os genótipos, e diminuiu um pouco em Setembro, com excepção das A/HD. Os valores relativos a 1992 foram superiores aos obtidos no final do ciclo de 1993, indicando que o ano de observação teve um efeito importante nesta variável.

O défice hídrico contribuiu, em geral, para pequena diminuição do número de estomas nos pessegueiros e híbridos, e para o aumento desse número nas amendoeiras. Nos dois primeiros genótipos as diferenças entre os grupos TR e os grupos TD foram significativas numas datas e não significativas noutras. Nas amendoeiras, pelo contrário, as diferenças entre os dois tratamentos foram sempre muito significativas.

### 3.4.3 - Área média das folhas

Esta característica foi avaliada nas folhas que foram usadas na determinação da SLA. Devido à variabilidade nas dimensões das folhas no ramo, estes valores não são representativos da área média das folhas das plantas. No entanto, esses resultados permitem comparar as dimensões das folhas dos diferentes genótipos formadas em condições comparáveis.

As dimensões das folhas dos pessegueiros e dos híbridos foram muito aproximadas, quer no ensaio do túnel (Tab. 3.21), quer nos ensaios de l'Amarine (Tab. 3.22), e, em geral, maiores do que as das amendoeiras. No ensaio do túnel, as amendoeiras apresentam tendência para a produção de folhas mais pequenas no final do que no início do ciclo vegetativo, mesmo no TR, aspecto que não se observou nos outros genótipos.

O défice hídrico provocou, em geral, redução da área das folhas, aspecto particularmente marcado nas amendoeiras na fase final do ciclo vegetativo.

Tab. 3.21 - Área média das folhas (cm<sup>2</sup>) nas plantas em vasos (St. Paul) em 1993. Cada valor representa a média de pelo menos 24 folhas.

GRUPO	RAMOS PRINCIPAIS				RAMOS ANT.
	19 Mai.	28 Jun.	9 Set.	MEDIA	9 Set.
PR	35,7	29,7	36,9	34,1	16,9
PD	27,2	25,7	33,3	28,7	9,8
MÉDIA	31,5	27,7	35,1	31,4	13,3
PD/PR	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6
HR	38,5	28,3	36,0	34,3	14,5
HD	28,9	23,6	-	17,5	9,1
MÉDIA	33,7	26,0	-	25,9	11,8
HD/HR	0,8	0,8	-	0,5	0,6
A/HR	29,9	23,6	20,1	24,5	9,8
A/HD	29,3	21,3	9,6	20,1	5,9
MÉDIA	29,6	22,5	14,8	22,3	7,9
(A/HD)/(A/HR)	1,0	0,9	0,5	0,8	0,6

Tab. 3.22 - Área específica (SLA) e área média das folhas dos pessegueiros, híbridos e amendoeiras cultivados em l'Amarine. Cada valor representa a média de aproximadamente 100 folhas.

ESPECIE	GENOTIPO	20 Ago. 1993		16 Set. 1993		24 Jun. 1994
		SLA cm <sup>2</sup> /mg	ÁREA MÉDIA cm	SLA cm <sup>2</sup> /mg	ÁREA MÉDIA cm	SLA cm <sup>2</sup> /mg
Pessegueiro	Monclar	0,12	30,0	0,10	24,5	
Pessegueiro	Monclar			0,11	25,0	
Pessegueiro	Missour	0,12	29,2	0,11	16,9	
Pessegueiro	Missour			0,11	18,1	
Pessegueiro	GF 305	0,12	29,9	0,10	21,1	0,17
Pessegueiro	GF 305			0,10	22,1	
Híbrido PxA	GF 677	0,08	25,4	0,08	20,5	0,12
Híbrido PxA	GF 677			0,08	21,0	
Híbrido PxA	GF 677			0,08	21,4	
Amendoeira	Garrigues	0,07	14,3			0,10
Amendoeira	Ferragnès			0,07	10,2	0,09
Amendoeira	Ferragnès			0,07	11,1	0,11

#### 3.4.4 - Área específica da folha

A área específica da folha (SLA) nas plantas cultivadas no túnel foi determinada no final do ciclo vegetativo de 1992 e em várias datas durante o período vegetativo de 1993. Esta característica foi também avaliada nos genótipos cultivados em l'Amarine.

A SLA das plantas cultivadas no túnel (Tab. 3.23) diminuiu, em geral, gradualmente ao longo do ciclo vegetativo nos vários genótipos. A SLA foi menor nas amendoeiras do que nos híbridos e menor nestes que nos pessegueiros, sendo as diferenças entre os genótipos estatisticamente muito significativas.

Tab. 3.23 - Área específica das folhas (SLA) expressa em  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$ . Valores relativos a folhas completamente desenvolvidas colhidas no terço apical dos ramos no ensaio de plantas em vaso (St. Paul). Cada valor representa a média de pelo menos 24 folhas.

GRUPO	RAMOS PRINCIPAIS							RAMOS ANTECIPADOS	
	1992		1993					1993	
	21 Ago.	16 Set.	19 Mai.	28 Jun.	3 Ago.	9 Set.	MEDIA	28 Jun.	9 Set.
PR	0,112	0,118	0,160	0,150	0,128	0,110	0,134	–	0,122
PD	0,127	0,133	0,191	0,164	0,135	0,111	0,144	–	0,125
MÉDIA	0,119	0,125	0,174	0,157	0,132	0,111	0,139	–	0,123
PD/PR	1,13	1,13	1,20	1,10	1,05	1,01	1,07	–	1,03
HR	0,083	0,083	0,141	0,114	0,103	0,081	0,106	0,125	0,088
HD	0,094	0,081	0,137	0,112	0,104	0,095	0,110	0,137	0,108
MÉDIA	0,088	0,082	0,139	0,113	0,104	0,088	0,108	0,130	0,097
HD/HR	1,14	0,98	0,98	0,98	1,01	1,17	1,04	1,10	1,23
A/HR	–	–	0,125	0,088	0,067	0,066	0,081	–	–
A/HD	–	–	0,134	0,103	0,081	0,076	0,094	–	0,083
MÉDIA	–	–	0,130	0,095	0,073	0,071	0,087	–	–
(A/HD)/(A/HR)	–	–	1,07	1,18	1,22	1,15	1,16	–	–

No que se refere ao déficit hídrico verificou-se que, em média, os valores de SLA foram superiores no TD que no TR, excepto nos híbridos nas observações até Setembro. Nos pessegueiros, as diferenças entre os dois tratamentos ao longo do ciclo vegetativo de 1993 reduziram-se progressivamente e nas amendoeiras mantiveram-se importantes durante o ciclo.

A comparação dos valores de SLA das folhas jovens do terço apical dos ramos e dos valores de SLA do conjunto das folhas dos ramos, apresentou resultados semelhantes, talvez porque, no ramo, a presença das folhas velhas, mais espessas, seja compensada pelas folhas mais jovens e finas.

A análise de variância relativa ao efeito do genótipo, tratamento hídrico, planta e ramo em que foram colhidas as folhas para medição de SLA, mostra que apenas o genótipo tem um efeito muito significativo nessa variável.

Nos casos em que as folhas colhidas por planta foram medidas e pesadas individualmente (Junho e Agosto) obtendo-se a partir desses valores a SLA média por grupo, a análise de variância mostrou, igualmente, que a influência da planta na média do grupo não era significativa.

Os resultados obtidos nas plantas cultivadas em viveiro (l'Amarine) em 1993 e 1994 (Tab. 3.22), relativos a dois ensaios distintos e incluindo outros genótipos além dos observados no túnel, confirmam os resultados obtidos nas plantas em vaso relativamente às diferenças entre os pessegueiros e os híbridos. Nos dois anos, observou-se valores da mesma ordem de grandeza entre os vários genótipos da cada espécie.

### 3.4.5 - Teor de clorofila

Para a determinação da clorofila colheram-se dois discos de cada folha em situações idênticas e com as mesmas dimensões. Um dos discos foi utilizado para a

extração da clorofila e o outro para a determinação do peso seco a fim de se obter o teor de clorofila por unidade de peso seco.

Os resultados de 1992 (Tab. 3.24) foram obtidos em folhas colhidas em 10 de Setembro. Nessa altura, os híbridos tinham um teor de clorofila por unidade de área foliar ( $CloA_f$ ) bastante superior aos pessegueiros, tendo o teor de clorofila dos grupos TD sido superior aos grupos TR, independentemente do genótipo. Em relação ao teor de clorofila por unidade de peso seco ( $CloP_s$ ), os valores foram aproximados nos dois genótipos em ambos os tratamentos, e entre estes observou-se, à semelhança do caso anterior, maiores teores de clorofila no TD do que no TR. A razão entre as clorofilas **a** e **b** foi maior nos híbridos do que nos pessegueiros mas as diferenças entre os dois tratamentos não foram significativas.

Tab. 3.24 - Teores de clorofila e área específica dos discos foliares em 10 Set. 92 das plantas cultivadas no túnel. Cada valor representa a média de 6 amostras por grupo.

GRUPO	TEOR DE CLOROFILA		RAZÃO clor a / clor b ( $cm^2/mg$ )	$SLA_d$
	$CloA_f$ ( $\mu mol/m^2$ )	$CloP_s$ ( $nmol/mg$ )		
PR	363±15	5,7±0,2	3,8±0,3	0,156
PD	461±22	6,3±0,3	4,3±0,1	0,134
HR	580±23	5,6±0,2	4,7±0,2	0,096
HD	708±18	6,7±0,2	4,5±0,4	0,094

Em 1993, o teor de  $CloA_f$  foi maior nas amendoeiras e nos híbridos do que nos pessegueiros ao longo de todo o ciclo vegetativo (Fig. 3.36 *a*), tendo as diferenças entre as amendoeiras e os híbridos apenas sido nítidas no início do ciclo (Maio). O teor de  $CloA_f$  foi maior nas amostras colhidas no final do ciclo vegetativo que na primeira fase desse ciclo, especialmente evidente nos híbridos e nas amendoeiras.

A comparação do teor de  $CloA_f$  entre os grupos TR e TD mostra que as relações entre eles dependem da data de amostragem e do genótipo. Assim, no início das observações (Maio) o teor de clorofila era maior nos grupos TD do que nos grupos TR em todos os porta-enxertos mas as diferenças entre os dois tratamentos diminuíram ao longo do tempo.

Quanto ao teor de  $CloP_s$  (Fig. 3.36 *b*), as relações entre os porta-enxertos, assim como a evolução ao longo do ciclo vegetativo foram distintas de  $CloA_f$ . Os valores foram maiores nos pessegueiros que nos híbridos e nestes maiores que nas amendoeiras, à excepção da primeira data de amostragem (Maio), na qual os teores foram relativamente semelhantes nos 3 porta-enxertos. Em 1 de Julho registaram-se os valores máximos nos híbridos e nos pessegueiros, embora não se disponha nesta data de dados relativamente às amendoeiras.

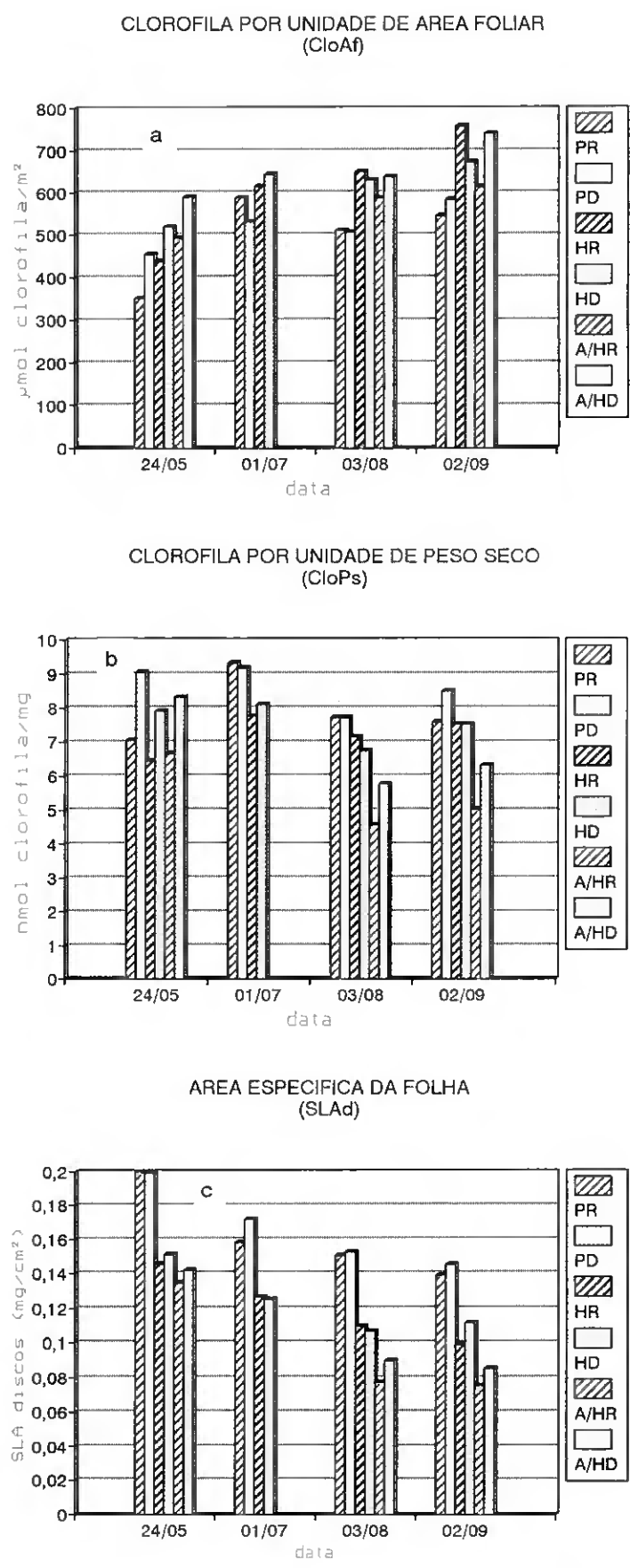


Fig. 3.36 - Teor de clorofila e área específica dos discos foliares no ensaio em vasos no ano de 1993

No que se refere à influência do tratamento hídrico no teor de CloP<sub>s</sub>, registaram-se, em geral, valores superiores nos grupos TD que nos grupos TR em Maio e Setembro e teores aproximados nos dois tratamentos em Julho e em Agosto no caso dos híbridos e dos pessegueiros. Nas amendoeiras, no entanto, o teor de clorofila foi sempre maior no TD.

A relação entre CloA<sub>f</sub> e CloP<sub>s</sub> depende da evolução da área específica dos discos foliares (SLA<sub>d</sub>) utilizados para a extracção da clorofila, cujos valores para cada grupo de plantas figuram na Fig. 3.36 c. Como se observa, SLA<sub>d</sub> diminuiu continuamente durante o ciclo vegetativo em todos os porta-enxertos e entre os dois tratamentos hídricos as diferenças foram, em geral, pouco importantes. Em geral, os valores foram menores nos grupos TR que nos grupos TD.

As relações entre as três variáveis são complexas, estando o teor de CloA<sub>f</sub> directamente relacionado com o teor de CloP<sub>s</sub> e inversamente com SLA<sub>d</sub>. A análise conjunta dessas variáveis ao longo do ciclo vegetativo mostra que a evolução de SLA<sub>d</sub> teve papel determinante na variação do teor de CloA<sub>f</sub>. Contudo, as diferenças entre os grupos TR e TD parecem estar mais ligadas a variações do teor de CloP<sub>s</sub> entre eles que a variações de SLA<sub>d</sub>.

Quanto à razão entre as quantidades de clorofila **a** e **b** observou-se comportamento semelhante nos pessegueiros e nos híbridos e distinto nas amendoeiras. Nos dois primeiros génotipos a proporção dos dois tipos de clorofila manteve-se aproximadamente constante durante o ciclo vegetativo, sendo o quociente entre as clorofilas um pouco superior nos híbridos. Nas amendoeiras, pelo contrário, esse quociente era superior aos outros génotipos em Maio e Agosto e inferior em Setembro, em particular no TR.

A comparação entre os resultados obtidos em Setembro de 1992 e em Setembro de 1993 indicam que as condições experimentais influem muito nos teores de clorofila e naturalmente reflectem-se particularmente na comparação entre os grupos TR e TD.

Com o objectivo de conhecer a variação do teor de clorofila com a idade da folha colheram-se em Julho de 1993 amostras de folhas de diferentes idades nos HR e nos PR. A comparação dos resultados obtidos indica que o teor de CloP<sub>s</sub> diminui com a idade da folha, assim como o teor de CloA<sub>f</sub> no caso dos pessegueiros, enquanto nos híbridos o teor de CloA<sub>f</sub> foi maior nas folhas mais velhas pois estas eram bastante mais espessas.

O teor de clorofila foi também determinado nas plantas do viveiro de l'Amarine. Os resultados obtidos nessas condições experimentais foram comparáveis aos descritos nos mesmos génotipos cultivados em vaso e no túnel no ano de 1993.

### **3.4.6 - Características anatómicas dos caules**

As observações histológicas de caules lenhosos dos porta-enxertos cultivados no túnel incidiram sobre a proporção entre os tecidos exteriores ao cilindro central e os



tecidos condutores e sobre o número e diâmetro dos vasos lenhosos do xilema e foram feitas em material colhido no final do ciclo vegetativo de 1992.

A espessura dos tecidos exteriores ao cilindro central foi de aproximadamente 50 % da área deste (Tab. 3.25). Essa proporção foi menor nos HR que nos outros grupos, entre os quais as diferenças foram pequenas.

Tab. 3.25 - Proporção entre a espessura dos tecidos exteriores ao cilindro central (casca) e a espessura deste nos caules lenhosos e número de vasos lenhosos na região central do xilema. Cada valor representa a média de 50 medições realizadas em cortes ampliados 100 vezes.

GRUPOS	RAZÃO ENTRE A ESPESSURA DA CASCA E DO XILEMA	Nº VASOS LENHOSOS EM 2 mm <sup>2</sup> DE ÁREA
PR	0,53 ± 0,12	48,8 ± 6,5
PD	0,54 ± 0,10	56,3 ± 10,4
HR	0,43 ± 0,05	40,9 ± 5,8
HD	0,56 ± 0,11	48,1 ± 8,2

O número de vasos por campo óptico (aproximadamente 2 mm<sup>2</sup> de área) na região central do xilema foi maior nos pessegueiros (52,6) do que nos híbridos (44,5). O défice hídrico provocou aumento muito significativo no número de vasos por unidade de área de xilema em ambos os genótipos.

A análise de variância mostrou que os caules têm individualmente efeito muito significativo tanto na espessura dos tecidos do caule como no número de vasos por unidade de secção transversal do caule. Esse efeito, ao contrário do que se poderia esperar, não apresentou relação com o diâmetro do caule, estando provavelmente dependente das condições ambientais que ocorreram durante a sua formação. Embora este facto não impeça a comparação dos genótipos e dos tratamentos, a variabilidade entre os caules deverá ser tomada em conta nos estudos deste género a fim de aumentar os cuidados na selecção dos caules a observar.

A comparação das dimensões dos vasos lenhosos dos dois porta-enxertos, através da medição do diâmetro em fotografias feitas ao microscópio (Cap. 2, M&M), foi possível devido à forma aproximadamente isodiamétrica da secção transversal dos vasos. O número de vasos por fotografia foi também determinado.

Em cada caule fizeram-se duas fotografias, uma na zona central e outra na zona periférica do xilema junto ao câmbio. Estas zonas foram escolhidas porque são relativamente fáceis de identificar nos diferentes caules e, por outro lado, correspondem a xilema formado em períodos distintos.

Os resultados obtidos (Tab. 3.26) mostram que na zona central do xilema, o diâmetro médio dos vasos lenhosos era maior nos pessegueiros do que nos híbridos e, em

ambos os genótipos, superior nas plantas que estiveram submetidas a períodos de déficit hídrico do que nas bem regadas. As diferenças no diâmetro dos vasos lenhosos foram muito significativas entre os dois genótipos e significativas entre os PR e os PD mas não entre os dois grupos de híbridos. As diferenças no diâmetro dos vasos entre os caules foram significativas.

Tab. 3.26 - Diâmetro e número médios dos vasos lenhosos, e respectivos desvios padrão, na zona central e periférica do xilema, calculados a partir de fotografias efectuadas ao microscópio de cortes transversais do caule ampliados 400 vezes. Cada valor representa a média de 4 fotografias.

GRUPOS	REGIÃO CENTRAL DO XILEMA		REGIÃO PERIFÉRICA DO XILEMA	
	DIÂMETRO ( $\mu\text{m}$ )	NÚMERO	DIÂMETRO ( $\mu\text{m}$ )	NÚMERO
PR	9,82 $\pm$ 2,6	11	8,88 $\pm$ 3,4	12
PD	11,2 $\pm$ 2,8	9	8,20 $\pm$ 3,0	20
HR	8,67 $\pm$ 2,8	10	9,59 $\pm$ 2,6	9
HD	9,71 $\pm$ 3,6	10	8,39 $\pm$ 2,4	9

Na região periférica do xilema, junto ao câmbio, as diferenças entre os dois genótipos quanto ao diâmetro dos vasos lenhosos não foram significativas. O diâmetro dos vasos foi menor nos grupos TD do que nos TR, de forma significativa nos híbridos, mas não entre os pessegueiros.

Quanto ao número de vasos lenhosos, este foi muito próximo nos 4 grupos de plantas na zona central do xilema, enquanto junto ao câmbio o número de vasos foi significativamente maior nos pessegueiros do que nos híbridos e sensivelmente superior nos PD que nos PR. A ausência de diferenças entre os dois genótipos nas fotografias tiradas na zona central do xilema, ao contrário do que seria de esperar tendo em conta os resultados obtidos pela contagem directa dos vasos ao microscópio, deve justificar-se pela pequena área do caule representada na fotografia.

### 3.4.7 - Características anatómicas das folhas

No que se refere à estrutura das folhas, existem grandes diferenças entre os 3 genótipos (Tab. 3.27). As folhas mais espessas foram as das amendoeiras e as menos espessas as dos pessegueiros, encontrando-se os híbridos numa condição intermédia. A espessura dos tecidos foliares também variou no mesmo sentido nos vários genótipos.

Em todas as plantas, o parênquima em paliçada foi o tecido mais representativo da folha contribuindo em cerca de 44% para a sua espessura. A única diferença observada entre os porta-enxertos estudados foi no caso das amendoeiras submetidas a déficit hídrico nas quais essa percentagem foi um pouco superior (46%).

Em geral, o parênquima lacunoso representou aproximadamente 39% da espessura da folha. Tal como no caso do parênquima em paliçada, as amendoeiras do grupo TD

Tab. 3.27 - Características anatómicas das folhas de pessegueiros, híbridos e amendoeirás, bem regados (TR) e submetidos a déficit hídrico (TD). Valores médios de 6 folhas por grupo.

GRUPO	ESPESSURA EM $\mu\text{m}$					QUOCIENTES ENTRE ESPESSURAS				
	FOLHA (FLH)	PARENQUIMA PALIÇADA (PP)	PARENQUIMA LACUNOSO (PL)	EPIDERME SUPERIOR (EPSUP)	EPIDERME INFERIOR (EPINF)	PL/FLH	PP/FLH	EPSUP/FLH	EPINF/FLH	P./PP
PR	186±7	82±6	72±4	19±2	13±1	38,5	44,1	10,3	7,2	87,7
PD	189±12	83±6	75±9	19±1	13±1	39,5	44	9,8	6,7	90,4
MÉDIA	187	83	74	19	13	39,0	44,1	10,1	7,0	89,1
PD/PR	1,02	1,01	1,04	1,00	1,00	1,03	1,00	0,95	0,93	1,03
HR	219±19	99±9	85±10	21±2	15±1	38,7	44,9	9,8	6,7	86,2
HD	206±28	90±14	81±14	21±1	14±0	39,3	43,5	10,4	6,9	90,4
MÉDIA	213	95	83	21	15	39,0	44,2	10,1	6,8	88,3
HD/HR	0,94	0,91	0,95	1,00	0,93	1,02	0,97	1,06	1,03	1,05
A/HR	263±17	114±5	102±11	27±1	21±3	38,6	43,5	10,1	7,8	88,9
A/HD	273±19	125±6	103±13	26±2	19±1	37,7	45,8	9,5	7	82,6
MÉDIA	268	120	103	27	20	38,2	44,7	9,8	7,4	85,8
(A/HR)/(A/HD)	1,04	1,10	1,01	0,96	0,90	0,98	1,05	0,94	0,90	0,93

tiveram um comportamento particular, pois essa proporção foi um pouco menor neste grupo.

A espessura da epiderme mostrou-se directamente relacionada com a espessura da folha, apresentando os genótipos de folhas mais espessas células epidérmicas maiores e, em consequência, a proporção dessa camada foi semelhante em todas as plantas. A epiderme superior (incluindo a cutícula) representou 10% da espessura da folha e a epiderme inferior 7%.

Os três genótipos diferiram acentuadamente no número de camadas de células do parênquima em paliçada. Os pessegueiros apresentaram 2 camadas, os híbridos 3 e as amendoeirás em regra 3 embora no TD, em 3 das 6 folhas observadas, se tivesse observado secções junto à nervura principal com 4 camadas de células. Neste caso, o parênquima em paliçada ocupava todo o espaço entre as epidermes.

A forma das células do parênquima lacunoso variou com o tipo de porta-enxerto, elíptica nos pessegueiros e subcomprida nos híbridos e nas amendoeirás. A proporção dos espaços intercelulares também foi distinta nos 3 genótipos, grande nos pessegueiros e muito pequena nos híbridos e nas amendoeirás. Em geral, os grupos TD tinham um parênquima mais compacto que os grupos regados, em especial no caso dos híbridos e das amendoeirás.

Os aspectos acima referidos relativamente à organização dos tecidos foliares dos 3 porta-enxertos encontram-se ilustrados nas Fotos 13, 14 e 15.

Em conclusão, os três genótipos diferem sensivelmente nas características das células que compõem os parênquimas, no arranjo das células nesses tecidos e no número de camadas de parênquima em paliçada. Nas amendoeirás, embora esse fenómeno não fosse estatisticamente comprovado, observou-se ainda alteração da estrutura anatómica nas plantas submetidas ao déficit hídrico que se caracterizou por aumento da proporção de parênquima em paliçada e diminuição do parênquima lacunoso em relação às plantas bem regadas.

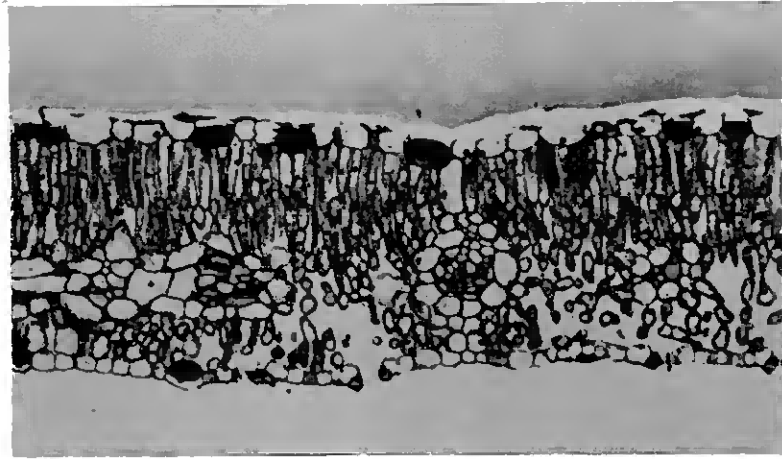


Foto 14 - Corte transversal de uma folha de pessegueiro (100 x)

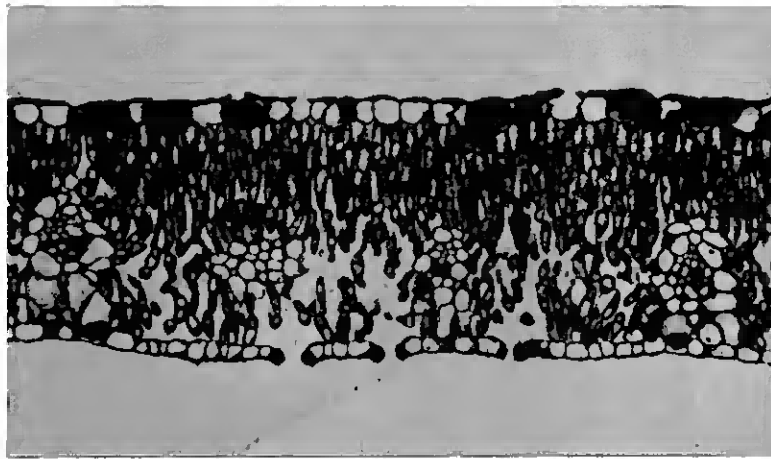


Foto 15 - Corte transversal de uma folha de híbrido (100 x)

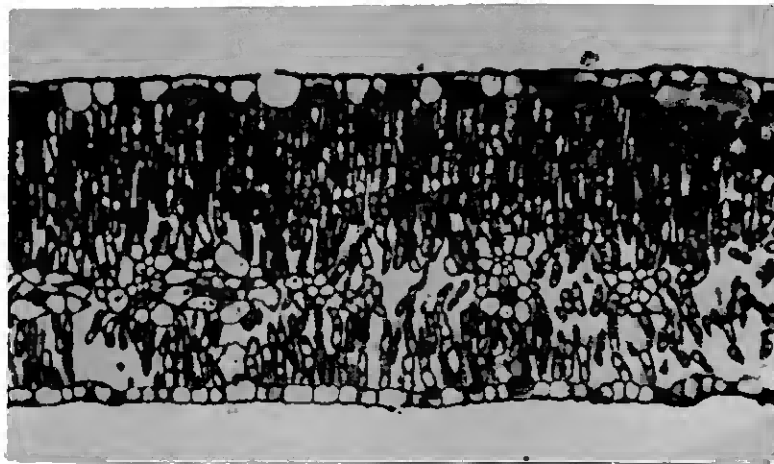


Foto 16 - Corte transversal de uma folha de amendoeira (100 x)

### 3.4.8 - Discussão e conclusões

Em relação às características morfológicas e anatômicas estudadas as amendoeiras apresentaram relativamente aos pessegueiros comportamento, em geral, de acordo com o esperado considerando o seu habitat natural, enquanto os híbridos manifestaram frequentemente características intermédias entre as espécies parentais. Deve notar-se, contudo, que como estes estudos foram realizados com plantas jovens os resultados podem diferir dos relativos a árvores adultas (Smith e Hake, 1992; Carpenter e Smith, 1975). Essas características são também muito influenciadas pelos factores ambientais (Nelson e Ehlers, 1984; Barden, 1978), aspecto provavelmente modulado pelos reguladores de crescimento (Smith e Hake, 1992).

Neste trabalho, o número de estomas foi maior nos híbridos que nos pessegueiros e maior nesses genótipos que nas amendoeiras. No caso dos híbridos esses resultados podem explicar-se por factores genéticos, pois a frequência estomática é uma característica em que se manifestam efeitos de dominância e de sobredominância (Paul, 1992). No caso dos pessegueiros e das amendoeiras seria de esperar que o número de estomas fosse maior neste genótipo devido ao número de estomas ser geralmente superior nas espécies de ambientes mais secos (Salisbury, 1927; Carpenter e Smith, 1975). No entanto, é frequente a ausência de correlação entre o número de estomas e a adaptação climática das espécies ou variedades quando as condições hídricas não são limitantes para o crescimento celular, pois o número de estomas está relacionado com a dimensão das células (Salisbury, 1927).

O número de estomas foi maior no TD do que em TR nas amendoeiras, provavelmente devido à redução do tamanho das folhas. No caso dos híbridos e dos pessegueiros, a ocorrência de maior número de estomas em TR que em TD parecem indicar que nestes genótipos o défice hídrico afectou a diferenciação celular das folhas.

A dificuldade na interpretação dos estudos relativos à frequência estomática está patente nos resultados obtidos noutros trabalhos. Por exemplo, Scienza e Boselli (1981) não obtiveram relações conclusivas entre o número de estomas e a resistência à secura de vários porta-enxertos interespecíficos do género *Vitis*, apesar de terem observado uma relação negativa entre o número de estomas funcionais e o grau de resistência dos porta-enxertos. Os resultados obtidos por Slack (1974) com duas variedades de macieira, também não permitiram pôr em evidência nenhuma relação entre a adaptação das plantas ao défice hídrico e o número de estomas.

Nos pessegueiros, a variabilidade intraespecífica é pequena (Fregoni e Roversi, 1968), variando o número médio de estomas por unidade de área foliar de 214 e 248 por  $\text{mm}^2$ , não obstante diferenças apreciáveis nas dimensões médias dos estomas. Ainda em pessegueiros, Cappelini e Dettori (1987) verificaram grandes flutuações na frequência estomática de 4 cultivares de pessegueiros com o local de cultivo e em dois anos distintos, entre 172 e 307 estomas por  $\text{mm}^2$ , à semelhança do que se observou no nosso ensaio. A frequência estomática do pessegueiro GF 305 encontra-se dentro dos limites referidos

nesses trabalhos e também por outros autores (Giovaninni *et al.*, 1994; Baraldi *et al.*, 1994).

A frequência estomática pode servir como indicador do grau de vigor de variedades da mesma espécie desde que as diferenças de vigor sejam importantes (Cappellini e Dettori, 1987). No nosso ensaio como se trabalhou com diferentes espécies não se pôde comprovar esse aspecto pois é normal a ocorrência de grandes variações no número de estomas entre espécies do mesmo género (Salisbury, 1927), embora neste caso essa relação se possa aplicar entre os híbridos e as espécies parentais devido à proximidade genética das plantas.

- O método utilizado para a observação dos estomas não permitiu a contagem do número de células epidérmicas a fim de obter-se o índice estomático, ou seja, a razão entre o número de estomas e o número total de células. A determinação deste índice permite tomar em consideração o efeito da variação do número de células da epiderme na variação do número de estomas por unidade de área. Um método descrito por Schoch e Silvy (1978) e utilizado com êxito nalgumas espécies como a beringela (Daunay *et al.*, 1986), em que o contorno das paredes das células epidérmicas é impresso numa película de acetato de celulose colada numa lâmina de microscópio, deu bons resultados em ensaios preliminares com plantas jovens cultivadas em estufa mas não nas plantas ao ar livre, provavelmente devido à maior espessura da cutícula.

A frequência estomática é apenas uma das componentes que interferem na área da folha funcionalmente activa nas trocas gasosas (Paul, 1992), o que explica que se tenham observado na amendoeira valores mais altos de condutância estomática que nos outros genótipos, em igualdade de condições, apesar de ter menor número de estomas. Contudo, a diminuição da frequência dos estomas é considerada uma forma de reduzir a condutância estomática e, por essa via, a perda de água por unidade de área foliar (Buttery *et al.*, 1993).

A área média das folhas colhidas em posições semelhantes dos ramos foi aproximada nos híbridos e pessegueiros e menor nas amendoeiras. Nos híbridos pessegueiro x amendoeira é conhecido que as dimensões médias das folhas estão directamente relacionadas com a média das áreas dos progenitores (Grasselly, 1972).

O efeito do défice hídrico na redução das dimensões das folhas, particularmente evidente nas amendoeiras, está de acordo com o comportamento de outras espécies fruteiras (Simons, 1956; Delgado *et al.*, 1992). Tendo em consideração que a dimensão das folhas tem grande influência no balanço térmico da planta (Nobel, 1976; Lakso, 1990) a redução das dimensões das folhas em condições de *stress* hídrico é importante para que as plantas possam manter temperaturas foliares dentro de limites normais. Nesse sentido, a amendoeira apresenta melhor adaptação a condições de *secura* do que os pessegueiros e os híbridos têm um comportamento intermédio entre esses dois genótipos.

Os resultados relativos à SLA sugerem grandes diferenças entre os genótipos estudados na capacidade fotossintética por unidade de área foliar, a qual deverá ser maior

nas amendoeiras que nos outros porta-enxertos e maior nos híbridos que nos pessegueiros. Esses resultados estão de acordo com os valores máximos de fotossíntese por unidade de área foliar publicados por DeJong (1983) para os pessegueiros e as amendoeiras (1,33 e 1,80 nmol CO<sub>2</sub> cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente).

A diminuição de SLA ao longo do ciclo, observada também nos pessegueiros por Marini e Marini (1983), deve-se à acumulação de matéria seca nas folhas como consequência de complexos processos metabólicos e é um fenómeno de ocorrência normal nas folhas (Dale, 1988). A alteração desses processos em condições de défice hídrico justifica os valores geralmente superiores de SLA nas plantas TD, em particular nas amendoeiras. Os valores, em geral, relativamente próximos de SLA nos dois tratamentos hídricos no caso dos híbridos pode indicar que estes têm maior capacidade de manter um metabolismo normal em condições de défice hídrico.

Giovannini *et al.* (1994) apresentam valores médios de SLA para o ciclo vegetativo em pessegueiros de cerca de 0,139 cm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup> que são semelhantes à média do pessegueiro GF 305 no nosso ensaio. Mebrahtu e Hanover (1991) tinham observado que a variabilidade ao nível íntraespecífico em *Robinia pseudoacacia* era pouco significativa.

O teor de clorofila por unidade de área foliar foi, em geral, maior nos híbridos que nos pessegueiros, e nas amendoeiras foi superior aos outros genótipos até Agosto e semelhante depois. Contudo, por unidade de peso seco os pessegueiros tinham maior teor de clorofila do que os híbridos e as amendoeiras tinham teor menor ou igual ao destes.

A relação positiva encontrada em numerosas espécies entre o teor de clorofila por unidade de área foliar e a capacidade fotossintética das plantas sugerem, à semelhança dos resultados relativos à SLA, maior eficiência fotossintética por unidade de área foliar nas amendoeiras que nos pessegueiros e intermédia nos híbridos. Contudo, como observaram Marini e Marini (1983) no pessegueiro, a relação entre as duas variáveis pode não ser linear.

A evolução do teor de clorofila ao longo do tempo esteve relacionada principalmente com a evolução da área específica da folha, o que está de acordo com a relação directa encontrada em várias espécies entre a espessura das folhas e seu teor em clorofila (Ghosh, 1973; McMillen e McClendon, 1983).

As variações observadas ao longo do ciclo vegetativo no teor de clorofila por unidade de peso seco da folha podem estar relacionadas com a idade das folhas e a quantidade de radiação fotossinteticamente activa. Assim, o aumento do teor de CloP<sub>s</sub> entre Maio e Julho pode dever-se a maior desenvolvimento das folhas colhidas em Julho, aspecto directamente relacionado com o teor de clorofila como mostraram Kennedy e Johnson (1981) e Merlo *et al.* (1991); e a redução muito significativa desse teor de 1 de Julho a 3 de Agosto pode explicar-se pelo aumento da quantidade de radiação (Kappel e Flore, 1983; Marini e Marini, 1983; McMillen e McClendon, 1983). As temperaturas

muito altas registadas em Julho no túnel podem também ter contribuído para a redução do teor de clorofila.

O efeito do défice hídrico no teor de clorofila foi variável com as observações e com os genótipos. Nalguns casos o teor de clorofila foi menor nos grupos TD, à semelhança do que foi observado por Kenworthy (1949), Niemiera e Goy (1990), Zheng *et al.* (1992), noutras foi superior. Esta situação é difícil de explicar quando as diferenças não estão associadas a alterações na área específica da folha. Como referem Kappel e Flore (1983), o maior teor de clorofila nesta situação não é acompanhado necessariamente de aumento da capacidade fotossintética das folhas.

Em geral, a razão entre as clorofilas **a** e **b** é maior nas plantas adaptadas aos ambientes secos e luminosos que nas plantas de sombra (Lichtenthaler, 1985), aspecto que se confirma quando se compara a amendoeira com os outros dois genótipos. Os valores das amendoeiras estão dentro dos limites encontrados nas espécies com semelhante adaptação ecológica (Lichtenthaler, 1985) e a variação da concentração relativa dos dois tipos de clorofila neste genótipo ao longo da estação de crescimento foi semelhante à observada por Savé *et al.* (1994) em kiwi.

Ainda de acordo com Lichtenthaler, a variação do teor relativo dos pigmentos clorofilinos com as condições ambientais está normalmente associada a alterações da composição química dos cloroplastos que visam a maior eficiência da utilização da energia fotossinteticamente activa. Stuhlfauth *et al.* (1990) atribuem a essa variação um papel na protecção do aparelho fotossintético das plantas em condições limitantes para a fotossíntese.

Os resultados relativos ao número e ao diâmetro dos vasos lenhosos sugerem que os pessegueiros têm maior condutividade hidráulica que os híbridos por unidade de secção transversal do caule, pois têm maior número de vasos lenhosos por unidade de área e vasos de dimensão maior ou igual aos híbridos. Em condições de boa disponibilidade hídrica e em igualdade de condições no que se refere ao gradiente hídrico o fluxo de água por unidade de área será maior nos pessegueiros que nos híbridos de acordo com a lei de Poiseuille (Tyree e Ewers, 1991). Embora entre porta-enxertos pertencentes à mesma espécie se tenha observado uma relação directa entre o diâmetro dos vasos lenhosos e o respectivo vigor (McKenzie, 1961), entre porta-enxertos de diferentes espécies essa relação não se aplica, pois a condutividade hidráulica pode ser influenciada por outros factores como a área transversal do tronco por unidade de área foliar que, como se referiu, é superior nos híbridos relativamente aos pessegueiros.

O menor diâmetro dos vasos dos híbridos pode estar relacionado com a defesa das plantas relativamente ao embolismo, pois os vasos lenhosos de maior diâmetro podem facilmente ficar inactivos para a sua função de transporte em condições de défice hídrico, em consequência do fenómeno da cavitação, ou seja, da vaporização da água contida nos vasos que rapidamente se enchem de ar ficando embolizados (Tyree e Ewers, 1991).



Embora a tendência para a cavitação seja controlada essencialmente pela tensão máxima que pode suportar o menisco ar-seiva ao nível das pontuações separando vasos embolizados de vasos funcionais (Sperry e Tyree, 1988) e não pelo diâmetro dos vasos lenhosos, as consequências do embolismo nos vasos lenhosos serão tanto mais graves quanto maior a área ocupada por um elemento condutor. Em relação ao diâmetro das pontuações, Zimmermann e Milburn (1982) pensam que estes devem ser menores nas espécies das zonas áridas que as das zonas temperadas e é natural que o diâmetro dos vasos lenhosos siga a mesma tendência. Nestas circunstâncias, a amendoeira deverá ter vasos de dimensões menores que o pessegueiro e os híbridos dimensões entre as dessas duas espécies.

O défice hídrico esteve associado nos dois genótipos a aumento da superfície ocupada pelos vasos lenhosos por unidade de área de xilema, quer devido ao aumento do número de vasos, quer ao aumento das suas dimensões médias. Contudo, nos híbridos as diferenças entre as plantas dos dois tratamentos hídricos devem ser pequenas porque os HR tinham proporcionalmente maior área de tecidos condutores que os HD.

A espessura das folhas nos diferentes genótipos apresenta uma relação inversa com os valores de SLA. Do ponto de vista experimental é de notar que a espessura da folha pode variar com o estado hídrico dos tecidos (Barrs, 1968) pelo que as folhas para as observações histológicas foram colhidas quando todas as plantas estavam bem hidratadas. As diferenças entre os porta-enxertos quanto à espessura das folhas estão de acordo com a sua adaptação ao *stress* hídrico, sendo maior nas amendoeiras, a espécie melhor adaptada, que nos outros genótipos. A relação directa entre a espessura da folha e a espessura dos parênquimas dos 3 porta-enxertos condizem com as observações feitas por Jackson (1967).

Ao nível intraespecífico, as relações entre as características anatómicas das folhas, as condições ambientais (nomeadamente a luz) e a eficiência fotossintética estão bem documentadas (Nii e Kuroiwa, 1988; Baraldi *et al.*, 1994). O efeito da luz sobre as plantas é semelhante em muitos casos ao efeito do défice hídrico, o que se justifica porque em ambos os casos as plantas necessitam de reduzir a superfície transpirante (Gholz, 1978). Na macieira, Looney (1968) observou correlação entre a espessura do parênquima em paliçada e a espessura da folha, o teor de clorofila por unidade de área foliar e a eficiência fotossintética, e Patterson *et al.* (1977) mostrou que diferenças na taxa de fotossíntese de algodoeiro estavam relacionadas directamente com a espessura da folha.

Em síntese, os resultados relativos às características morfológicas e anatómicas das folhas estão, em geral, de acordo com os resultados de numerosos estudos relacionados com a adaptação das plantas a distintas condições hídricas. Todos os aspectos estudados indicam que as amendoeiras e os híbridos têm maior capacidade fotossintética por unidade de área foliar que os pessegueiros, pois possuem folhas mais espessas, maior espessura de parênquima em paliçada, maior teor de clorofila e menor SLA. No entanto, as observações das características morfológicas e anatómicas das folhas não permitem por si só prever o

crescimento potencial das plantas, o qual depende não só da taxa fotossintética como, também, da área foliar da planta (Pickett e Kenworthy, 1939).

Embora os resultados relativos às características funcionais e anatómicas das plantas do neste trabalho fossem esperados, eles puseram em evidência a actualidade dos trabalhos clássicos sobre a adaptação das plantas à secura, o seu interesse e os seus limites, ilustrando as potencialidades destes métodos simples para a discriminação dos genótipos mais tolerantes ao défice hídrico.

### 3.5 - Temperatura das folhas

#### 3.5.1 - Aspectos gerais

A temperatura das folhas ( $T_f$ ) depende do equilíbrio energético entre a energia absorvida e a energia perdida por radiação, convecção e transpiração por esse órgão (Ehleringer, 1991). Estes factores dependem da condutância estomática (mecanismo activo de regulação térmica) e das propriedades ópticas das folhas: reflectividade, transmissividade e absorvidade.

Com o desenvolvimento de métodos rápidos e precisos de medição da temperatura das folhas, vários autores propuseram a utilização desse parâmetro como um indicador do défice hídrico das plantas, tendo em conta a sua dependência com a transpiração (Jackson, 1982; Walker e Hatfield, 1983; O'Toole e Real, 1986; Clawson *et al.*, 1989; Andrews *et al.*, 1992). A associação da temperatura das folhas com alguns parâmetros meteorológicos (temperatura do ar, radiação líquida e défice de saturação de vapor de água) serviu de base ao desenvolvimento de vários índices de défice hídrico, utilizados com maior ou menor sucesso no planeamento da rega das culturas e na previsão do seu rendimento.

A relação entre a temperatura das folhas e a transpiração foi ainda utilizada para seleccionar populações ou genótipos com distinto comportamento em relação ao uso da água e à adaptação a condições de secura (Chaudhuri *et al.*, 1986). Singh e Kanemasu (1983), por seu lado, obtiveram correlações significativas entre a temperatura das folhas, a resistência estomática, o rendimento em grão e a estabilidade da produção entre genótipos regados de *Pennisetum*. Também Hatfield *et al.* (1987), em algodoeiro, encontraram relações significativas entre a temperatura das folhas de plantas regadas e a produção de biomassa dessas plantas em condições de secura. Em *Pennisetum* e em sorgo, Chaudhuri *et al.* (1986) demonstraram que a diferença de temperatura entre a planta e o ar associada a observações do défice de saturação de vapor de água poderia discriminar os genótipos mais produtivos para ambientes com diferentes disponibilidades hídricas. Stark *et al.* (1991) mostraram que as medições de temperatura foliar de batateira bem regadas podiam ser utilizadas como um indicador do grau de susceptibilidade à secura de diversos genótipos.

Nos casos referidos, os genótipos com melhor produtividade em condições de défice hídrico apresentaram quando cultivados em condições de boa alimentação hídrica temperatura das folhas superior ao das plantas menos produtivas. Esse comportamento sugere que, nessas espécies, a adaptação à secura está ligada a uma estratégia conservativa do uso da água, devido à relação negativa entre  $T_f$  e a condutância estomática.

#### 3.5.2 - Resultados

As medições da temperatura nos porta-enxertos cultivados em vaso foram obtidas sobretudo em 1992. Em viveiro, fizeram-se observações em 1992 e em 1994.

**a) Observações no ensaio de porta-enxertos (plantas em vasos)**

Os resultados obtidos nas plantas cultivadas em vasos (Fig. 3.37 e Tab. 3.28) mostram diferenças muito claras entre os grupos bem regados e os grupos em déficit hídrico. Nos grupos **TR**, a temperatura média das folhas ( $T_f$ ) foi, em geral, inferior à temperatura do ar ( $T_a$ ) medida junto às plantas, não excedendo as diferenças ( $T_f - T_a$ ) 2 °C em valor absoluto. Nos grupos **TD**, pelo contrário,  $T_f$  foi sempre superior a  $T_a$ , atingindo as diferenças valores próximos de 3 °C. Em ambos os tratamentos, as diferenças ( $T_f - T_a$ ) foram máximas nos períodos de forte radiação solar.

A comparação entre os dois genótipos mostra que no TR a temperatura das folhas foi, na maioria dos períodos observados, menor nos híbridos que nos pessegueiros e, em geral, as diferenças entre os dois genótipos foram estatisticamente significativas. Exceções nesse comportamento observaram-se principalmente nas medições realizadas durante a manhã, nas quais a temperatura das folhas dos híbridos foi maior que a dos pessegueiros, nalguns casos com significado estatístico.

No TD, as relações entre os dois genótipos foram distintas segundo os períodos de observação, estando relacionadas com as condições hídricas das plantas, como se

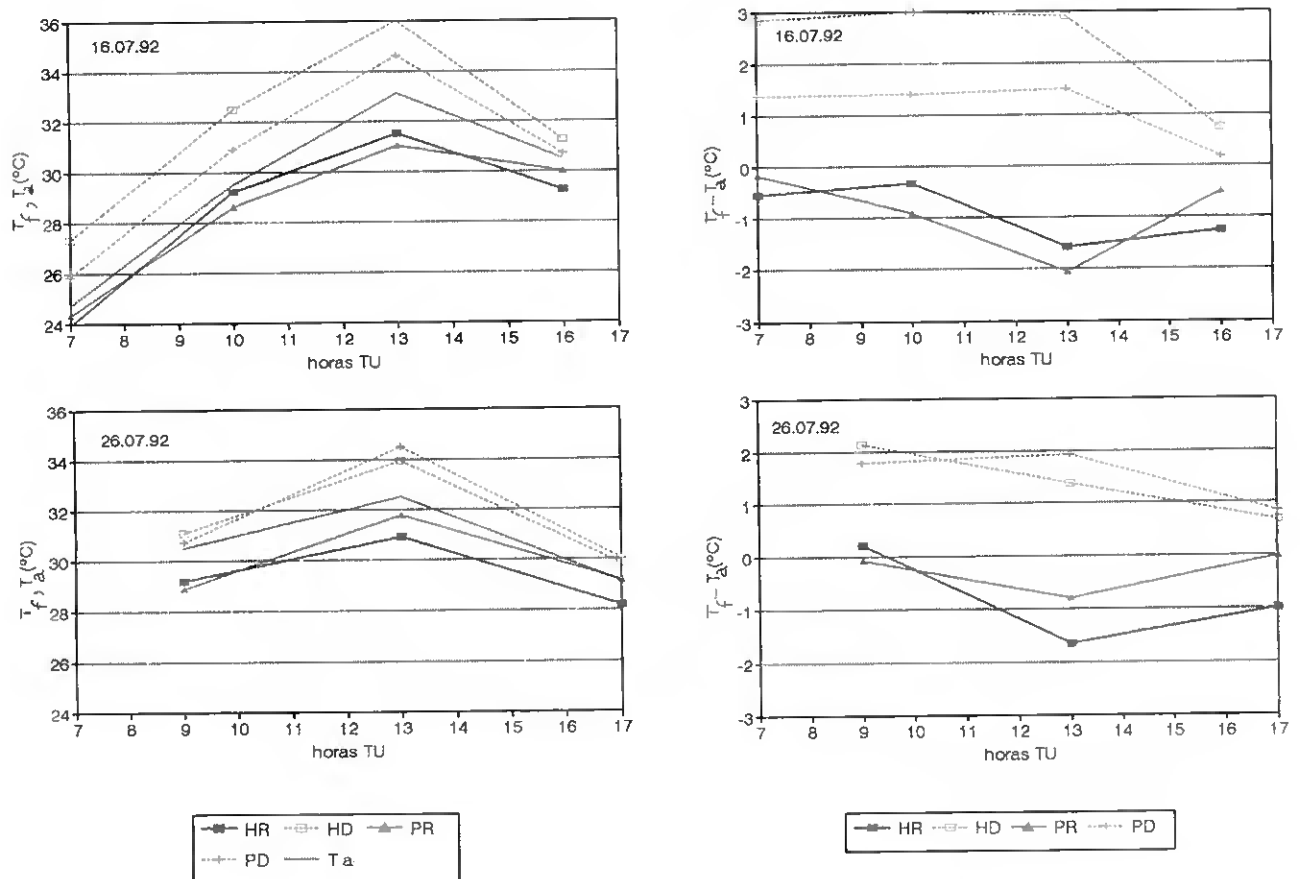


Fig. 3.37 - Variação ao longo do dia da temperatura das folhas ( $T_f$ ) e da temperatura do ar ( $T_a$ ) e das diferenças  $T_f - T_a$  para os HR, HD, PR e PD.

Tab. 3.28 - Temperatura média do ar e das folhas e desvio padrão nas plantas em vaso relativamente aos HR, HD, PR e PD.

DIA	HORA	T ar	T folha						T folha - T ar			
			HR	PP	t-teste	HD	PD	t-teste	HR	PP	HD	PD
20/08/92	16	30,6	29,4±0,9	29,7±0,7	NS	32,0±1,0	32,8±0,8	MS	-1,2	-1,0	1,3	2,3
21/08/92	16	31,8	30,4±0,6	31,1±0,9	NS	34,8±1,0	34,7±0,9	NS	-1,5	-0,7	3,0	2,8
27/08/92	9	24,9	24,6±0,4	24,8±0,4	NS	25,9±0,8	25,7±0,6	NS	-0,3	-0,0	1,0	0,9
27/08/92	9,30	25,8	25,7±0,6	25,4±0,4	NS	27,2±0,6	27,2±0,8	NS	-0,1	-0,4	1,4	1,4
27/08/92	12	30,6	29,2±1,1	29,9±0,9	S	32,9±0,9	32,5±1,3	NS	-1,4	-1,7	2,3	1,9
27/08/92	12,30	30,2	28,8±1,1	29,3±1,1	NS	32,3±1,1	31,8±1,1	NS	-1,4	-0,9	2,1	1,6
09/07/93	14	29,7	29,3±0,7	30,4±0,8	MS	30,4±1,1	30,5±0,8	NS	-0,4	0,7	0,7	0,8

comprova pela análise dos valores de potencial hídrico medidos nos períodos correspondentes às medições de temperatura (Fig. 3.20, pg. 83).

Assim, quando se observa o comportamento dos dois genótipos nos dias 16 Jul. e 26 Ago. 92 (Fig. 3.37), verifica-se que  $T_f$  foi, em geral, maior nos híbridos que nos pessegueiros na primeira data e menor ou praticamente igual na segunda. As diferenças foram muito significativas no primeiro dia e também nalguns períodos do dia 26 Agosto. A evolução diária de  $\psi$  nesses dias mostra que em 16 Jul. o défice hídrico foi muito acentuado e maior nos híbridos que nos pessegueiros, enquanto no dia 26 Ago. as condições hídricas foram menos severas e a diferença de *stress* entre os pessegueiros e os híbridos mais pequena. Nestas condições, no dia 16 Jul. a maior temperatura das folhas dos híbridos, relativamente aos pessegueiros, pode ter sido provocada por défice hídrico mais intenso naquele genótipo.

Esta hipótese é suportada pelos resultados do dia 27 Ago. (Tab. 3.28). O maior défice hídrico deste dia relativamente ao dia 26, em particular nos híbridos, esteve associado, como no dia 16 Jul., a maiores valores de  $T_f$  nos híbridos do que nos pessegueiros. As diferenças de  $T_f$  entre os dois genótipos não foram significativas.

Nos outros períodos de observação, os valores de  $\psi$  sugerem que o estado hídrico dos dois genótipos era aproximado no dia 20 Ago., o qual evoluiu para um défice hídrico severo no dia 21 Ago., principalmente marcado no caso dos híbridos. De acordo com o previsto,  $T_f$  foi menor nos híbridos que pessegueiros no primeiro dia e maior no segundo. As diferenças foram significativas no primeiro dia e não significativas no segundo.

As observações realizadas em 1993, apesar de relativas a apenas um período forneceram resultados semelhantes aos acima descritos (Tab. 3.28).

No que se refere à relação entre  $T_f - T_a$  e o défice de saturação de vapor de água (DS), nas plantas bem regadas os resultados obtidos apresentam uma relação linear e inversa. Embora os coeficientes de determinação sejam baixos ( $r^2=0,52$  e  $0,22$  nos híbridos e pessegueiros, respectivamente), os coeficientes de correlação entre as duas

variáveis são significativos, tanto nos híbridos como nos pessegueiros. Pelo contrário, no TD não existe correlação entre  $T_f - T_a$  e DS.

Os resultados obtidos nas plantas bem regadas estão de acordo com os observados noutros trabalhos referidos por Jackson (1982).

As medições de  $T_f$  foram, por vezes, acompanhadas de medições de condutância estomática, tendo-se obtido também uma relação linear e inversa entre  $T_f - T_a$  e  $g_s$  (coeficiente de determinação de 0,53). Essa relação foi muito significativa e independente do genótipo. Assim, as diferenças observadas de  $T_f$  são, em grande parte, devidas às diferenças de  $g_s$  o que justifica que as temperaturas foliares dos híbridos tivessem sido, em geral, inferiores às dos pessegueiros.

Verificou-se que a relação entre  $g_s$  e  $(T_f - T_a)$  depende do genótipo sendo para valores idênticos de  $g_s$ ,  $(T_f - T_a)$  maior nos híbridos que nos pessegueiros e a relação entre essas duas variáveis foi diferente no TR e no TD. Neste tratamento, os valores da temperatura foliar dos híbridos foram inferiores ao que seria de esperar, atendendo às relações observadas entre os genótipos no TR.

Em conclusão, os resultados obtidos sugerem que em condições de défice hídrico semelhantes,  $T_f$  é geralmente menor nos híbridos do que nos pessegueiros. No entanto, nas condições experimentais deste ensaio, devido ao reduzido número de observações nas quais as condições de défice hídrico foram comparáveis nos grupos TD esses resultados devem ser considerados com precaução.

Além disso, a temperatura das folhas depende de  $g_s$  sendo, contudo, a relação entre as duas variáveis dependente do genótipo e das condições hídricas das plantas.

## **b) Observações em viveiro**

### **(i) Porta-enxertos:**

As observações em viveiro (l'Amarine) foram feitas em dois ensaios distintos: em 16 Set. 92 sobre os porta-enxertos plantados neste ano e nos dias 24 Jun., 19 Jul. e 25 Ago. de 1994, no ensaio instalado em 1993.

Em comparação com as plantas em vasos, as observações em viveiro apresentam grandes vantagens, quer quanto ao rigor das medições efectuadas para a determinação da temperatura foliar, como em relação à facilidade e rapidez das medições.

Devido à influência das condições de cultivo no desenvolvimento aéreo das plantas, as medições de temperatura foram feitas de forma distinta nas plantas em vasos e nas de viveiro. Em geral, as plantas cultivadas em viveiro apresentam em relação às cultivadas em vasos um porte menos aberto e folhagem mais compacta. Nestas condições, enquanto nas plantas em vasos as observações foram feitas sobre folhas individuais, a fim de eliminar a possibilidade da radiação emitida por outras superfícies poderem afectar as

leituras, nas plantas em viveiro pôde medir-se directamente a temperatura de uma área foliar relativamente importante.

Em 1992, a medição da temperatura das folhas, efectuada entre as 10 e as 11.30 h TU, foi feita alternadamente nos híbridos e nos pessegueiros, obtendo-se 3 conjuntos de dados por genótipo, cada um de cerca de 40 medições. Em todos os períodos,  $T_f$  foi menor nos híbridos do que nos pessegueiros e as diferenças entre os dois genótipos foram muito significativas ou significativas (Tab. 3.29). A análise de variância mostrou, também, que  $T_f$  variou de forma muito significativa durante a realização das medições, o que demonstra a importância das precauções descritas no Cap. 2 (M&M) para facilitar a comparação das medições efectuadas num dado período.

Em 1994, a temperatura das folhas foi também superior nos pessegueiros relativamente aos híbridos e nestes, em geral, maior que nas amendoeiras, como se vê na tabela acima referida. As diferenças entre os genótipos foram geralmente pequenas e da mesma ordem das observadas entre as plantas bem regadas no ensaio em vasos. Em todos os períodos de observação, o efeito do genótipo na temperatura das folhas foi estatisticamente significativo ou muito significativo.

A análise de variância dos resultados em 1994 mostra que as diferenças entre as amendoeiras e os híbridos foram não significativas, significativas ou muito significativas dependendo dos períodos de observação. Entre os híbridos e os pessegueiros as diferenças foram mais importantes e, em geral, muito significativas.

Os valores de  $g_s$  nos períodos que antecederam as medições de temperatura não foram significativamente diferentes entre os híbridos e as amendoeiras. Pelo contrário, as diferenças entre os híbridos e os pessegueiros foram muito significativas, correspondendo aos híbridos maiores valores de  $g_s$ . Assim, pode concluir-se que as diferenças de temperatura das folhas entre os híbridos e as amendoeiras não estão relacionadas com  $g_s$ .

Tab. 3.29 – Temperatura média das folhas e desvio padrão das plantas cultivadas em viveiro (l'Amarine). Dados relativos a dois ensaios (1992 e 1994).

DIA	HORA TU	Nº folhas medidas	Temperatura das folhas		
			Amendoeira	Híbrido	Pessegueiro
16 Set. 92	11	120	–	24, 7±0, 6	25, 2±0, 7
24 Jun. 94	12	30	25, 9±0, 8	26, 1±0, 7	27, 0±1, 0
19 Jul. 94	10	30	28, 3±0, 7	28, 9±0, 6	29, 7±0, 6
21 Jul. 94	13	30	28, 6±0, 6	30, 0±1, 4	30, 8±0, 8
25 Ago. 94	8	30	20, 9±0, 2	20, 7±0, 3	21, 1±0, 4
25 Ago. 94	11	30	21, 1±0, 4	21, 9±0, 9	22, 0±0, 3
25 Ago. 94	13	30	24, 1±0, 3	24, 1±0, 4	24, 5±0, 4

As condições meteorológicas nos dias em que se fizeram observações foram particularmente variáveis no dia 25 Ago., alternando-se períodos de céu limpo e de céu nublado, situação a que estiveram associados baixos valores de  $T_f$  e de  $g_s$  e maior variabilidade de  $g_s$ .

### (ii) Plantas enxertadas

Nas plantas de Ferragnès enxertadas em GF 677 e GF 305, em l'Amarine, fizeram-se medições de temperatura foliar em 25 Ago. 94, entre as 12 e as 13 horas TU, utilizando o mesmo processo seguido nos porta-enxertos. Os resultados obtidos foram semelhantes nas duas combinações variedade x porta-enxerto: em ambos os casos, a temperatura foliar foi igual a  $21,2 \pm 0,4$  °C. Os valores de  $g_s$  entre os conjuntos de plantas foram também semelhantes nesse período.

### c) Calibração do termómetro de infravermelhos

A calibração do termómetro de infravermelhos no local da experimentação, descrita no Cap. 2 (M&M), mostra que a relação entre os valores de temperatura medidos pelo termómetro de infravermelhos e pelo termómetro de mercúrio apresenta muito bom ajustamento entre si ( $r^2=0,998$ ), embora os valores obtidos com o termómetro de infravermelhos tivessem sido, em geral, um pouco inferiores, em especial para temperaturas superiores a 35 °C.

Por vezes, notou-se pequena variação entre as equações de calibração obtidas em dias diferentes, sugerindo que as condições meteorológicas podem ter alguma influência no funcionamento do aparelho. Contudo, ao contrário do observado por Verbrugghe e Guyot (1992) com termómetros de infravermelhos doutras marcas, as diferenças entre essas equações são irrelevantes do ponto de vista prático.

### 3.5.3 - Discussão e conclusões

As observações de temperatura das folhas foram feitas principalmente nas plantas em vaso (híbridos e pessegueiros) em folhas individuais expostas ao sol e à sombra e, por isso, foram tomados cuidados particulares para garantir a representatividade das folhas em que se fizeram as medições de temperatura. Com efeito, Andrews *et al.* (1992) observaram em macieira diferenças importantes na temperatura de folhas consoante a exposição ao sol, aspecto que se não for devidamente considerado conduz a erros na estimativa da temperatura das plantas (Jackson, 1982).

No tratamento bem regado verificou-se que a variabilidade na temperatura das folhas foi menor que nas plantas em défice hídrico. Resultados semelhantes foram obtidos por Clawson e Blad (1982) em milho, os quais propuseram, aliás, utilizar como indicador de défice hídrico das culturas o aumento da variabilidade da temperatura



comparativamente a talhões de plantas bem regadas. Também por esse motivo, a generalidade dos estudos nos quais se procura relacionar a temperatura das folhas com o grau de adaptação das plantas ao déficit hídrico têm sido feitos em plantas bem regadas.

No ensaio em vasos, as diferenças de  $(T_f - T_a)$  entre plantas regadas e plantas em déficit hídrico foram da mesma ordem das encontradas na ervilheira (Clark e Hiller, 1973) e no algodoeiro (Ehrler, 1973). Num pomar de pessegueiros cultivados sem limitações hídricas, Glenn *et al.* (1989) obtiveram valores de  $T_f - T_a$  inferiores aos do nosso ensaio nas plantas bem regadas. As características vegetativas das plantas num e noutro caso, com graus distintos de ensombramento das folhas e outras diferenças ambientais poderão estar na origem dessas diferenças.

Os valores de temperatura das folhas em diversos períodos são, em grande parte, explicadas pelas condições ambientais, como indica a correlação entre  $(T_f - T_a)$  e o déficit de saturação de vapor de água no TR. Outros factores meteorológicos como a radiação líquida e a temperatura do ar têm, também, influência determinante na temperatura foliar (Walker e Hatfield, 1983; Clawson *et al.*, 1989). Neste ensaio o vento, factor com efeito muito significativo na temperatura das folhas (O'Toole e Hatfield, 1983), foi sempre inferior a 1 m/s pelo que o seu efeito foi insignificante.

Na generalidade das observações realizadas no TR, as diferenças entre os dois genótipos foram muito significativas. Algumas excepções nas observações feitas antes do meio dia solar e a interacção estatisticamente significativa entre o genótipo e a hora do dia na expressão de  $T_f - T_a$ , sugerem que o balanço térmico é distinto nos híbridos em relação aos pessegueiros dependendo do período do dia. Com efeito, sendo específicas para cada genótipo a evolução ao longo do dia de vários factores determinantes do balanço térmico da planta (teor hídrico dos tecidos, condutância estomática e exposição das folhas em relação ao sol entre outros), é compreensível que existam variações importantes entre os genótipos na quantidade de radiação absorvida e libertada durante o dia.

No tratamento seco, o comportamento dos dois genótipos são mais difíceis de interpretar que no TR devido à dependência de  $T_f - T_a$  com o estado hídrico das plantas e ao facto das condições hídricas não serem geralmente comparáveis nos dois porta-enxertos quando se fizeram as medições de temperatura. No que se refere aos resultados obtidos em igualdade de situações quanto ao grau de déficit hídrico, os híbridos comportaram-se face aos pessegueiros como no TR. Contudo, como com relativa frequência o déficit hídrico foi mais intenso nos híbridos, a sua temperatura foliar foi, por isso, superior à dos pessegueiros.

No TD, a ausência de diferenças significativas em  $T_f$  entre os dois genótipos, em geral, pode ser devida a que abaixo de certos valores de potencial hídrico a variação de  $T_f$  e de  $\psi$  deixarem de estar relacionados (Jackson, 1982) pois, em condições de déficit hídrico intenso, diferenças importantes de  $\psi$  entre os dois genótipos podem ter apenas um pequeno efeito no aumento de temperatura.

A complexidade entre os parâmetros meteorológicos, as características da planta e ( $T_f - T_a$ ) foi objecto de vários estudos teóricos realizados com base nas equações de balanço de energia. No caso do damasqueiro cultivado em ambiente árido Schulze *et al.*, (1972) verificaram que o aumento de DS está associado a redução de  $T_f - T_a$ , considerando os valores de  $g_s$  constantes, à semelhança dos resultados de Walker e Hatfield (1983) e O'Toole e Real (1986) noutras espécies, e que a acção de  $g_s$  em  $T_f - T_a$  era maior quando os valores absolutos eram baixos, DS aumentava ou a radiação líquida diminuía.

A relação significativa entre  $T_f - T_a$  e  $g_s$  encontrada no nosso ensaio, em ambos os porta-enxertos, foi também observada noutras espécies (Singh e Kanemasu, 1983; Hatfield *et al.*, 1987) e, com base nesse facto, tem-se preconizado a utilização de  $T_f$  para seleccionar genótipos com diferentes intensidades transpirativas. No entanto, outras características foliares além de  $g_s$  podem assumir papel preponderante no balanço energético das plantas. Contudo, no caso dos híbridos e dos pessegueiros,  $T_f$  parece ser um parâmetro muito interessante para discriminar os genótipos em relação a  $g_s$  apesar da relação entre as duas variáveis ser específica para cada um deles.

Nas plantas em défice hídrico,  $T_f$  pode ser influenciado pela variação doutros factores além da diminuição de  $g_s$ , pelo que nestas condições deve-se ter maior cuidado na interpretação dos resultados, podendo as correlações entre  $T_f - T_a$  e  $g_s$  não ser significativas (Singh e Kanemasu, 1983).

As diferenças entre os dois genótipos quanto aos valores de  $T_f - T_a$  foram significativas na maioria das observações feitas no TR, em contraste com a frequente falta de significado estatístico entre os genótipos no TD. Estes resultados sugerem que a selecção dos genótipos com melhor regulação da temperatura foliar é mais eficiente quando os genótipos estão bem regados do que em condições de défice hídrico. De forma concordante, Singh e Kanemasu (1983) encontraram correlações significativas entre  $T_f - T_a$  e a produtividade de diferentes genótipos de *Pennisetum americanum* quando as observações eram feitas em plantas bem regadas, mas não significativas quando as plantas estavam em condições de défice hídrico, e Hatfield *et al.* (1987) observaram relação positiva entre  $T_f - T_a$  e a biomassa produzida por linhas de algodão nos ensaios regados mas não nos não regados.

Os resultados obtidos **em viveiro** relativos aos híbridos e aos pessegueiros confirmam as relações descritas no ensaio com plantas em vasos. No que se refere às amendoeiras, as temperaturas foliares foram significativamente mais baixas que nos outros dois genótipos, não obstante os valores relativamente próximos de  $g_s$  nessas plantas e nos híbridos, facto que se pode talvez explicar pela influência da dimensão das folhas na temperatura da planta (Lakso, 1990), embora não seja de excluir a existência entre os dois genótipos de pequenas diferenças de  $g_s$ .

As observações em viveiro permitiram alargar as conclusões obtidas nas plantas em vasos, verificando-se que as relações entre os genótipos foram constantes

independentemente das condições ambientais (cultivo sobre abrigo e cultivo em pleno ar), da origem das plantas e do ano de observação.

Em conclusão, os resultados obtidos indicam que a medição da temperatura das folhas com o termómetro de infravermelhos apresenta interesse para a selecção de genótipos com diferentes capacidades transpirativas. Os principais problemas encontrados para a realização das medições ocorreram nas plantas cultivadas em vaso devido à pouca densidade da folhagem, enquanto no viveiro o procedimento é de fácil aplicação.

Apesar das relações entre  $g_s$  e  $T_f$  puderem ser distintas nas plantas em défice hídrico e nas plantas bem regadas, as relações entre os genótipos foram independentes do tratamento hídrico, indicando ser possível fazer o seu estudo nas plantas bem regadas, com as vantagens já referidas.

## 3.6 - Propriedades ópticas das folhas

### 3.6.1 - Aspectos gerais

As propriedades ópticas das folhas dependem das características foliares, como sejam, a concentração em pigmentos fotossintéticos, a estrutura dos parênquimas, o teor em água das folhas e a pilosidade da folha (Ehleringer, 1980), características associadas com a resistência das plantas à secura. Assim, as análises espectrofotométricas efectuadas nas folhas reflectem a acção integrada de vários aspectos que influenciam a resistência ao défice hídrico. Apesar dos estudos pouco numerosos relacionando as propriedades ópticas das folhas com a resistência ao défice hídrico, Baldy *et al.* (1981) e Trigui (1983) encontraram na oliveira uma relação positiva entre a reflectividade no infravermelho de menor comprimento de onda (740 a 1300 nm) e a resistência à secura.

O comportamento das plantas nas diferentes bandas do espectro está relacionado com as características das folhas (Gausman *et al.*, 1969; Grant, 1987; Maas e Dunlap, 1989; Walter-Shea e Norman, 1991).

No visível, entre 400 e 740 nm, as folhas apresentam pequena reflectividade (no máximo 15%) e muito pequena transmissividade. Nesta banda do espectro, a maior parte da radiação que chega à planta é absorvida pelos pigmentos foliares, em particular pelas clorofilas **a** e **b**. As clorofilas possuem duas bandas de absorção, no azul e no vermelho, centradas a 450 e a 660 nm, respectivamente, e observando-se o máximo de reflectividade no amarelo-verde em torno dos 550 nm. Outros pigmentos, por ordem de importância, são os carotenóides (carotenos e xantofilas) que apresentam um pico de absorção a 450 nm, as plastoquinonas e os compostos flavónicos. As diferenças entre os génotipos no visível estão, assim, ligadas essencialmente à concentração de pigmentos por unidade de área foliar.

No infravermelho de menor comprimento de onda, entre 740 e 1300 nm, a quantidade de radiação absorvida é muito pequena (igual ou inferior a 10%). Com efeito, a partir dos 740 nm, os pigmentos foliares são quase transparentes para a radiação, assim como sucede com a celulose, sendo a maior parte da radiação reflectida e transmitida pelas folhas. A quantidade de energia que é reflectida pela folha nesta banda depende da sua anatomia, aumentando com a irregularidade da forma das células e com o número de camadas celulares.

No infravermelho de médio comprimento de onda, entre 1300 e 2500 nm, a absorção de energia é importante, especialmente a 1450, 1900 e 2500 nm. Esta absorção de energia está associada com o teor de água das folhas.

A presença de pêlos e de ceras epicuticulares contribui para aumentar a reflectividade no conjunto do espectro electromagnético (Sinclair e Thomas, 1970; Cameron, 1970). Baldy *et al.* (1981) verificaram no caso da oliveira que os pêlos da

página inferior das folhas aumentavam a reflectividade sendo, por isso, as propriedades ópticas das folhas nessa espécie fortemente assimétricas.

Ao nível da estrutura interna da folha, os factores que actuam na absorção de energia intervêm na probabilidade da radiação ser absorvida ao atravessar o tecido foliar e na importância dos fenómenos de difusão no interior da folha (Andrieu *et al.*, 1992; Vogelmann, 1993). Estes aspectos dependem da concentração em pigmentos e do teor em água das folhas, do volume dos espaços intercelulares, da relação entre os parênquimas de paliçada e lacunoso, da forma das células e da espessura da folha.

A absorção está relacionada com a concentração em pigmentos. Walter-Shea e Norman (1991) indicam que, em igualdade de condições, uma variação de 30% no teor de pigmentos tem um efeito equivalente na absorção à variação de 50% na espessura das folhas.

O teor em água, além da influência directa que exerce nas propriedades ópticas das folhas no infravermelho de médio comprimento de onda, actua também na reflectividade do visível e do infravermelho de menor comprimento de onda através da alteração da turgescência das células. A diminuição do teor de água das células conduz ao aumento dos espaços intercelulares, o qual está associado ao aumento da reflectividade e da transmissividade.

A quantidade de espaços intercelulares influencia a capacidade de dispersão da radiação no interior das folhas e quanto mais importante for esse fenómeno maior é a probabilidade da radiação ser absorvida.

Em consequência das diferenças entre os parênquimas da folha no que respeita ao volume dos espaços intercelulares e ao número de interfaces entre as células e o ar, a reflectividade é geralmente maior no parênquima lacunoso do que no parênquima de paliçada. Por seu lado, o parênquima de paliçada facilita a penetração da luz directa nas camadas mais profundas da folha, contribuindo para o aumento da absorção da luz devido à redução da reflectividade.

A organização do tecido do mesófilo também influi nas propriedades ópticas foliares. No algodão, um arranjo compacto das células dos parênquimas está associado a pequena redução da reflectividade e aumento importante da transmissividade (Gausman *et al.*, 1969). A estrutura interna da folha influi ainda nas propriedades ópticas pelas discontinuidades refractivas entre o ar e outros componentes celulares além das paredes, como os estomas, núcleos, citoplasma e cloroplastos (Gausman, 1977).

O aumento da espessura da folha está associada a maiores níveis de absorção, em igualdade dos outros factores, devido principalmente à redução da transmissividade (Wooley, 1971). Este facto verifica-se sobretudo nos comprimentos de onda nos quais a absorção de energia pelos pigmentos foliares e pela água da folha são mais importantes.

### 3.6.2 - Resultados

As medições de reflectividade ( $\rho$ ) e de transmissividade ( $\tau$ ) foram feitas nas folhas de híbridos e de pessegueiros, e também de amendoeiras enxertadas sobre porta-enxerto híbrido cultivadas nas mesmas condições experimentais que as outras duas espécies. Na medida em que não se registaram diferenças quanto aos parâmetros medidos entre os grupos TR e os grupos TD, os resultados apresentados são relativos apenas às plantas bem regadas. As medições foram feitas na segunda quinzena de Julho de 1993.

Nas Figs 3.38 e 3.39 apresentam-se os resultados obtidos no visível e no infravermelho, respectivamente, verificando-se que a forma geral das curvas é semelhante às publicadas para outras espécies (Gausman e Allen, 1973; Baldy *et al.*, 1981; Daunay, 1986). Os valores médios de  $\rho$  e de  $\tau$  relativos a comprimentos de onda que correspondem a máximos ou a mínimos relativos de absorção de energia foram objecto de análise estatística.

No visível, os valores de  $\rho$  e de  $\tau$  foram muito baixos e não se observaram diferenças acentuadas entre os genótipos. Por outro lado, a variabilidade entre as folhas de cada genótipo foi grande, maior do que a observada na banda dos infravermelhos, devido à menor sensibilidade do aparelho no visível. Em consequência do comportamento semelhante dos três genótipos nesta banda do espectro, não se fez qualquer tratamento estatístico sobre os dados obtidos a comprimentos de onda específicos.

No infravermelho de menor comprimento de onda, banda que corresponde a um patamar alto de  $\rho$  e de  $\tau$ , as relações foram diferentes entre os três genótipos segundo se considere um ou outro desses coeficientes. Em relação à reflectividade, o comportamento dos híbridos foi semelhante ao dos pessegueiros e nas amendoeiras os valores de  $\rho$  foram superiores aos dos outros dois genótipos. Quanto à transmissividade, os maiores valores foram registados nos pessegueiros, seguidos pelos híbridos e, a maior distância, pelas amendoeiras. Em consequência das relações entre esses coeficientes, a absorvidade ( $\alpha$ ), calculada a partir de  $\rho$  e de  $\tau$ , foi maior nas amendoeiras do que nos híbridos e nestes maior que nos pessegueiros.

A análise de variância dos valores de  $\rho$  obtidos a 800, 1050 e 1250 nm, e ainda a 980 e 1180 nm (duas bandas secundárias de absorção da água das folhas) teve os seguintes resultados:

- Entre os pessegueiros e os híbridos as diferenças foram não significativas;
- entre os híbridos e as amendoeiras foram muito significativas em alguns casos (1180 e a 1050 nm), significativas noutros (1250 e a 975 nm) e não significativas a 800 nm;
- e entre os pessegueiros e as amendoeiras as diferenças foram significativas a 1050 e a 975 nm, mas não nos outros comprimentos de onda.

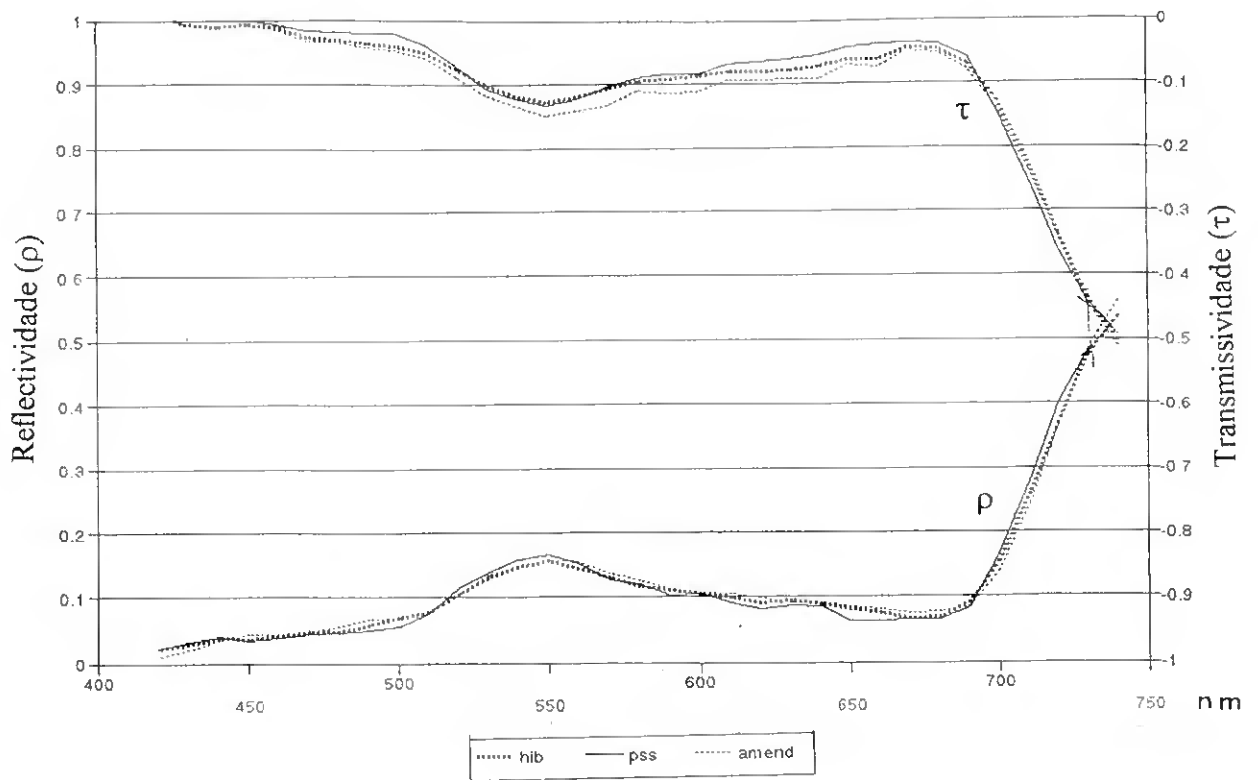


Fig. 3.38 - Reflectividade ( $\rho$ ) e transmissividade ( $\tau$ ) de híbridos, pessegueiros e amendoeiras bem regados na banda do visível (400 a 740 nm)

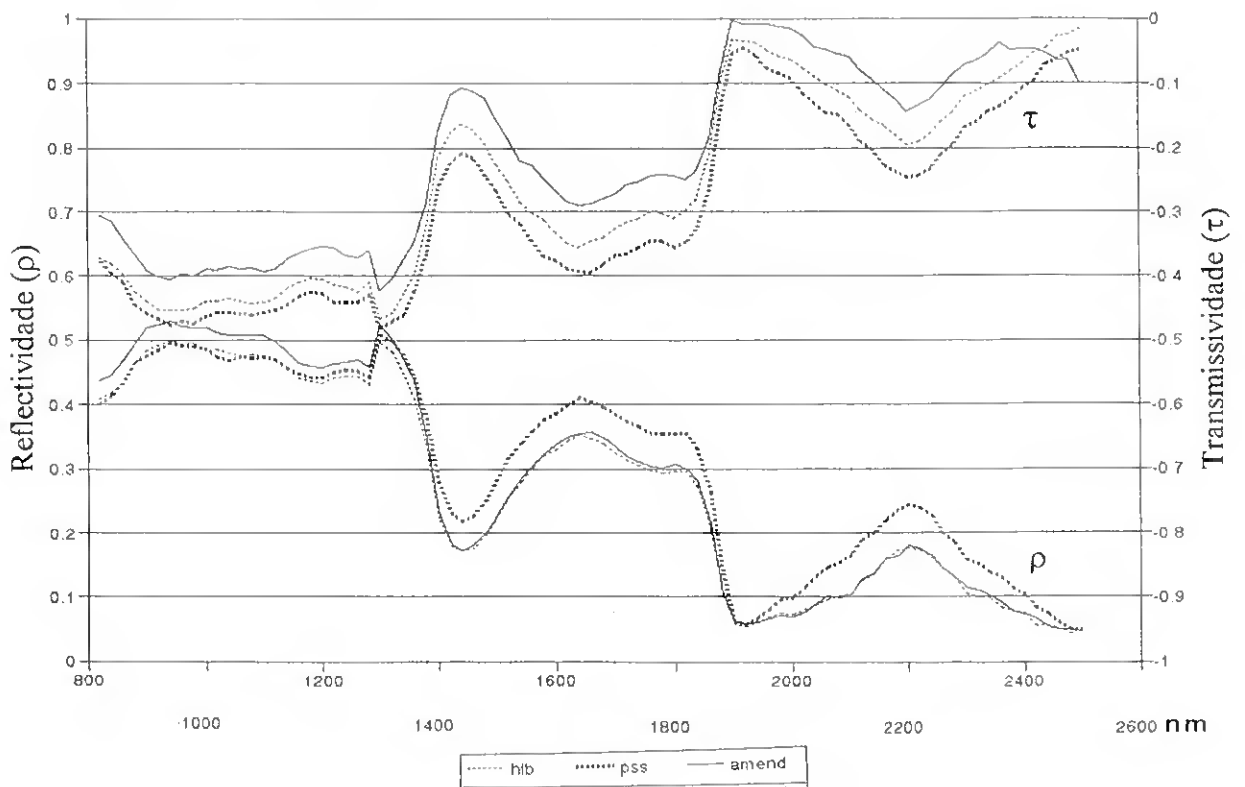


Fig. 3.39 - Reflectividade ( $\rho$ ) e transmissividade ( $\tau$ ) de híbridos, pessegueiros e amendoeiras bem regados na banda do infravermelho entre 800 e 2500 nm.

Relativamente a  $\tau$ , as diferenças entre os genótipos nesses comprimentos de onda foram não significativas entre os pessegueiros e os híbridos, significativas entre os híbridos e as amendoeiras e muito significativas entre os pessegueiros e as amendoeiras.

No infravermelho de médio comprimento de onda, ou seja, entre 1300 e 2500 nm, como se vê na Fig. 3.39, banda na qual a absorção de energia foi muito importante, as relações entre os três genótipos divergiram acentuadamente em relação ao descrito no infravermelho de curto comprimento de onda, no que respeita a  $\rho$ : os maiores valores foram registados nos pessegueiros, enquanto nos híbridos e nas amendoeiras eles foram semelhantes. Quanto à  $\tau$ , os valores obtidos foram maiores nos pessegueiros que nos outros dois genótipos, encontrando-se os híbridos numa posição intermédia entre as amendoeiras e os pessegueiros. Em consequência, os maiores valores de  $\alpha$  registaram-se nas amendoeiras e os menores nos pessegueiros, enquanto os híbridos se situaram em posição intermédia, reproduzindo-se a situação descrita no infravermelho de menor comprimento de onda relativamente a este coeficiente.

Nesta banda do espectro, a análise estatística dos dados foi feita relativamente aos máximos relativos de absorção a 1450, 1900 e 2500 nm e aos mínimos relativos a 1650 e 2200 nm (os quais são também influenciados pelo teor em água). Em relação a  $\rho$  não se considerou os máximos relativos situados a 1900 e a 2500 nm porque não havia variação entre os genótipos nesses comprimentos de onda, e nos outros comprimentos de onda as diferenças entre as amendoeiras e os pessegueiros foram muito significativas, assim como entre os híbridos e os pessegueiros, mas não significativas entre as amendoeiras e os híbridos, como seria de esperar dado que os valores médios nestes dois genótipos são aproximados. As diferenças de  $\tau$  foram não significativas entre os pessegueiros e os híbridos, e muito significativas entre esses dois genótipos e as amendoeiras em relação a todos os comprimentos de onda analisados.

A relação entre a reflectividade e a transmissividade ( $\rho/\tau$ ), próxima da unidade na maioria das espécies (Walter-Shea e Norman, 1991), parece estar associada nalguns casos com a adaptação das plantas à *secura* (Trigui, 1983; Daunay, 1986). No nosso ensaio, relativamente à radiação no infravermelho, verificou-se que  $\rho/\tau$  é sensivelmente maior na amendoeira, a espécie melhor adaptada a condições de *stress* hídrico, do que nos híbridos e nos pessegueiros (Tab. 3.30), resultados concordantes com os observados pelos últimos autores citados na oliveira e na beringela, respectivamente.

Tab. 3.30 - Relação entre a reflectividade ( $\rho$ ) e a transmissividade ( $\tau$ )

GENÓTIPOS	Comprimentos de onda (nm)									Média
	800	975	1050	1180	1250	1450	1650	1900	2200	
AMENDO.	1,41	1,32	1,33	1,27	1,26	1,61	1,23	1,45	1,26	1,35
HÍBRIDOS	1,06	1,04	1,01	1,04	1,03	1,05	1,04	1,13	0,99	1,04
PESSEG.	1,13	1,09	1,09	1,07	1,05	1,05	0,96	1,08	0,93	1,05



### 3.6.3 - Discussão e conclusões

Tendo em conta as múltiplas interações entre as propriedades ópticas das folhas e as características foliares, procurou-se analisar os resultados obtidos em função das características estruturais e anatómicas das folhas.

No visível, o comportamento semelhante dos três genótipos quanto à absorção de energia mostra que o teor de clorofila por unidade de área foliar, por si só, não permite explicar os resultados obtidos. A maior absorção de energia que o esperado no caso dos pessegueiros pode ser devida à maior concentração de pigmentos por unidade de peso seco neste genótipo e pelas características dos tecidos de parênquima que favorecem a dispersão da luz dentro da folha e a sua absorção.

No infravermelho de menor comprimento de onda, os resultados explicam-se atendendo à influência que a estrutura interna da folha tem sobre as propriedades ópticas nesta banda do espectro, na qual a radiação é praticamente toda reflectida e transmitida. A quantidade de energia reflectida aumenta quando o número de interfaces entre as células e o ar é maior (Gausman e Allen, 1973).

No que respeita a  $\rho$ , a semelhança dos valores registados nos pessegueiros e nos híbridos indica que a organização foliar de cada genótipo tem efeitos semelhantes. Nos pessegueiros, a organização dos parênquimas favorece a dispersão da luz contribuindo para o aumento da quantidade de luz reflectida relativamente aos híbridos, de estrutura foliar mais compacta. Contudo, nestes, a maior espessura dos parênquimas conduz ao mesmo resultado pois a probabilidade de um feixe luminoso encontrar um obstáculo no interior da folha e ser reflectido é maior.

Nas amendoeiras, os valores de  $\rho$ , superiores aos dos outros genótipos, tanto podem ser devidos à maior espessura foliar como às características da superfície da epiderme, nomeadamente a espessura da cutícula. Com efeito,  $\rho$  é a resultante de duas componentes: a energia reflectida à superfície da folha e a reflectida no interior da folha (Grant, 1987).

As diferenças entre os três genótipos quanto a  $\tau$  no infravermelho de menor comprimento de onda são consequência directa das diferenças entre eles em relação a  $\rho$  (maior  $\rho$ , menor  $\tau$ ) e estão também inversamente relacionadas com a espessura da folha. Com efeito, não obstante a muito pequena absorção pelos pigmentos e outros componentes celulares nesta banda do espectro, quanto maior a espessura das folhas maior será a radiação absorvida reduzindo a fracção que é transmitida.

No infravermelho de médio comprimento de onda, a absorção de energia está directamente relacionada com a quantidade de água das folhas por unidade de área foliar, a qual é maior nas amendoeiras que nos híbridos e maior nestes que nos pessegueiros. O facto da radiação reflectida ter sido semelhante nos híbridos e nas amendoeiras reforça a hipótese de  $\rho$  à superfície da folha ser maior nas amendoeiras pois, de contrário,  $\rho$  deveria

ser menor nestas devido à maior espessura e, portanto, maior teor de água das folhas e maior absorção. As principais diferenças entre os genótipos em relação a  $\tau$  estão essencialmente relacionadas com a espessura da folha, sendo menor a transmissão da radiação nas folhas mais espessas.

A relação entre  $\rho/\tau$  e a adaptação das plantas a condições de aridez parece estar relacionada com as características foliares das espécies. Nas regiões áridas as plantas apresentam, em geral, maiores valores de  $\rho$  que nos climas temperados devido à presença de pêlos, ceras, e outras estruturas epidérmicas (Billings e Morris, 1951; Ehleringer, 1980), enquanto os coeficientes de absorção são da mesma ordem de grandeza (Sinclair e Thomas, 1970). Tendo em consideração os valores de  $\rho$  e de  $\alpha$ , os valores de  $\tau$  são geralmente baixos, como seria de esperar pelo facto das folhas das plantas das regiões áridas serem geralmente espessas e com estrutura interna compacta, características também encontradas nas amendoeiras quando comparadas com os outros dois genótipos. De forma semelhante, Cameron (1970) observou que  $\rho$  apresentava valores muito próximos tanto no *Eucalyptus*, espécie com notável adaptação à aridez, como na *Tilia americana*, uma espécie mesofítica, e que  $\tau$  era muito superior na *Tilia*, pelo que  $\rho/\tau$  era várias vezes superior no *Eucalyptus*.

Em síntese, à excepção do visível, banda do espectro no qual os genótipos não se diferenciaram, a absorção de energia foi maior nas amendoeiras do que nos híbridos e menor nos pessegueiros que nos outros genótipos. Enquanto  $\tau$  mostrou-se principalmente relacionada com a espessura da folha,  $\rho$  parece depender também das características da epiderme. A relação entre esses coeficientes traduziu-se no infravermelho por valores diferentes de  $\rho/\tau$  nas amendoeiras relativamente aos outros genótipos.

Quanto à representatividade dos valores de absorção foliar medidos em laboratório relativamente às condições naturais, há que tomar em conta o facto de nas medições efectuadas a radiação incidir perpendicularmente à superfície da folha o que nem sempre acontece na natureza. Como os ângulos de incidência da radiação têm grande influência nos coeficientes de reflexão, estes variam ao longo do dia e, além disso, dependem da espécie, quer devido ao ângulo normal de inclinação das folhas com a vertical, quer a alterações desse ângulo em reacção à variação das condições ambientais (Sinclair e Thomas, 1970).

Além disso, na medida em que características como a idade das folhas, a sua estrutura interna, a presença de ceras e a quantidade e tipo de pigmentos dependem das condições de cultivo, os valores de  $\alpha$ ,  $\rho$  e  $\tau$  são apenas representativos das espécies nas condições dos ensaios.

As propriedades ópticas das folhas permitem compreender melhor as relações entre os genótipos relativamente à temperatura das folhas. A observação nalguns períodos de temperaturas foliares maiores nos híbridos que nos pessegueiros, no TR, não obstante a

condutância estomática ser superior nos híbridos, podem ser devidas, em parte, à maior absorção de radiação por estas plantas.

Da mesma forma, a observação de maiores valores de  $T_f$  nos híbridos que nos pessegueiros para um mesmo valor de  $g_s$ , devem estar relacionadas com a maior absorção dos híbridos. A variação da relação entre  $T_f - T_a$  e  $g_s$ , quando se comparam os dois genótipos no TR e no TD, pode ser devida a um aumento proporcionalmente mais importante do déficit hídrico nos híbridos e, em consequência, um incremento superior da reflectividade neste genótipo.

Neste ensaio observou-se uma relação directa entre  $g_s$  e a absorção de energia pelas folhas, devida principalmente à maior espessura foliar nas plantas com maior  $g_s$ . Esta associação permite às plantas das regiões áridas e quentes manter um balanço térmico aceitável, mesmo que para evitar os riscos de desidratação dos tecidos, provocada por uma excessiva transpiração, a planta tenha que diminuir de forma importante a respectiva área foliar.

### 3.7 - Discriminação isotópica em relação ao $^{13}\text{C}$

#### 3.7.1 - Aspectos gerais

A discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta$ ) tem sido proposta como um critério para a selecção de genótipos resistentes à seca em várias espécies (Loss e Siddique, 1994). A utilização de  $\Delta$  para esse fim baseia-se na teoria desenvolvida por Farquhar *et al.* (1982) que prediz, por um lado, a existência de uma relação positiva entre o valor de  $\Delta$  medido na matéria seca e a razão entre as concentrações interna e atmosférica de  $\text{CO}_2$  ( $c_i/c_a$ ), e por outro, uma relação negativa entre  $\Delta$  e a eficiência da transpiração, definida pela quantidade molar de  $\text{CO}_2$  fixado por mole de água transpirada. Esta teoria tem recebido suporte experimental em numerosas experiências (Condon *et al.*, 1990; Ehleringer *et al.*, 1991; Donovan e Ehleringer, 1994).

Vários estudos têm sido desenvolvidos com o objectivo de relacionar o comportamento das plantas em relação a  $\Delta$  e parâmetros como o crescimento, a produção de biomassa, o rendimento e a eficiência da transpiração, em condições de défice hídrico. Com efeito, devido à proporcionalidade entre  $\Delta$  e  $c_i$ , os valores mais altos de  $\Delta$  devem estar relacionados com taxas fotossintéticas mais altas desde que a dependência da assimilação do  $\text{CO}_2$  em relação a  $c_i$  não varie entre cultivares e tratamentos, enquanto os valores mais baixos de  $\Delta$  devem ser favoráveis à produção quando as plantas têm vantagem em desenvolver uma estratégia conservativa do uso da água.

Relações positivas têm sido estabelecidas em várias espécies anuais entre  $\Delta$  e o crescimento, a produção de biomassa e o rendimento (Condon *et al.*, 1987), enquanto noutras espécies se verificou correlação negativa entre  $\Delta$  e a produção de biomassa (Hubick *et al.*, 1986; Donovan e Ehleringer, 1994) ou, mesmo, ausência de correlações consistentes (White *et al.*, 1990; Matus *et al.*, 1995). Correlações negativas entre  $\Delta$  e a eficiência transpirativa ao nível da planta foram observadas em espécies arvenses (Hubick, 1990; Hall *et al.*, 1990).

A ocorrência de relações diferentes das esperadas de acordo com a teoria pode explicar-se por vários factores como diferenças morfológicas e fenológicas entre os genótipos (Matus *et al.*, 1995), profundidade de enraizamento (White *et al.*, 1990), vigor das plantas (Virgona *et al.*, 1990) e outros (Donovan e Ehleringer, 1994). A ausência de correlações podem ser devidas à falta de variabilidade entre os genótipos (Matus *et al.*, 1995).

Estudos sobre o determinismo genético de  $\Delta$  sugerem tratar-se de um sistema poligénico, com heritabilidade baixa a alta e em que não se observou interacção genótipo x ambiente (Donovan e Ehleringer, 1994; Matus *et al.*, 1995; Menendez e Hall, 1995).

Através da determinação de  $\Delta$  na matéria seca foliar e dos caules dos porta-enxertos pretendeu-se verificar a variação desse parâmetro com o déficit hídrico nos genótipos estudados no ensaio de plantas em vaso.

### 3.7.2 - Resultados e discussão

Os resultados relativos à discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  nas folhas e nos caules são apresentados na Tab. 3.31. Considerando que a composição isotópica do ar no local de experimentação foi a mesma nos 4 grupos de plantas do ensaio, os valores de  $\Delta$  foram calculados considerando que a composição isotópica do ar foi de  $-8\text{‰}$  (valor médio extraído de Griffiths, 1993).

Tab. 3.31 - Discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta$ ) em folhas e caules de pessegueiros GF 305 e híbridos GF 677 submetidos a dois tratamentos hídricos.

GRUPOS	FOLHAS	CAULES
PR	25,3	25,0
PD	23,8	24,4
HR	25,0	24,7
HD	24,2	24,6

Observa-se boa concordância entre os valores obtidos por duas vias diferentes, folhas e caules, e as diferenças de  $\Delta$  foram diferentes entre os grupos.

Em ambos os genótipos  $\Delta$  foi maior nas plantas bem regadas, estando a redução de  $\Delta$  no tratamento seco certamente relacionada com a diminuição da condutância estomática nos períodos de déficit hídrico.

No tratamento bem regado, a discriminação isotópica foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos, sugerindo que estes têm, nestas condições hídricas, maior eficiência na utilização da água tendo em consideração a maior condutância dos híbridos relativamente aos pessegueiros. No TD  $\Delta$  foi menor nos pessegueiros que nos híbridos.

Embora não seja possível comparar genótipos de espécies distintas relativamente a  $\Delta$ , as análises efectuadas mostraram a existência de variabilidade entre os grupos estudados em relação a essa característica. É, por isso, uma técnica com potencialidades para aplicação à selecção de porta-enxertos dos *Prunus*.

#### 4- INFLUÊNCIA DO PORTA-ENXERTO NAS CARACTERÍSTICAS DE UMA VARIEDADE DE AMENDOEIRA

##### 4.1- Aspectos gerais

A influência dos porta-enxertos GF 677 e GF 305 no comportamento de amendoeiras bem regadas (TR) e submetidas a déficit hídrico (TD) da variedade Ferragnès foi estudada em 1993 e 1994 em dois ensaios. As características observadas foram o crescimento e produção de biomassa, a microvariação do diâmetro do tronco, o potencial hídrico, a condutância estomática, a área específica da folha (SLA) e a discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$ .

Existem vários trabalhos publicados reportando a influência dos porta-enxertos no crescimento e produção de biomassa das variedades neles enxertadas (Marro e Cereghini, 1976; Tubbs, 1980; Barlow, 1980; Ranney *et al.*, 1991b). Na medida em que a sensibilidade do sistema radicular dos porta-enxertos em relação ao déficit hídrico é distinto, o controle que este exerce na parte aérea é variável.

Em geral, existe uma relação positiva entre o vigor do porta-enxerto e o vigor induzido na variedade neles enxertada, desde que não existam problemas de incompatibilidade, mas verificam-se exceções a esta regra (Jones, 1984; Ranney *et al.* 1991b).

O porta-enxerto altera numerosos processos fisiológicos das variedades como a data de abrolhamento e de floração (Okie, 1990; Wang *et al.*, 1994), a taxa fotossintética (Ferree e Barden, 1971; Titova e Shishkanu, 1977; Schechter *et al.*, 1991; Baugher *et al.*, 1994), as relações hídricas (Natali *et al.* 1985; Higgs e Jones, 1991; Sanders e Markhart, 1992), a condutância estomática e a SLA (Giulivo *et al.*, 1985; Higgs e Jones, 1990, Ranney *et al.*, 1991b), e o equilíbrio entre reguladores de crescimento (Stevens e Westwood, 1984). Na macieira, foi também observado que o porta-enxerto influencia a percentagem de tecidos exteriores ao câmbio das variedades neles enxertadas (Lockard, 1976), embora não afecte a condutividade hidráulica das variedades (Olien e Lakso, 1986).

O porta-enxerto pode ter grande influência na eficiência produtiva da variedade, determinando a proporção de fotoassimilados dirigidos para a produção de frutos e para os órgãos vegetativos aéreos da planta, comportamento associado na macieira à produção de folhas com distinta capacidade fotossintética (Schechter *et al.*, 1991) e à eficiência na interceptação da luz (Olien e Lakso, 1986; Baugher *et al.*, 1994). Os efeitos do porta-enxerto na qualidade dos frutos estão reportados em numerosos trabalhos, nomeadamente nas prunóideas (Westwood *et al.*, 1973).

O porta-enxerto pode ser também influenciado pela variedade, nomeadamente ao nível das características morfológicas, crescimento, condutividade hidráulica e níveis de reguladores de crescimento do sistema radicular (McKenzie, 1961; Glenn e Scorza, 1992; Giovannini *et al.*, 1994).

O estudo da influência dos porta-enxertos nas amendoeiras neles enxertadas procurou relacionar as características dos sistemas aéreos dos porta-enxertos e da variedade, assim como o efeito do déficit hídrico no comportamento das amendoeiras em relação com o porta-enxerto.

Com esta finalidade, fizeram-se observações nas amendoeiras cultivadas em vaso no túnel em 1993 e 1994 e, ocasionalmente, nas amendoeiras cultivadas no viveiro de l'Amarine na mesma combinação variedade x porta-enxerto.

#### **4.2. - Condições experimentais**

No ano de 1992, as amendoeiras eram constituídas por um eixo principal e ramos antecipados. Durante este ano, as amendoeiras foram bem regadas e fertilizadas a fim de favorecer o desenvolvimento das plantas e permitir a realização do ensaio em 1993.

No final de 1992 as amendoeiras foram podadas em vaso aberto constituído por 3 ou 4 eixos onde se desenvolveram os ramos principais em 1993.

O novo ensaio instalado em 1994, segundo o dispositivo experimental descrito no Cap. 2 (M&M) era constituído por 10 vasos com duas amendoeiras cada, uma enxertada sobre GF 677 (A/H) e outra sobre GF 305 (A/P). A partir do eixo principal, resultante do enxerto, formaram-se numerosos antecipados durante o ciclo vegetativo que, por sua vez, deram origem a ramificações de segunda ordem.

O ensaio de 1994 foi submetido a vários ciclos de déficit hídrico de Maio a Julho. Neste mês, todas as plantas foram bem regadas porque as amendoeiras que tinham sofrido *stress* hídrico apresentavam pequeno desenvolvimento, limitativo para a realização de algumas observações. Não obstante, as diferenças de porte entre as plantas TR e TD eram ainda importantes no mês de Agosto, e como as plantas de maiores dimensões podiam provocar ensombramento nas mais pequenas foi necessário alterar o esquema previamente definido para as modalidades de tratamento. A partir de 5 de Agosto cada grupo de 5 vasos submetidos até aí ao mesmo tratamento hídrico foram divididos em dois subgrupos: um correspondendo a 2 vasos bem regados (plantas testemunha) e o outro a 3 vasos em déficit hídrico.

Embora essas alterações não tenham afectado o número de repetições por tratamento hídrico (5 plantas por genótipo), aumentou a heterogeneidade entre os indivíduos sujeitos ao mesmo tratamento, a qual deve ser tomada em consideração na análise dos resultados. Assim, desde o princípio de Agosto, o ensaio de 1994 passou a consistir nos seguintes tratamentos hídricos:

**T1** - plantas sempre bem regadas

**T2** - plantas inicialmente bem regadas mas sujeitas a déficit hídrico a partir de Agosto

**T3** - plantas inicialmente sujeitas a déficit hídrico mas regadas a partir de Agosto

**T4** - plantas continuamente submetidas a déficit hídrico.

### 4.3 - Crescimento e produção de biomassa

#### 4.3.1 - Medições

As medições de comprimento dos ramos principais e antecipados foram feitas em 26 de Junho de 1992 e em 20 de Abril e 16 de Junho de 1993, e no ensaio de 1994 semanalmente no período de 23 de Março a 30 de Junho.

Os dados referentes à produção de biomassa foram apenas obtidos no ensaio de 1994 devido à interrupção antecipada do ensaio de 1993.

#### 4.3.2 - Crescimento dos ramos principais

Os dados relativos ao comprimento médio dos ramos principais das amendoeiras no ensaio de 1992/93 (Tab. 4.1) e os do ensaio instalado em 1994 (Figs 4.1 e 4.2) mostram que o comprimento médio dos ramos depois de Maio tende a ser maior nas enxertadas sobre híbrido (A/H) que nas enxertadas em pessegueiro (A/P) em ambos os tratamentos hídricos e nos dois ensaios.

Tab. 4.1 - Número, comprimento e diâmetro médios dos ramos principais das amendoeiras durante o ensaio de 1992/93 e desvio padrão.

GRUPOS	26 Jun. 92	20 Abr. 93		16 Jun. 93		
	Comp. ramos (cm)	N.º de ramos	Comp. (cm)	Diam. (mm)	N.º de ramos	Comp. (cm)
A/H	66,6					
A/P	58,4					
A/HR		10,5±2,1	25,7	1,9±0,1	10,2	104,3
A/HD		9,7±0,5	26,0	1,8±0,2	9,5	73,3
A/PR		9,2±1,0	28,4	1,8±0,1	9,0	93,7
A/PD		9,8±1,2	24,4	1,9±0,1	10,0	70,2

O défice hídrico provocou acentuada redução do comprimento médio dos eixos principais. Em 16 Jun. 93 (Tab. 4.1) o valor relativo às A/HD era inferior em cerca de 30% à das A/HR e nas A/PD era menor em 25% à das A/PR. Em 1994, o comprimento médio dos ramos principais foi igualmente afectado pelo défice hídrico no período de 14 de Maio a 2 de Junho. (Fig. 4.1) e no final do ciclo vegetativo (Fig. 4.2), principalmente nas A/P.

Em 1993 e 1994 o desenvolvimento inicial do enxerto foi, em geral, mais rápido nas A/H que nas A/P, mas as diferenças entre os grupos de amendoeiras rapidamente se esbateram.

#### 4.3.3 - Características das ramificações antecipadas

Em Junho de 1992 o número e o comprimento médio dos ramos antecipados era um pouco maior nas A/P que nas A/H (Tab. 4.2) e, em consequência, o comprimento total



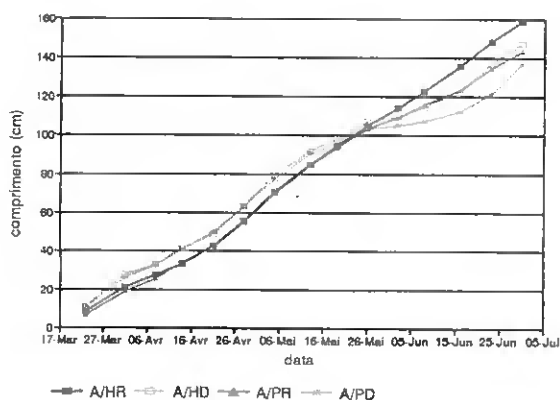


Fig. 4.1 - Evolução do comprimento médio dos ramos principais das amendoeiras no ensaio de 1994.

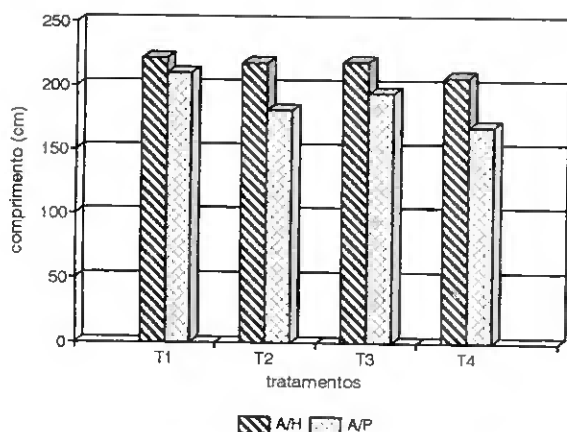


Fig. 4.2- Comprimento médio dos ramos principais no final do ciclo vegetativo de 1994 nos diferentes tratamentos hídricos (T1 - plantas sempre bem regadas; T2 - plantas inicialmente bem regadas e em déficit hídrico a partir de Agosto; T3 - plantas inicialmente sujeitas a déficit hídrico e regadas a partir de Agosto, T4 - plantas sempre em déficit hídrico)

destes ramos foi também superior nas A/P, embora as diferenças não tenham significado estatístico. Em Junho de 1993 as diferenças entre as A/P e A/H em ambos os tratamentos hídricos foram nítidas no que se refere ao número de ramos e o seu comprimento médio foi praticamente igual nas duas combinações variedade x porta-enxerto quando submetidas ao mesmo tratamento hídrico.

Tab. 4.2 - Número, comprimento médio e comprimento total dos ramos antecipados das amendoeiras durante o ensaio de 1992/93. Valores médios e desvios padrão de 12 plantas por grupo em 1992 e 6 plantas em 1993.

GRUPOS	26 Jun. 92			16 Jun. 93		
	N.º de ramos	Comp médio (cm)	Comp. total (cm)	N.º de ramos	Comp. médio (cm)	Comp. total (cm)
A/H	11±3	17±2	183±60			
A/P	12±3	18±2	218±71			
A/HR				50±15	18±2	888±310
A/HD				64±16	5±2	330±147
A/PR				92±20	18±2	1661±381
A/PD				87±22	6±2	546±121

O déficit hídrico provocou redução muito significativa do comprimento médio e total dos ramos antecipados, embora o número de ramos não tenha sido significativamente modificado. Nas A/HD o número de ramos antecipados era mesmo maior que nas A/HR, não obstante o menor comprimento dos ramos principais e, tanto nas A/H como nas A/P, o

número de ramos antecipados por unidade de comprimento dos ramos principais foi maior no TD que no TR.

No ensaio de 1994, o número de ramos antecipados no final do ciclo de crescimento era pouco maior nas A/P que nas A/H nas plantas bem regadas (T1) e menor nos restantes tratamentos (Fig. 4.3). Nestes, o número de antecipados expresso em relação ao comprimento dos ramos principais foi semelhante nas A/P e nas A/H e o comprimento médio dos ramos antecipados foi superior nas A/P em T1 e T2 e igual ou inferior ao das A/H em T3 e T4. Em consequência, o somatório dos comprimentos dos ramos antecipados foi menor nas A/H que nas A/P em T1 e superior nos outros tratamentos. O comprimento do conjunto dos ramos antecipados em relação ao dos principais foi superior nas A/P, com excepção das plantas sempre em défice hídrico (T4).

No ano de 1994, ocorreu uma ramificação de segunda ordem nos ramos antecipados. Essa ramificação foi mais representativa nas A/P do que nas A/H em T1 e T3, semelhante em T2 e inferior em T4 (Fig. 4.4).

#### 4.3.4 - Produção de biomassa das amendoeiras em função do porta-enxerto. Sua relação com o diâmetro e o comprimento dos ramos.

A produção de biomassa no final do ciclo vegetativo de 1994, estimada pelo peso total da matéria seca dos ramos, foi superior nas A/H do que nas A/P em todos os grupos considerados (Fig. 4.5).

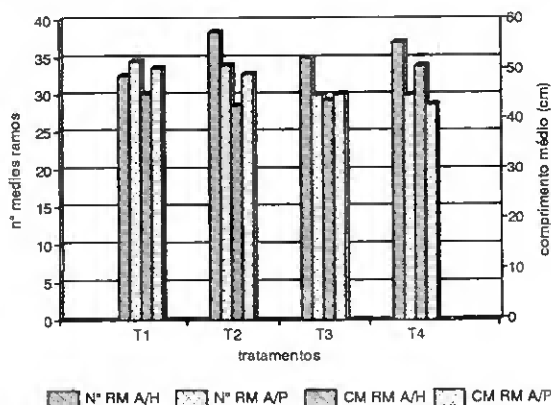


Fig. 4.3 - Número e comprimento médios dos ramos antecipados no final do ciclo vegetativo em 1994

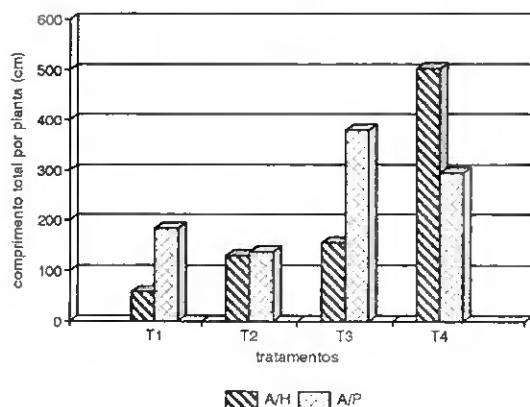


Fig. 4.4 - Comprimento total por planta dos ramos antecipados de 2ª ordem no final do ciclo vegetativo em 1994.

O déficit hídrico provocou uma redução da produção de matéria seca. Em geral, nos tratamentos submetidos a ciclos de *stress* até Agosto (T3 e T4) a diminuição de peso seco foi superior aos tratamentos regados até esse mês (T1 e T2), quer em relação ao peso total dos ramos como ao peso seco dos ramos principais ou dos ramos antecipados.

A relação entre o peso seco das plantas e o diâmetro dos caules foi influenciada pelo porta-enxerto (Fig. 4.6): por unidade de diâmetro, o peso seco total dos ramos foi maior nas A/H que nas A/P. O mesmo verifica-se considerando apenas os ramos principais. A relação entre o peso seco dos ramos por unidade de diâmetro e o peso seco por unidade de comprimento foi também superior nas A/H, o que indica que estas têm ramos mais grossos que as A/P. A razão entre o diâmetro médio dos ramos antecipados e o respectivo comprimento médio foi, de forma concordante, superior nas A/H, com excepção do grupo sempre em déficit hídrico (T4).

Relativamente ao ensaio estabelecido em l'Amarine analisou-se a influência do porta-enxerto no crescimento das amendoeiras através da relação entre o diâmetro do caule a 5 cm do colo da planta dos porta-enxertos GF 305 e GF 677 no momento da enxertia (16 Fev. 93) e o diâmetro das amendoeiras neles enxertadas no final do ciclo vegetativo de 1994. Essa relação não foi influenciada pelo porta-enxerto, havendo uma relação linear e positiva entre o diâmetro dos porta-enxertos antes da enxertia e o das amendoeiras. Estes resultados mostram o interesse de dispor de porta-enxertos vigorosos para o desenvolvimento rápido das jovens árvores.

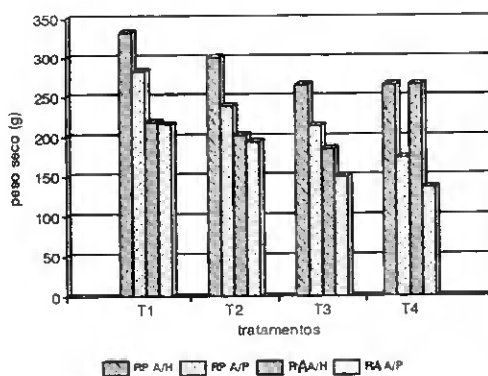


Fig. 4.5 - Peso total da matéria seca dos ramos nos diferentes tratamentos hídricos (RP - ramos principais; RA - ramos antecipados)

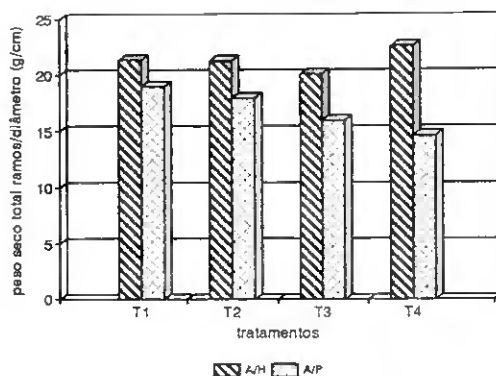


Fig. 4.6 - Relação entre o peso seco das plantas e o diâmetro dos caules no final do ciclo vegetativo de 1994 nos diferentes tratamentos hídricos

#### 4.4 - Potencial hídrico e condutância estomática

##### 4.4.1 - Ciclo experimental de 1993

No ano de 1993, as observações de  $\psi$  e de  $g_s$  nas amendoeiras enxertadas foram realizadas nos meses de Maio e Junho. O número de plantas amostradas em cada grupo foi, em geral, de 4 e o número de folhas por planta foi de 2 nas medições de  $\psi$  e variou de 2 a 4 nas medições de  $g_s$ . O estado hídrico das plantas foi, também, seguido ao longo do período experimental pela microvariação do diâmetro do caule.

##### a) Micromorfometria do diâmetro do caule

Os principais aspectos a salientar relativos à microvariação do diâmetro do caule (Fig. 4.7), são o número muito relevante de ciclos de déficit hídrico nas amendoeiras TD, em especial nos meses mais quentes devido ao efeito conjugado das condições climáticas e à área foliar atingida pelas plantas. Verifica-se que o déficit hídrico ocorreu simultaneamente em todas as amendoeiras, independentemente do porta-enxerto, e limita de maneira nítida o aumento de diâmetro relativamente às plantas bem regadas (TR). Aliás, a microvariação de diâmetro dos porta-enxertos não enxertados no mesmo período foi semelhante à das amendoeiras, razão pela qual as regas foram, em geral, feitas simultaneamente nas amendoeiras e nos porta-enxertos não enxertados.

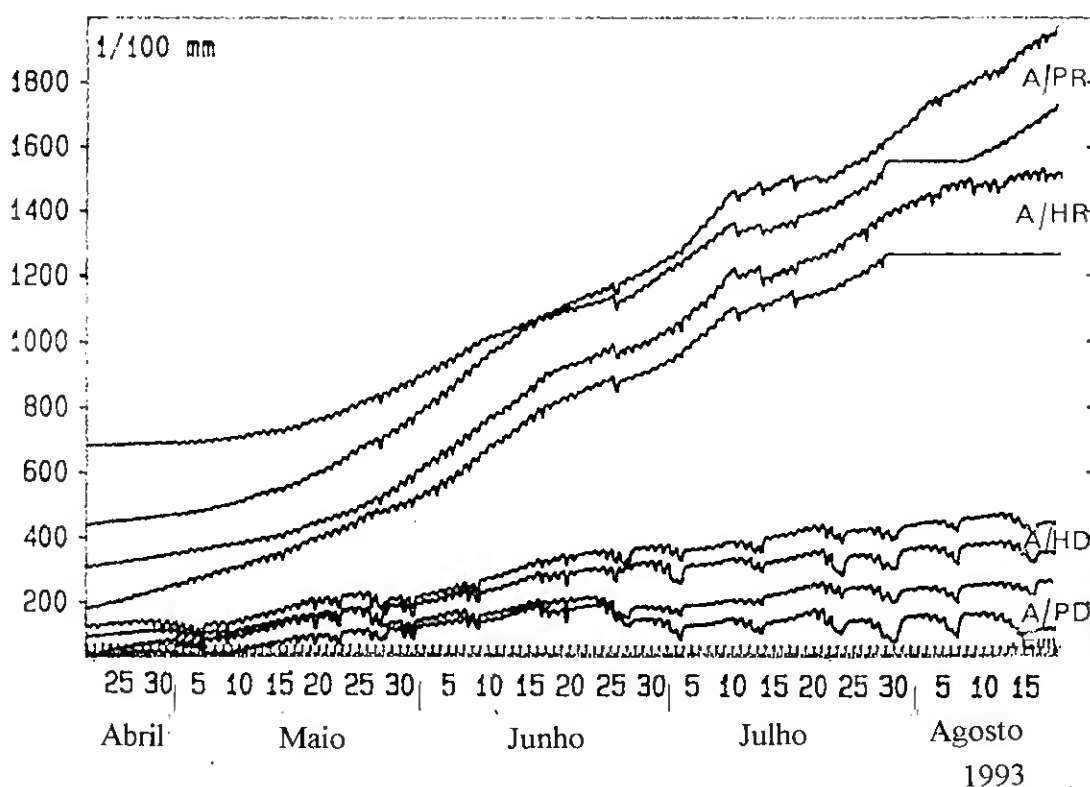


Fig. 4. 7 - Evolução da microvariação do diâmetro do caule nas amendoeiras enxertadas no híbrido GF 677 (A/HR e A/HD) e no pessegueiro GF 305 (A/PR e A/PD)

## b) Potencial hídrico

As observações de  $\psi$  realizadas em 1993 respeitam numerosos períodos de observação durante os meses de Maio e Junho. Em geral, as observações de  $\psi$  foram acompanhadas de medições de  $g_s$ , embora em alguns casos isso não tivesse sido possível.

A evolução do  $\psi$  ao longo do período diurno nos 4 grupos de amendoeiras nos dias 1, 9 e 18 de Junho apresentam-se na Fig. 4.8. Pode observar-se que  $\psi$  foi geralmente inferior nas A/H relativamente às A/P, quer no TR quer no TD, excepto, por vezes, nas primeiras e últimas observações do período diurno em que os valores foram semelhantes.

Independentemente do porta-enxerto, as amendoeiras submetidas a défice hídrico apresentaram potenciais hídricos muito inferiores às plantas regadas, como seria de esperar.

Outras medições de  $\psi$  confirmam as tendências acima referidas (Tab. 4.3). Em geral, as medições foram efectuadas sobre duas plantas por grupo, por vezes quatro.

Tab. 4.3 - Potenciais hídricos (MPa) das amendoeiras enxertadas em GF 677 (A/H) e em GF 305 (A/P), regadas (R) e não regadas (D) em 1993.

DIA	HORA (TU)	A/HR	A/PR	A/HD	A/PD
21/05	8	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2
22/05	8	-0,9	-1,1	-1,7	-1,6
23/05	8	-0,7	-0,8	-1,9	-1,8
29/05	5	-0,4	-0,4	-1,6	-2,1
31/05	5	-0,5	-0,5	-0,7	-0,8
08/06	5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,7
19/06	5	-0,3	-0,4	-1,3	-1,2
29/06	9	-0,5	-0,7	-0,6	-0,6
21/05	13	-1,3	-1,4	-1,6	-1,4
22/05	13	-1,4	-1,3	-1,8	-1,9
08/06	11	-1,3	-1,8	-2,1	-1,9
10/06	11	-1,0	-1,0	-1,1	-0,9
23/05	16	-0,9	-1,1	-2,0	-1,9
08/06	19	-0,5	-0,5	-1,5	-1,4

No tratamento bem regado verifica-se que nas medições efectuadas até às 9 horas, em 6 das 8 observações,  $\psi$  foi maior nas A/H do que nas A/P. Em relação às observações realizadas cerca do meio dia solar a variabilidade no comportamento das amendoeiras foi maior.

No TD não se registaram diferenças consistentes entre os dois grupos de amendoeiras nos valores de  $\psi$  nas primeiras horas da manhã, mas nos períodos seguintes  $\psi$  foi, em geral, inferior nas A/H relativamente às A/P.

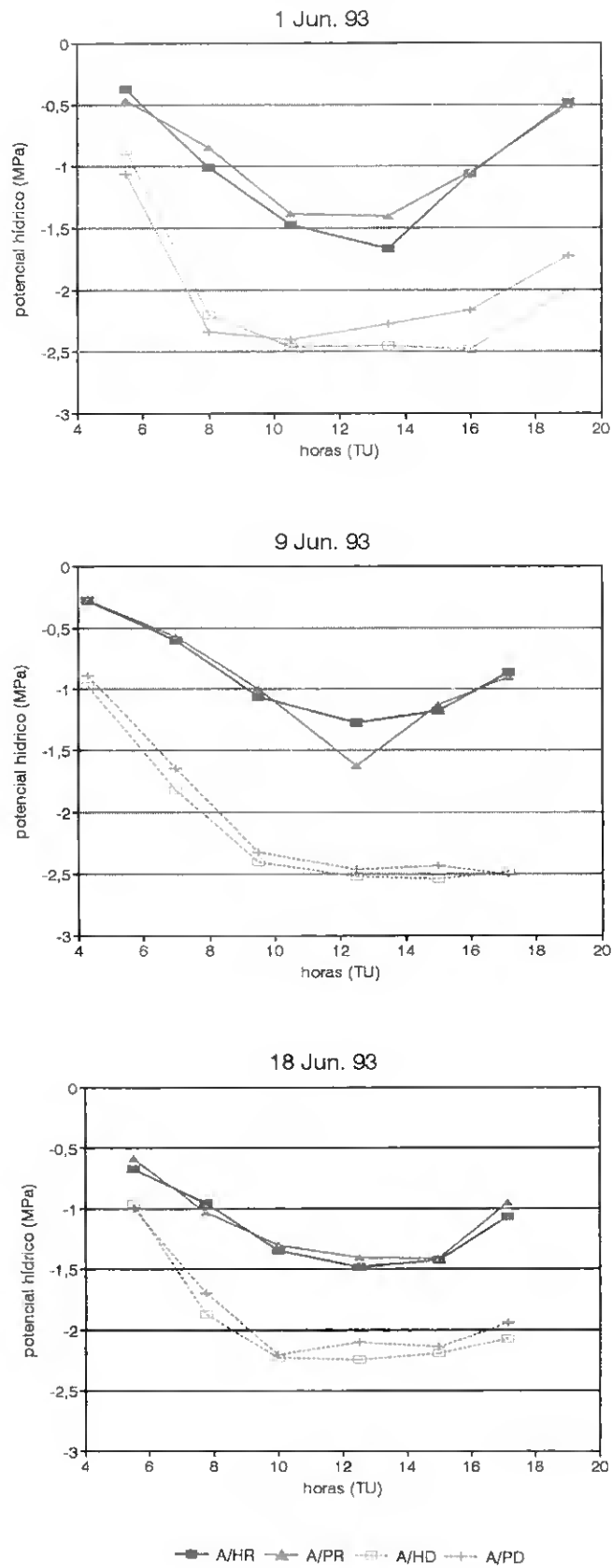


Fig. 4.8 - Evolução do potencial hídrico ao longo do período diurno nos 4 grupos de amendoeiras em 1993

Em conclusão, os resultados descritos sugerem que o porta-enxerto tem influência no potencial hídrico das amendoeiras neles enxertadas. Nas amendoeiras bem regadas os valores de  $\psi$  pouco diferem no início e no fim do período diurno com o porta-enxerto mas quando a transpiração aumenta as A/H têm valores de  $\psi$  mais negativos.

Nas amendoeiras em défice hídrico, sob o efeito conjugado da transpiração e do défice hídrico, as diferenças nos valores de  $\psi$  das A/H e das A/P tendem a ser mais acentuadas que nas plantas bem regadas.

### c) Condutância estomática

Quanto aos valores de  $g_s$  verificou-se, em geral, valores mais altos nas A/P que nas A/H, nomeadamente nas observações feitas durante os dias 1 e 9 de Junho e no dia 18 no período da manhã.

A média de  $g_s$  no conjunto dos períodos de medições foi de 0,66, 0,61, 0,32 e 0,30  $\text{cm s}^{-1}$  nas A/PR, A/HR, A/PD e A/HD, respectivamente, sendo as diferenças entre os grupos bem regados muito significativas estatisticamente e não significativas entre os grupos TD.

#### 4.4.2 - Ciclo experimental de 1994

As observações de 1994 referentes às plantas em vaso foram efectuadas nos dias 5, 8, 9, 10, 20 e 21 de Agosto e 6 de Setembro.

Durante este período experimental as amendoeiras T1 e T3 foram mantidas sempre bem regadas enquanto os grupos T2 e T4 estiveram submetidos a períodos de restrição hídrica com a mesma duração mas devido às diferenças de porte das plantas nestes dois grupos as condições hídricas não foram, em geral, semelhantes. Além disso, não sendo possível fazer medições de  $\psi$  e  $g_s$  em todas as plantas do ensaio nas horas mais quentes do dia, nomeadamente quando as plantas se encontravam em grande *stress*, por vezes optou-se por trabalhar apenas com 2 dos 4 grupos de plantas. Por isso, os resultados relativos a cada um dos dias de observações são apresentados individualmente.

Deve também referir-se que as características foliares durante o período em que decorreram as observações variaram de forma importante. No início do mês de Agosto não haviam diferenças morfológicas entre as folhas seleccionadas para as medições de  $\psi$  e  $g_s$  nos 4 grupos, pois todas tinham-se formado durante o mês de Junho, período no qual todas as plantas foram bem regadas e fertilizadas. No fim do período experimental, contudo, havia grandes diferenças entre as folhas das amendoeiras T1 e T3 (bem regadas) e das T2 e T4 (em défice hídrico), porque nestes últimos dois grupos o crescimento foliar foi muito reduzido durante o mês de Agosto.

As observações do dia 5 de Agosto foram efectuadas nas plantas dos tratamentos T1 e T3 (bem regadas) com o objectivo de verificar se os resultados obtidos nesses grupos

eram comparáveis entre si, pois como as plantas tinham estado submetidas a condições hídricas diferentes até Julho (as T1 bem regadas e as T3 em défice) a condutância estomática e as relações hídricas poderiam estar afectadas por esse facto.

Os valores médios de  $g_s$  e de  $\psi$  de T1 e T3 apresentam-se nas Figs 4.9 a e b, respectivamente.

Quanto aos valores de  $g_s$  verificou-se nas A/H valores mais altos no grupo T1 que no T3 embora as diferenças só tenham sido importantes no início e no fim do período diurno, enquanto nas A/P  $g_s$  foi menor em T1, excepto ao meio e ao fim do dia em que foi superior. Independentemente do porta-enxerto, as diferenças entre T1 e T3 foram máximas no fim do dia em consequência das plantas T1, de maior porte, estarem mais expostas à luz.

Nos valores de  $\psi$  houve diferenças, em geral, muito significativas entre T1 e T3. Nas A/H,  $\psi$  foi semelhante nos dois grupos na primeira observação da manhã e ao fim da tarde e superior no grupo T1 nas outras observações embora as diferenças relativamente a T3 só tenham sido importantes nas horas mais quentes. Nas A/P,  $\psi$  foi maior no grupo T1 que em T3 até às 12 h e aproximadamente igual nas observações seguintes.

O efeito do tratamento hídrico antes do período experimental nos valores de  $\psi$  foi diferente segundo o tipo de porta-enxerto. Em T1 (sempre bem regadas),  $\psi$  foi menor ou igual nas A/H que nas A/P e em T3 (em défice até Julho)  $\psi$  foi superior nas A/H ao meio do dia e semelhante ou inferior nos outros períodos. Os valores de  $g_s$  também foram diferentes entre os dois grupos.

A observação conjunta de  $g_s$  e de  $\psi$  mostra que os dois parâmetros estão estreitamente ligados nas amendoeiras enxertadas no mesmo porta-enxerto e submetidas ao mesmo tratamento hídrico.

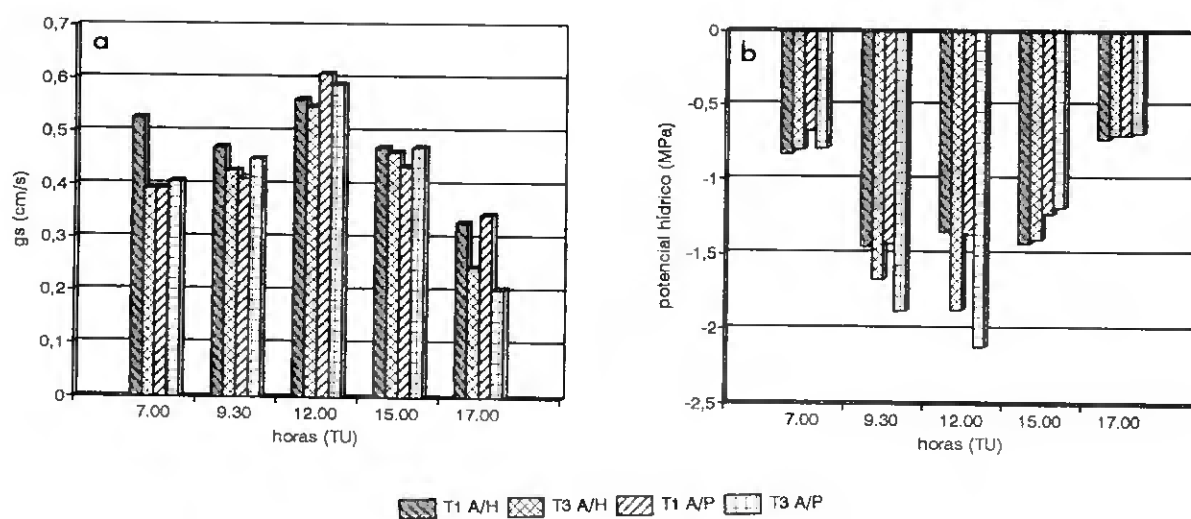


Fig. 4.9 - Valores médios da condutância estomática ( $g_s$ ) e do potencial hídrico em 5 Ago. 94 para os tratamentos hídricos T1 (bem regadas) e T3 (em stress até Julho e depois bem regadas)



No dia **8 de Agosto** fizeram-se observações em todos os grupos de plantas que constituíam o dispositivo experimental (T1, T2, T3, T4) (Fig. 4.10). Neste dia, os grupos T2 (défice hídrico a partir de Agosto) e T4 (sempre em déficit hídrico) estavam em *stress* moderado.

Os valores de  $g_s$  não foram muito diferentes entre os tratamentos e em relação a  $\psi$  as diferenças entre os tratamentos bem regados (T1 e T3) e em déficit hídrico (T2 e T4) foram nítidas. Os valores de  $\psi$  foram menores nos grupos em *stress*, em particular depois das 14 h, em ambos os tipos de porta-enxerto.

Nos tratamentos bem regados (T1 e T3), os valores de  $g_s$  e de  $\psi$  foram, em geral, semelhantes nas A/H, mas nas A/P observou-se, em geral, valores de  $g_s$  maiores em T3 que em T1 e de  $\psi$  mais baixos. De um modo geral, as variações de  $g_s$  e  $\psi$  estiveram estreitamente ligadas nos dois tratamentos em ambas as combinações variedade x porta-enxerto.

Nos tratamentos em déficit (T2 e T4) apenas se observaram diferenças entre eles ao fim da tarde com valores mais baixos de  $g_s$  e  $\psi$  em T2, como seria de esperar considerando o maior porte das amendoeiras neste grupo.

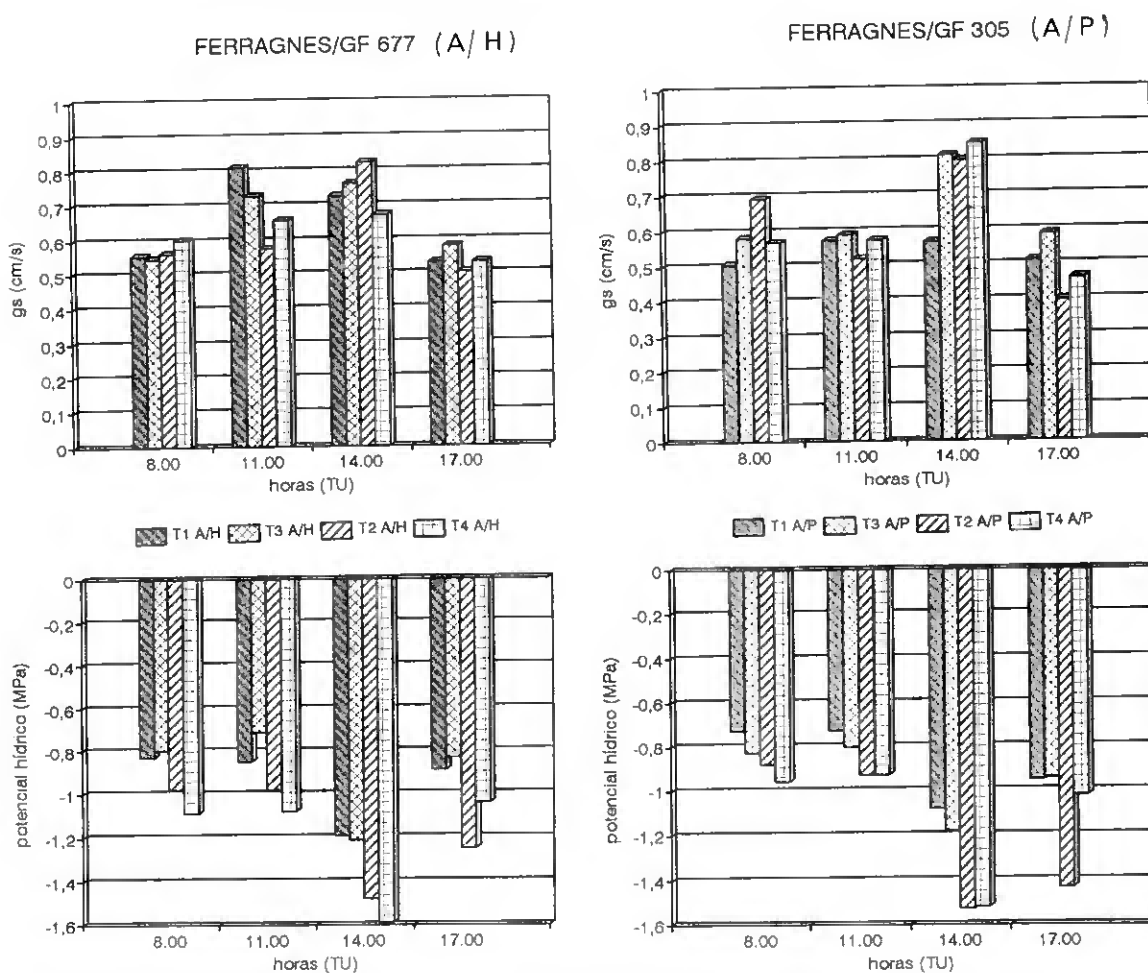


Fig. 4.10 - Valores médios da condutância estomática ( $g_s$ ) e do potencial hídrico em 8 Ago. 94 para os 4 tratamentos hídricos

A comparação das A/H relativamente às A/P mostrou que  $g_s$  foi, em geral, maior nas A/H durante a manhã e meio da tarde e menor depois, enquanto as variações de  $\psi$  foram no sentido inverso.

As observações de **9 de Agosto** foram feitas nos grupos T1 (sempre bem regadas) e T2 (défice hídrico a partir de Agosto). Neste dia o grau de déficit hídrico era muito severo nas plantas T2 caracterizado por grande redução de  $g_s$  e potenciais hídricos muito baixos (Fig. 4.11).

O comportamento das amendoeiras em função do porta-enxerto dependeu do tratamento hídrico:

- No grupo T1,  $g_s$  foi superior e  $\psi$  foi menor nas A/H que nas A/P às 9 e 11 h, e ambas as variáveis semelhantes nos dois conjuntos de amendoeiras às 14.30 h .
- Nas plantas em déficit (T2),  $g_s$  foi superior nas A/H às 9 h e muito semelhante nas A/H e nas A/P nas horas seguintes. A variação do  $\psi$  foi no sentido inverso.

No dia **20 de Agosto** as plantas estavam em déficit hídrico moderado e realizaram-se observações nos 4 tratamentos (T1, T2, T3 e T4). Os resultados obtidos apresentam semelhança com os de 8 de Agosto, embora como as condições meteorológicas do dia 20 se caracterizaram por temperaturas mais altas e maiores valores da insolação e do déficit de saturação do ar, o déficit hídrico tenha sido maior nas plantas em *stress* (T2 e T4).

No que se refere a  $\psi$  as diferenças foram muito importantes entre os tratamentos regados (T1 e T3) e os tratamentos em déficit (T2 e T4) em todos os períodos de medições. Também ocorreu redução de  $g_s$  devido ao déficit hídrico a qual foi maior em T2 que em T4.

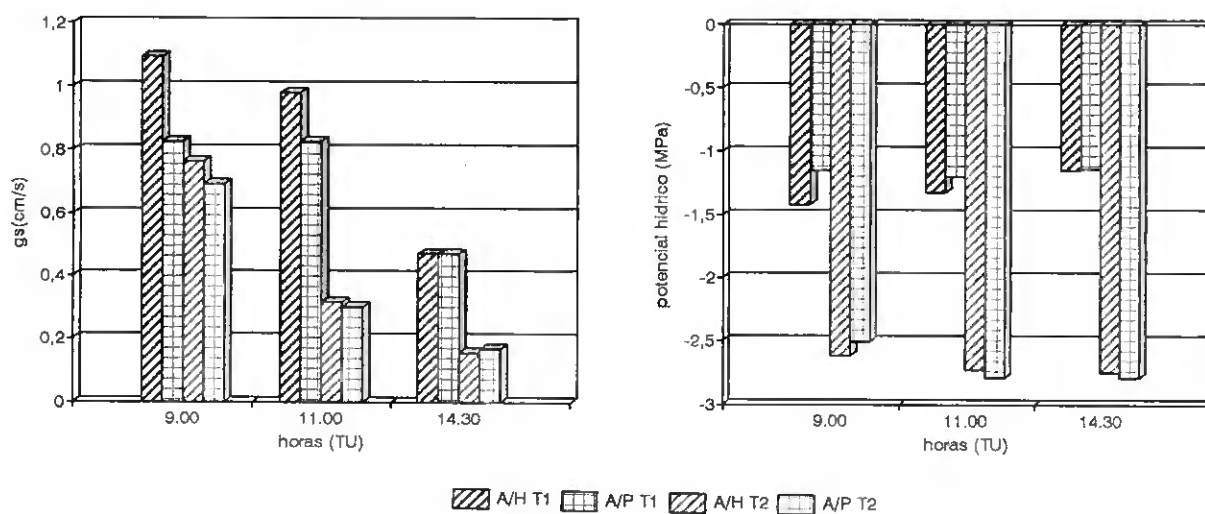


Fig. 4.11- Valores médios da condutância estomática ( $g_s$ ) e do potencial hídrico em 9 Ago. 94 para os tratamentos hídricos T1 e T2

Nos tratamentos regados (T1 e T3),  $g_s$  foi superior em T3 nas horas mais quentes do dia. Nesse período, os valores de  $\psi$  foram aproximadamente iguais nos dois tratamentos e um pouco superiores em T3 no fim do dia, tanto nas A/H como nas A/P. O comportamento diferente de T1 e T3 relativamente a  $g_s$  e  $\psi$  em algumas horas do dia pode ser explicado pelo maior porte das amendoeiras em T1 e pelas condições atmosféricas de forte evaporação.

Entre T2 e T4, observaram-se valores mais baixos de  $g_s$  e de  $\psi$  em T2 devido à maior área das plantas e conseqüente maior consumo de água.

Nas plantas regadas (T1 e T3) não se observaram diferenças de  $g_s$  relevantes nas amendoeiras em função do porta-enxerto. Nos grupos em déficit (T2 e T4), contudo, o comportamento das A/H e das A/P parece ser distinto, pois  $g_s$  foi um pouco maior nas A/H nas primeiras observações do dia e igual ou menor nas horas mais quentes. Os valores de  $\psi$  foram praticamente iguais em ambos os tipos de amendoeiras.

Nos dias **10 e 21 de Agosto**, após a rega das plantas em déficit hídrico, fizeram-se observações de  $g_s$  e de  $\psi$  a fim de comparar o comportamento pós-*stress* das A/H e A/P. Para este efeito analisou-se o comportamento das amendoeiras vaso a vaso, método que devido a variabilidade entre as plantas de cada tratamento foi o que melhor pôs em evidência a distinta capacidade de recuperação de cada combinação variedade x porta-enxerto.

Em ambos os dias os valores de  $\psi$  foram semelhantes nas amendoeiras regadas e nas que sofreram déficit hídrico e, em cada vaso, a recuperação de  $g_s$  foi mais rápida nas A/H que nas A/P aproximando-se os valores de  $g_s$  gradualmente ao longo do dia das amendoeiras bem regadas.

Como no dia 21 de Agosto as plantas recuperavam de um déficit menos severo que no dia 10, a recuperação completa foi mais rápida nesse dia e no meio da tarde tanto o comportamento das A/H como das A/P não diferia do das plantas bem regadas.

No dia **6 de Setembro** compararam-se os valores  $g_s$  e  $\psi$  nas plantas T1 e T2, todas bem regadas, com o objectivo de verificar se o comportamento era semelhante entre eles não obstante os regimes hídricos em T1 e T2 terem sido diferentes no mês de Agosto.

A condutância estomática foi menor em T1 que em T2 e  $\psi$  foi superior em T1 às 9.30 h e semelhante nos dois tratamentos às 13 h.

Neste dia,  $g_s$  foi menor nas A/H que nas A/P nos dois períodos de medições em T1 e, em T3, superior nas A/H às 9.30 h e semelhante nos dois grupos de amendoeiras às 13 h. Os valores de  $\psi$  foram, em geral, inferiores nas A/H, tanto em T1 como em T2.

#### 4.5 - Área específica da folha e teor de clorofila

A área específica da folha (SLA) foi determinada nas amendoeiras enxertadas em 26 Jun. 92, 19 Maio e 3 Ago. 93 e no ensaio instalado em 1994 no final do ciclo vegetativo (1 Set. 94). Nas plantas enxertadas em viveiro (l'Amarine) fez-se também uma determinação em 24 Jun. 94.

Em geral, as A/H apresentaram menor SLA que as A/P, variando os valores obtidos com as datas de amostragem, o que ilustra a grande sensibilidade deste parâmetro em relação às condições de cultivo e às características das plantas. Em 1993 verificou-se diminuição de SLA de Maio a Agosto e, também, valores menores de SLA nos grupos TR que nos grupos TD, independentemente do porta-enxerto. As diferenças entre as amendoeiras associadas ao porta-enxerto e ao tratamento hídrico foram significativas estatisticamente, excepto no final de 1994. Neste caso registou-se grande variabilidade entre as amostras colhidas, provavelmente em consequência da data tardia em que se fizeram as observações dado que as plantas apresentavam nesse período alguns problemas sanitários e eventualmente carências minerais.

Em relação ao teor de clorofila fez-se uma determinação no ensaio do túnel em 19 Maio 93 não se tendo registado diferenças significativas entre os grupos de amendoeiras. A variabilidade observada entre as amendoeiras de um mesmo grupo pode estar na origem desses resultados e dever-se à incompleta extracção da clorofila pelo solvente devido à grande espessura dos discos foliares. Noutra determinação feita numa amostra colhida em l'Amarine em 24 Jun. 94 o teor de clorofila, tanto expresso por unidade de área foliar como por unidade de peso seco, foi maior nas A/H que nas A/P não sendo significativas as diferenças na razão entre as clorofilas a e b.

#### 4.6 - Discriminação isotópica em relação ao $^{13}\text{C}$

Os resultados relativos à discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  nas amendoeiras, em função do porta-enxerto e do tratamento hídrico, apresentam-se na Tab. 4.4.

Tab. 4.4 - Discriminação isotópica ( $\Delta$ ) das A/H e das A/P sempre bem regadas (T1) e submetidas a défice hídrico (T2 a T4) no final do ciclo vegetativo. Médias de 2 a 3 plantas por tratamento e desvio padrão.

GRUPOS	TRATAMENTOS			
	T1	T2	T3	T4
A/GF 677	17,4±0,2	17,6±0,2	17,6±0,4	17,9±0,4
A/GF 305	18,1±0,4	18,3±0,5	19,0±0,8	18,7±0,1

O porta-enxerto tem efeito muito significativo nos valores de  $\Delta$  das amendoeiras neles enxertadas. Os valores foram maiores nas A/P que nas A/H em todos os tratamentos.

O défice hídrico esteve associado ao aumento dos valores de  $\Delta$  em ambas as combinações variedade x porta-enxerto.

#### 4.7 - Discussão e conclusões

Os porta-enxertos influenciaram o crescimento da variedade neles enxertada o que se reflectiu no comprimento dos ramos principais e antecipados e na produção de matéria seca, maiores nas A/H que nas A/P. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos de Beakbane e Rogers (1956) e de Tubbs (1980) na macieira que mostram o papel significativo do porta-enxerto no crescimento do sistema aéreo, além do efeito da variedade e da interacção entre a variedade e o porta-enxerto a qual é de pequena grandeza. Ainda na macieira, Hirst e Ferree (1995) verificaram que o porta-enxerto tem maior efeito no crescimento total que a variedade.

O efeito vigorizante do porta-enxerto GF 677 (H) relativamente ao GF 305 (P) é conhecido tanto nas variedades de amendoeira (Kester e Grasselly, 1987) como de pessegueiro (Bernhard, 1985), embora ambos os porta-enxertos sejam muito vigorosos quando comparados com outros porta-enxertos da amendoeira (Monastra e Strada, 1973) e do pessegueiro (Bernhard, 1985). Nos nossos ensaios, o maior crescimento característico dos híbridos relativamente aos pessegueiros traduziu-se no maior crescimento das variedades enxertadas nesse porta-enxerto.

Apesar de não se terem efectuado medições de área foliar, a área foliar das A/H deve ter sido maior que nas A/P submetidas ao mesmo tratamento hídrico devido à relação directa geralmente observada entre o comprimento dos ramos e a área foliar respectiva. Na macieira Barlow (1980) observou, ainda, que o porta-enxerto afectava a área foliar das variedades não só devido ao comprimento total dos ramos como também pelo facto dos ramos com maior comprimento terem folhas maiores que os ramos mais curtos.

O abrolhamento mais rápido dos gomos nas A/H em 1994 pode ter contribuído para o maior comprimento dos ramos principais desta combinação variedade x porta-enxerto. O efeito do porta-enxerto no desenvolvimento e crescimento dos gomos foi observado em pessegueiros enxertados em porta-enxertos francos (Durner e Goffreda, 1992), mas em variedades de amendoeira e de damasqueiro enxertados em GF 677 e em pessegueiro Tabuenca (1979) não encontrou diferenças na entrada em vegetação.

Entre as possíveis causas que permitem ao porta-enxerto controlar o crescimento da variedade podem estar envolvidos reguladores de crescimento (Jones, 1984; Soumelidou *et al.*, 1994), competição entre os sistemas aéreo e radicular no consumo de água e metabolitos (Beakbane e Rogers, 1956), diferenças induzidas pelo porta-enxerto na alimentação mineral da variedade (Castle e Krezdorn, 1975) e aspectos relacionados com a intercepção da luz. Boyer (1989) refere que o potencial hídrico pode mediar a interacção entre a raiz e o caule com reflexo directo sobre o crescimento, dado que um maior

gradiente de  $\psi$  na planta pode facilitar o movimento de água na planta e manter a turgescência necessária à expansão foliar durante mais tempo.

Neste ensaio, verificou-se uma relação directa entre as características de ramificação do sistema aéreo das amendoeiras enxertadas e as características do sistema aéreo do porta-enxerto, sendo a razão entre os ramos principais e os antecipados maior nas A/H que nas A/P em ambos os tratamentos. Pelo contrário, noutras fruteiras não foi observado efeito do porta-enxerto na ramificação da variedade (Renaud e Canelas, 1994; Hirst e Ferree, 1995).

A influência do porta-enxerto na ramificação da variedade nele enxertada pode explicar-se pelo balanço entre a produção de auxinas nos ápices vegetativos e a produção de outros reguladores de crescimento nas raízes, como as citoquininas, as quais podem suprimir a inibição do desenvolvimento dos meristemas axilares devida à concentração de auxinas (Rom, 1987).

O défice hídrico provocou redução do crescimento em ambas as combinações variedade x porta-enxerto, maior nos ramos antecipados que nos ramos principais. O número de ramificações antecipadas por unidade de eixo principal foi maior nas plantas submetidas a condições de *stress*. Este aspecto, observado anteriormente nos pessegueiros e nos híbridos não enxertados, foi particularmente evidente nas A/H sugerindo que o porta-enxerto influencia essa relação. A ocorrência de formas muito ramificadas nas espécies adaptadas a condições de *secura* parece ser comum na natureza (Killian e Lemmé, 1956), talvez porque uma ramificação mais densa melhore o balanço de energia das plantas em défice hídrico.

Ao contrário do que se observou no ensaio em vasos, nas plantas em viveiro (l'Amarine) não se observaram diferenças de diâmetro das amendoeiras segundo o tipo de porta-enxerto, provavelmente devido à maior heterogeneidade das plantas no viveiro em consequência de condições menos favoráveis para o seu desenvolvimento. Contudo, a situação que se observou no ensaio em vasos apresenta melhor concordância com o que tem sido observado no campo.

Quanto aos valores de  $\psi$  e  $g_s$ , em 1993 apenas é possível comparar as duas combinações variedade x porta-enxerto no tratamento bem regado porque, como não se controlou o  $\psi$  do solo, não sabemos se as amendoeiras enxertadas em GF 305 e as enxertadas em GF 677 estavam em condições hídricas comparáveis no tratamento seco. Pelo contrário, em 1994 os dois porta-enxertos estiveram submetidos exactamente às mesmas condições hídricas em cada tratamento. No entanto, este ensaio foi prejudicado pelo pequeno número de repetições por tratamento e a duração muito curta dos ciclos de défice hídrico, não obstante a grande capacidade dos contentores utilizados.

No ensaio de 1993, no  $TR, \psi$  e  $g_s$  foram, em geral, superiores nas A/P relativamente às A/H, e no TD os valores de  $\psi$  medidos nos períodos de *stress* foram também superiores, mas as diferenças de  $g_s$  entre os dois grupos de amendoeiras não foram significativas. No

ensaio de 1994,  $\psi$  foi frequentemente mais alto nas A/P que nas A/H, resultados semelhantes aos do ano anterior. As diferenças entre as A/P e as A/H quanto a  $g_s$  foram, em geral, pequenas e muito variáveis com o dia e o período de medições, e nestes períodos distintas nos vários tratamentos.

O potencial hídrico das plantas enxertadas apresenta relação com os valores de  $\psi$  medidos no sistema aéreo dos dois porta-enxertos e podem estar relacionados com muitos factores, como a menor condutividade hidráulica das raízes dos híbridos relativamente aos pessegueiros, ao maior consumo hídrico das A/H em consequência da maior área foliar, e a diferenças no potencial osmótico das amendoeiras induzidas pelo porta-enxerto.

No que respeita à condutividade hidráulica, vários autores têm observado uma relação directa entre esse parâmetro e o potencial hídrico das plantas, como em macieiras enxertadas em vários porta-enxertos (Olien e Lakso, 1986), em citrinos (Castle e Krezdorn, 1977) e em pessegueiros (Natali *et al.*, 1983, citado por Olien e Lakso, 1986), mas é pouco provável que os porta-enxertos híbridos tenham menor condutividade hidráulica que os pessegueiros. Com efeito, observa-se geralmente uma relação directa entre a condutividade hidráulica dos porta-enxertos e o vigor das fruteiras (Syrvertsen e Graham, 1985; Olien e Lakso, 1986; Higgs e Jones, 1990) e como o crescimento e produção de biomassa foram maiores nas A/H que nas A/P, é natural pensar-se que o porta-enxerto híbrido foi mais eficiente em fornecer à variedade água e nutrientes.

O maior consumo de água das A/H devido a maior área foliar é uma hipótese que se pode colocar na medida em que, em condições hídricas do solo definidas,  $\psi$  é função da taxa de evaporação da planta além, naturalmente, da sua condutividade hidráulica (Jones, 1985).

A ocorrência de diferenças de potencial osmótico foliar entre as A/H e as A/P poderiam explicar as diferenças de potencial hídrico observadas. Olien e Lakso (1986) numa variedade de macieira enxertada em vários porta-enxertos encontraram pequenas mas significativas diferenças nos potenciais osmótico e de turgescência relacionadas com o porta-enxerto.

No que se refere a  $g_s$ , os resultados de 1994 não invalidam as observações de 1993 porque neste ano as observações foram mais numerosas (cerca de 40 períodos de medições) e, portanto, mais representativas do comportamento estomático. Na verdade, as diferenças entre as A/H e as A/P foram pequenas e considerando a natureza altamente complexa da regulação estomática e o erro importante associado à determinação da condutância estomática quando esta tem valores muito altos, só medições repetidas podem demonstrar diferenças entre tratamentos.

Higgs e Jones (1990) observaram pequenas mas significativas diferenças de  $g_s$  em variedades de macieira relacionadas com o porta-enxerto, sendo os valores mais altos medidos nos porta-enxertos mais vigorosos, sendo de salientar que a influência do porta-

enxerto foi independente da variedade. Contudo, Olien e Lakso (1986) trabalhando com os mesmos porta-enxertos não encontraram diferenças em  $g_s$  e na transpiração da variedade neles enxertada, e Giulivo et al. (1985) estabeleceram relações entre os porta-enxertos distintas das referidas por Higgs e Jones, o que estes autores atribuem ao pequeno número de observações feitas nos outros trabalhos.

É interessante notar que a transpiração por unidade de área foliar, característica relacionada com  $g_s$ , em variedades de citrinos e de pessegueiros enxertadas em vários porta-enxertos (Gardner e Horanic, 1967; Natali et al., 1985; Bongi et al., 1994), foi menor nas plantas enxertadas nos porta-enxertos mais vigorosos em ambas as espécies o que, como sugerem Gardner e Horanic, pode ter origem em diferentes condições micrometeorológicas ao nível da planta em função do respectivos tamanho e área foliar. Este comportamento ilustra a dificuldade de estabelecer relações entre os porta-enxertos relativamente a variáveis muito sensíveis aos factores ambientais, como a abertura dos estomas.

A influência do porta-enxerto em  $g_s$  parece ser mediada pela produção de reguladores de crescimento pelas raízes, nomeadamente citoquininas e ácido abscísico (Rom, 1987). No que se refere às citoquininas, Stevens e Westwood (1984) verificaram que a sua concentração na seiva bruta de uma variedade de cerejeira era influenciado pelo porta-enxerto e Fusseder et al. (1992) concluíram que a evolução de  $g_s$  na amendoeira ao longo do dia pode estar associada à variação diária da concentração em citoquininas no fluxo xilémico.

As condições hídricas a que as plantas estiveram submetidas no período que antecedeu as medições de  $\psi$  e  $g_s$  no ensaio de 1994, devem ter influenciado a condutividade hidráulica das amendoeiras, como sugerem as diferenças de comportamento dos grupos T1 e T3, ambos bem regados durante o período de medições mas submetidos a diferentes regimes hídricos anteriormente. Por outro lado, as eventuais alterações da condutividade hidráulica induzidas pelo défice hídrico tiveram carácter temporário. Uma possível explicação para esse comportamento é a ocorrência de fenómenos de cavitação nas plantas submetidas a défice hídrico antes da experimentação, as quais são reversíveis, em certas condições, devido à formação de novo xilema (Sperry et al., 1993).

As relações encontradas entre as amendoeiras em função do porta-enxerto quanto à SLA estão de acordo com as observadas em macieiras enxertadas em porta-enxertos com distinto vigor (Olien e Lakso, 1986, Schechter et al., 1991). Ranney et al. (1991b) atribuem o melhor comportamento em condições de défice hídrico de uma determinada combinação variedade x porta-enxerto de cerejeira à sua maior eficiência na produção de biomassa, aspecto que esses autores relacionaram com a SLA.

Considerando que a discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta$ ) fornece uma indicação da concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $c_i$ ) ao longo de períodos mais ou menos longos (Farquhar et al., 1982), os maiores valores de  $\Delta$  nas A/P que nas A/H apoiam a hipótese



que  $g_s$  foi maior nas amendoeiras enxertadas em pessegueiro. Contudo, a maior condutância estomática destas plantas não se traduziu em maior crescimento e produção de biomassa, o que indica que a relação entre a taxa fotossintética e  $c_i$  também variou com o porta-enxerto. A maior eficiência fotossintética das A/H pode estar relacionada com os menores valores de SLA observados e também com o provável maior teor de clorofila (atendendo aos dados obtidos nas plantas em viveiro) ou outros factores, como melhor alimentação mineral (as A/H apresentavam maiores teores de Ca, Fe e Cu nas análises foliares feitas no final do ciclo vegetativo).

Os valores de  $\Delta$  indicam que a eficiência na utilização da água, entendida como a quantidade de carbono assimilada por unidade de água consumida, foi maior nas A/H que nas A/P. Bongí et al. (1994) observaram, de forma concordante, relação positiva entre a eficiência da utilização da água numa variedade de pessegueiro enxertada em vários porta-enxertos interespecíficos e o vigor, e Donovan e Ehleringer (1994) verificaram que plantas jovens de um arbusto lenhoso adaptado a condições de aridez apresentavam correlação negativa entre  $\Delta$  e a biomassa.

Em condições de défice hídrico, a amendoeira apresenta um comportamento particular na evolução de  $\Delta$  relativamente aos porta-enxertos GF 677 e GF 305 não enxertados, indicando diminuição da eficiência na utilização da água nas amendoeiras submetidas a *stress*, independentemente do porta-enxerto. No entanto, considerando o desenvolvimento vegetativo muito rápido das amendoeiras no início do ciclo vegetativo nas regiões mediterrânicas como forma de evitar a carência hídrica estival, os aspectos relativos à eficiência da utilização de água não devem ter grande importância como mecanismo de resistência destas plantas ao défice hídrico.

## 5 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DO SISTEMA RADICULAR DE JOVENS *PRUNUS*. RELAÇÕES COM O SISTEMA AÉREO

### 5.1 - Aspectos gerais

As características e o comportamento do sistema radicular é de grande importância para a análise da adaptação das plantas a condições de secura. São vários os parâmetros que apresentam interesse para o estudo deste problema, nomeadamente a profundidade atingida pelas raízes, o comprimento das raízes em relação com o seu diâmetro, a densidade radicular e o comprimento específico das raízes. A densidade radicular pode exprimir-se em relação à superfície do solo (comprimento das raízes por área superficial, expressa em  $\text{cm cm}^{-2}$ ) ou ao volume do solo ( $\text{cm cm}^{-3}$ ); e o comprimento específico da raiz define-se como a razão entre o comprimento da raiz e o seu peso seco.

Como se sabe, as raízes além da função de fixação das plantas ao solo, têm a capacidade de extrair água e nutrientes e de sintetizar reguladores de crescimento que são necessários para o desenvolvimento do sistema aéreo (Richards, 1983; Rom, 1987). Para a realização dessas funções, o comprimento total do sistema radicular e a superfície das raízes são de grande importância e apresentam geralmente melhor relação com o funcionamento do sistema radicular que a respectiva massa (Newman, 1966; Moltz, 1981). Para a compreensão dos processos de extracção da água e dos nutrientes, da competição entre plantas e dos modelos de exploração do solo pelas raízes é também de grande importância o conhecimento da sua densidade.

As raízes representam custos substanciais para a economia geral do carbono nas plantas, observando-se grandes variações entre as espécies no que respeita ao investimento da biomassa nas raízes e, em consequência, na extensão do sistema radicular (Eissenstat, 1991). Lambers (1987) verificou que 12 a 29% do carbono fixado fotossinteticamente foi utilizado na respiração das raízes, 5% nas perdas por exsudação e 7 a 10% na simbiose com as micorrizas.

O estudo do desenvolvimento do sistema radicular e da sua distribuição no solo é, assim, muito importante para a compreensão da dinâmica do uso da água e dos nutrientes pelas plantas e para a análise da repartição do carbono total em resposta aos estímulos ambientais e biológicos (McMichael *et al.*, 1992). Este desenvolvimento está estreitamente relacionado com factores genéticos, bióticos, pedológicos, meteorológicos e hídricos, assim como com a idade das plantas e as práticas culturais (Bewkes, 1984; Bevington e Castle, 1985; Layne e Tan, 1986; Brissette e Chambers, 1992). A investigação do crescimento das raízes implica a análise simultânea das inter-relações desses factores que definem as suas capacidades de acesso aos recursos do solo.

Por outro lado, a morfologia e a estrutura, ou seja, a arquitectura do sistema radicular são também modulados por múltiplos factores do solo: arejamento, temperatura, humidade, elementos nutritivos, obstáculos mecânicos à penetração das raízes e interacções entre as raízes de plantas adjacentes (Trocmé e Gras, 1964; Klepper, 1987).

Numerosos trabalhos sugerem que as raízes têm papel importante no comportamento do sistema aéreo, nomeadamente na regulação da condutância estomática, embora os mecanismos exactos dessa interacção não sejam bem conhecidos (Blackman e Davics, 1985).

As relações entre o desenvolvimento dos sistemas radicular e aéreo têm sido, muitas vezes, analisadas por considerações morfológicas relativamente grosseiras, embora sejam muito importantes porque a produtividade da parte aérea depende, entre outros factores, das características e do comportamento das raízes (Nobel *et al.*, 1993). Um meio convencional de descrever a distribuição do carbono nos sistemas radicular e aéreo é através do quociente entre a biomassa das raízes e da parte aérea (Kummerow, 1980). Pode também usar-se a relação inversa para ilustrar a coordenação entre os dois sistemas (Wareing, 1970; Richards, 1983), mas esta razão tem sido menos utilizada.

A razão entre as raízes e a parte aérea aumenta, em geral, nas plantas submetidas a condições de défice hídrico, aspecto referido nas espécies fruteiras por Syvertsen (1985), Steinberg *et al.* (1990) e Chartzoulakis *et al.* (1993) nomeadamente. Contudo, essa razão reflecte também outros factores do meio como a riqueza em nutrientes e apresenta notáveis flutuações estacionais, além de grande variabilidade genética (Wareing, 1970; Last *et al.*, 1983; Klepper, 1992). Embora a quantidade de biomassa das raízes seja geralmente maior nas plantas das regiões áridas que nas das regiões temperadas, outras espécies como as suculentas têm nessas condições quocientes muito baixos. Por estas razões, vários autores têm concluído que esse quociente não oferece indicação válida da adaptação das plantas à secura (Kummerow, 1980; Nobel *et al.*, 1993).

Em relação à capacidade de absorção do sistema radicular há necessidade de melhor conhecimento do fenómeno. Em numerosas situações são as resistências dentro do solo que limitam o transporte e absorção da água e dos nutrientes, a qual é, em parte, determinada pela configuração espacial do sistema radicular e da sua evolução temporal (Passioura, 1988; Pagés *et al.*, 1992). Para o estudo e compreensão deste aspecto tem-se recorrido à modelação que permite, a partir dos conhecimentos relativos à morfologia radicular, simular no decorrer do tempo a arquitectura tridimensional e obter a configuração espacial do sistema radicular. Assim, vários autores têm apresentado modelos para descrever as características do sistema radicular em determinadas condições culturais e do meio ambiente (Fitter e Stickland, 1992; Pagés *et al.*, 1992, 1995).

Nos ambientes áridos e semi-áridos, como sucede em regiões de clima do tipo mediterrânico, em que ocorrem durante o ano períodos prolongados de carência hídrica, as plantas naturais dessas áreas apresentam certo número de adaptações morfológicas, ecológicas e fisiológicas que permitem, de alguma forma, evitar ou tolerar os efeitos da secura como sejam, extenso sistema radicular superficial e em profundidade e uma razão quantitativa alta entre a parte radicular e a parte aérea, que ajudam a manter valores relativamente altos do potencial hídrico das folhas (Parsons, 1979). As características do desenvolvimento radicular dessas espécies permitem, em geral, penetração rápida das

raízes no solo de forma a garantir o acesso a reservas de água mais profundas e manter o sistema radicular funcional quando o déficit hídrico do solo aumenta (Killian e Lemée, 1956; Glenn e Welker, 1993).

Em relação aos métodos de estudo dos sistemas radiculares, verifica-se que as medições directas do comprimento das raízes revestem-se de muitos problemas, sobretudo em solos de textura pesada onde elas aderem fortemente às partículas do solo e, portanto, são de difícil separação, e à sua fragilidade, em especial no caso das raízes mais finas. Assim, é praticamente impossível de contabilizar todas as raízes, o que faz com que as medições, nas condições naturais, sejam subestimadas. Devido a essas dificuldades, tem-se utilizado métodos indirectos para estimar o seu comprimento.

Por outro lado, é difícil, ou mesmo impossível, seguir continuamente o crescimento do sistema radicular por observações sucessivas no mesmo local porque os métodos de observação são frequentemente destrutivos e os equipamentos de difícil utilização e dispendiosos. Por isso, o estudo dos sistemas radiculares, em condições naturais, tem sido dificultado por técnicas pouco adequadas e os resultados nem sempre são de confiança (Fitter e Strickland, 1992). De igual modo, no que se refere às estimativas de densidade radicular, a sua medição, além de difícil, é pouco rigorosa dependendo, no entanto, do método utilizado (Pallant *et al.*, 1993).

Na medida do possível, têm sido usados processos não destrutivos, como culturas em meios artificiais ou em dispositivos especiais, e a utilização de rizotróes, de minirizotróes e outras técnicas mais sofisticadas como o uso de neutrões e da ressonância magnética nuclear para observações *in situ*, embora estes dois últimos métodos sejam muito pouco utilizados por dificuldades de vária ordem. Apesar do interesse da utilização dos rizotróes e dos minirizotróes no estudo das raízes, são processos, em geral, dispendiosos e de difícil manuseamento e podem, em certos casos, alterar as condições ambientais nas quais as raízes se desenvolvem.

Devido às dificuldades encontradas no estudo dos sistemas radiculares no campo, têm-se utilizado técnicas simplificadas utilizando plantas jovens cultivadas em meios artificiais, naturalmente em ensaios de curta duração, complementados, por vezes, com observações no campo, estas abrangendo períodos mais longos que podem durar vários anos. Estes ensaios têm permitido diferenciar as características dos sistemas radiculares em diferentes espécies e genótipos (Hippes *et al.*, 1995).

O plano dos trabalhos apresentados neste capítulo abrange diversas modalidades de estudo dos sistemas radiculares dos porta-enxertos GF 305 e GF 677 e Garrigues numa fase juvenil, em estufa e no campo, incluindo avaliações destrutivas e não destrutivas.

A perspectiva seguida neste trabalho, embora centrada nas características dos sistemas radiculares, foi no sentido de considerar igualmente as relações entre o desenvolvimento dos sistemas radicular e aéreo, dada a sua importância no comportamento das plantas em condições de secura.

## 5.2 - Plantas cultivadas em recipientes de parede transparente

### 5.2.1 - Condições gerais de experimentação

Este ensaio teve como objectivo estudar o desenvolvimento radicular de jovens plantas de GF 305 e GF 677 em estufa. Os aspectos abordados foram o crescimento e a densidade radiculares e o equilíbrio entre o desenvolvimento aéreo e radicular.

As observações neste ensaio tiveram lugar entre 29 de Março e 22 de Abril de 1993, alguns dias depois da transplantação quando se verificou a retoma do crescimento vegetativo. O ensaio terminou quando as primeiras raízes de uma parte das plantas (híbridos) atingiram o fundo dos recipientes.

Durante a fase que precedeu o início das observações, todas as plantas foram bem regadas e fertilizadas. Depois, até ao fim do período experimental as plantas do tratamento seco (TD) não voltaram a ser regadas e as plantas do tratamento bem regado (TR) foram regadas em 12 e 19 de Abril. Os pessegueiros regados (PR) receberam, além disso, uma pequena dose de água em 8 de Maio. A quantidade de água fornecida nas outras datas foi igual em todas as plantas TR e foram tomadas as precauções devidas para evitar a perda de água pelo fundo dos recipientes.

### 5.2.2 - Observações realizadas durante o ensaio

#### a) Teor de água do substrato e perda de água pelas plantas

A evolução do estado hídrico do substrato durante o período experimental, avaliada através de pesagens periódicas dos recipientes, é apresentada na Fig. 5.1. Como se observa, o peso médio dos recipientes foi semelhante em todos os grupos de plantas até 12 de Abril, quando todas as plantas do TR foram regadas pela primeira vez. Depois dessa data e até ao fim do ensaio, observou-se nítida diferenciação entre os dois tratamentos, em ambos os genótipos, devido à diminuição progressiva do teor hídrico do substrato no TD,

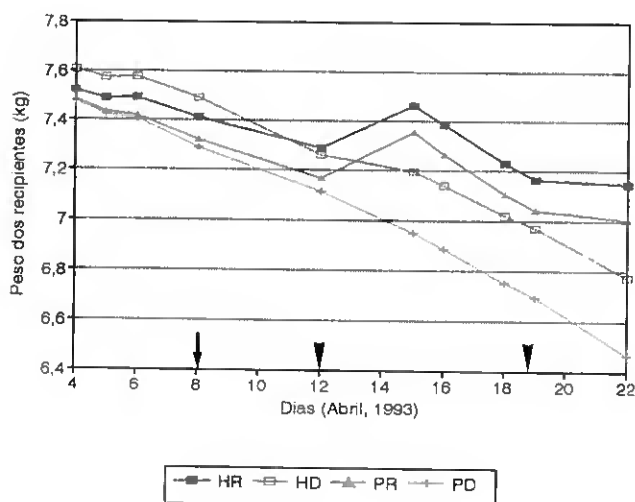


Fig. 5.1 - Perda média de água dos recipientes. Cada valor corresponde á média de 6 plantas (↓ - rega PR; ▼ regas PR e HR)

enquanto no TR a perda de água dos recipientes foi parcialmente repostada pelas regas efectuadas a 12 e 19 de Abril. O peso dos recipientes foi maior nos híbridos do que nos pessegueiros, independentemente do tratamento hídrico, comportamento provavelmente relacionado com a maior área foliar dos pessegueiros.

Com base nos dados da pesagem dos recipientes e no caso do TR das quantidades de água aplicadas por rega, foi possível calcular, para cada grupo, a perda de água média por planta no período entre a primeira e a última pesagem (4 a 22 de Abril). O consumo de água foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos em ambos os tratamentos: 1,3 kg nos HR, 1,6 kg nos PR, 0,8 kg nos HD e 1,0 kg nos PD.

### b) Condutância estomática

As medições de  $g_s$  foram feitas com o objectivo de apreciar a evolução do défice hídrico durante o período experimental, por ser uma técnica não destrutiva e aplicável em plantas jovens. Esta variável foi medida em repetidas ocasiões no período de 14 a 22 de Abril entre as 12 e as 13 horas TU. Na Tab. 5.1 apresentam-se os valores de  $g_s$  nesse período, maiores nos híbridos que nos pessegueiros em todas as observações à semelhança do que se verificou noutros ensaios deste trabalho. Em ambos os genótipos,  $g_s$  foi menor nas plantas TD do que nas plantas TR. As diferenças entre os dois genótipos e entre os dois tratamentos foram, em geral, mais importantes nos dias em que  $g_s$  foi mais alta.

Tab. 5.1 - Valores médios de condutância estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ), entre as 12 e as 13 horas TU de 14 a 22 de Abril de 1993. Média de 6 plantas por grupo.

DIA	GRUPOS			
	HR	HD	PR	PD
14	0,41	0,39	0,32	0,25
15	0,53	0,45	0,35	0,33
16	0,95	0,75	0,54	0,41
18	0,38	0,32	0,27	0,20
19	0,40	0,34	0,27	0,23
20	1,01	0,53	0,55	0,29
22	0,39	0,34	0,32	0,27
MEDIA	0,58	0,44	0,37	0,28

### c) Crescimento do sistema aéreo

O crescimento aéreo das plantas durante o período experimental foi avaliado pelo aumento do diâmetro na base do caule e pela evolução do comprimento dos ramos ao longo desse período.

As medições do diâmetro dos caules no momento da transplantação (11 de Março) e no início e final do período experimental (29 de Março e 22 de Abril, respectivamente) mostram que o diâmetro foi maior nos pessegueiros que nos híbridos (Tab. 5.2). Contudo,

expresso em relação ao diâmetro inicial, as diferenças entre os dois genótipos diminuiram um pouco durante o ensaio, em particular na sua fase final.

Apesar da importância do déficit hídrico durante a segunda parte do ensaio não se observaram diferenças de diâmetro entre os grupos TR e TD no fim da experiência em qualquer dos genótipos.

Tab. 5.2 - Diâmetro médio dos caules (mm) a 5 cm do colo. Média de 6 plantas por grupo e desvio padrão.

GRUPOS	DATAS (1993)			
	11 Mar.	29 Mar.	4 Abr.	22 Abr.
HR	2,50±0,18	2,71±0,17	2,94±0,18	3,85±0,20
HD	2,49±0,22	2,65±0,21	2,95±0,21	3,80±0,30
PR	3,07±0,24	3,37±0,25	3,70±0,33	4,44±0,28
PD	3,17±0,25	3,67±0,39	3,86±0,31	4,62±0,16

O crescimento dos ramos aumentou regularmente durante o ensaio (Fig. 5.2) e o comprimento total dos ramos por planta manteve-se sempre maior nos pessegueiros que nos híbridos. Os grupos TD tinham maior comprimento que os grupos TR excepto no final da experiência em que era semelhante.

As médias diárias do crescimento dos ramos mostram que no início do ensaio ele foi menor nos híbridos que nos pessegueiros, o que seria de esperar tendo em consideração o vigor relativo dos dois genótipos mas, nos períodos seguintes, o crescimento dos híbridos aproximou-se progressivamente dos pessegueiros e no final do ensaio era superior. Na primeira fase do período experimental o crescimento foi maior nos grupos TD que nos grupos TR em ambos os genótipos, eventualmente por as plantas TR terem sofrido regas muito abundantes no período que antecedeu o início das observações, mas depois as diferenças entre os dois grupos diminuiram devido ao déficit hídrico e no final do ensaio o crescimento era menor nos grupos TD.

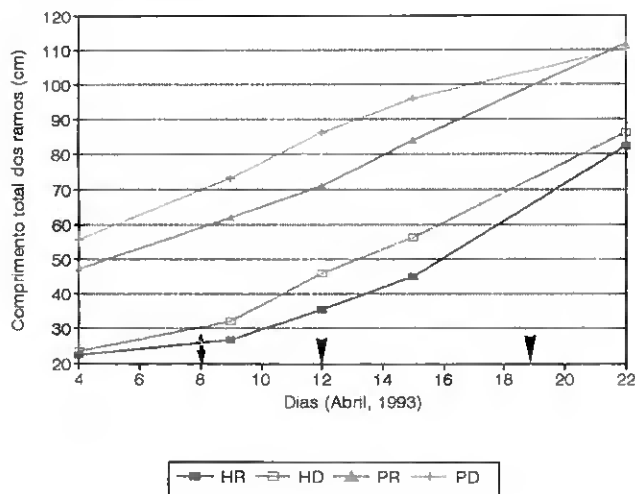


Fig. 5.2 -Comprimento total do conjunto dos ramos por planta. Média de 6 plantas por genótipo. ( ↓ - rega PR, ▼ - regas PR e HR)

#### d) Desenvolvimento do sistema radicular

O desenvolvimento das raízes observadas através da parede transparente dos recipientes, em cada data de observação, foi apreciado em relação à profundidade máxima atingida pelas raízes e pelo número de intersecções do sistema radicular com as linhas de uma folha quadriculada com 1 x 1 cm de malha. Enquanto o primeiro aspecto está relacionado com a velocidade de crescimento das raízes e, portanto, com a sua capacidade para explorar as camadas profundas do substrato, o segundo diz respeito à densidade das raízes por unidade de volume de solo.

Relativamente à profundidade máxima das raízes em cada data de observação (Fig. 5.3), verificou-se diferenças relativamente importantes entre os dois genótipos, em particular na fase final do ensaio. Neste período, a profundidade máxima das raízes nos 6 recipientes de cada grupo de plantas era, em média, maior nos híbridos que nos pessegueiros, em ambos os tratamentos hídricos, sendo as diferenças estatisticamente significativas.

Quanto ao tratamento hídrico, não se observaram diferenças na evolução das raízes em profundidade entre os dois grupos de pessegueiros, mas nos híbridos elas foram importantes entre as plantas TR e TD. Neste genótipo, a profundidade máxima das raízes foi maior no TR que no TD durante a maior parte do período analisado mas a partir de 12 de Abril o comprimento máximo das raízes dos HD aumentou mais rapidamente sendo no final do ensaio praticamente iguais nos dois grupos.

O comportamento das plantas em relação à profundidade máxima atingida pelas raízes nas diferentes datas foi, em geral, mais uniforme nos pessegueiros que nos híbridos, nomeadamente no TR.

Na Foto 17 apresenta-se o aspecto característico das raízes visíveis através da parede transparente dos recipientes no final do ensaio, para um pessegueiro e um híbrido regados; e na Fig. 5.4 estão representadas as raízes dos mesmos genótipos desenhadas na folha de acetato de celulose com a indicação das datas de observação. Em ambas as

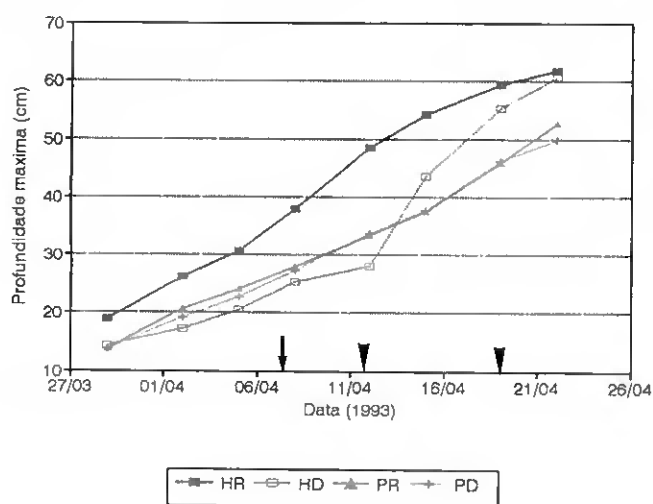


Fig. 5.3 - Profundidade máxima atingida pelas raízes nos recipientes. Média de 6 plantas por genótipo. ( ↓ - rega PR, ▼ - regas PR e HR)



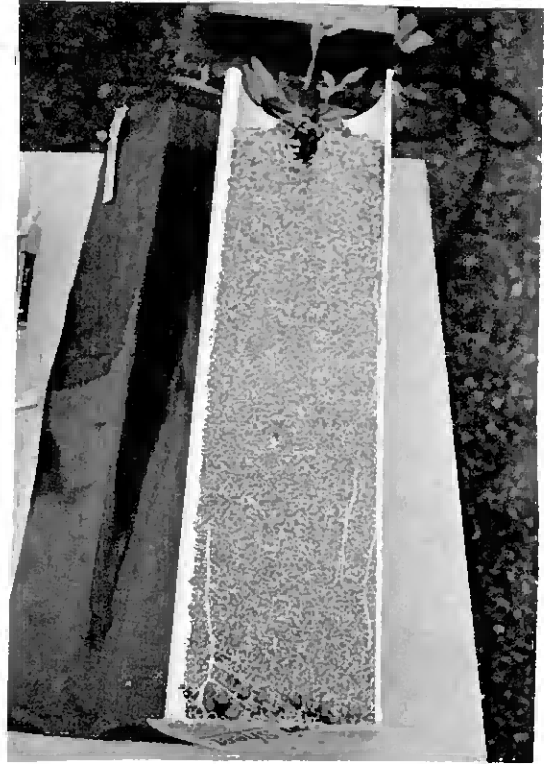


Foto 17 - Raízes de um pessegueiro (à esquerda) e de um híbrido (à direita) visíveis através da parede transparente dos recipientes

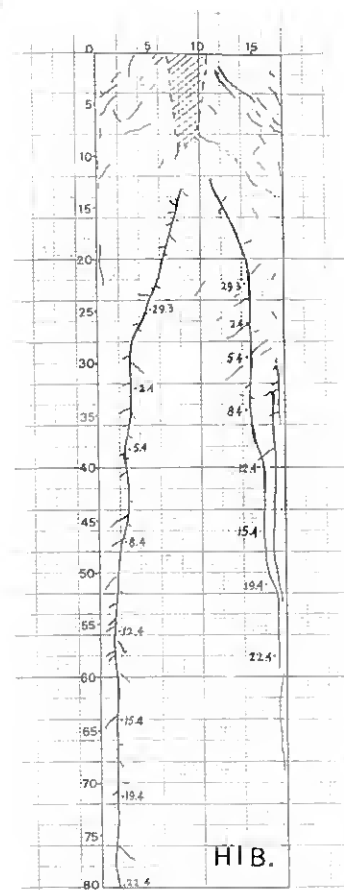
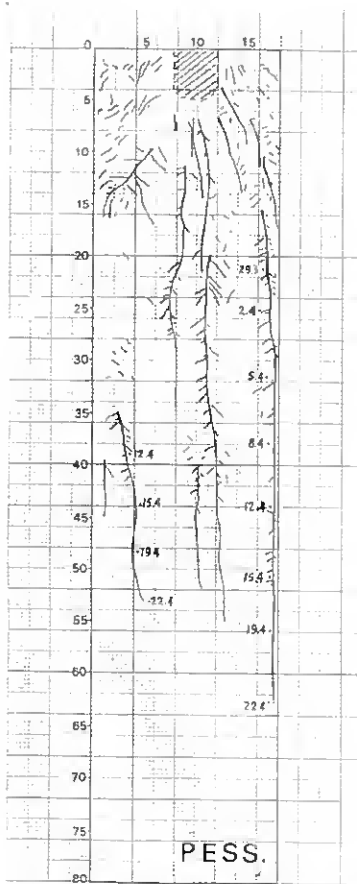


Fig. 5.4 - Raízes desenhadas na folha de acetato de celulose com a indicação das datas de máximo crescimento

representações verifica-se que o pessegueiro apresenta maior número de raízes que o híbrido, mas este tem raízes mais profundas, tendo ultrapassado uma delas o fundo do recipiente a cerca de 80 cm de profundidade. Nas plantas submetidas a défice hídrico o comportamento dos dois genótipos foi semelhante ao das plantas regadas.

A partir da observação das raízes visíveis na parede transparente dos recipientes, calculou-se a taxa média de crescimento dessas raízes entre datas de observação consecutivas. Os valores obtidos apresentam-se na Tab. 5.3.

Tab. 5.3 - Valores médios diários do crescimento total das raízes principais (cm) (1993)

GRUPOS	Dias (de 29 Mar. a 22 Abr.)							Média diária
	29 a 2	2 a 5	5 a 8	8 a 12	12 a 15	15 a 19	19 a 22	
HR	1,6	1,4	1,8	1,6	1,9	1,5	2,1	1,7
HD	1,1	0,7	1,5	1,3	1,8	1,5	1,9	1,4
PR	1,1	0,8	1,0	0,7	0,6	0,9	1,2	0,9
PD	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7

Verifica-se, como se esperava, que o crescimento médio das raízes foi maior nos híbridos que nos pessegueiros em ambos os tratamentos hídricos. No conjunto dos períodos de observação, a taxa média foi de 1,7 cm nos HR, 1,4 cm nos HD, e de 0,9 e 0,7 cm nos PR e PD, respectivamente. Assim, aparentemente, o défice hídrico afectou pouco o crescimento das raízes neste ensaio, talvez devido à sua curta duração.

As maiores taxas de crescimento nos híbridos que nos pessegueiros é um factor que pode contribuir para a sua melhor adaptação à secura, pois nos ambientes áridos a sobrevivência das plantas jovens depende da capacidade de crescimento rápido das raízes. Estes aspectos foram observados em numerosas espécies, herbáceas, arbustivas e lenhosas da região mediterrânea (Killian e Lemée, 1956).

Outra característica com interesse na comparação dos sistemas radiculares dos dois porta-enxertos é a densidade das raízes, geralmente representada pelo seu comprimento por unidade de volume de solo ( $\text{cm.cm}^{-3}$ ). O comprimento das raízes pode ser estimado pelo método proposto por Newman (1966) e melhorado por Tennant (1975) que apresenta, em relação à medição directa, a vantagem de maior rapidez de execução, sendo por isso frequentemente utilizado.

De acordo com Tennant (1975), o comprimento das raízes (R) pode obter-se pela aplicação da fórmula:

$$R = (11 \cdot N \cdot G) / 14$$

em que N é o número de intercepções das raízes em relação às linhas de uma superfície com quadrículas de lado G. Como para a estimativa do comprimento das raízes visíveis na parede transparente dos recipientes se utilizou uma superfície com uma malha de 1 cm de

lado, a expressão anterior reduz-se a  $R = 0,786 N \text{ cm}$ . A escolha das dimensões dessa malha foi feita de acordo com as observações de Tennant (1975) que verificou que esta unidade é aconselhada quando o comprimento total das raízes está compreendido entre 75 e 700 cm, como foi o caso dos valores medidos neste trabalho.

Para a aplicação deste método, as folhas de acetato em que estavam desenhadas as raízes visíveis na parede transparente dos recipientes foram sobrepostas a uma folha de papel milimétrico, com as mesmas dimensões, na qual se salientou previamente a quadrícula de 1 cm. Contou-se depois o número de intersecções das raízes, relativamente a cada data de observação, com as linhas verticais e horizontais definidas por essa malha.

As estimativas do comprimento das raízes marcadas sobre a folha de acetato não podem ser utilizadas directamente para calcular a densidade real das raízes por unidade de volume de substrato, pois as raízes observadas correspondem apenas a uma parte do sistema radicular. No entanto, elas permitem a comparação dos dois génotipos e do tratamento hídrico, considerando que o crescimento das raízes contra a parede transparente é representativo do crescimento das raízes no recipiente.

Na Tab. 5.4 apresentam-se os valores médios, por grupo, do comprimento do conjunto das raízes observadas nas paredes dos recipientes, nas 8 datas de observação, obtidos pela aplicação da fórmula de Tennant. Esses resultados mostram que os dois génotipos diferem acentuadamente quanto à densidade radicular. O comprimento do conjunto das raízes foi maior nos pessegueiros que nos híbridos (diferença muito significativa estatisticamente), tendo-se acentuado essa diferença entre os dois génotipos ao longo do tempo (interacção génotipo x data muito significativa). O comportamento observado é justificado pelo maior número e grau de ramificação das raízes dos pessegueiros, o que compensou o maior comprimento das raízes dos híbridos.

Tab. 5.4 - Comprimentos (cm) das raízes visíveis nas paredes dos recipientes. Valores médios por grupo.

GRUPOS	DATAS (1993)							
	29 Mar.	2 Abr.	5 Abr.	8 Abr.	12 Abr.	15 Abr.	19 Abr.	22 Abr.
HR	38	52	64	80	98	114	135	155
HD	40	51	55	60	66	80	100	127
PR	28	57	75	102	152	195	243	297
PD	42	70	89	116	179	230	310	364
PD/PR	1,5	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2
HD/HR	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8

Relativamente ao tratamento hídrico, o comprimento total das raízes foi, no caso dos híbridos, em geral, maior no TR que no TD, e no caso dos pessegueiros foi sempre superior no TD. As diferenças entre os dois tratamentos foram, em ambos os génotipos, estatisticamente significativas. É de notar que o comprimento das raízes no início das observações era semelhante nos dois grupos de híbridos e, no caso dos pessegueiros maior

nas plantas do TD que no TR. As diferenças entre os dois grupos de cada genótipo parecem estar relacionadas com as diferenças descritas relativamente ao sistema aéreo.

### 5.2.3 - Observações no fim do período experimental

Quando as raízes de algumas plantas (híbridos) atingiram o fundo dos recipientes, procedeu-se à análise do sistema aéreo e radicular das plantas com base em avaliações destrutivas.

No sistema aéreo, contou-se o número de folhas e determinou-se a área foliar e o peso seco dos caules e das folhas.

Depois dos recipientes abertos, libertaram-se as raízes cuidadosamente do substrato e anotou-se o número de raízes formadas junto ao colo (eixos principais). Procedeu-se também à medição do respectivo comprimento, excepto das raízes com menos de 10 cm, as quais formavam um cabelame muito denso e por isso apenas se anotou o número de raízes que foi possível contar. Este trabalho foi feito com a maior brevidade possível para evitar perdas significativas de matéria seca no sistema radicular em consequência dos processos de respiração. As raízes foram depois separadas das partículas do substrato ainda aderentes, lavadas em água, secas com papel absorvente, envolvidas em papel de alumínio e colocadas na estufa de secagem a 70 °C durante 72 horas para a determinação do peso seco.

Apesar de diferenças importantes entre os dois genótipos quanto ao grau de ramificação dos eixos principais, as raízes de segunda ordem, ou superior, não foram consideradas. Por este motivo, os valores relativos ao comprimento das raízes foram subestimados, principalmente no caso dos pessegueiros.

#### a) Sistema aéreo

No final do ensaio a área foliar ( $A_f$ ) era maior nos pessegueiros do que nos híbridos, independentemente do tratamento hídrico (Tab. 5.5). Este comportamento está de acordo com o vigor dos 2 genótipos no momento da transplantação e com as observações

Tab. 5.5 - Valores médios de algumas características das plantas observadas nos recipientes de parede transparente. Média de 6 plantas por grupo e desvio padrão.

GRUPOS	Área foliar ( $A_f$ ) cm <sup>2</sup>	Peso seco da parte aérea ( $P_{sa}$ ) g	$A_f/P_{sa}$ cm <sup>2</sup> /g	Compri. das raízes ( $Cr$ ) cm	Peso seco das raízes ( $P_{sr}$ ) g	$P_{sr}/P_{sa}$
HR	361±39	3,52±0,47	102,6	494±98	0,69±0,11	0,18
HD	352±53	3,45±0,67	102,0	437±105	0,75±0,27	0,21
PR	572±133	4,79±0,82	109,4	659±267	0,96±0,47	0,20
PD	524±103	4,81±0,25	108,9	634±142	0,85±0,26	0,18

relativas ao comprimento dos ramos nesta fase do ensaio. As diferenças entre os dois genótipos foram muito significativas estatisticamente. Tanto nos híbridos como nos pessegueiros,  $A_f$  foi maior nas plantas TR que nos grupos TD, embora as diferenças entre os dois tratamentos não tivessem significado estatístico.

De igual modo, o peso seco da parte aérea (Psa) foi superior nos pessegueiros relativamente aos híbridos. A relação entre a área foliar e o peso seco da parte aérea ( $A_f/Psa$ ) põe em evidência, à semelhança de outros ensaios, a diferente estrutura dos dois genótipos no que se refere à repartição da matéria seca nas folhas e nos ramos.

Em relação ao peso seco da parte aérea não se verificaram diferenças significativas no final do período de ensaio entre TR e TD.

## **b) Sistema radicular**

### **(i) Número e comprimento total das raízes**

O número médio de raízes por planta com menos de 10 cm de comprimento no final do período experimental foi de 36 nos híbridos e de 53 nos pessegueiros. Contudo, nesta classe de comprimento havia uma certa percentagem de raízes mortas.

Quanto às raízes com 10 ou mais centímetros de comprimento, o seu número foi, também, muito diferente nos dois genótipos, quer em relação ao número total, quer em relação à sua distribuição por classes de comprimento (Fig. 5.5 a). O número total de raízes foi maior nos pessegueiros que nos híbridos e quanto à sua distribuição por classes de comprimento esse número foi maior nos pessegueiros em todas as classes de comprimento inferior a 50 cm, mas um pouco menor, em geral, nas classes de comprimento superior. Em ambos os genótipos, o número de raízes diminuiu acentuadamente nas classes de maior comprimento.

A distribuição do número de raízes por classe de comprimento, expressa em percentagem do número total de raízes com 10 cm ou mais (Fig. 5.5 b) apresentou pequenas diferenças entre os dois genótipos na primeira classe (10 a 19 cm), foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos nas duas classes seguintes (20 a 39 cm), aproximadamente igual entre os 40 e os 49 cm e menor nos pessegueiros nas classes com mais de 50 cm. Aliás, nos pessegueiros não se observaram raízes de comprimento superior a 70 cm, enquanto nos híbridos o número de raízes nessa classe representou 8% do total. O número de raízes com menos de 40 cm foi predominante em relação ao número total, representando 88% nos pessegueiros e 71% nos híbridos, sendo particularmente numerosas as raízes com menos de 20 cm (40%, ou mais, do total).

Relativamente ao comprimento total de raízes com ou mais 10 cm, observou-se também diferenças entre os genótipos, quer considerando os valores totais em cada classe de comprimento, quer exprimindo o comprimento das raízes de cada classe em percentagem do comprimento do conjunto das raízes da planta. Numa ou noutra base, o

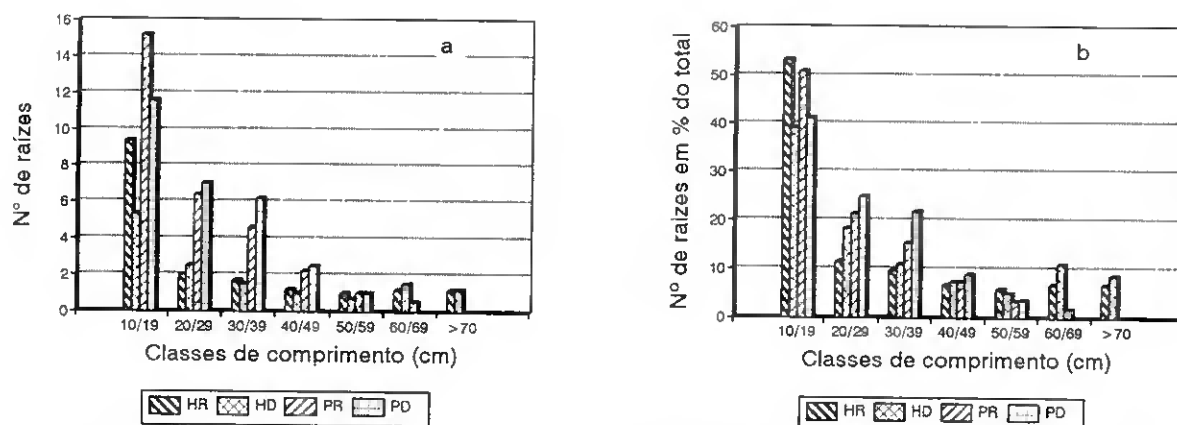


Fig. 5.5 - Número médio total de raízes com 10 ou mais cm de comprimento por planta (a) e número de raízes em percentagem do total (b) por classes de comprimento

comprimento total das raízes com menos de 50 cm foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos, mas esta situação inverteu-se quando se considerou as raízes de comprimento superior.

Quanto ao efeito do défice hídrico, as únicas diferenças entre TR e TD observaram-se nas raízes com comprimento entre 10 e 19 cm. Quer o seu número (Fig. 5.5 a), quer o respectivo comprimento total foram inferiores nos grupos TD.

Em consequência dos aspectos apresentados quanto ao número e ao comprimento das raízes, a soma do comprimento de todas as raízes por planta (ver Tab. 5.5) foi maior nos pessegueiros que nos híbridos, sendo as diferenças entre os dois genótipos estatisticamente significativas. Em relação ao tratamento hídrico, os grupos regados apresentaram um comprimento total superior ao dos grupos em défice hídrico.

Em conclusão, os resultados no final do ensaio relativos ao número e comprimento médio das raízes foram concordantes com os obtidos através da observação das raízes nas paredes transparentes dos recipientes. O comprimento total das raízes principais dos pessegueiros foi maior que o dos híbridos (diferenças muito significativas), não obstante o seu comprimento médio ser inferior ao deste genótipo, devido a maior número de raízes.

## (ii) - Peso seco das raízes

Como se observa na Tab. 5.5, o peso seco do sistema radicular foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos, como seria de esperar, tendo em consideração as diferenças no comprimento total das raízes. Além disso, o peso seco das raízes foi maior nos pessegueiros no tratamento regado e nos híbridos no tratamento seco, embora as diferenças entre os tratamentos não tenham significado estatístico.

## c) Relações entre os sistemas aéreo e radicular

As relações entre o peso seco do sistema radicular e do sistema aéreo (Psr/Psa) foram aproximadas nos 4 grupos de plantas, estando os valores médios compreendidos entre 0,18 e 0,21 (Tab. 5.5). Outras relações, como a razão entre a área foliar e o

comprimento total das raízes, não foram significativamente distintas entre os genótipos e entre os tratamentos hídricos.

#### 5.2.4 - Conclusões do ensaio

Este ensaio mostrou, não obstante a sua curta duração, a existência de diferenças importantes entre os híbridos e os pessegueiros em relação aos sistemas aéreo e radicular.

No que respeita à parte aérea das plantas, verificou-se que os pessegueiros tiveram maior desenvolvimento que os híbridos devido às diferenças de vigor entre os dois genótipos no início do ensaio, embora na fase final os híbridos tivessem desenvolvimento superior aos pessegueiros, o que está de acordo com o comportamento dos dois genótipos noutros ensaios de maior duração.

Os dados relativos ao consumo hídrico das plantas permitiram pôr em relevo, a influência conjunta da área foliar e de  $g_s$  na perda de água, tendo os híbridos apesar de maiores valores de  $g_s$  consumido menos água que os pessegueiros.

Quanto ao sistema radicular, deve considerar-se complementarmente os resultados obtidos ao longo do ensaio e os das observações destrutivas no final. A interpretação dos resultados é complexa pois intervêm simultaneamente factores ligados ao genótipo, ao tratamento hídrico, às condições de experimentação e à interacção entre o desenvolvimento aéreo e radicular.

As observações das raízes através da parede transparente dos recipientes permitiram mostrar diferenças importantes entre os dois genótipos, quer no número e comprimento máximo das raízes e na densidade radicular, quer na resposta desses genótipos ao défice hídrico. Este método permitiu, também, determinar a rapidez de crescimento das raízes.

Os híbridos apresentaram menor número de raízes que os pessegueiros, embora mais longas e de crescimento mais rápido, e menor densidade radicular. O défice hídrico contribuiu nos híbridos para maior desenvolvimento das raízes em profundidade, o que não se verificou nos pessegueiros. Em ambos os genótipos, a densidade radicular não foi afectada directamente pelo défice hídrico. Como se observou redução importante do crescimento aéreo, esse comportamento mostra que este é mais sensível ao défice hídrico que o crescimento das raízes.

As observações no final do ensaio foram concordantes com as realizadas ao longo da experiência. O défice hídrico esteve associado no final do ensaio a diminuição do comprimento total das raízes dos grupos TD relativamente aos grupos TR.

No caso particular dos híbridos verifica-se que a relação entre o peso seco das raízes e da parte aérea foi maior no TD que no TR, o que pode estar relacionado com diferenças no respectivo diâmetro. Com efeito, em experiências do mesmo tipo, vários trabalhos têm indicado que as raízes de maiores dimensões, com diâmetro superior a 2 mm, têm maiores taxas de alongamento (Eissenstat, 1991).

### 5.3 - Plantas cultivadas em tubos

As plantas cultivadas em tubos de PVC foram utilizadas essencialmente para avaliações destrutivas que tiveram lugar por duas vezes, em 25 de Abril e 4 de Maio de 1993. Este ensaio, que se iniciou em 11 de Março de 1993 com a transplantação das plantas para os tubos, realizou-se nas mesmas condições experimentais que o ensaio dos recipientes. Como se referiu na descrição desta experiência (Cap. 2, M&M), os dois génotipos, GF 677 e GF 305, foram submetidos aos mesmos tratamentos hídricos que as plantas nos recipientes. No entanto, atendendo ao pequeno volume dos tubos (cerca de 4 litros), o défice hídrico foi mais pronunciado, tendo sido necessário regar as plantas TD uma vez. As plantas TR foram regadas frequentemente.

No que se refere à análise dos dados deste ensaio, apesar das plantas terem sido cultivadas em blocos de forma a permitir o tratamento estatístico dos resultados, optou-se por apresentar apenas os valores médios por grupo devido ao comportamento homogéneo das plantas nos blocos.

Na Tab. 5.6 figuram os valores de  $g_s$  medidos durante o ensaio, entre as 13 e as 14 h TU, num número significativo de plantas por grupo. Esses dados reflectem as condições hídricas nos vários grupos de plantas no período analisado.

Tab. 5.6 - Condutância estomática ( $g_s$ ) em  $\text{cm s}^{-1}$  das plantas cultivadas em tubos de PVC. Valores médios por grupo.

DIAS (Abr. 93)	GRUPOS			
	HR	HD	PR	PD
8	0,30	0,30	0,29	0,22
9	0,30	0,26	0,37	0,33
13	0,36	0,30	0,37	0,31
14	0,31	0,32	0,30	0,26
15	0,50	0,43	0,41	0,25
18	0,42	0,17	0,36	0,21
19	0,42	0,35	0,40	0,31
20	0,75	0,43	0,65	0,31

#### a) Evolução do diâmetro

O diâmetro na base das plantas (médias de 24 plantas por genótipo), medido quando as plantas retomaram o crescimento após a transplantação (final de Março), foi semelhante ao das plantas cultivadas nos recipientes no mesmo período: 2,8 mm nos híbridos e 3,7 mm nos pessegueiros. Este comportamento foi normal atendendo a que as plantas tinham a mesma origem e estado submetidas às mesmas condições de cultivo até esse momento.



PD, respectivamente. Estes valores foram próximos dos diâmetros das plantas do ensaio nos recipientes no TR e superiores no TD, tanto nos híbridos como nos pessegueiros.

### **b) Características dos sistemas aéreo e radicular**

As observações efectuadas na parte aérea das plantas no final do ensaio foram relativas à SLA, à área média das folhas e ao peso da matéria seca. As determinações de SLA e de área foliar foram feitas em folhas jovens e completamente desenvolvidas. A SLA foi um pouco superior à das plantas cultivadas nos recipientes. Assim, os valores médios de SLA foram de 0,23 e de 0,16  $\text{cm}^2\text{mg}^{-1}$  para os pessegueiros e híbridos respectivamente. A área média das folhas foi de 16,0 e 17,7  $\text{cm}^2$  nesses genótipos.

Na Foto 18 ilustram-se as características do sistema aéreo e radicular de um pessegueiro e de um híbrido regados no final do ensaio. Como se pode observar, o pessegueiro tem um sistema aéreo mais desenvolvido e um sistema radicular mais denso que o híbrido. Contudo, as raízes dos híbridos, embora menos numerosas, atingiram maiores profundidades e apresentavam, em geral, maior diâmetro.

O peso seco das raízes foi obtido por secagem em estufa imediatamente depois de desembaraçadas do substrato e lavadas, ao contrário do procedimento mais moroso seguido no caso das plantas cultivadas nos recipientes. Por outro lado, as condições



Foto 18 - Sistemas aéreo e radicular de um pessegueiro (à esquerda) e de um híbrido (à direita) no fim do ensaio das plantas em tubos (TR)

ambientais de temperatura e humidade nas quais se trabalhou foram também mais favoráveis. Assim, os erros experimentais associados à determinação do peso seco das plantas cultivadas nos tubos foram menores que naquelas plantas.

Tanto os resultados de 25 de Abril como de 4 de Maio (Tab. 5.7) mostram que a quantidade de matéria seca, aérea e radicular, foi maior nos pessegueiros do que nos híbridos. Em ambos os genótipos, as plantas TR produziram maior quantidade de biomassa aérea do que as plantas TD, mas no que se refere à biomassa radicular, enquanto nos pessegueiros, à semelhança do sistema aéreo, o peso seco das raízes foi maior no TR que no TD, nos híbridos o peso seco das raízes foi maior no TD.

Tab. 5.7 - Valores médios e desvio padrão do peso seco das partes aérea e radicular (em gramas) das plantas cultivadas nos tubos.

GRUPO	DATAS	Peso seco raízes (Psr)	Peso seco parte aérea (Psa)	Psr/Psa
HR	25 Abr.	0,30±0,13	3,13±0,13	0,11±0,02
	4 Mai.	0,52±0,25	3,23±0,47	0,17±0,03
	Média	0,44±0,24	3,20±0,38	0,15±0,09
HD	25 Abr.	0,44±0,16	2,54±0,23	0,17±0,06
	4 Mai.	0,81±0,23	3,11±0,30	0,26±0,06
	Média	0,62±0,28	2,81±0,41	0,22±0,07
PR	25 Abr.	1,18±0,31	4,86±0,55	0,24±0,04
	4 Mai.	1,72±0,35	5,80±0,90	0,30±0,03
	Média	1,52±0,42	5,45±0,89	0,28±0,04
PD	25 Abr.	1,02±0,45	4,60±0,66	0,24±0,07
	4 Mai.	1,30±0,20	4,93±0,61	0,26±0,04
	Média	1,14±0,34	4,61±0,82	0,25±0,05

Entre as duas datas de amostragem, a biomassa aérea e radicular das plantas aumentou substancialmente, como seria de esperar devido ao crescimento muito intenso das plantas na fase final do ensaio. Observou-se, também, em todos os grupos de plantas, aumento da razão entre o peso seco das raízes (Psr) e o peso seco do sistema aéreo (Psa), a qual foi maior nos pessegueiros que nos híbridos. O défice hídrico contribuiu para o aumento dessa razão nos híbridos e redução nos pessegueiros.

### c) Conclusões do ensaio

Os resultados obtidos neste ensaio confirmam as diferenças observadas entre os dois genótipos no ensaio dos recipientes relativamente às características dos sistemas aéreo e radicular, apresentando os pessegueiros maiores crescimento aéreo e desenvolvimento radicular que os híbridos. Ao contrário daquele ensaio, a razão entre os pesos secos dos sistemas radicular e aéreo foi superior nos pessegueiros do que nos híbridos.

As condições de déficit hídrico mais intenso a que foram submetidas as plantas deste ensaio, aspecto posto em evidência pelos valores do diâmetro e do peso seco da parte aérea dos grupos regados e não regados, permitiram observar diferenças importantes entre os dois genótipos no seu comportamento face ao *stress*. Nos híbridos houve um aumento nítido de matéria seca investida na produção de raízes nas plantas TD relativamente à biomassa aérea, enquanto nos pessegueiros a quantidade de matéria seca investida nas raízes se manteve constante ou diminuiu.

## **5.4 - Observações de plantas em viveiro**

### **5.4.1 - Considerações gerais**

Este ensaio teve como principal objectivo alargar o estudo das características radiculares dos porta-enxertos nos ensaios feitos na estufa a plantas cultivadas no viveiro de l'Amarine durante o segundo ciclo vegetativo.

Como se referiu no Cap. 2 (M&M), nas plantas em viveiro o estudo das raízes foi efectuado por dois processos. O primeiro consistiu na escavação manual do sistema radicular de alguns indivíduos de cada porta-enxerto (GF 305, GF 677 e amendoeira Garrigues) e o segundo na observação das raízes desses porta-enxertos nos perfis do solo em duas valas paralelas à linha de plantação, aproximadamente a 85 e a 35 cm do tronco.

Enquanto no primeiro caso deu-se ênfase à descrição das características morfológicas do sistema radicular de cada um dos genótipos, no segundo procurou-se obter dados quantitativos relativamente à profundidade e à densidade radicular de cada porta-enxerto.

Apesar dos objectivos do estudo das plantas em viveiro estarem centrados nas características dos sistemas radiculares, devido à importância das relações entre eles e a parte aérea das plantas fizeram-se observações no sistema aéreo as quais foram apresentadas no Cap. 3.2.7.

### **5.4.2 - Escavação de raízes**

A escavação de raízes em algumas plantas de cada porta-enxerto, efectuada na primeira quinzena de Maio de 1994, permitiu pôr a descoberto a quase totalidade do seu sistema radicular (Foto 8 do Cap. 2). As plantas foram seleccionadas nas extremidades das linhas de plantação e, por isso, estavam parcialmente libertas da competição exercida pelas outras plantas da linha, pelo que o seu sistema radicular se apresentava bem desenvolvido.

No sistema aéreo, mediu-se a altura, o diâmetro basal das plantas e o comprimento dos ramos com o objectivo de comparar o desenvolvimento aéreo e radicular de cada planta. Quanto ao sistema radicular, contou-se o número de raízes principais e mediu-se o seu comprimento e diâmetro. Considerou-se, também, o número de raízes secundárias e o

respectivo comprimento quando superior a 5 cm. Finalmente, obteve-se o peso seco das raízes, folhas e caules de cada planta.

#### a) Sistema aéreo

Na Tab. 5.8 apresentam-se os dados relativos ao sistema aéreo das plantas estudadas: 2 amendoeiras, 2 híbridos e 1 pessegueiro.

Tab. 5.8 - Altura das plantas e diâmetro do caule a 5 cm do colo, comprimento do conjunto dos ramos, e peso seco das plantas escavadas em Maio de 1993.

PLANTA	ALTURA cm	DIAM. cm	COMP. RAMOS cm	PESO SECO (g)		
				CAULES	RAMOS	FOLHAS
Amend. n° 1	97	1,8	1375	107,5	51,5	71,1
Amend. n° 2	154	2,1	1930	154,3	64,4	97,8
Híbrido n°1	130	2,4	1660	150,1	57,7	99,8
Híbrido n°2	77	1,5	881	58,8	35,6	54,0
Pessegueiro	64	1,6	1306	29,3	28,2	41,3

No que se refere à altura das plantas e ao respectivo diâmetro a 5 cm do colo, as amendoeiras e os híbridos apresentaram valores superiores ao pessegueiro, à excepção do híbrido n° 2 cujo diâmetro era semelhante.

Em relação ao comprimento total dos ramos observaram-se diferenças entre as plantas em função do respectivo vigor e das características da espécie. Por exemplo, o comprimento dos ramos do pessegueiro foi superior ao do híbrido n° 2, não obstante a semelhança quanto aos respectivos diâmetros, e foi aproximado ao da amendoeira n°1, apesar desta ter maiores altura e diâmetro do tronco. A comparação entre o peso seco dos ramos e o respectivo comprimento total indica que os ramos do pessegueiro eram mais finos que os das outras plantas.

As características morfológicas dos dois sistemas, no caso de uma amendoeira e de um pessegueiro encontram-se ilustradas nas Fotos 19 e 20, respectivamente.

#### b) Sistema radicular

Os resultados relativos ao sistema radicular apresentam-se na Tab. 5.9. Relativamente ao número de raízes principais, verificou-se que as amendoeiras tinham mais raízes do que os híbridos e o pessegueiro, mas devido ao pequeno número de plantas estudadas e às diferentes características dos sistemas aéreos, a interpretação deste resultado deve ser feita com precaução.

O comprimento médio das raízes principais foi, em geral, um pouco maior nos híbridos que nas outras plantas. No entanto, quando se considera a distribuição das raízes por classes de comprimento (Tab. 5.10) verifica-se que esses valores médios correspondem a diferentes situações consoante o porta-enxerto, sendo de salientar o comprimento



Foto 19 - Amendoeira GARRIGUES



Foto 20 - Pessegueiro GF 305

Tab. 5.9 - Características do sistema radicular das plantas escavadas. Valores médios por planta e desvios padrão

PLANTA	RAIZES PRINCIPAIS					RAIZES SECUNDARIAS POR EIXO PRINCIPAL	
	Nº raízes principais	Comprimento médio (cm)	Diâmetro (mm)			Nº raízes	Compr. total raízes > 5cm
			no colo	a 15 cm do colo	média		
amend. nº1	16	80, 2±20.	6, 5±3, 7	4, 1±3, 1	5, 3±3, 3	19, 1±12, 3	115
amend. nº2	14	79, 9±37	7, 1±3, 0	4, 9±2, 6	6, 0±2, 8	29, 5±15, 5	118
hib. nº1	12	99, 4±29	7, 3±3, 9	4, 5±3, 3	5, 9±3, 5	74, 1±24, 1	205
hib. nº2	8	75, 3±30	6, 3±3, 3	3, 6±2, 6	5, 0±2, 9	75, 5±69.1	99
pesseg.	8	88, 6±22.	5, 5±1, 6	2, 8±0, 8	4, 1±1, 2	59, 6±26, 1	131

Tab. 5.10 - Distribuição das raízes principais por classes de comprimento nas plantas escavadas em viveiro (Maio de 1993)

PLANTA	CLASSES DE COMPRIMENTO (cm)				
	0-29	30-59	60-89	90-119	120-59
Amend. nº 1	0	3	7	6	0
Amend. nº 2	1	4	3	4	2
Híbrido nº1	0	1	3	4	4
Híbrido nº2	0	2	2	2	2
Pessegueiro	0	1	2	4	1

heterogéneo das raízes das amendoeiras e a maior proporção de raízes de comprimento superior a 1 metro nos híbridos relativamente aos outros genótipos.

O diâmetro médio das raízes principais (Tab. 5.9) foi maior nos híbridos e nas amendoeiras que no pessegueiro, facto que pode estar relacionado com o desenvolvimento

vegetativo das plantas. Contudo, quando se considera a distribuição das raízes por classes de diâmetro, relativamente às medições feitas junto ao colo, observam-se diferenças claras entre os porta-enxertos (Tab. 5.11) na medida em que tanto as amendoeiras como os híbridos apresentavam algumas raízes bastante grossas, com diâmetros de mais de 1 cm, enquanto no pessegueiro os diâmetros não excederam 0,8 cm. Nesta tabela, os valores relativos às amendoeiras e aos híbridos representam o total das duas plantas observadas.

Tab. 5.11 - Número de raízes principais por classe de diâmetro na região junto ao colo nas plantas escavadas (Maio de 1993).

ESPÉCIE	Nº PLANTAS	CLASSES DE DIÂMETRO (mm)				
		2-4	5-7	8-10	11-13	14-16
HÍBRIDOS	2	8	3	6	3	0
PESSEGUEIROS	1	2	5	1	0	0
AMENDOEIRAS	2	10	7	9	3	1

As diferenças no diâmetro das raízes dos três porta-enxertos são, em princípio, mais representativas quando se considera a média das duas medições efectuadas em cada raiz (junto ao colo e 15 cm acima), devido à morfologia distinta das raízes nestas espécies. Os limites de variação dessas médias foram de 1,5 a 14 mm nas amendoeiras, 1,3 a 13,2 mm nos híbridos e 2,2 a 5,6 mm no pessegueiro.

O número médio de raízes secundárias por eixo principal (Tab. 5.9) foi menor nas amendoeiras do que nos híbridos e no pessegueiro. O grau de ramificação das raízes principais e o comprimento médio das raízes secundárias foi muito variável em todos os porta-enxertos e maior e mais homogêneo nas raízes muito desenvolvidas e de posição aproximadamente vertical. Nas amendoeiras e nos híbridos encontraram-se vários casos de raízes que se bifurcavam ou trifurcavam. O comprimento total das raízes secundárias com mais de 5 cm por raiz principal foi semelhante nos vários porta-enxertos.

### c) Relações entre os sistemas aéreo e radicular

Na Tab. 5.12 apresentam-se razões entre os pesos secos de algumas variáveis que utilizamos para a descrição dos sistemas aéreo e radicular. Contudo, devido ao pequeno número de plantas e à variabilidade dessas relações entre os indivíduos, esses resultados são apenas indicativos do comportamento das plantas.

Quanto à razão entre o comprimento dos ramos (Crm) e o comprimento das raízes principais (Crp) observou-se maior valor desse quociente no pessegueiro que nos outros genótipos, e a relação entre o peso seco das raízes (Psr) e o comprimento das raízes principais (Crp) foi maior nas amendoeiras que nas outras plantas e pouco distinto entre os híbridos e o pessegueiro.

As relações entre o peso seco das raízes (Psr) e os pesos secos do sistema aéreo (Psa) e das folhas (Psf) foram maiores nas amendoeiras do que nos outros genótipos.

Tab. 5.12 -Relações entre o sistema radicular e o sistema aéreo das plantas escavadas. (Pesos secos em gramas e comprimento em centímetros)

PLANTA	Psr (g)	$\frac{Crp}{Crp}$	$\frac{Psr}{Crp}$	$\frac{Psr}{Psa}$	$\frac{Psr}{Psf}$	$\frac{Psr}{Crp}$
Amend. n.º 1	107	1,1	0,08	0,61	1,50	0,08
Amend. n.º 2	84	1,68	0,07	0,37	0,85	0,04
Híbrido n.º 1	66	1,39	0,06	0,31	0,66	0,04
Híbrido n.º 2	27	0,97	0,03	0,22	0,50	0,02
Pessegueiro	23	1,84	0,03	0,23	0,55	0,02

(Psr - peso seco das raízes; Crm - comprimento dos ramos; Crp - comprimento das raízes principais; Psa - peso seco do sistema aéreo; Psf - peso seco das folhas)

A observação visual dos sistemas radiculares no terreno mostrou diferenças entre os porta-enxertos em relação à morfologia e à distribuição das raízes no solo, cuja descrição se apresenta seguidamente:

- O pessegueiro apresentou em relação às outras plantas um sistema radicular mais ramificado e raízes principais com disposição mais plagiotrópica no solo e, por isso, as raízes apesar de compridas atingiam profundidade menor.
- Nas amendoeiras o sistema radicular era menos ramificado e as raízes muito compridas e profundas e, por vezes, observou-se formação de ramificações secundárias, muito vigorosas.
- O sistema radicular dos híbridos apresentou características intermédias relativamente aos outros dois porta-enxertos quanto à profundidade atingida e grau de plagiotropismo. Tal como nas amendoeiras, as raízes secundárias atingiram, por vezes, um desenvolvimento semelhante ao eixo principal.

#### d) Conclusões

A escavação dos sistemas radiculares de algumas plantas permitiu pôr em relevo diferenças importantes entre as amendoeiras e o pessegueiro, enquanto os híbridos apresentavam características nalguns casos semelhantes às amendoeiras, noutros próximas do pessegueiro.

As amendoeiras apresentaram relativamente ao pessegueiro maior heterogeneidade no comprimento das raízes, maior diâmetro das raízes junto ao colo, menor número de raízes secundárias por unidade de comprimento de eixo principal e maiores quocientes entre o peso seco das raízes e o respectivo comprimento e o peso seco do sistema aéreo. A disposição das raízes no solo mostrou claramente tendência para maior desenvolvimento em profundidade.

Os resultados obtidos apontam para uma similitude na estrutura dos sistemas aéreos e radiculares dos porta-enxertos estudados. Este aspecto é compreensível atendendo às relações filogenéticas estreitas que existem entre os diferentes órgãos que constituem os

vegetais superiores, apesar da diferenciação morfológica que os caracteriza (Atger e Edelin, 1993).

### 5.4.3 - Observações das raízes em perfis do solo

#### 5.4.3.1 - Considerações gerais

A abertura das valas paralelamente à linha de plantação permitiu observar a distribuição e as características das raízes às distâncias aproximadas de 85 e a 35 cm dessa linha. O estudo das raízes em perfis abertos no solo é uma técnica utilizada com frequência nas árvores fruteiras (Layne e Tan, 1986).

As características do solo em profundidade no local de experimentação revelaram-se heterogêneas. Em todos os perfis estudados observou-se uma camada pedregosa a partir dos 60 a 80 cm, enquanto nos horizontes superiores existiam alguns calhaus de dimensões variáveis. O horizonte de acumulação de matéria orgânica encontrou-se entre 10 e 30 cm segundo os perfis, observando-se no mesmo, em geral, forte concentração de raízes finas. A heterogeneidade das características pedológicas condicionou a distribuição das raízes no solo e contribuiu, sem dúvida, para mascarar as diferenças entre os porta-enxertos que foram menos marcadas do que se esperava.

Em cada uma das três linhas de plantas observou-se um conjunto de três perfis a 85 cm e outro conjunto a 35 cm, um perfil por porta-enxerto. Como nas linhas de plantação a variabilidade das características do solo foi menor que entre elas, o procedimento adotado permitiu melhorar a comparação dos sistemas radiculares dos porta-enxertos.

Como se referiu no Cap. 2 (M&M, Foto 10), as raízes foram observadas em relação a uma grelha metálica de 1 x 1 m, com uma malha quadrada de 10 cm de lado, aplicada contra a parede das valas. Num estudo com pessegueiros adultos, Layne e Tan (1986) utilizaram uma grelha com 2,4 x 2 m e 30 cm de malha. Em cada perfil contou-se o número de raízes visíveis e mediu-se o diâmetro das raízes quando este era igual ou superior a 0,5 mm, em todas as quadrículas da rede. Quanto às raízes com menos de 0,5 mm anotou-se apenas o seu número.

Neste trabalho considerou-se como raízes finas as de diâmetro igual ou inferior a 1 mm e, dentro deste grupo, como muito finas as de diâmetro inferior a 0,5 mm, enquanto as raízes com mais de 1 mm foram consideradas grossas. Esta classificação está de acordo com a utilizada por certos autores, pelo menos no que respeita à denominação das raízes finas (Kummerow, 1980; Rieger e Duemmel, 1992), mas outros autores consideram diferentes classes de diâmetro em função da amplitude das variações de diâmetro encontradas nos respectivos trabalhos (Layne e Tan, 1986; Friend *et al.*, 1991). Com efeito, o termo raízes finas é ambíguo, pois têm-se verificado que as raízes variam de diâmetro em resposta às condições do solo, nomeadamente o estado hídrico, arejamento, temperatura, níveis de nutrientes, obstáculos à penetração no solo e presença de microorganismos (Fitter, 1985).



Os dados relativos às quadrículas correspondentes a cada camada de solo de 10 cm de espessura e 1 m de comprimento foram agrupados sendo, portanto, os valores apresentados relativos a uma superfície de 10 dm<sup>2</sup> de área.

#### 5.4.3.2 - Perfis a 85 cm da linha de plantação

Na Tab. 5.13 apresentam-se os números totais de raízes observadas no conjunto dos três perfis estudados por porta-enxerto em cada camada do solo e em função do seu diâmetro. A opção de se considerar o número total de raízes dos 3 perfis em vez dos valores médios por perfil foi tomada devido ao pequeno número de raízes observadas em profundidade, sobretudo no caso das raízes de maior diâmetro.

As raízes com diâmetro menor que 0,5 mm constituíram a grande proporção das raízes observadas e o seu número foi superior nas amendoeiras que nos pessegueiros e maior nestes que nos híbridos. Quanto às raízes de diâmetro superior, o seu número, expresso em relação ao número total, foi menor nas amendoeiras (menos de 5%) que nos outros genótipos e maior nos híbridos (11%) que nos pessegueiros (8%). Estas raízes distribuíram-se principalmente nos primeiros 50 cm de solo, em particular entre os 10 e os 30 cm. Em todos os porta-enxertos, o número de raízes diminuiu nitidamente com a profundidade, apesar da sua distribuição percentual em profundidade depender do porta-enxerto.

Nas amendoeiras, a maior concentração de raízes observou-se entre 10 e 40 cm (cerca de 46% do total). O número de raízes nas camadas do solo acima dos 60 cm de profundidade foi de cerca de 80%.

Nos híbridos, a concentração das raízes foi relativamente homogênea nos primeiros 40 cm do solo, correspondendo a 73% do total. A partir dos 40 cm a quantidade de raízes diminuiu rapidamente, representando a fracção abaixo dos 60 cm apenas 8% do total.

Nos pessegueiros, o número de raízes nos primeiros 10 cm de solo (16%) foi menor que nas camadas um pouco mais profundas e a percentagem de raízes abaixo dos 10 cm semelhante aos híbridos.

A distribuição das raízes por classes de diâmetro põe, também, em evidência diferenças entre as amendoeiras e os outros porta-enxertos, as quais apresentaram maior percentagem de raízes finas. Embora as amendoeiras tivessem menor percentagem de raízes grossas que os híbridos e pessegueiros, o número de raízes com mais de 2 mm (muito pequeno em todas as espécies) foi semelhante nas amendoeiras e nos híbridos e maior nestes genótipos que nos pessegueiros. As diferenças foram ainda mais marcadas quando se considera apenas as raízes de diâmetro superior a 3 mm.

Em relação às raízes muito finas, as diferenças entre as amendoeiras e os pessegueiros foram pequenas até 40 cm de profundidade e o seu número superior ao dos híbridos. A partir deste nível, o número de raízes dos pessegueiros variou entre o das

Tab. 5.13 - Distribuição das raízes em profundidade nos perfis a 85 cm das linhas de plantação agrupadas por classes de diâmetro. Valores relativos a três perfis por porta-enxerto

AMENDOEIRAS

Profundidade (cm)	Diâmetro das raízes (mm)					Total	% de raízes em relação ao total
	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	>3,0		
0-10	185	6	4	1	2	198	12,0
11-20	239	19	3	2	2	265	16,0
21-30	230	7	4	3	0	244	14,8
31-40	239	4	7	1	0	251	15,2
41-50	203	3	2	0	0	208	12,6
51-60	166	7	0	0	0	173	10,5
61-70	120	1	0	0	0	121	7,3
71-80	100	0	0	0	0	100	6,0
81-90	68	0	0	0	0	68	4,1
91-100	26	0	0	0	0	26	1,6
Total	1576	47	20	7	4	1654	100

HÍBRIDOS

0-10	209	16	4	0	0	229	19,7
11-20	179	16	12	4	1	212	18,2
21-30	174	11	14	3	1	203	17,5
31-40	180	20	3	2	0	205	17,6
41-50	122	11	5	0	0	138	11,9
51-60	83	4	0	0	0	87	7,5
61-70	48	2	0	0	0	50	4,3
71-80	30	0	0	0	0	30	2,6
81-90	7	0	0	0	0	7	0,6
91-100	1	0	0	0	0	1	0,1
Total	1033	80	38	9	2	1162	100

PESSEGUEIROS

0-10	219	9	5	0	0	233	16,0
11-20	255	15	15	1	0	286	19,6
21-30	216	23	12	4	0	255	17,5
31-40	233	13	5	0	0	251	17,2
41-50	175	10	2	1	0	188	12,9
51-60	134	4	0	0	0	138	9,5
61-70	60	0	0	0	0	60	4,1
71-80	32	0	1	0	0	33	2,3
81-90	12	1	0	0	0	13	0,9
91-100	3	0	0	0	0	3	0,2
Total	1339	75	40	6	0	1460	100

amendoeiras (limite superior) e o dos híbridos (limite inferior), aproximando-se claramente destes além dos 60 cm.

Quanto às raízes finas, as raízes das amendoeiras concentram-se sobretudo entre 11 e 20 cm. Abaixo desta camada e até aos 50 cm, o seu número diminuiu acentuadamente, tanto em valores absolutos como em relação aos outros porta-enxertos. Nos híbridos e nos pessegueiros, a maior concentração de raízes desta classe de diâmetro observou-se entre os 20 e os 40 cm.

As raízes grossas de diâmetro entre 1,1 e 2,0 mm foram menos numerosas nas amendoeiras que nos outros genótipos entre 11 e 30 cm, e nas raízes com mais de 2 mm o comportamento dos 3 genótipos foi semelhante, excepto nos primeiros 10 cm de solo. Abaixo dos 50 cm de profundidade não se observaram raízes grossas, com uma única excepção no caso dos pessegueiros.

#### **5.4.3.3 - Perfis a 35 cm da linha de plantação**

Nas observações feitas a 35 cm da linha das árvores (Tab. 5.14), as principais diferenças relativamente às observações realizadas a 85 cm foram as seguintes:

- O número de raízes grossas aumentou, como seria de esperar. Enquanto nos perfis a 85 cm não se observaram, em geral, raízes de diâmetro superior a 4 mm, neste caso o número dessas raízes no conjunto dos três perfis foi de 16 nas amendoeiras, 12 nos híbridos e de 4 nos pessegueiros. Nas amendoeiras e nos híbridos algumas destas raízes tinham diâmetro superior a 8 mm.
- O número total de raízes foi menor, sobretudo nas amendoeiras e pessegueiros. Nestes genótipos, as diferenças entre os dois perfis foram quase de 30%, enquanto nos híbridos apenas houve uma redução de 5%.

Noutros trabalhos têm, também, sido observada maior proporção de raízes de diâmetro inferior a 1 mm a maior distância do tronco do que junto deste (Faust, 1989). A distância em relação ao tronco em que se observa a maior concentração de raízes depende da idade das plantas e de factores do meio ambiente.

A fim de elucidar melhor esse problema nos porta-enxertos estudados neste ensaio, num conjunto de amendoeiras, analisou-se os perfis não só a 85 e a 35 cm, mas também a uma distância intermédia (50 cm). Como se vê na Tab. 5.15, na qual se apresentam os dados dessas observações, verificou-se que a maior concentração de raízes se encontrava a 50 cm da linha das plantas e que o seu número diminuía quer com o afastamento quer com a proximidade às plantas.

Outros aspectos de pormenor podem ser analisados na Tab. 5.14:

- À semelhança do que se observou nos perfis a 85 cm, mais de 80% das raízes localizaram-se até 60 cm e, abaixo dessa profundidade, o número total de raízes foi maior nas amendoeiras que nos outros porta-enxertos;

Tab. 5.14 - Distribuição das raízes com a profundidade nos perfis a 35 cm das linhas de plantação agrupadas por classes de diâmetro. Valores relativos a três perfis por porta-enxerto

AMENDOEIRAS

Profundidade (cm)	Diâmetro das raízes (mm)							Total	% de raízes em relação ao total
	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	6,1-8,0	>8,1		
0-10	165	10	5	1	2	1	0	184	15,7
11-20	128	14	11	2	3	3	1	162	13,8
21-30	127	12	17	9	3	2	1	171	14,6
31-40	147	14	16	8	0	0	0	185	15,8
41-50	140	6	7	0	0	0	0	153	13,0
51-60	106	3	3	0	0	0	0	112	9,5
61-70	83	5	1	0	0	0	0	89	7,6
71-80	61	4	0	0	0	0	0	65	5,5
81-90	30	1	0	0	0	0	0	31	2,6
91-100	21	1	0	0	0	0	0	22	1,9
Total	1008	70	60	20	8	6	2	1174	100

HÍBRIDOS

0-10	191	22	13	3	0	0	0	229	20,9
11-20	160	16	24	10	4	2	1	217	19,8
21-30	154	14	11	9	1	1	1	191	17,4
31-40	122	12	10	6	2	0	0	152	13,9
41-50	83	6	3	1	0	0	0	93	8,5
51-60	57	4	1	0	0	0	0	62	5,7
61-70	52	3	2	0	0	0	0	57	5,2
71-80	40	2	0	0	0	0	0	42	3,8
81-90	38	0	0	0	0	0	0	38	3,5
91-100	13	1	0	0	0	0	0	14	1,3
Total	910	80	64	29	7	3	2	1095	100

PESSEGUIROS

0-10	154	14	9	2	1	0	0	180	16,8
11-20	139	15	17	9	2	1	0	183	17,0
21-30	162	16	17	6	0	0	0	201	18,7
31-40	120	15	12	5	0	0	0	152	14,2
41-50	101	6	10	4	0	0	0	121	11,3
51-60	85	7	5	0	0	0	0	97	9,0
61-70	47	5	1	0	0	0	0	53	4,9
71-80	43	8	0	0	0	0	0	51	4,7
81-90	30	1	1	0	0	0	0	32	3,0
91-100	4	0	0	0	0	0	0	4	0,4
Total	885	87	72	26	3	1	0	1074	100

Tab. 5.15 - Número de raízes de amendoeira com diâmetro menor que 0,5 mm e igual ou maior que 0,5 mm em perfis a 85, 50 e 35 cm da linha de plantação.

PROFUND. cm	85 cm		50 cm		35 cm	
	< 0,5 mm	≥ 0,5 mm	< 0,5 mm	≥ 0,5 mm	< 0,5 mm	≥ 0,5 mm
0-10	48	2	78	5	61	4
11-20	54	10	104	12	39	11
21-30	47	7	107	13	57	13
31-40	75	5	75	10	81	13
41-50	51	0	36	5	71	5
51-60	47	1	67	4	44	4
61-70	28	1	53	3	41	1
71-80	28	0	44	1	26	2
81-90	17	0	16	4	20	0
91-100	8	0	5	1	10	0
TOTAL	403	26	585	58	450	53

- até 20 cm de profundidade a quantidade de raízes com diâmetro entre 0,5 e 2,0 mm foi nitidamente maior nos híbridos;
- as raízes com diâmetro superior a 4 mm localizaram-se acima dos 40 cm;
- a percentagem de raízes, relativamente ao número total, manteve-se quase constante nos primeiros 40 cm nas amendoeiras e nos primeiros 30 cm nos pessegueiros e nos híbridos diminuiu progressivamente, e abaixo dos 80 cm os valores foram semelhantes nos três porta-enxertos;
- os híbridos têm maior quantidade de raízes que os outros genótipos nos primeiros 20 cm do solo.

O número de raízes por classe de diâmetro, expresso em percentagem do número de raízes com diâmetro superior a 0,5 mm, foi semelhante nos três genótipos. Contudo, nas classes de diâmetro superiores a 4,0 mm é de salientar a posição predominante das amendoeiras em relação aos outros genótipos.

#### 5.4.3.4 - Conclusões

As relações entre os porta-enxertos estudados foram, em geral, semelhantes nos perfis a 85 e a 35 cm da linha de plantação, enquanto o número total de raízes diminuiu com a proximidade à linha das plantas e o número de raízes grossas aumentou. A ambas as distâncias observou-se uma distribuição superficial das raízes grossas e redução nítida do número de raízes com a profundidade.

O número de raízes foi maior nas amendoeiras que nos outros porta-enxertos. A percentagem de raízes nas camadas mais superficiais do solo foi menor nas amendoeiras que nos outros genótipos e semelhante entre estes.

A percentagem de raízes finas foi maior nas amendoeiras que nos outros genótipos, principalmente a 85 cm, e semelhante nos híbridos e pessegueiros. As amendoeiras

tinham, também, o maior número de raízes de grande diâmetro, apresentando os híbridos comportamento intermédio entre as amendoeiras e os pessegueiros.

A predominância das raízes finas relativamente às raízes com mais de 1 mm tem sido observada noutras espécies, como a macieira (Ferree, 1994) e o pessegueiro (Williamson *et al.*, 1992). A sua importância não se reflecte na biomassa radicular, apesar da grande superfície activa destas raízes que, em muitas plantas, correspondem a mais de 90 % da superfície total (Caldwell e Camp, 1974). As raízes finas são consideradas como um parâmetro importante na descrição dos sistemas radiculares mas, não obstante, a extrapolação dos resultados obtidos nos perfis para outras condições ambientais devem ser feitas com cautela, pois as raízes podem variar de diâmetro em resposta às condições do solo (Fitter, 1985; MacDuff *et al.*, 1986; Price *et al.*, 1989).

Como nota final é de salientar que os resultados obtidos no estudo dos perfis do solo quanto à distribuição das raízes estão de acordo com os resultados publicados noutras espécies, em que a distribuição de raízes ocorre geralmente até 80 cm de profundidade e cerca de 70% das raízes distribuem-se, em geral, até 30 cm (Atkinson e Wilson, 1980; Faust, 1989; Williamson *et al.*, 1992; Ferree, 1994). Nos pessegueiros foi observado, num ensaio conduzido por Rosati *et al.* (1976), que os sistemas radiculares de GF 305 com 9 anos de idade eram muito ramificados até 80 cm. Os dados publicados por Abrisqueta *et al.* (1994) para a amendoeira estão, também, dentro dessa gama de valores.

#### **5.4.4 - Discussão e conclusões do estudo das raízes**

Nos ensaios relativos aos sistemas radiculares foi possível estabelecer um conjunto significativo de atributos característicos de cada genótipo. Os aspectos que nos interessaram particularmente foram a densidade radicular, a rapidez de crescimento das raízes, a sua distribuição no terreno, a caracterização morfológica dos sistemas radiculares e o efeito do défice hídrico sobre o crescimento das raízes e sua acção na razão entre os pesos secos da raiz e do caule, questões a que os vários ensaios realizados permitiram responder em grande parte.

Nos ensaios realizados em estufa, as observações feitas através das paredes transparentes dos recipientes mostraram que os híbridos têm taxas de crescimento radicular superiores aos pessegueiros, raízes mais profundas e, em condições de défice hídrico, apresentam maior desenvolvimento das raízes em profundidade. Além disso, as raízes dos híbridos tinham maior diâmetro e eram menos ramificadas que as dos pessegueiros (aspectos não quantificados). Em ambos os genótipos, o desenvolvimento radicular foi menos afectado que o desenvolvimento aéreo pelo défice hídrico.

A recuperação integral das raízes no final desses ensaios permitiu explorar várias relações entre os sistemas aéreo e radicular e, em particular, verificar o aumento da razão entre os pesos secos radicular e aéreo nos híbridos em condições de défice hídrico, aspecto de grande importância para a adaptação da espécie a condições de secura.

Os ensaios em estufa apresentam grandes vantagens devido à sua simplicidade, além de permitirem limitar o número de factores ambientais com influência no desenvolvimento das raízes e de estudar um grande número de plantas. Contudo, devido ao pequeno volume de substrato, os ensaios foram de curta duração, desvantagem invocada também por McMichael *et al.* (1992).

Os ensaios em viveiro, ao permitirem a observação dos sistemas radiculares *in situ*, forneceram informações importantes relativamente à estrutura, morfologia e distribuição das raízes no solo. Contudo, neste caso, fomos confrontados com a dificuldade de controlar as condições ligadas à experimentação, nomeadamente no que se refere ao défice hídrico e à heterogeneidade do solo.

A escavação das raízes de algumas plantas puseram em evidência a semelhança na estrutura dos sistemas aéreo e radicular. Os resultados obtidos relativamente à razão entre o peso seco das raízes e da parte aérea, no caso dos híbridos e dos pessegueiros, não foram muito diferentes dos resultados obtidos nos ensaios em estufa, não obstante a impossibilidade de extrair todas as raízes do solo.

Quanto às observações feitas nos perfis, nas condições experimentais do ensaio não se observaram grandes diferenças entre os genótipos no desenvolvimento em profundidade. Este aspecto depende muito, além da espécie, das características do solo (Trocmé e Gras, 1964) e das disponibilidades hídricas (Levin *et al.*, 1980; Layne e Tan, 1986; Abrisqueta *et al.*, 1994). Na medida em que as árvores eram muito jovens, que as características do solo se caracterizavam por uma fertilidade razoável nas camadas mais superficiais e por grandes obstáculos à penetração das raízes em profundidade, e que as plantas foram regadas, a repartição do sistema radicular no solo foi muito condicionada por essas condições em todos os porta-enxertos.

Nessas condições, as diferentes potencialidades entre os porta-enxertos no grau de desenvolvimento radicular devem exprimir-se, sobretudo, pela densidade de colonização nas camadas superficiais do solo. Assim, o maior número de raízes que foi observado nas amendoeiras relativamente aos outros genótipos pode atribuir-se ao maior vigor do seu sistema radicular. Por outro lado, o grande número de raízes dos pessegueiros nos perfis a 85 cm da linha de plantação está relacionado com a tendência desta espécie para se desenvolver mais lateralmente e relativamente pouco em profundidade (Trocmé e Gras, 1964; Rosati *et al.*, 1976).

O maior desenvolvimento das raízes dos porta-enxertos nas camadas superficiais do terreno, ricas em nutrientes e com boas disponibilidades hídricas, está de acordo com as observações de Atkinson e Wilson (1980) em macieiras e pereiras que verificaram grande heterogeneidade na concentração das raízes na proximidade do tronco em função das condições do meio.

É de notar que embora a escavação das raízes tenha sido feita no mesmo viveiro que as observações dos perfis, no primeiro caso as plantas estavam numa zona de solo mais profundo e fértil e, portanto, com menos limitações para se desenvolverem em

profundidade. Por isso, a distribuição em profundidade das raízes dos três porta-enxertos apresentou maiores diferenças que no caso dos perfis.

Os resultados obtidos por escavação das raízes das plantas e por observação dos perfis são aparentemente distintos no que se refere ao grau de ramificação das raízes porque no primeiro caso não foi possível extrair a fração de raízes finas. Já o número de raízes principais e a quantidade de raízes secundárias por eixo principal no primeiro caso apresentam concordância com o número de raízes mais grossas observadas nos perfis.

Em relação aos aspectos referidos, verifica-se, assim, uma complementaridade dos resultados obtidos nos dois tipos de trabalhos: a escavação de raízes pôs em relevo as diferenças entre os porta-enxertos na estrutura do sistema radicular (quantidade de raízes principais e características da ramificação secundária) enquanto a observação dos perfis mostrou a relativa maior quantidade das raízes finas no caso das amendoeiras.

Nos ensaios em estufa e em viveiro alguns resultados são contraditórios. As diferenças entre os genótipos quanto à densidade radicular e à distribuição em profundidade foram muito claras nos ensaios em estufa e pouco evidentes no viveiro, o que poderá estar relacionado com as características físicas do substrato e do solo. As diferenças na densidade radicular podem, também, estar relacionadas com a maior pobreza em elementos minerais do substrato relativamente ao solo.

Os estudos para a avaliação do volume e distribuição das raízes no solo devem quando possível ser conduzidos com árvores adultas, nas quais o volume aéreo e radicular estão em equilíbrio com as disponibilidades hídricas do solo, mas os estudos com árvores jovens também têm interesse porque o sucesso de uma plantação depende do comportamento das plantas nos primeiros anos de vida. No entanto, os resultados obtidos neste caso devem ser generalizados com prudência.



## 6 - SÍNTESE E CONCLUSÕES GERAIS

Os trabalhos desta tese foram realizados no INRA (Institut de la Recherche Agronomique) em França nos Domínios de St. Paul (Montfavet) e de l'Amarine (Nîmes) durante os anos de 1992 a 1995.

Tiveram essencialmente por objectivo estudar os mecanismos de resistência à seca através da análise de diversos parâmetros físicos, fisiológicos e morfológicos de 3 genótipos: o híbrido GF 677 (pessegueiro x amendoeira) resistente ao défice hídrico, o pessegueiro GF 305 sensível a esse factor e a amendoeira Garrigues, muito resistente. Foi possível, assim, a identificação de algumas características com potencialidades para a selecção de porta-enxertos resistentes ao défice hídrico.

Os estudos desenvolvidos foram feitos relativamente aos sistemas aéreo e radicular dos genótipos e devido ao conjunto amplo de atributos analisados, o número de porta-enxertos foi necessariamente pequeno, como aliás é comum nos estudos desta natureza (Evenari *et al.*, 1977; Steinberg *et al.*, 1990; Roden *et al.*, 1990; Rhodenbaugh e Pallardy, 1993). Do ponto de vista experimental é também de considerar que esses trabalhos foram feitos com plantas jovens, pelo que algumas características podem diferir das observadas nas plantas adultas, embora nas plantas lenhosas pareça existir boa correlação nas características observadas nos dois estágios (Denne, 1976; Lange, 1988; Scorza *et al.*, 1989; Hirst e Ferree, 1995).

A utilização simultânea de plantas propagadas por semente (GF 305 e Garrigues) e por estaca (GF 677) justifica-se por ser essa a forma usual de multiplicação dos referidos porta-enxertos. Além disso, a origem das plantas não parece ter influência nas características das plantas (Blake e Filho, 1988; Harrison *et al.*, 1989; Rieger, 1992).

De um modo geral, esta tese foi dividida em 3 capítulos principais:

- . Análise dos mecanismos de resistência ao défice hídrico da parte aérea dos porta-enxertos GF 677 e GF 305.
- . Influência do porta-enxerto na variedade de amendoeira Ferragnès.
- . Características morfológicas e estruturais do sistema radicular de jovens *Prunus* e suas relações com o sistema aéreo.

Foram considerados dois tratamentos hídricos: plantas bem regadas (TR) e plantas em défice hídrico (TD).

Na análise da **resistência ao défice hídrico da parte aérea dos porta-enxertos GF 677 e GF 305** foram considerados vários parâmetros, como sejam, a microvariação do diâmetro dos caules, a perda de água pelas plantas, o potencial hídrico, a condutância estomática, o crescimento dos ramos e a emissão foliar, a produção de biomassa, o número de estomas, a área específica e o teor de clorofila das folhas, as características anatómicas

das plantas, a temperatura e as propriedades ópticas das folhas, e a discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$ .

Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

#### *Microvariação do diâmetro dos caules*

- . Os fenómenos de dilatação e de contracção dos caules das plantas e o aumento do seu diâmetro ao longo do dia estiveram relacionados com as condições meteorológicas e o estado hídrico do solo.
- . Foi possível analisar, em pormenor, a influência dos ciclos de défice hídrico nas plantas, não se tendo verificado diferenças significativas entre os dois genótipos.

#### *Perda de água pelas plantas*

- . Esta análise foi feita por pesagem de vasos de 36 litros de capacidade com substrato adequado.
- . De um modo geral, as diferenças da perda máxima de água (PMA) por planta entre os híbridos e os pessegueiros foram pequenas, mas quando essa perda era expressa por unidade de área foliar os valores dos híbridos foram superiores.
- . Em relação à perda real de água (PRA) durante cada ciclo de défice os valores desceram em função das condições meteorológicas e do estado hídrico do substrato, verificando-se rápido aumento do consumo de água após as regas. Contudo, em condições de défice hídrico severo a recuperação das plantas foi lenta.

#### *Emissão foliar, crescimento dos ramos e produção de biomassa*

- . Em ambos os genótipos, tanto nos ensaios em vasos como no viveiro, o défice hídrico provocou redução da produção foliar, do crescimento dos ramos, das ramificações antecipadas, da área foliar, do diâmetro das plantas e da produção de biomassa.
- . Em relação à emissão foliar, parâmetro muito sensível às variações ambientais, as diferenças de vigor das plantas tiveram muita influência nos resultados, tendo-se mesmo, em alguns casos, observado maior crescimento nos grupos TD.
- . As diferenças entre os genótipos foram importantes em relação às características de ramificação, sendo a quantidade de ramos e de folhas maior nos pessegueiros e, portanto, maior a área foliar, mas o diâmetro dos caules e a produção de biomassa foram, em geral, inferiores aos dos híbridos.
- . O crescimento dos pessegueiros foi praticamente contínuo, o que contribuiu para a maior área foliar deste genótipo, embora nos híbridos o desenvolvimento vegetativo tivesse sido mais rápido inicialmente. O fim do crescimento verificou-se mais cedo nos híbridos, o que evidencia melhor adaptação deste genótipo à região mediterrânica.

- . A área média das folhas foi aproximada nos híbridos e nos pessegueiros e menor nas amendoeiras, verificando-se redução das dimensões das folhas com o déficit hídrico, em especial nas amendoeiras.
- . A produção de biomassa nos dois tratamentos hídricos (TR e TD) esteve relacionada com a área foliar desenvolvida nessas situações por cada genótipo, tendo-se verificado uma relação directa entre essa produção e o diâmetro basal das plantas
- . As diferenças entre os porta-enxertos quanto à distribuição de biomassa entre as folhas e os ramos puseram em evidência a maior representatividade dos tecidos condutores e de suporte nas espécies mais resistentes à seca.

#### *Potencial hídrico ( $\psi$ ) e condutância estomática ( $g_s$ )*

- . Nos híbridos em comparação com os pessegueiros a diminuição de  $\psi$  foi mais rápida durante a manhã e os valores mínimos diários mais baixos em condições hídricas semelhantes. Em consequência, o gradiente de  $\psi$  entre o solo e a planta foi maior nos híbridos facilitando, desse modo, o transporte de água para as folhas.
- . O potencial de base ( $\psi$  antes do nascer do sol) seguiu estreitamente as disponibilidades de água do substrato.
- . Verificou-se boa concordância entre  $\psi$  e a variação do diâmetro dos caules no TR ou quando o déficit era moderado, mas quando este era severo houve desfasamento na evolução dos 2 parâmetros.
- . Em relação a  $g_s$  verificou-se relação nítida entre este parâmetro e o grau de *stress*, com ocorrência dos valores máximos cada vez mais cedo durante o dia à medida que o déficit se acentuava.
- . Os valores de  $g_s$  foram maiores nos híbridos em ambos os tratamentos hídricos, à excepção das situações de déficit muito severo em que os valores eram semelhantes aos dos pessegueiros.
- . As relações entre  $\psi$  e  $g_s$  dependeram fundamentalmente das condições meteorológicas e hídricas do solo e do estado de desenvolvimento das plantas. Após as regas  $\psi$  aumentou rapidamente mas a recuperação de  $g_s$  foi mais lenta.

#### *Características funcionais e anatómicas*

- . O número de estomas por unidade de superfície foliar foi maior nos híbridos e menor nas amendoeiras e intermédio nos pessegueiros.
- . Nos híbridos e nos pessegueiros observou-se maior número de estomas no TR do que no TD, o que parece indicar que o déficit hídrico afectou a diferenciação celular das folhas, mas nas amendoeiras verificou-se o contrário provavelmente devido à redução da dimensão das células.
- . Por unidade de área foliar o teor de clorofila foi, em geral, maior nas amendoeiras a que se seguiram os híbridos e os pessegueiros.

- . A evolução do teor de clorofila ao longo do tempo esteve relacionada principalmente com a evolução de SLA.
- . A razão entre as clorofilas **a** e **b** foi maior nas amendoeiras, facto que se tem verificado nas plantas melhor adaptadas aos ambientes secos e luminosos.
- . Os resultados de SLA (menor nas amendoeiras e maior nos pessegueiros) sugerem grandes diferenças entre os génotipos na capacidade fotossintética por unidade de área foliar. Os valores no TD foram mais altos que em TR.
- . As observações histológicas dos caules mostraram que o número e o diâmetro dos vasos lenhosos foram, em geral, maiores nos pessegueiros que nos híbridos embora nestes, no TR, a quantidade de tecido condutor relativamente ao diâmetro dos ramos fosse percentualmente superior.
- . No que se refere às folhas, as amendoeiras tinham folhas mais espessas que os pessegueiros, com maior número de camadas de parênquima em paliçada, enquanto nos híbridos as características foram intermédias entre esses génotipos.

#### *Temperatura das folhas ( $T_f$ )*

- . No TR verificou-se que a variabilidade de  $T_f$  foi menor que nas plantas TD e que os valores desse parâmetro foram, em grande parte, influenciados pelas condições meteorológicas e por outros factores do meio.
- . Em geral, no TR as diferenças de  $T_f$  nos híbridos e nos pessegueiros foram muito significativas.
- . No TD o comportamento dos génotipos foram mais difíceis de interpretar. Como o défice hídrico foi, em geral, mais intenso nos híbridos, os valores de  $T_f$  foram, por isso, maiores nesse génotipo que nos pessegueiros.
- . Nas observações em viveiro verificou-se que  $T_f$  atingiu valores significativamente mais baixos nas amendoeiras que nos outros dois génotipos.
- . Verificaram-se relações significativas entre  $T_f - T_a$  e  $g_s$  em ambos os porta-enxertos, o que permite considerar  $T_f$  como um parâmetro de interesse para discriminar os génotipos em relação à condutância estomática.

#### *Propriedades ópticas das folhas*

- . Não se observaram diferenças significativas nestas propriedades entre os génotipos na banda do visível.
- . No infravermelho, o comportamento dos génotipos em relação à reflexão, transmissão e absorção da luz dependeu do comprimento de onda, verificando-se, em geral, que a absorvidade foi maior nas amendoeiras e menor nos pessegueiros.
- . A transmissividade mostrou-se principalmente relacionada com a espessura das folhas.

No ensaio relativo à **influência do porta-enxerto nas características de uma variedade de amendoeira** foram analisados os porta-enxertos GF 677 e GF 305 no comportamento da variedade de amendoeira Ferragnès. Foram considerados os parâmetros que apresentaram maior interesse no estudo do sistema aéreo dos porta-enxertos, tendo os principais resultados sido os seguintes:

- . O efeito vigorizante do porta-enxerto GF 677 traduziu-se por maior comprimento dos ramos das amendoeiras e, portanto, maior área foliar, por abrolhamento mais rápido e maior produção de matéria seca. Os porta-enxertos influenciaram também a ramificação da variedade.
- . O déficit hídrico provocou redução do crescimento em ambos os porta-enxertos, maior nos ramos antecipados que nos principais tendo, no entanto, sido maior o número de ramificações antecipadas por unidade de comprimento do eixo principal, particularmente nas amendoeiras enxertadas em híbrido (A/H).
- . Observou-se, em geral, maiores valores de  $\psi$ , gs e SLA nas A/P embora as diferenças em relação às A/H tenham sido pequenas.
- . A discriminação isotópica em relação ao  $^{13}\text{C}$  ( $\Delta$ ) foi maior nas A/P que nas A/H e aumentou com o déficit hídrico, sugerindo menor eficiência na utilização da água nas A/P e redução dessa eficiência em condições de déficit hídrico, independentemente do porta-enxerto.

Nos ensaios relativos às **características morfológicas e estruturais do sistema radicular de jovens *Prunus*** estabeleceu-se um conjunto de atributos de cada genótipo, como foram, a densidade e a caracterização morfológica dos sistemas radiculares, o crescimento e a distribuição das raízes no terreno e a influência do déficit hídrico no desenvolvimento radicular. Foram realizados ensaios em estufa, em recipientes de parede transparente e em tubos de PVC, e no viveiro ao ar livre, sendo as principais conclusões as seguintes:

- . Os híbridos tiveram taxas de crescimento radicular superiores aos pessegueiros, raízes mais profundas, de maior diâmetro e menos ramificadas, e em condições de déficit hídrico com maior desenvolvimento em profundidade.
- . Em ambos os genótipos o desenvolvimento radicular foi menos afectado que o crescimento da parte aérea pelo déficit hídrico, observando-se nos híbridos aumento da razão entre o peso seco da raiz e do caule.
- . As observações das raízes através da escavação das plantas permitiram obter informações importantes em relação à estrutura, morfologia e distribuição das raízes no solo, tendo-se verificado que a razão entre o peso seco das raízes e da parte aérea dos híbridos e dos pessegueiros não foram muito diferentes dos obtidos nos ensaios em estufa.
- . Nas observações feitas nos perfis do solo, as diferenças foram pequenas entre os genótipos tendo-se, no entanto, observado maior número de raízes nas amendoeiras

e, também, maior número de raízes de maior diâmetro neste genótipo e nos híbridos relativamente aos pessegueiros. No perfil mais afastado da linha das árvores os pessegueiros apresentaram maior número de raízes o que mostra que esta espécie tem tendência para se desenvolver mais lateralmente.

Em conclusão, as características dos porta-enxertos estudados indicam que nos *Prunus* a adaptação ao clima mediterrânico, quente e seco no Verão, estão relacionadas principalmente com um desenvolvimento fenológico adequado às disponibilidades hídricas do meio, à semelhança, aliás, de outras espécies nas mesmas condições climáticas (Loss e Siddique, 1994). Assim, as amendoeiras e os híbridos têm crescimento muito rápido no início do ciclo vegetativo e folhas com características que permitem grande eficiência dos processos fotossintéticos como sejam alta condutância estomática e folhas espessas de células pequenas e parênquima de paliçada muito desenvolvido e com alto teor em clorofila, conseguindo tirar o melhor partido das condições hídricas favoráveis nesse período. Quando o défice hídrico se instala, o consumo hídrico diminui devido à forte inibição do crescimento e à redução da condutância estomática, sendo a carência hídrica atenuada pela maior profundidade do sistema radicular e, provavelmente, pelo aumento da razão entre os pesos secos da raiz e do caule, como sugerem os resultados dos ensaios das plantas em estufa.

A importância dos tecidos condutores nas amendoeiras e dos híbridos garantem boa alimentação hídrica às folhas, assim como os valores diurnos mais baixos de potencial hídrico nessas espécies são favoráveis ao transporte de água na planta.

As diferenças encontradas entre os três porta-enxertos no padrão de ramificação das raízes e a grande plasticidade fenotípica do desenvolvimento radicular demonstrada pelos híbridos nos ensaios em estufa podem, também, contribuir para a melhor utilização dos recursos hídricos do solo. A condutividade hidráulica por unidade de secção transversal dos ramos deve ser menor nos híbridos que nos pessegueiros atendendo ao diâmetro dos vasos lenhosos, o que pode estar relacionado com a defesa das plantas em relação à embolização dos elementos condutores mas contribui, também, para uma exploração menos intensa das reservas hídricas do solo mantendo alguma reserva hídrica no solo, à semelhança do que foi observado no trigo (Richards e Passioura, 1981).

Embora a generalidade das características estudadas tenham contribuído para a compreensão do comportamento dos porta-enxertos em condições de secura, a sua utilização no melhoramento de porta-enxertos depende da possibilidade de serem avaliadas num grande número de genótipos, além de que a sua interação com o ambiente deve ser pequena e a componente genética relevante. Contudo, em casos particulares, como a eleição de progenitores, pode ser conveniente estudar com maior profundidade o material genético.

As características do sistema aéreo dos porta-enxertos são particularmente importantes, apesar do papel das raízes no desempenho do porta-enxerto, devido à sua

mais fácil observação. Em princípio, é de esperar boa correlação entre as características aéreas e radiculares dos indivíduos, com excepção dos híbridos interespecíficos.

O estudo das raízes é, no entanto, necessário para prever a sua capacidade de exploração das reservas hídrico-minerais do solo. Esses estudos implicam, contudo, a prévia multiplicação vegetativa dos indivíduos e, por isso, só se justifica após o estudo dos sistema aéreo e caso apresentem algumas características de interesse.

As características com maior interesse para a **selecção de porta-enxertos** resistentes à secura são apresentadas seguidamente.

a) Aspectos morfológicos do sistema aéreo relacionados com o potencial e o padrão de crescimento: estrutura da planta estimada através da relação entre a matéria seca investida na madeira e nas folhas, produção de biomassa, dinâmica de crescimento estacional, área foliar estimada por métodos simplificados, e características morfológicas das folhas como as dimensões médias e a SLA.

b) Aspectos anatómicos das folhas e dos caules devido à sua relação funcional com características como a fotossíntese, o balanço de energia das plantas e a condutividade hidráulica dos caules. Estas observações têm a vantagem de puderem ser feitas durante os períodos de repouso vegetativo com material previamente conservado.

c) Ao nível das características fisiológicas aquelas que reflectem o funcionamento integrado de vários processos fisiológicos e apresentam relação directa com o comportamento da planta em condições de défice hídrico, a par da facilidade de medição. Neste caso temos a *temperatura das folhas* devido à sua associação com numerosas características que influenciam o balanço de energia das folhas, ser um bom indicador do estado hídrico das plantas e estar relacionada directamente com a eficiência dos processos metabólicos em condições de *stress*, e a *discriminação isotópica em relação ao  $^{13}C$* , no caso das comparações feitas ao nível intraespecífico, devido à sua relação com o potencial para a produção de biomassa e com a eficiência na utilização da água em condições de défice hídrico.

d) Características do sistema radicular, quer através de ensaios em estufa para a caracterização do potencial de crescimento das raízes, tendência para ramificação, relações ponderais entre o sistema radicular e aéreo e plasticidade do desenvolvimento radicular em relação com as condições do meio, quer por avaliações destrutivas de plantas no solo para a avaliação de aspectos morfológicos do sistema radicular como a profundidade máxima das raízes, a importância e a orientação das raízes grossas, proporção entre raízes grossas e finas, volume do sistema radicular e densidade das raízes a diferentes profundidades e distâncias das plantas.

Os trabalhos desenvolvidos permitiram, ainda, verificar que as medições de potencial hídrico, enquanto indicador do estado hídrico das plantas, podem ser substituídas com vantagem pelo registo da variação micromorfométrica do diâmetro do tronco. Este parâmetro tem a vantagem de ser um processo automatizado, pode ser aplicado

simultaneamente em várias plantas e permite seguir a evolução do estado hídrico das plantas continuamente, aspectos que compensam o investimento na aquisição do equipamento.

A análise dos resultados obtidos neste trabalho mostra o interesse de prosseguir algumas linhas de investigação complementares nestes genótipos que podem ter grande importância para a selecção de genótipos resistentes ao défice hídrico. Assim, são a pesquisar a relação entre o grau de resistência à secura dos genótipos e parâmetros como:

- O potencial osmótico e a elasticidade das células, os quais nalgumas espécies estão relacionados com características de fácil determinação (Morgan, 1988; Rascio *et al.*, 1988; Ranney *et al.*, 1991a). Diferenças entre os genótipos em relação ao potencial osmótico medido na plena turgescência poderiam, por outro lado, explicar as diferenças entre eles quanto aos valores de potencial hídrico durante o dia.
- A condutividade hidráulica do sistema radicular e dos ramos e a sua relação com aspectos anatómicos desses órgãos e a importância dos fenómenos de cavitação.
- O potencial e a plasticidade do crescimento radicular em condições de défice hídrico e pós-stress.
- A repartição de biomassa entre o sistema aéreo e o sistema radicular, quer em condições bem regadas quer em condições de défice hídrico.
- A exposição das folhas à luz incidente e sua influência na temperatura das folhas.



## BIBLIOGRAFIA

- ABRAMS M.D. (1986). Physiological plasticity in water relations and leaf structure of understory versus open-grown *Cercis canadensis* in northeastern Kansas. *Can. J. For. Res.* 16:1170-1174.
- ABRAMS M.D. (1990). Adaptations and responses to drought in *Quercus* of North America. *Tree Physiol.* 7:227-238.
- ABRAMS M.D., KUBISKE M.E., STEINER K.C. (1990). Drought adaptations and responses in five genotypes of *Fraxinus pennsylvanica* Marsh.: photosynthesis, water relations and leaf morphology. *Tree Physiol.* 6:305-315.
- ABRISQUETA J.M., HERNANSAEZ A., FRANCO J.A. (1994). Root dynamics of young almond trees under different drip-irrigation rates. *J. Hort. Sci.* 69:237-242.
- ALBERTE R.S., THORNER J.P. (1977). Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. *Plant Physiol.* 59:351-353.
- ANDREWS P.K., CHALMERS D.J., MOREMONG M. (1992). Canopy-air temperature differences and soil water as predictors of water stress of apple trees grown in a humid, temperate climate. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117:453-458.
- ANDRIEU B., KIRIAKOS S., JAGGARD K.W. (1992). Estimation de la concentration en chlorophylles de feuilles par mesure de leur réflectance ou par analyse numérique de photographies prises au laboratoire. *Agronomie* 12:477-485.
- ATGER C., EDELIN, C. (1993). Premières données sur l'architecture comparée des systèmes racinaires et caulinaires. *Can. J. Bot.* 72:963-975.
- ATKINSON D., WILSON S.A. (1980). The growth and distribution of fruit trees roots: some consequences for nutrient uptake. In *Mineral Nutrition of Fruit Trees*, Eds Atkinson D., Jackson J.E. Butterworth, London: 137-150.
- BALDY C., GUYOT G., MERELLE F. (1981). Contribution à l'étude des propriétés optiques des feuilles d'Olivier (*Olea europea* L.). *C R. Acad. Sc. Paris* 293:253-256.
- BARALDI R., ROSSI F., FACINI O., ROTONDI A., MAGLI M., NEROZZI F. (1994). Light environment, growth and morphogenesis in a peach tree canopy. *Physiol. Plantarum* 91:339-345.
- BARDEN J.A. (1974). Net photosynthesis, dark respiration, specific leaf weight, and growth of young apple trees as influenced by light regime. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99:547-551.
- BARDEN J.A. (1978). Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. *HortScience* 13:644-646.
- BARLOW H.W. (1980). The relationship between leaf size and shoot length in apple. *J. Hort. Sci.* 55:279-283.
- BARRS H.D. (1968). Determination of water deficits in plant tissues. In *Water Deficits and Plant Growth*. Vol I, Ed. Kozlowski T.T. Academic Press Inc., New York: 235-268.
- BAUGHER T.A., SINGHA S., LEACH D., WALTER S. (1994). Growth, productivity, spur quality, light transmission and net photosynthesis of 'Golden Delicious' apple trees on four rootstocks in three training systems. *Fruit Var. J.* 48:251-255.
- BEADLE C.L., JARVIS P.G., NEILSON R.E. (1979). Leaf conductance as related to xylem water potential and carbon dioxide concentration in Sitka spruce. *Physiol. Plantarum* 45:158-166.
- BEAKBANE A.B. (1941). Anatomical structure of stems and roots of hardy fruit trees. III. The anatomical structure of some clonal and seedling apple rootstocks stem- and root-grafted with a scion variety. *J. Pomol. Hort. Sci.* 18:344-367.
- BEAKBANE A.B. (1952). Anatomical structure in relation to rootstock behaviour. *Proc. XIII Inst. Hort.* :152-158.
- BEAKBANE A.B. (1969). A new series of potential plum rootstocks. *Rep. E. Malling Res. Stn.* :81-83.

- BEAKBANE A.B., MAJUNDER P.K. (1975). A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *J. Hort. Sci.* 50:285-289.
- BEAKBANE A.B., ROGERS W.S. (1956). The relative importance of stem and root in determining rootstock influence in apples. *J. Hort. Sci.* 31:99-110.
- BEAKBANE A.B., THOMPSON E.C. (1939). Anatomical studies of stems and roots of hardy fruit trees. II. The internal structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and the correlation of structure with vigour. *J. Pomol. Hort. Sci.* 17:141-149.
- BEGG J.E. (1980). Morphological adaptations of leaves to water stress. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. J. Wiley, N. York : 33-41.
- BERNHARD R. (1985). Rootstock influence on the growing rhythm and on the fertility of peach trees. *Acta Hort.* 173:191-195.
- BEVINGTON K.B., CASTLE W.S. (1985). Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110:840-845.
- BEWKES D.J. (1984). Apple root distribution as affected by irrigation at different soil levels on two soil types. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109:723-728.
- BILLINGS W.D., MORRIS R.J. (1951). Reflection of visible and infrared radiation from leaves of different ecological groups. *Amer. J. Bot.* 38:327-331.
- BLACKE T.J., FILHO, W.S. (1988). Drought resistance, growth partitioning and vigor in eucalypt seedlings and rooted cuttings. *Tree Physiol.* 4: 325-335.
- BLACKMAN P.G., DAVIES W.J. (1985). Root to shoot communication in maize plants of the effects of soil drying. *J. Exp. Bot.* 36:39-48.
- BOLAND A.M., MITCHELL P.D., JERIE J.P., GOODWIN I. (1993). The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. *J. Hort. Sci.* 68:261-274.
- BONGI G., PALLIOTI A., ROCCHI P., ROSELLI G. (1994). Evaluation of water use efficiency in peach grafted on different interspecific hybrid rootstocks. *Plant Physiol. Biochem.* 32:149-157.
- BOYER J.S. (1968). Relationship of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.* 43:1056-1062.
- BOYER J.S. (1989). Water potential and plant metabolism: comments on dr P.J. Kramer's article 'Changing concepts regarding plant water relations', Volume 11, N° 7, pp 565-568, and Dr J.B. Passioura's response, pp. 569-571. *Plant, Cell and Environment* 12:213-216.
- BRIGGS G.M., JURIK T.W., GATES D.M. (1986). Non-stomatal limitation of CO<sub>2</sub> assimilation in tree species during natural drought conditions. *Physiol. Plantarum* 66:521-526.
- BRISSETE J.C., CHAMBERS J.L. (1992). Leaf water status and root system water flux of shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.) seedlings in relation to new root growth after transplanting. *Tree Physiol.* 11:289-303.
- BROWN D.S. (1953). The effects of irrigation on flower bud development and fruiting in the apricot. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* :119-125.
- BRUN C.A., RAESE J.T., STAHLY E.A. (1985). Seasonal response of 'Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Soil moisture, water relations, tree and fruit growth. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110:830-834.
- BUNCE J.A. (1977). Nonstomatal inhibition of photosynthesis at low water potentials in intact leaves of species from a variety of habitats. *Plant Physiol.* 59:348-350.
- BUNCE J.A., MILLER L.N. (1976). Differential effects of water stress on respiration in the light in woody plants from wet and dry habitats. *Can. J. Bot.* 54:2457-2464.
- BUTTERY B.R., TAN C.S., BUZZELL R.I., GAYNOR J.D., MACTAVISH D.C. (1993). Stomatal numbers of soybean and response to water stress. *Plant and Soil* 283:288.
- CALDWELL M.M., CAMP L.B. (1974). Belowground productivity of two cool desert communities. *Oecologia* 17:123-130.

- CAMERON R.J. (1970). Light intensity and the growth of *Eucalyptus* seedlings. II. The effect of cuticular waxes on light absorption in leaves of *Eucalyptus* species. *Aust. J. Bot.* 18:275-284.
- CAPPELINI P., DETTORI M.T. (1987). Area fogliare e numerosità stomatica di cultivar di albicocco e di pesco in due ambienti diversi. *Ann. Ist. Sper. Fruttic.* XVIII:7-20.
- CARPENTER S.B., SMITH N.D. (1975). Stomatal distribution and size in southern Appalachian hardwoods. *Can. J. Bot.* 53:1153-1156.
- CARPENTER S.B., SMITH N.D. (1981). A comparative study of leaf thickness among southern Appalachian hardwoods. *Can. J. Bot.* 59:1393-1396.
- CASTEL J.R., FERERES E. (1982). Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J. Hort. Sci.* 57:175-187.
- CASTLE W.S., KREZDORN A.H. (1975). Effect of citrus rootstocks on root distribution and leaf mineral content of 'Orlando' tangelo trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100:1-4.
- CASTLE W.S., KREZDORN A.H. (1977). Soil water use and apparent root efficiencies of citrus trees on four rootstocks. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102:403-406.
- CHALMERS D.J., OLSSON K.A., JONES T.R. (1983). Water relations of peach trees and orchards. In *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. VII, Academic Press, N.York: 197-232.
- CHALMERS D.J., VAN DEN ENDE B. (1975). A reappraisal of growth and development of peach fruit. *Aust. J. Plant Physiol.* 2:623-634.
- CHARTZOULAKIS K., NOITSAKIS B., THERIOS I. (1993). Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. *Irrig. Sci.* 14:1-5.
- CHAUDHURI U.N., DEATON M.L., KANEMASU E.T., WALL G.W., MARCARIAN V., DOBRENZ A.K. (1986). A procedure to select drought-tolerant sorghum and millet genotypes using canopy temperature and vapor pressure deficit. *Agron. J.* 78:490-494.
- CHEUNG Y.N.S., TYREE M.T., DAINITY J. (1975). Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Can. J. Bot.* 53:1342-1346.
- CLARK R.N., HILER E.A. (1973). Plant measurements as indicators of crop water deficit. *Crop Sci.* 13:466-469.
- CLAWSON K.L., BLAD B.L. (1982). Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agron. J.* 74:311-316.
- CLAWSON K.L., JACKSON R.D., PINTER P.J. (1989). Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. *Agron. J.* 81:858-863.
- CLAYTON-GREENE K.A. (1993). Influence of orchard management system on yield, quality and vegetative characteristics of apple trees. *J. Hort. Sci.* 68:365-376.
- CONDON A.G., FARQUHAR G.D., RICHARD R.A. (1990). Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange and whole plant studies. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:9-22.
- CONDON A.G., RICHARDS R.A., FARQUHAR G.D. (1987). Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-growth wheat. *Crop Sci.* 27:996-1001.
- CORNIC G., PAPGEORGIOU I., LOUASON G. (1987). Effect of a rapid and a slow drought cycle followed by rehydration on stomatal and non-stomatal components of leaf photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. *J. Plant Physiol.* 126:309-318.
- COSGROVE D.J. (1986). Biophysical control of plant cell growth. *Plant Physiol.* 37:377-405.
- COSTA G., FILITI N. (1974). Indagini sulla traspirazione di astoni di pesco innestati su diversi portinnesti. *Ann. Ist. Sper. Fruttic.* :61-66.
- COWAN I.R. (1977). Stomatal behaviour and environment. *Adv. Bot. Res.* 4:117-228.
- CUNHA F.R. (1973). Evaporação de um solo nu e da luzerna numa região semi-árida. Tese Doutor. Univ. L. Marques.

- CUTLER J.M., RAINS D.W., LOOMIS R.S. (1977). The importance of cell size in the water relations of plants. *Physiol. Plantarum* 40:255-260.
- DALE J.E. (1988). The control of leaf expansion. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39:267-295.
- DAUNAY M.-C. (1986). *Adaptation de l'aubergine au climat méditerranéen: Recherche des caractères morphologiques et physiologiques impliqués*, Thèse de Doct. Université Aix-Marseille
- DAUNAY M.-C., SCHOCH P.G., MALET P. (1986). Fréquences stomatiques de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) et relations avec le développement racinaire. *Agronomie* 6:523-528.
- DAVIES F.S., LAKSO A.N. (1978). Water relations in apple seedlings: changes in water potential components, abscisic acid levels and stomatal conductances under irrigated and non-irrigated conditions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 103:310-313.
- DAVIES W., MELCALFE T., LODGE A., COSTA A. (1986). Plant growth substances and the regulation of growth under drought. *J. Plant Physiol.* 13:105-126.
- DAVIES W.J., KOZLOWSKI T.T. (1977). Variations among woody plants in stomatal conductance and photosynthesis during and after drought. *Plant and Soil* 46:435-444.
- DAVIES W.J., ZHANG J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu.Rev.Plant Physiol.Plant Mol.Biol.* 42:55-76.
- DAY L.H. (1953). Rootstocks for stone fruits. Observations and experiments with plum, peach, apricot, and almond roots for stone fruits, *Calif. Agric. Exper. Station*, Bul. 736.
- DeJONG T.M. (1983). CO<sub>2</sub> assimilation characteristics of five *Prunus* tree fruit species. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108:303-307.
- DeJONG T.M. (1986). Effects of reproductive and vegetative sink activity on leaf conductance and water potential in *Prunus persica* L. Batsch. *Scientia Horti.* 29:131-137
- DeJONG T.M., DAY K.R. (1991). Relationships between shoot productivity and leaf characteristics in peach canopies. *HortScience* 26:1271-1273.
- DELGADO E., PARRY M.A.J., VADELL J., LAWLORD.W. , KEYS A.J., MEDRANO H. (1992). Effect of water stress on photosynthesis, leaf characteristics and productivity of field-grown *Nicotiana tabacum* L. genotypes selected for survival at low CO<sub>2</sub>. *J. Exp. Bot.* 43:1001-1008.
- DENNE M.P. (1976). Predicting differences in potential wood production from tracheid diameters and leaf cell dimensions of conifers seedlings. In *Tree Physiology and Yield Improvement*, Eds Cannell M.G., Last F.T. Academic Press, London: 283-289.
- DIXON R.K., WRIGHT G.M., BEHRNS G.T., TESKEY R.O., HINCKLEY T.M. (1980). Water deficits and root growth of ectomycorrhizal white oak seedlings. *Can. J. For. Res.* 10:545-548.
- DOLEY D. (1974). Effects of rootstocks and interstock on cell dimensions in scion stems of apple (*Malus pumila* Mill.). *New Phytol.* 73:173-194.
- DOLMAN A.J., VAN DEN BURG G.J. (1988). Stomatal behaviour in an oak canopy. *Agric. Forest. Meteor.* 43:99-108.
- DONOVAN L.A., EHLERINGER J.R. (1994). Potential for selection on plants for water-use efficiency as estimated by carbon isotope discrimination. *Amer. J. Bot.* 81:927-935.
- DURNER E.F., GOFFREDA J.C. (1992). Rootstock-induced differences in flower bud phenology in peach. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117:690-697. (Abstract)
- EHLERINGER J. (1980). Leaf morphology and reflectance in relation to water and temperature stress. In *Adaptations of Plant to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. J. Wiley, N.York: 295-308.
- EHLERINGER J.R. (1991). Temperature and energy budgets. In *Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation*, Eds Pearcy R.W., Ehleringer J., Mooney H.A., Rundel P.W. Chapman and Hall, London:

- EHLERINGER J.R., KLASSEN S., CLAYTON L., SHERRILL D., FULLER-HOLBROOK M., FU Q., COOPER T.A. (1991). Carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in common bean. *Crop Sci.* 31:1611-1615.
- EHLERINGER J.R., WERK K.S. (1986). Modifications of solar-radiation absorption patterns and implications for carbon gain at the leaf level. In *On the Economy of Plant Form and Function*, Ed. Givnish T.J. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 57-82.
- EHRLER W.L. (1973). Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agron. J.* 65:404-409.
- EISSENSTAT D.M. (1991). On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation: a field study using citrus rootstocks. *New Phytol.* 118:63-68.
- EL-SHARKAWI H.M., EL-MONAYERI M. (1976). Response of olive and almond orchards to partial irrigation under dry-farming practices in semi-arid regions. III. Plant-soil water relations in almond during the growing season. *Plant and Soil* 44:113-128.
- EVENARI M., LANGE O.L., SCHULZE E.-D., KAPPEN L., BUSCHBOM U. (1977). Net photosynthesis, dry matter production, and phenological development of apricot trees (*Prunus armeniaca* L.) cultivated in the Negev Highlands (Israel). *Flora* 166:383-414.
- FABIÃO A., MADEIRA M., STEEN E., KÄTTERER T., RIBEIRO C., ARAÚJO C. (1995). Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil* 168-169:215-223.
- FARQUHAR G.D., O'LEARY M.H., BERRY J.A. (1982). On the relationship between carbon isotope discrimination and the intracellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 9:121-137.
- FAUST M. (1989). *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*, John Wiley & Sons, New York.
- FEIL W., KOTTKE I., OBERWINKLER F. (1988). The effect of drought on mycorrhizal production and very fine root system development of Norway spruce under natural and experimental conditions. *Plant and Soil* 108:221-231.
- FELIPE A.J. (1987). Patrones para el cultivo del almendro en secano y regadio, *Informaciones Técnicas* DGA 8/1987,
- FERERES E., ALDRICH T.M., SCHULBACH H., MARTINICH D.A. (1981). Responses of young almond trees to late-season drought. *California Agriculture* Jul.-Aug.:11-12.
- FERERES E., CRUZ-ROMERO G., HOFFMAN G.J., RAWLINS S.L. (1979). Recovery of orange trees following severe water stress. *J. Appl. Ecology* 16:833-842.
- FERREE D.C. (1994). Root morphology 9 years of root-pruning 'Melrose'/M.26 apple trees. *HortScience* 29: 76-78.
- FERREE M.E., BARDEN J.A. (1971). The influence of strains and rootstocks on photosynthesis, respiration, and morphology of 'Delicious' apple trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96:453-457.
- FITTER A.H., STICKLAND T.R. (1992). Architectural analysis of plant root systems.3. Studies on plants under field conditions. *New Phytol.* 121:243-248.
- FITTER A.H. (1985). Functional significance of root morphology and root system architecture. In *Ecological Interactions in Soil*. Ed. Fitter A.H., Atkinson D., Read D.J., Usher M.B. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 87-116.
- FORD E.D. (1992). The control of tree structure and productivity through the interaction of morphological development and physiological processes. *Int. J. Plant Sci.* 153:S147-S162.
- FREGONI M., ROVERSI A. (1968). Indagine biometrica sugli stomi di alcune cultivar di pesco (nota preliminare). *Riv. Ortoflorofrutticoltura Ital.* 52:541-548.
- FRIEND A.L., SCARASCIA-MUGNOZA G., ISEBRANDS J.G., HEILMAN P.E. (1991). Quantification of two-year-old hybrid poplar root-systems: morphology, biomass, and <sup>14</sup>C distribution. *Tree Physiol.* 8:109-119.

- FUSSEDER A., WARTINGER A., HARTUNG W., SCHULZE E.-D., HEILMEIER H. (1992). Cytokinins in the xylem sap of desert-grown almond (*Prunus dulcis*) trees: Daily courses and their possible interactions with abscisic acid and leaf conductance. *New Phytol.* 122:45-52.
- GARDNER F.E., HORANIC G.E. (1967). Transpiration rates of container-grown orange trees on four rootstocks and the effect of two anti-transpirants. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 91:128-137.
- GARNIER E., BERGER A. (1985). Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *J. Hort. Sci.* 60:47-56.
- GARNIER E., BERGER A. (1987). The influence of drought on stomatal conductance and water potential of peach trees growing in the field. *Scientia Hortic.* 32:249-263.
- GAUSMAN H.W. (1977). Reflectance of leaf components. *Remote Sens. Environ.* 6:1-9.
- GAUSMAN H.W., ALLEN W.A. (1973). Optical parameters of leaves of 30 plant species. *Plant Physiol.* 52:57-62.
- GAUSMAN H.W., ALLEN W.A., MYERS V.I., CARDENAS R. (1969). Reflectance and internal structure of cotton leaves, *Gossypium hirsutum* L. *Agron. J.* 61:374-376.
- GÉNARD M., PAGES L., KERVELLA J. (1994). Relationship between sylleptic branching and components of parent shoot development in the peach tree. *Ann. Bot.* 74:465-470.
- GHOLZ H.L. (1978). Assessing stress *Rhododendron macrophyllum* through an analysis of leaf physical and chemical characteristics. *Can. J. Bot.* 56:546-556.
- GHOSH S.P. (1973). Internal structure and photosynthetic activity of different leaves of apple. *J. Hort. Sci.* 48:1-9.
- GIANINAZZI-PEARSON V., GIANINAZZI S. (1983). The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. *Plant and Soil* 71:197-209.
- GIOVANNINI D., GLENN D.M., SCORZA R., WELKER W.V. (1994). Dry matter distribution of three peach growth types. *HortScience* 12:1481-1483.
- GIRONA J., MARSAL J., COHEN M., MATA M., MIRAVETE C. (1993). Physiological, growth and yield responses of almond (*Prunus dulcis* L.) to different irrigation regimes. *Acta Hortic.* 335:389-398.
- GIULIVO C., PONCHIA G., GIANOLA A., PITACCO A. (1985). Effect of rootstock on water balance of Golden Delicious apple trees. *Acta Hortic.* 171:399-401.
- GIVNISH T.J. (1986). Economics of gas exchange. In *On the Economy of Plant Form and Function*, Ed. Givnish T.J. Cambridge Univ. Press, Cambridge: 11-24.
- GLENN D.M., SCORZA R. (1992). Reciprocal grafts of standard and dwarf peach alter dry-matter partitioning and root physiology. *HortScience* 27:241-243.
- GLENN D.M., WELKER W.V. (1993). Root development patterns in field grown peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118:362-365.
- GLENN D.M., WORTHINGTON J.W., WELKER W.V., MCFARLAND M.J. (1989). Estimation of peach tree water use using infrared thermometry. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114:737-741.
- GLINSKI D.S., KARNOK K.J., CARROW R.N. (1993). Comparison of reporting methods for root growth data from transparent-interface measurements. *Crop Sci.* 33:310-314.
- GRANT L. (1987). Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sens. Environ.* 22:309-322.
- GRASSELLY CH. (1972). *L'Amandier, caractères morphologiques et physiologiques des variétés. Modalité de leur transmission chez les hybrides de première génération*, Thèse Université de Bordeaux,
- GRASSELLY CH., CROSSA RAYNAUD P. (1980). *L'Amandier*, Maisonneuve et Larose, Paris.
- GRIFFIN D.H., SCHEDULE M., DEVIT M.J., MANION P.D. (1991). Clonal variation of *Populus tremuloides* responses to diurnal drought stress. *Tree Physiol.* 8:297-304.

- GRIFFITHS H. (1993). Carbon isotope discrimination. In *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. Eds Hall D.O., Scurlock J.M., Bolh ar-Nordenkamp H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. Chapman & Hall, London, 181-192
- HALL A.E., MUTTERS R.G., HUBICK K.T., FARQUHAR G.D. (1990). Genotypic differences in carbon isotope discrimination by cowpea under wet and dry field conditions. *Crop Sci.* 30:300-305.
- HAND J.M., YOUNG E., VASCONCELOS C. (1982). Leaf water potential, stomatal resistance, and photosynthetic response to water stress in peach seedlings. *Plant Physiol.* 69:1051-1054.
- HANSON A.D., HITZ W.D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33:163-203.
- HARRISON R.D., DANIELL J.W., CHESHIRE JR. J.M. (1989). Net photosynthesis and stomatal conductance of peach seedlings and cuttings in response to changes in soil water potential. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114:986-990.
- HARTMANN H.T., PANETSOS C. (1961). Effect of soil moisture deficiency during floral development on fruitfulness in the olive. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 78:209-217.
- HATFIELD J.L., QUISENBERRY J.E., DILBECK R.E. (1987). Use of canopy temperatures to identify water conservation in cotton germplasm. *Crop Sci.* 27:269-273.
- HAUN J.R., COSTON D.C. (1983). Relationship of daily growth and development of peach leaves and fruit to environmental factors. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108:666-671.
- HENSON I.E., ALAGARSWAMY G., BIDERGER F.R., MAHALAKSHMI V. (1982). Stomatal responses of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke) to leaf water status and environmental factors in the field. *Plant, Cell and Environment* 5:64-74.
- HIGGS K.H., JONES H.G. (1990). Response of apple rootstocks to irrigation in south-east England. *J. Hort. Sci.* 65:129-141.
- HIPPS N.A., PAGES L., HUGUET J.G., SERRA V. (1995). Influence of controlled water supply on shoot and root development of young peach trees. *Tree Physiol.* 15:95-103.
- HIRST P.M., FERREE D.C. (1995). Effect of rootstock and cultivar on the growth and precocity of young apple trees. *Fruit Var. J.* 49:34-41.
- HISCOX J.D., ISRAELSTAM G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57:1332-1334.
- HOBBS S.L.A. (1988). Genetic variability in photosynthesis and other leaf characters in *Brassica*. *Photosynthetica* 22:388-393.
- HOOGENBOOM G., PETERSON C.M., HUCK M.G. (1987). Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agron. J.* 79:598-607.
- HSIAO T.C. (1973). Plant response to water stress. *Plant Physiol.* 24:519-570.
- HSIAO T.C., ACEVEDO E. (1974). Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agricult. Meteorol.* 14:59-84.
- HUBICK K.T. (1990). Effects of nitrogen source and water limitation on growth, transpiration efficiency and carbon-isotope discrimination in peanut cultivars. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:413-430.
- HUBICK K.T., FARQUHAR G.D., SHORTER R. (1986). Correlation between water-use efficiency and carbon isotope discrimination in diverse peanut (*Arachis*) germplasm. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:803-816.
- HUGUET J.G. (1985). Appréciation de l'état hydrique d'une plante   partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. *Agronomie* 5:733-741.
- HUGUET J.G., LI S.H., LORENDEAU J.Y., PELLOUX G. (1990). Utilisation de la micromorphometrie sur arbres fruitiers pour le controle de l'état hydrique et de pilotage de l'irrigation. *Le Fruit Belge* 431:186-198.
- HUGUET J.G., LI S.H., LORENDEAU J.Y., PELLOUX G. (1992). Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *J. Hort. Sci.* 67:631-640.

- JACKSON L.W.R. (1967). Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species. *Ecology* 48:498-499.
- JACKSON R.D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. In *Advances in Irrigation*, Ed. Hillel D.I. Academic Press, New York: 43-85.
- JARVIS P.G. (1985). Specific leaf weight equals 1.0 - always. *HortScience* 20:812.
- JONES H.G. (1985). Physiological mechanisms involved in the control of leaf water status: implications for the estimation of tree water status. *Acta Hort.* 171:291-296.
- JONES O.P. (1984). Mode-of-action of rootstock/scion interactions in apple and cherry trees. *Acta Hort.* 146:175-182.
- JONES R.W. (1969). Selection of intercompatible almond and root-knot nematode resistant peach rootstocks as parents for production of hybrid rootstock seed. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94:89-91.
- KAPPEL F., FLORE J.A. (1983). Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108:541-544.
- KATERJI N.B. (1982). *Étude et modélisation des transferts hydriques dans le système-sol-plant-atmosphère*, Thèse Doct. Etat, Paris VII.
- KAUFMANN M.R. (1982). Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. *Plant Physiol.* 69:1018-1022.
- KAUFMANN M.R., TROENDLE C.A. (1981). The relationship of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. *Forest Sci.* 27:477-486.
- KENNEDY R.A., JOHNSON D. (1981). Changes in photosynthetic characteristics during leaf development in apple. *Photosynthesis Research* 2:213-223.
- KENWORTHY A.L. (1949). Soil moisture and growth of apple trees. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 54:29-39.
- KESTER D.E., ASAY R. (1975). Almonds. In *Advances in Fruit Breeding*, Eds Janick J., Moore J.N. Purdue University Press, West Lafayette, Indiana: 387-418.
- KESTER D.E., GRASSELLY CH. (1987). Almond rootstocks. In *Rootstocks for Fruit Crops*, Eds Rom R.C., Carlson R.F. J. Wiley, N. York: 265-293.
- KILLIAN CH., LEMÉE G. (1956). Les xérophytes: leur économie d'eau. *Encycl. Plant Physiol.* III:787-821.
- KLEIN I., WEINBAUM S.A., DEJONG T.M., MURAOKA T.T. (1991). Relationship between fruiting, specific leaf weight, and subsequent spur productivity in walnut. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116:426-429.
- KLEINER K.W., ABRAMS M.D., SCHULTZ J.C. (1992). The impact of water nutrient deficiencies on the growth, gas exchange and water relations of red oak and chestnut oak. *Tree Physiol.* 11:271-287.
- KLEPPER B. (1968). Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* 43:1931-1934.
- KLEPPER B. (1987). Origin, branching and distribution of root systems. In *Root Development and Function. Effects of the Physical Environment*, Ed. Lake J.V. et al. Cambridge University Press, New-York: 103-124.
- KLEPPER B. (1992). Development and growth of crop root system. In *Limitations to Plant Root Growth*, Eds Hatfield J.L., Stewart B.A. Springer-Verlag, New York: 1-25.
- KOIDE R.T., ROBICHAUX R.H., MORSE S.R., SMITH C.M. (1991). Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In *Plant Physiology Ecology. Field Methods and Instrumentation*, Eds Percy R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Rundel P.W. Chapman and Hall, London: 161-184.
- KOVEKORDES K.G., MCCULLY M.E., CANNY M.J. (1988). Late maturation of large metaxylem vessels in soybean roots: significance for water and nutrient supply to the shoots. *Ann. Bot.* 62:105-117.
- KOZLOWSKI T.T., KRAMER P.J., PALLARDY S.G. (1991). *The Physiological Ecology of Woody Plants*, Academic Press, San Diego.
- KUMMEROW J. (1980). Adaptation of roots in water-stressed native vegetation. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. J. Wiley, N. York: 57-73.



- LAKSO A.N. (1979). Seasonal changes in stomatal response to leaf water potential in apple. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 104:58-60.
- LAKSO A.N. (1990). Interactions of physiology with multiple environmental stresses in horticultural crops. *HortScience* 25:1365-1369.
- LAKSO A.N., GEYER A.S., CARPENTER S.G. (1984). Seasonal osmotic relations in apple leaves of different ages. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109:544-547.
- LAMBERS, H. (1987). Growth, respiration, exudation and symbiotic associations: the fate of carbon translocated to the roots. In *Root Development and Function*, Eds Gregory J., Lake J.V., Rose D.A. Cambridge University Press, New York: 125-145.
- LANGE O.L. (1988). Ecophysiology of photosynthesis: performance of poikilohydric and homoioidric plants. In *Proceedings of the International Botanical Congress*, Eds Greuter W., Zimmer B. Koeltz Scientific Books, Königstein: 357-383.
- LARSEN F.E., HIGGINS S.S., AL WIR A. (1989). Diurnal water relations of apple, apricot, grape, olive and peach in a arid environment (Jordan), *Scientia Hortic.* 39:211-222
- LAST F.T., MASON P.A., WILSON J. (1983). Fine roots and sheathing mycorrhizas: their formation, function and dynamics. *Plant and Soil* 71:9-21.
- LAYNE R.E., TAN C.S. (1986). Characterization of peach roots in fox sand as influenced by sprinkler irrigation and tree density. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111:671-677.
- LEHMAN V.G., ENGELKE M.C. (1991). Heriability estimates of creeping bentgrass root systems grown in flexible tubes. *Crop Sci.* 31:1680-1684.
- LEVIN I., ASSAF R., BRAVDO B. (1980). Irrigation, water status and nutrient uptake in apple orchard. *Acta Hortic.* 92:255-264.
- LEVITT J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses*, Academic Press, N. York.
- LEVY Y. (1983). Acclimation of citrus to water stress. *Scientia Hortic.* 20:267-273.
- LI S.-H., HUGUET J.G., SCHOCH P.G., ORLANDO P. (1989). Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *J. Hort. Sci.* 64:541-552.
- LI S.H., HUGUET J.G., SCHOCH P.G., BUSSI C. (1990). Réponse de jeunes pêcheurs cultivés en pots à différents régimes d'alimentation hydrique. I: Conséquences sur la transpiration, la résistance stomatique, le potentiel hydrique foliaire, la photosynthèse et des variations micromorphométriques des tiges. *Agronomie* 10:263-272.
- LICHTENTHALER H.K. (1985). Differences in morphology and chemical composition of leaves grown at different light intensities and qualities. In *Control of Leaf Growth*, Eds Baker N.R., Davies W.J., Ong C.K. Cambridge University Press, Cambridge: 201-221.
- LITTLE C.H.A., WAREING P.F. (1981). Control of cambial activity and dormancy in *Picea sitchensis* by indol-3-acetic and abscisic acids. *Can. J. Bot.* 59:1480-1493.
- LLOYD J., TROCHOULIAS T., ENSBEY R. (1991). Stomatal responses and whole-tree hydraulic conductivity of orchard *Macadamia integrifolia* under irrigated and non-irrigated conditions. *Aust. J. Plant Physiol.* 18:661-671.
- LOCKARD R.G. (1976). The effect of apple dwarfing rootstocks and interstocks on the proportion of bark on the tree. *Hort.Res.* 15:83-94.
- LOONEY N.E. (1968). Comparison of photosynthetic efficiency of two apple cultivars with their compact mutants. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 92:34-36.
- LOSS S.P., SIDDIQUE K.H.M. (1994). Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. In *Advances in Agronomy*, Volume 52, Academic Press, 229-269.

- LUDLOW M.M., MUCHOW R.C. (1988). Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. In *Drought Research Priorities for the Dryland Tropics*, Eds Bidinger F.R., Johansen C. ICRISAT, Patancheru, India:
- MAAS S.J., DUNLAP J.R. (1989). Reflectance, transmittance, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. *Agron. J.* 81:105-110.
- MACDUFF J.H., WILD A., HOPPER M.J., DHANOA M.S. (1986). Effects of temperature on parameters of growth root relevant to nutrient uptake. *Plant Soil* 94:321-332.
- MARINI R.P., MARINI M. (1983). Seasonal changes in specific leaf weight, net photosynthesis, and chlorophyll content of peach leaves as affected by light penetration and canopy position. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108:600-605.
- MARINI R.P., SOWERS D.L. (1990). Net photosynthesis, specific leaf weight, and flowering of peach as influenced by shade. *HortScience* 25:331-334.
- MARRO M., CEREGHINI F. (1976). Osservazioni su alcuni aspetti morfologici e funzionali di lamburde di melo "Richared" innestate su "Franco" e su "M9". *Riv.Ortoflorofrutticolt.Ital.* 60:1-14.
- MARTIN U., PALLARDY S.G., BAHARI Z.A. (1987). Dehydration tolerance of leaf tissues of six woody angiosperm species. *Physiol. Plantarum* 69:182-186.
- MARTINEZ J., DAMIDAUX R. (1993). Rapide methods to asses the chlorophyll and caretenoid content of leaves and fruits using a microplate reader. *Ann. Appl. Biol.* 123:673-684
- MATUS A., SLINKARD A.E., KESSEL C. (1995). Carbon isotope discrimination and indirect selection for seed yield in lentil. *Crop Sci.* 35:679-684.
- McCREE K.J. (1986). Whole-plant carbon balance during osmotic adjustment to drought and salinity stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:33-43.
- McCREE K.J., RICHARDSON G. (1987). Stomatal closure vs. osmotic adjustment: A comparison of stress responses. *Crop Sci.* 27:539-543.
- McKENZIE D.W. (1961). Rootstock-scion interaction in apples with special reference to root anatomy. *J. Hort. Sci.* 36:40-47.
- McMICHAEL B.L., UPCHURCH D.R., TAYLOR H.M. (1992). Transparent wall techniques for studying root growth and function in soil. *J.Plant Nutrition* 15:753-762.
- McMILLEN G.G., McCLENDON J.H. (1983). Dependence of photosynthetic rates on leaf density thickness in deciduous woody plants grown in sun and shade. *Plant Physiol.* 72:674-678.
- MEBRAHTU T., HANOVER J.W. (1991). Family variation in gas exchange, growth and leaf traits of black locust half-sib families. *Tree Physiol.* 8:185-193.
- MEJSTRIK V.K., CUDLIN P. (1983). Mycorrhiza in some plant desert species in Algeria. *Plant and Soil* 71:363-366.
- MENÉNDEZ C.M.; HALL A.E. (1995). Heritability of carbon isotope discrimination and correlations with earliness in cowpea. *Crop Sci.* 35:673-678.
- MERLO L., PASSERA C., GIULIVO C. (1991). Seasonal, developmental and varietal effects on photosynthetic enzyme activities of peach leaves (*Prunus persica* (L.) Batsch). *J. Hort. Sci.* 66:27-33.
- METCALFE J.C., DAVIES W.J., PEREIRA J.S. (1990). Leaf growth of *Eucalyptus globulus* seedlings under water deficit. *Tree Physiol.* 6:221-227.
- MOLTZ F.J. (1981). Models of water transport in the soil-plant system: A review. *Water Res. Resear.* 17:1245-1260.
- MOLTZ F.J., KLEPPER B. (1972). Radial propagation of water potentials im stems. *Agron. J.* 64:469-473.
- MONASTRA F., STRADA G.D. (1973). Osservazioni sul comportamento in vivaio di alcune varieta' di mandorlo innestate su portainnesti differrenti. *Ann. Ist. Sper. Fruttic.* 5:63-74.
- MONJE O.A., BUGBEE B. (1992). Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. *HortScience* 27:69-71.

- MORAN R., PORATH D. (1980). Chlorophyll determination in intact tissues using N, N-dimethylformide. *Plant Physiol.* 65:478-479.
- MORGAN J.M. (1988). The use of coleoptile responses to water stress to differentiate wheat genotypes for osmoregulation, growth and yield. *Ann. Bot.* 62:193-198.
- MYERS B., NEALES T.F. (1986). Osmotic adjustment, induced drought, in seedlings of three *Eucalyptus* species. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:597-603.
- MYERS B.J., LANDSBERG J.J. (1989). Water stress and seedling growth of two eucalypt species from contrasting habitats. *Tree Physiol.* 5:207-218.
- NATALI S., XILOYANNIS C., BARBIERI A. (1985). Water consumption of peach trees grafted on four different rootstocks. *Acta Hort.* 173:355-361.
- NELSON N.D., EHLERS P. (1984). Comparative carbon dioxide exchange for two *Populus* clones grown in growth room, greenhouse, and field environments. *Can. J. For. Res.* 14:924-932.
- NEVES M.A. (1989). Mecanismos de resistência das plantas à seca. Aplicação ao melhoramento da amendoeira. Univ. do Algarve, Faro.
- NEWMAN E.I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecology* 3:139-145.
- NEWMAN E.I. (1974). Root-soil water relations. In *The Plant Root and its Environment*, Ed. Carson E.W. The University Press of Virginia, Charlottesville: 363-440.
- NI B-R., PALLARDY S.G. (1991). Response of gas exchange to water stress in seedlings of woody angiosperms. *Tree Physiol.* 8:1-9.
- NIEMIERA A.X., GOY M. (1990). Use of crop water stress index to schedule irrigation of freeway landscape plants. *HortScience* 25:302-305.
- NII N., KUROIWA T. (1988). Anatomical changes including chloroplast structure in peach leaves under different light conditions. *J. Hort. Sci.* 63:37-45.
- NILSEN E.T. (1987). Influence of water relations and temperature on leaf movements of *Rhododendron* species. *Plant Physiol.* 83:607-612.
- NOBEL P.S. (1976). Photosynthetic rates of sun versus shade leaves in *Hyptis emoryi* Torr. *Plant Physiol.* 58:218-223.
- NOBEL P.S. (1980). Leaf anatomy and water efficiency. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. J. Wiley, N. York: 43-55.
- NOBEL P.S., HUANG B., GARCIA-MOYA E. (1993). Root distribution, growth, respiration, and hydraulic conductivity for two highly productive agaves. *J. Exp. Bot.* 44:747-754.
- O'TOOLE J.C., HATFIELD J.L. (1983). Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. *Agron. J.* 75:811-817.
- O'TOOLE J.C., REAL J. (1983). Canopy target dimensions for infrared thermometry. *Agron. J.* 78:863-865.
- O'TOOLE J.C., REAL J.G. (1986). Estimation of aerodynamic and crop resistances from canopy temperature. *Agron. J.* 78:305-310.
- OKIE W.R. (1990). Ta Tao, P.I. 101686, affects bloom date and tree size of 'Sunprince' peach. *Fruit Var. J.* 44:87-89.
- OLIEN M.E., FLORE J.A. (1990). Effect of a rapid water stress and a slow water stress on the growth of 'Redhaven' peach trees. *Fruit Var. J.* 44:4-11.
- OLIEN W.C., LAKSO A.N. (1986). Effect of rootstock on apple (*Malus domestica*) tree water relations. *Physiol. Plantarum* 67:421-430.
- PAGES L., CHADOEUF J., KERVELLA J. (1992). Modélisation stochastique de la croissance et du développement du système racinaire de jeunes pêchers. I. Estimation et validation du modèle. *Agronomie* 12:447-458.

- PALLANT E., HOLMGREN R.A., SCHULER G.E., MCCRACKEN K.L., DRBAL B. (1993). Using fine root extraction device to quantify small diameter corn roots ( $\geq 0.025\text{mm}$ ) in field soils. *Plant and Soil* 153:273-279.
- PALLARDY S.G., KOZLOWSKI T.T. (1979). Stomatal response of *Populus* clones to light intensity and vapor pressure deficit. *Plant Physiol.* 64:112-114.
- PARKER W.C., PALLARDY S.G. (1985). Genotypic variation in tissue water relations of leaves and roots of black walnut (*Juglans nigra*) seedlings. *Physiol. Plantarum* 64:105-110.
- PARSONS L.R. (1979). Breeding for drought resistance: what characteristics impart resistance? *HortScience* 14:590-593.
- PASSIOURA J.B. (1982). Water in the soil-plant-atmosphere continuum. *Encycl. Plant Physiol.* 12B:5-34.
- PASSIOURA J.B. (1988). Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Aust. J. Plant Physiol.* 15:687-693.
- PATHAK R.K., PANDEY D., PANDEY V.S. (1976). Stomatal distribution as an index for predicting the growth potential of apple stocks. *J. Hort. Sci.* 51:429-431.
- PATHAK R.K., PANDEY D., PANDEY V.S. (1977). Stomatal distribution as an index for predicting vigour of plum rootstocks. *Indian J. Hortc.* 34:117-119.
- PATTERSON D.T., BUNCE J.A., ALBERTE R.S., VOLKENBURGH E. (1977). Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. *Plant Physiol.* 59:384-387.
- PAUL N.K. (1992). Variation in morpho-physiological characters in forage rape (*Brassica napus* L.). 2. Stomatal characters. *Genet. Pol.* 33:45-50.
- PENG S., GARCIA F.G., LAZA R.C., CASSMAN K.G. (1993). Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J.* 85:987-990.
- PEREIRA J.S., KOZLOWSKI T.T. (1976). Leaf anatomy and water relations of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globulus* seedlings. *Can. J. Bot.* 54:2868-2880.
- PHILIPSON J.J. (1988). Root growth in Stika spruce and Douglas fir transplants: dependence on the shoot and stored carbohydrates. *Tree Physiol.* 4:101-108.
- PICKETT W.F., KENWORTHY A.L. (1939). The relationship between structure, chlorophyll content, and photosynthesis in apple leaves. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 37:371-373.
- PORRA R.J., THOMPSON W.A. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochim. Biophys. Acta* 975:384-394.
- POUGET E., ORIEUX A. (1984). Le Mistral. Contribution à l'étude de ses aspects statistiques et régionaux. Monographies n°5, Météor. Nat, Paris.
- PRICE N.S., RONCADORI R.W., HUSSEY R.S. (1989). Cotton root growth as influenced by phosphorous nutrition and vesicula-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* 111: 61-66.
- PROEBSTING E.L., MIDDLETON J.E. (1980). The behavior of peach and pear trees under extreme drought stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105:380-385.
- QUAMME H.A., BROWNLEE R.T. (1993). Early performance of micropropagated trees of several *Malus* and *Prunus* cultivars on their own roots. *Can.J.Plant Sci.* 73:847-855.
- RAMOS B. (1976). Patronos francos de almendro. In *I Congreso Internacional de Almendra y Avellana*, Reus: 377-385.
- RANNEY T.G., BASSUK N.L., WHITLOW T.H. (1991a). Influence of rootstock, scion, and water deficits on growth of 'Colt' and 'Meteor' cherry trees. *HortScience* 26:1204-1207.
- RANNEY T.G., BASSUK N.L., WHITLOW T.H. (1991b). Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of water-stressed cherry (*Prunus*) trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116:684-688.

- RANNEY T.G., BIR R.E., SKROCH W.A. (1991c). Comparative drought resistance among six species of birch (*Betula*): influence of mild water stress on water relations and leaf gas exchange. *Tree Physiol.* 8:351-360.
- RANNEY T.G., WHITLOW T.H., BASSUK N.L. (1990). Response of five temperate deciduous tree species to water stress. *Tree Physiol.* 6:439-448.
- RASCIO A., SORRENTINO G., PASTORE D., WITTMER G. (1988). Pressure-volume curves and drought resistance in two wheat genotypes. *Physiol. Plantarum* 73:122-127.
- RENAUD R., CANELAS M. (1994). The effect of the rootstock on various morphological traits of the variety (*Prunus domestica*). *Acta Hort.* 359:225-228.
- RHODENBAUGH E.J., PALLARDY S.G. (1993). Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones. *Tree Physiol.* 13:213-226.
- RICHARDS D. (1983). The grape root system. *Hort.Rev.* 5:127-168.
- RICHARDS R.A., PASSIOURA J.B. (1981). Seminal root morphology and water-use in wheat. I. Environmental effects. *Crop Sci.* 21:249-252.
- RIDGE C.R., HINCKLEY T.M., STETTLER R.F., VOLKENBURGH E. (1986). Leaf growth characteristics of fast-growing poplar hybrids *Populus trichocarpa* / *P. deltoides*. *Tree Physiol.* 1:209-216.
- RIEGER M., DUEMMEL M.J. (1992). Comparison of drought resistance among *Prunus* from divergent habitats. *Tree Physiol.* 11:369-380.
- RISTIC Z., CASS D.D. (1991). Leaf anatomy of *Zea mays* L. in response to water shortage and high temperature: a comparison of drought-resistant and drought-sensitive lines. *Bot. Gaz.* 152:173-185.
- RITCHIE G.A., HINCKLEY T.M. (1976). The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* 9:165-254.
- RODEN J., VOLKENBURGH E.VAN, HINCKLEY T.M. (1990). Cellular basis for limitation of poplar leaf growth by water deficit. *Tree Physiol.* 6:211-219.
- RODRIGUES M.L., CHAVES M.M., WENDLER R., DAVID M.M., QUICK W.P., LEEGOOD R.C., STITT M., PEREIRA J.S. (1993). Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Aust. J. Plant Physiol.* 20:309-321.
- ROM R.C. (1987). Roots. In *Rootstocks for Fruit Crops*, Eds Rom R.C., Carlson R.F. John Wiley & Sons, New York: 5-28.
- ROSATI P., FAEDI W., FAEDI M. (1976). Osservazioni su apparati radicali di diversi portainnesti del pesco in Romagna. In *Atti dell'Incontro Frutticolo su 'I Portainnesti degli Alberi da Frutto'*, Società Orticola Italiana, Pisa:
- RUGGIERO C., ANGELORO P., MAGLIULO V., BUSIELLO F. (1988). Leaf osmotic potential and osmotic adjustment of apricot, under different water regimen during the years of establishment. *Acta Hort.* 228:281-290.
- RUIZ-SANCHEZ M.C., TORRECILLAS A., AMOR F., DEL, LEON A., ABRISQUETA J.M. (1988). Leaf water potential and leaf conductance during the growing season in almond trees under different irrigation regimes. *Biol. Plantarum* 30:327-332.
- SADRAS V.O., VILLALOBOS F.J., FERERES E., WOLFE D.W. (1993). Leaf responses to soil water deficits: Comparative sensitivity of leaf expansion rate and leaf conductance in field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant and Soil* 153:189-194.
- SALISBURY E.J. (1927). I. On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora. *Phil. Trans. Roy. Soc.* 216:1-65.
- SANCHEZ-BLANCO M.J., RUIZ-SANCHEZ M.C., PLANES J., TORRECILLAS A. (1991). Water relations of two almond cultivars under anomalous rainfall in non-irrigated conditions. *J. Hort. Sci.* 66
- SANDERS P.L., MARKHART A.H. (1992). Interspecific grafts demonstrate root system control of leaf water status in water stressed *Phaseolus*. *J. Exp. Bot.* 43:1563-1567.

- SAVÉ R., OLIVELLA C., BIEL C., ADILLON J., RABELLA R. (1994). Seasonal patterns of water relationships, photosynthetic pigments and morphology of *Actinidia deliciosa* plants of the Hayward and Tomuri cultivars. *Agronomie* :121-126.
- SAVÉ R., PENUELAS J., MARFA O., SERRANO L. (1993). Changes in leaf osmotic and elastic properties and canopy structure of strawberries under mild water stress. *HortScience* 28:925-927.
- SCHECHTER I., ELFVING D.C., PROCTOR J.T. (1991). Apple tree canopy development and photosynthesis as affected by rootstock. *Can. J. Bot.* 69:295-300.
- SCHECHTER I., PROCTOR J.T.A., ELFVING D.C. (1992). Morphological differences among apple leaf types. *HortScience* 27:101-103.
- SCHOCH P.G., KATERJI N., RIMGOTO P., TCHAMITCHIAN M., MALET P., L'HOTEL J.C., DAUNAY M.C. (1987). Influence du niveau d'alimentation hydrique sur les variations du diamètre des tiges, du potentiel hydrique, de la résistance stomatique, de la transpiration et de la photosynthèse de l'aubergine (*Solanum melangena* L.). *Agric. Forest. Meteor.* 40:89-104.
- SCHOCH P.G., L'HOTEL J.C., BRUNEL B. (1990). Croissance du diamètre de la tige de tomate: Effets du rayonnement et de la température nocturne. *Agric. Forest. Meteor.* 50:229-238.
- SCHOCH P.G., SILVY A. (1978). Méthode simple de numération des stomates et des cellules de l'épiderme des végétaux. *Ann. Amélior. Plantes* 28:455-461.
- SCHULZE E.-D. (1986). Whole-plant responses to drought. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:127-141.
- SCHULZE E.D., HALL A.E. (1982). Stomatal responses, water loss and CO<sub>2</sub> assimilation rate of plants in contrasting environments. In: *Encyclopedia of Plant Physiology II, Physiological Plant Ecology* Eds Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. Springer-Verlag, Berlin: 181-230.
- SCHULZE E.D., LANGE O.L., BUSCHBOM U., KAPPEN L., EVENARI M. (1972). Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta* 108:259-270.
- SCIENZA A., BOSELLI M. (1981). Fréquence et caractéristiques biométriques des stomates de certains porte-greffes de vigne. *Vitis* 20:281-292.
- SCORZA R., LIGHTNER G.W., LIVERANI A. (1989). The pillar peach tree and growth habit analysis of Compact x Pillar progeny. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114:991-995.
- SEBILLOTTE M. (1964). Action de la structure sur une culture de luzerne. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 50:762-770.
- SIMONS R.K. (1956). Comparative anatomy of leaves and shoots of Golden Delicious and Jonared apple trees grown with high and low moisture supply. *Amer. Soc. Hort. Sci.*
- SINCLAIR R., THOMAS D.A. (1970). Optical properties of leaves of some species in arid South Australia. *Aust. J. Bot.* 18:261-273.
- SINGH P., KANEMASU E.T. (1983). Leaf and canopy temperatures of pearl millet genotypes under irrigated and nonirrigated conditions. *Agron. J.* 75:497-501.
- SLACK E.M. (1974). Studies of stomatal distribution on the leaves of four apple varieties. *J. Hort. Sci.* 49:95-103.
- SMITH L.G., HAKE S. (1992). The initiation and determination of leaves. *The Plant Cell* 4:1017-1027.
- SOLAROVA J., POSPISILOVA J. (1983). Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves. Stomatal diffusive conductance and stomatal reactivity. *Photosynthetica* 17:101-151.
- SOUMELIDOU K., MORRIS D.A., BATTEY N.H., BARNETT J.R., JOHN P. (1994). Auxin capacity in relation to the dwarfing effect of apple rootstocks. *J. Hort. Sci.* 69:719-725.
- SOUTHWICK S.M., WEINBAUM S.A., MURAOKA T.T., KRUEGER W.R., SHACKEL K.A., YEAGER J.T. (1990). Leaf attributes as indices of fruit quality in prune tree canopies. *HortScience* 25:751-754.
- SPERRY J.S., ALDER N.N., EASTLACK S.E. (1993). The effect of reduced hydraulic conductance on stomatal conductance and xylem cavitation. *J. Exp. Bot.* 44:1075-1082.

- SPERRY J.S., TYREE M.T. (1988). Mechanism of water-induced xylem embolism. *Plant Physiol.* 88:581-587.
- SPIEGEL-ROY P., EVENARI M., MAZIGH D. (1971). Performance and moisture use of apricot trees under runoff farming. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96:696-701.
- SPIEGEL-ROY P., MAZIGH D., EVENARI M. (1977). Response of pistachio to low soil moisture conditions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 102:470-473.
- STARK J.C., PAVEK J.J., MCCANN I.R. (1991). Using canopy temperature measurements to evaluate drought tolerance of potato genotypes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116:412-415.
- STEINBERG S.L., MILLER J.C., MCFARLAND M.J. (1990). Dry matter partitioning and vegetative growth of young peach trees under water stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:23-36.
- STEVENS G.A., WESTWOOD M.N. (1984). Fruit set and cytokinin-like activity in the xylem sap of sweet cherry (*Prunus avium*) as affected by rootstock. *Physiol. Plantarum* 61:464-468.
- STEWART C.R., HANSON A.D. (1980). Proline accumulation as a metabolic response to water stress. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. John Wiley, N. York: 173-189.
- STUHLFAUTH T., STEUER B., FOCK H.P. (1990). Chlorophylls and carotenoids under water stress and their relations to primary metabolism. *Photosynthetica* 24:412-418.
- SVIHRA J., MLADA V., NOVOTNAK J., DANISOVICOVA Z. (1975). [Photosynthetic differences in the leaves of certain rootstocks and the apple cultivars Red Delicious, Winter Pearmain and Summer Transparent]. *Hort. Abstracts* 45:186.(Abstract)
- SYVERTSEN J.P. (1985). Integrating of water stress in fruit trees. *HortScience* 20:1039-1043.
- SYVERTSEN J.P., GRAHAM J.H. (1985). Hydraulic conductivity of roots, mineral nutrition, and leaf gas exchange of citrus rootstocks. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110:865-869.
- TABUENCA M.C. (1979). Influencia del patron en el periodo de reposo invernal de variedades de melocotonero y de almendro. *Anales Aula Dei* 14:469-475.
- TAN C.S., BUTTERY B.R. (1982). Response of stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, and leaf water potential in peach seedlings to different watering regimes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 17:222-223.
- TARDIEU F., KATERJI N., BETHENOD O. (1990). Relations entre l'état hydrique du sol, le potentiel de base et d'autres indicateurs de la contrainte hydrique chez le maïs. *Agronomie* 10:617-626.
- TENNANT D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Appl. Ecology* 63:995-1001.
- TITOVA N.V., SHISHKANU G.V. (1977). [Photosynthesis and pigment content in apple trees on different rootstocks]. *Hort. Abstracts* 47(Abstract)
- TORRECILLAS A., RUIZ-SANCHEZ M.C., AMOR F.DEL, LEON A. (1988). Seasonal variation of water relations of *Amygdalus communis* L. under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant and Soil* 106:215-220.
- TORRECILLAS A., RUIZ-SANCHEZ M.C., LEON A., AMOR F.DEL (1989a). The response of young almond trees to different drip-irrigated conditions. Development and yield. *J. Hort. Sci.* 64:1-7.
- TORRECILLAS A., RUIZ-SANCHEZ M.C., HERNANSAEZ A. (1989b). Response of leaf water potential to estimated transpiration in almond trees. *J. Hort. Sci.* 64:667-671.
- TORRECILLAS A., RUIZ-SANCHEZ M.C., LEON A., GARCIA A.L. (1988). Stomatal response to leaf water potential almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant and Soil* 112:151-153.
- TRIGUI A. (1983). *Propriétés biophysiques et optiques des feuilles d'olivier (Olea europaea)*. Contribution à l'étude de la bioclimatologie de l'espèce, Thèse Academie de Montpellier.
- TROCMÉ S., GRAS R. (1964). *Sol et Fertilization en Arboriculture Fruitière*, Editions G.M. Perrin, Paris.
- TUBBS F.R. (1980). Growth relations of rootstocks and scion in apples. *J. Hort. Sci.* 55:181-189.

- TURNER N.C. (1986). Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:175-190.
- TURNER N.C. (1988). Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9:289-308.
- TURNER N.C., JONES M.M. (1980). Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Eds Turner N.C., Kramer P.J. J. Wiley, N. York: 87-103.
- TYREE M.T. (1976). Physical parameters of the soil-plant-atmosphere system: breeding for drought resistance characteristics that might improve wood yield. In *Tree Physiology and Yield Improvement*, Eds Cannell M.G., Last F.T. Academic Press, N. York: 329-348.
- TYREE M.T., EWERS F.W. (1991). The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytol.* 119:345-360.
- TYREE M.T., JARVIS P.J. (1982). Water in tissues and cells. In *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 12B, Eds Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. Springer-Verlag, N. York: 542-546.
- TYREE M.T., SPERRY J.S. (1989). Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40:19-38.
- URIU K., MARTIN P.E., HAGAN R.M. (1970). Radial trunk growth of almonds as affected by soil water and crop density. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 95:166-169.
- VANCE N.C., ZAERR J.B. (1991). Influence of drought stress and low irradiance on plant water relations and structural constituents in needles of *Pinus ponderosa* seedlings. *Tree Physiol.* 8:175-184.
- VENORA G., CALCAGNO F. (1991). Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. on drought adaptation. *Cereal Res. Comm.* 19:319-326.
- VERBRUGHE M., GUYOT G. (1992). Note sur l'étalonnage de radiothermomètres infrarouges portables. *Agronomie* 12:79-83.
- VIRGONA J.M., HUBICK K.T., RAWSON H.M., FARQUHAR G.D., DOWNES R.W. (1990). Genotypic variation in transpiration efficiency, carbon isotope discrimination and carbon allocation during early growth in sunflower. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:207-214.
- VOESENEK L.A., VAN DER VEEN R. (1994). The role of phytohormones in plant stress: too much or too little water. *Acta Bot. Neel.* 43:91-127.
- VOGELMANN T.C. (1993). Plant tissue optics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 44:231-251.
- VU J.C., YELENOVSKY G. (1988). Solar irradiance in drought stress effects on the activity and concentration of ribulose biphosphate carboxylase in "Valencia" orange leaves. *Israel J. Bot.* 37:245-256.
- WALKER G.K., HATFIELD J.L. (1983). Stress measurements using foliage temperature. *Agron. J.* 75:623-629.
- WALTER-SHEA E.A., NORMAN J.M. (1991). Leaf optical properties. In *Photon-vegetation Interactions*, Eds Myneny R.B., Joss J. Springer-Verlag, Berlin: 230-254.
- WANG D., BACHELARD E.P., BANKS C.G. (1988). Growth and water relations of seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.* 4:129-138.
- WANG Z., STUTTE G.W. (1992). The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117:816-823.
- WANG Z.-Y., PATTERSON K.J., GOULD K.S., LOWE R.G. (1994). Rootstock effects on budburst and flowering in kiwifruit. *Scientia Hort.* 57:187-199.
- WAREING P.F. (1970). Growth and its co-ordination in trees. In *Physiology of Tree Crops*, Eds Luckwill L.C., Cutting C.V. Academic Press, London : 1-21.
- WATKINS R. (1976). Cherry, plum, peach, apricot and almond *Prunus* spp. (Rosaceae). In *Evolution of crop plants*, Ed. Simmonds N.W. Longman, London: 242-247.



- WEST D.W., GAFF D.F. (1976). The effect of leaf water potential, leaf temperature and light intensity on leaf diffusion resistance and the transpiration of leaves of *Malus sylvestris*. *Plant Physiol.* 38:98-104.
- WESTWOOD M.N., CHAPLIN M.H., ROBERTS A.N. (1973). Effects of rootstock on growth, bloom, yield, maturity, and fruit quality of prune (*Prunus domestica* L.). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 98:352-357.
- WILLIAMSON J.G., COSTON D.C., CORNELL J.A. (1992). Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117:362-367.
- WHITE J.W., CASTILLO J.A., EHLERINGER J. (1990). Associations between productivity, root growth and carbon isotope discrimination in *Phaseolus vulgaris* under water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:189-198.
- WOOLEY J.T. (1971). Reflectance and transmittance of light by leaves. *Plant Physiol.* 47:656-662.
- XILOYANNIS C., PEZZAROSSA B., JORBA J., ANGELINI P. (1988). Effects of soil water content on gas exchange in olive trees. *Adv. Hort. Sci.* 2:58-63.
- XILOYANNIS C., URIU K., MARTIN G.C. (1980). Seasonal and diurnal variations of abscisic acid, water potential, and diffusive resistance in leaves from irrigated and non-irrigated peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105:412-415.
- ZHENG X.N., WEN Z.Q., PAN R.C., HEW C.S. (1992). Response of *Cymbidium sinense* to drought stress. *J. Hort. Sci.* 67:295-299.
- ZIMMERMANN M.H., MILBURN J.A. (1982). Transport and storage of water. *Encycl. Plant Physiol.* New Series, 12B:135-151.

