Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas foliares nas faces
leste e oeste da copa de laranjeira ‘Valência’**

Lúcio Flavo Lopes Vasconcelos

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Fisiologia e Bioquímica de Plantas**

Piracicaba
2008

Lúcio Flavo Lopes Vasconcelos
Engenheiro Agrônomo

Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas foliares nas faces leste e oeste da copa de laranjeira 'Valência'

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO FERRAZ DE OLIVEIRA**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Fisiologia e Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Vasconcelos, Lúcio Flavo Lopes

Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas foliares nas faces leste e oeste da copa de laranjeira 'Valência' / Lúcio Flavo Lopes Vasconcelos. - - Piracicaba, 2008.
115 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Agroclimatologia 2. Dossel (Botânica) 3. Ecofisiologia 4. Fisiologia vegetal 5. Laranja
6. Transpiração vegetal I. Título

CDD 634.31

V331d

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À minha esposa, *Antônia Ferreira Gomes Vasconcelos*, pelo amor, carinho, dedicação e apoio incondicional tanto nas tribulações quanto nos regozijos vivenciados ao longo dessa nossa jornada existencial.

DEDICO

Aos meus pais, *Francisco Tabajara de Vasconcelos (in memorian)* e *Maria Virgínia Lopes Vasconcelos*, por todo o carinho e esmero despendidos na formação dos filhos.

Aos meus irmãos Francimar, Marcos, Giovani e Hélder, pelos fortes laços que nos unem.

Aos meus avôs, tias e tios,
A minha terna gratidão.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por conceder-me a graça de fazer da fraqueza a força para enfrentar os embates da vida e por traçar-me os caminhos de forma sábia, embora, num primeiro momento, às vezes não se nos apresentem como tal.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em especial à Embrapa Meio-Norte de Teresina (PI), pela oportunidade de realização do Doutorado.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), especialmente ao Departamento de Ciências Biológicas e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, pela excelente formação adquirida ao longo do curso.

Ao professor Ricardo Ferraz de Oliveira, pela orientação, pela visão holística da Fisiologia Vegetal e da própria vida, o que permitiu alargar, em muito, os meus horizontes, e pela amizade, compreensão e auxílio ao longo da minha estadia em Piracicaba (terrinha boa, sô!).

Ao prezado amigo Rafael Vasconcelos Ribeiro, um Ser de luz a guiar-me por entre as sendas deste trabalho de tese, a minha mais sincera gratidão. Sem a sua ajuda na condução dos trabalhos de campo e na orientação de como trabalhar os dados, este trabalho não teria chegado a contento.

Ao professor Luiz Roberto Angelocci, pelos conhecimentos transmitidos, pelo exemplo de dedicação ao ensino, pelas valiosas sugestões e pela amizade.

Ao pesquisador Eduardo Caruso Machado (IAC), pelo apoio, pelas sugestões e pelo estilo zen de ser e por compartilhar de sua amizade.

Aos professores Murilo Melo, Carlos Labate, Beatriz Apezatto-da-Glória, Lázaro Peres, Ricardo Kluge e Paulo Castro, pelos ensinamentos, exemplo e amizade.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Fisiologia do Estresse: Jales Teixeira, Mauro Guida, Rafael Vivian, Evandro Binotto, Rodrigo Ruiz, Juliana Salomé, Simone Ruiz, Luana Salinet e Saulo, pelo companheirismo, amizade e agradável convívio.

Aos amigos Francisco Ednaldo e Francilene, Edson Cabral e Lázara, Waleska Eloi, Ralini Melo, Marconi Batista, Tales Miler, Gregori Ferrão e Freddy Contreras, pelo muito que nos apoiaram ao longo da nossa estadia em Piracicaba.

Aos grandes amigos de longa data, Marcos Emanuel da Costa Veloso e Eugênio Celso Emérito Araújo, e às suas respectivas esposas, Madaíla e Jamila, a quem o destino tem nos reservado partilharmos os mesmos caminhos, tanto em nível de formação acadêmica (graduação, mestrado e doutorado) quanto profissional (Embrapa Meio-Norte), a minha gratidão por tudo. Continuemos, pois, ‘caminhando e cantando e seguindo a canção’.

Ao casal amigo, César Nogueira e Liliosa, e aos demais integrantes da família, pelo prazeroso convívio durante os anos que aqui permaneceram, pelas agradáveis reuniões promovidas em sua residência e pela valiosa ajuda na coleta de dados.

Aos meus sogros, Ozéas e Cleuza, ao casal Agenor e Fátima, aos meus cunhados, cunhadas, concunhados e concunhadas, aos meus primos e primas e aos meus sobrinhos e sobrinhas, pelas orações, apoio, incentivo e torcida organizada.

À amável Solizéte, secretaria da pós-graduação, pelo fino trato, eficiência e educação.

Ao pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Carlos Antônio Ferreira de Sousa, pelo acompanhamento, junto à Embrapa, na qualidade de conselheiro acadêmico institucional.

Aos médicos, cirurgiões, enfermeiros e demais funcionários do Instituto “Dante Pazzanese” de Cardiologia, bem como aos médicos, enfermeiros e demais funcionários do Hospital do Coração, por toda a assistência e cuidados a mim dispensados durante as minhas internações. O meu muitíssimo obrigado!

Às médicas Rejane Martins Prestes e Renilda Martins Prestes, e aos médicos Osias Martins Prestes, Alcino Pereira de Sá Filho e Paulo Márcio de Sousa Nunes, pelo apoio, carinho, assistência e acompanhamento que tiveram para comigo. Os meus sinceros agradecimentos de todo o “Coração”!

Ao Técnico José Zanetti Júnior, pela inestimável ajuda no decorrer do período experimental, sempre prestativo e atencioso na execução dos trabalhos de coleta de dados e manutenção dos equipamentos, e pela amizade.

Ao grande Sr. Pequeno - a bondade em pessoa - e ao Tirolês, funcionários do Horto Botânico, pelos dois dedos de prosa, quando se não quando.

Ao Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Citros “Sylvio Moreira”, por disponibilizar o pomar e a logística necessária para a condução do presente estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo apoio financeiro dado ao projeto e pela bolsa concedida ao Técnico Jóse Zanetti Júnior.

À todos que, dos planos físico e espiritual, contribuíram, cada um à sua maneira, para a concretização deste trabalho. Sou-lhes grato.

*A vida é a arte do encontro,
Embora haja tantos desencontros pela vida.*
(Vinícius de Moraes)

A mim,
Já me basta
O meu saber de plantas.
Minha alma clama
Por saberes dela.
(Lúcio Flavo, 17/07/08)

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1 Revisão bibliográfica.....	21
2.1.1 Importância econômica dos citros	21
2.1.2 Métodos térmicos de determinação do fluxo de seiva	22
2.1.3 Características e aplicações do método de balanço de calor	24
2.1.4 Comparações de métodos de estimativas da transpiração de plantas	26
2.1.5 Influência dos fatores ambientais e da planta no movimento estomático e transpiração.....	27
2.1.5.1 Intensidade e qualidade da luz.....	28
2.1.5.2 Umidade do ar	29
2.1.5.3 Umidade do solo	32
2.1.5.4 Temperatura do ar.....	32
2.1.5.5 Temperatura do solo	34
2.1.5.6 Concentração de CO ₂	35
2.1.5.7 Estado hídrico da folha	35
2.1.5.8 Fatores hormonais	37
2.2 Material e métodos	38
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental	38
2.2.2 Medidas das variáveis ambientais.....	39
2.2.3 Medidas de potencial da água no ramo.....	39
2.2.4 Medidas de fluxo de seiva.....	40
2.2.5 Medidas de área foliar.....	43
2.2.6 Medidas de condutância estomática e transpiração	44

2.2.7 Análise dos resultados	45
2.3 Resultados e discussão	45
2.3.1 Condições ambientais e área foliar dos ramos das faces leste e oeste	45
2.3.2 Variação sazonal do potencial da água no ramo	50
2.3.3 Variação da densidade de fluxo de seiva das faces leste e oeste da copa	53
2.3.4 Comparações dos padrões diários de DFS e os dos elementos meteorológicos	64
2.3.5 Variação da transpiração das faces leste e oeste da copa em períodos diário, matutino e vespertino	76
2.3.6 Regressão multilinear de DFS para as faces leste e oeste da copa	84
2.3.7 Variação da transpiração instantânea e da condutância estomática das faces leste e oeste da copa	89
2.3.8 Comparação da transpiração determinada por fluxo de seiva e por análise de gases por infravermelho (IRGA)	96
3 CONCLUSÕES	102
REFERÊNCIAS	104

RESUMO

Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas foliares nas faces leste e oeste da copa de laranjeira 'Valência'

O estudo das relações hídricas em plantas é de fundamental importância para a compreensão da sua fisiologia. Nesse sentido, a determinação do fluxo de seiva tem sido bastante empregada em pesquisas sob condições de campo. As diferentes condições ambientais que ocorrem entre as faces leste e oeste da copa, certamente irão determinar uma resposta fisiológica diferenciada entre ambas as faces da planta. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da variação sazonal dos fatores ambientais sobre as relações hídricas das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições naturais. O estudo foi desenvolvido entre fevereiro e dezembro de 2005, em Cordeirópolis (SP). O espaçamento entre plantas foi de 8 x 5 m, com as linhas de plantio orientadas no sentido norte-sul. As avaliações foram realizadas em quatro épocas: verão, outono, inverno e primavera. Independente da época do ano, o potencial da água no ramo, medido antes do amanhecer, não apresenta diferenças significativas entre as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência', indicando que a reidratação durante esse período ocorre uniformemente em toda a copa da planta. Por outro lado, às 14:30 h, a face oeste apresenta menor potencial da água no ramo, diferindo significativamente da face leste, em todas as épocas avaliadas. Em dias ensolarados, há uma defasagem entre os cursos diários da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa. Essa defasagem é consequência das variações dos fatores ambientais entre as faces ao longo do dia, principalmente da radiação solar. Em dias nublados, os cursos diários de DFS entre as faces são similares, ocasionado pela predominância da radiação difusa. A variação dos fatores ambientais, dependendo da época do ano, promove diferenças significativas de transpiração entre as faces da copa. Na face leste, em dias ensolarados, a partição da transpiração diária ocorre de forma equilibrada entre os períodos da manhã e da tarde, enquanto na face oeste ocorre predominantemente no período da tarde, independente da época do ano. Em dias nublados, e para ambas as faces da copa, a transpiração ocorre mais intensamente no período da tarde. Em dias ensolarados, a DFS da face leste apresenta melhor associação com a radiação solar, em todas as épocas, enquanto na face oeste, a melhor associação se verifica com o déficit de pressão de vapor do ar. Em dias nublados, há melhor associação de DFS com a temperatura do ar, para ambas as faces. A comparação entre os cursos diários da transpiração instantânea (E) e de DFS, expressas em unidades equivalentes, evidencia a defasagem entre ambas, tanto na face leste quanto na oeste, em todas as épocas avaliadas, exceto no inverno, quando os baixos valores da condutância estomática limitaram a transpiração.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*; Transpiração; Potencial hídrico; Fatores ambientais; Trocas gasosas

ABSTRACT

Sap flow density and leaves water relations in the east and west sides of the canopy of 'Valencia' sweet orange plant

The study of water relations in plants is of fundamental importance to understand their physiology. Therefore, determining the sap flow has been frequently used in field researches. The environmental differences between the east and west sides of the canopy surely determines a different physiological response between the two plant sides. This work was aimed at assessing the influence of seasonal variation of environmental factors on the water relations of the east and west sides of the canopy of 'Valencia' sweet orange plants in natural conditions. The study was conducted between February and December 2005 in Cordeirópolis (SP). Plant spacing was 8 x 5m, with plant rows in north-south orientation. Evaluations were carried out during each season: spring, summer, fall and winter. Regardless of the season, the stem water potentials in the east and west sides of the canopy of 'Valencia' sweet orange plants measured at predawn did not show significant differences, indicating an even rehydration during this period throughout the plant canopy. On the other hand, at 02:30pm, the west side shows lower stem water potential than the east side in all seasons evaluated, differing significantly between them. In sunny days, there is a gap between the daily courses of the sap flow density (SFD) of the east and west sides of the canopy. Such gap is due to differences in the environmental factors, especially solar radiation, between the sides along the day. In cloudy days, the daily SFD courses are similar in both sides due to the predominance of the diffused radiation. Depending on the season, the variations in the environmental factors cause significant differences in the transpiration between the two canopy sides. In sunny days, there is a balanced partition in the daily transpiration between the morning and afternoon periods in the east side, while in the west side, the partition happens predominantly in the afternoon period, regardless of the season. In cloudy days, transpiration is more intense in the afternoon period in both sides of the canopy. In sunny days, in the east side the SFD is best associated with the solar radiation in all seasons, while in the west side the SFD is best associated with the air vapor pressure deficit. In cloudy days, the SFD is best associated with the air temperature in both sides. The comparison of the daily courses of the instantaneous transpiration (E) and of the SFD, expressed in equivalent unities, evidences the gap between them, in both east and west sides, in all seasons except for winter, when the low stomatic conductance limited transpiration.

Keywords: *Citrus sinensis*; Transpiration; Water potential; Environmental factors; Gas exchange

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Relações entre a área foliar medida e as dimensões foliares de comprimento (Comp), largura (Larg) (em A) e o produto de ambas (Prod) (em B), e a relação entre a área foliar estimada (AE) e a área foliar medida (AM) (em C)..... 44
- Figura 2 - Temperatura do ar (A) e do solo (B) e precipitação (C) durante 2005 em Cordeirópolis (SP). Os símbolos representam o valor médio decendial (A e B) e as barras representam o somatório decendial (C). As setas indicam as épocas das avaliações. Dados obtidos em estação meteorológica convencional (CIIAGRO/IAC) localizada a 500 m do campo experimental..... 48
- Figura 3 - Extrato do balanço hídrico climatológico durante 2005 em Cordeirópolis (SP). Valores positivos indicam excedentes hídricos (incluindo a reposição de água) e negativos a deficiência hídrica (incluindo a retirada de água). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. As setas indicam as épocas das avaliações. Os cálculos foram realizados a partir dos dados decendiais obtidos em estação meteorológica convencional (CIIAGRO/IAC) localizada a 500 m do campo experimental..... 51
- Figura 4 - Variação do potencial de água em ramos (Ψ) de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram efetuadas antes do amanhecer (Ψ_A , em A) e às 14:30 h (Ψ_{14} , em B) em ramos amostrados nas faces leste e oeste da copa. Barras indicam o valor médio ($n=3$) $\pm$ erro padrão. As medidas foram realizadas em 17/02, 02/06, 30/08 e 10/12 de 2005. Em B, médias sinalizadas por letras distintas, nas colunas de cada mês, representam diferenças significativas pelo teste-t ($p<0,05$) 52
- Figura 5 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Q_g , em B,F), da temperatura do ar (T_{ar} , em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 53) e um dia nublado (dia Juliano 49) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2$) $\pm$ erro padrão..... 55

- Figura 6 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 147) e um dia nublado (dia Juliano 150) do mês de maio de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão..... 57
- Figura 7 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 240) e um dia nublado (dia Juliano 239) do mês de agosto de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=3$) $\pm$ erro padrão..... 59
- Figura 8 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 348) e um dia nublado (dia Juliano 345) do mês de dezembro de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão..... 61
- Figura 9 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 53) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio ($n=2$)..... 65
- Figura 10 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 49) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio ($n=2$)..... 67

- Figura 11 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 147) do mês de maio de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3)..... 69
- Figura 12 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 150) do mês de maio de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3).... 71
- Figura 13 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 240) do mês de agosto de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=3)..... 72
- Figura 14 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 239) do mês de agosto de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=3)..... 74
- Figura 15 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 348) do mês de dezembro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3)..... 75

- Figura 16 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 345) do mês de dezembro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3)..... 76
- Figura 17 - Total diário da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado e um dia nublado dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005. Barras indicam o valor médio (n=2-3) $\pm$ erro padrão..... 78
- Figura 18 - Distribuição percentual da densidade de fluxo de seiva (DFS), antes e após o meio-dia, das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (A-D) e um dia nublado (E-H) dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005..... 80
- Figura 19 - Distribuição percentual do somatório da densidade de fluxo de seiva das faces leste e oeste da copa (DFS Total), antes e após o meio-dia, de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado e um dia nublado dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005..... 82
- Figura 20 - Total diário da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante o período de avaliação nos meses de fevereiro (A), maio (B), agosto (C) e dezembro (D) de 2005, e suas respectivas médias. Barras indicam o valor médio (n=2-3) $\pm$ erro padrão. Letras distintas, nas colunas de 'Média', representam diferenças significativas pelo teste-t ($p < 0,05$)..... 83
- Figura 21 - Variação diurna da transpiração (E) e da condutância estomática (g_s) medidas nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,E), junho (dia Juliano 153, em B,F), agosto (dia Juliano 242, em C,G) e dezembro (dia Juliano 344, em D,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio (n=5) $\pm$ erro padrão..... 90

- Figura 22 - Variação diurna da diferença de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$), da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e da temperatura foliar (T_f) medidas nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,E), junho (dia Juliano 153, em B,F), agosto (dia Juliano 242, em C,G) e dezembro (dia Juliano 344, em D,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio ($n=5$) $\pm$ erro padrão..... 91
- Figura 23 - Total diário da transpiração (E_i) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram realizadas nos dias Julianos 48 (17/02), 153 (02/06), 242 (30/08) e 344 (10/12) de 2005. Barras indicam o valor médio ($n=5$) $\pm$ erro padrão. Letras distintas, nas colunas de cada mês, representam diferenças significativas pelo teste-t ($p<0,05$)..... 96
- Figura 24 - Variação diurna da transpiração (E) medida pelo IRGA e da densidade de fluxo de seiva (DFS) (valores obtidos nos horários correspondentes aos de E), nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,B), junho (dia Juliano 153, em C,D), agosto (dia Juliano 242, em E,F) e dezembro (dia Juliano 344, em G,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio ($n=5$, em E ; e $n=2-3$, em DFS) $\pm$ erro padrão 98
- Figura 25 - Transpiração diária medida pelo método do balanço de calor no caule (MBC) e por um analisador de gases infravermelho (IRGA) nas faces leste (A) e oeste (B) da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram realizadas nos dias Julianos 48 (17/02), 153 (02/06), 242 (30/08) e 344 (10/12) de 2005. Barras indicam valor médio ($n=5$, em IRGA; e $n=2-3$, em MBC) $\pm$ erro padrão..... 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do somatório das áreas foliares dos ramos das faces leste e oeste da copa de laranjeira 'Valência', conduzidas sem irrigação, nas avaliações realizadas nos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005.....	49
Tabela 2 - Coeficientes de regressão, coeficientes de determinações parcial e acumulado (em %), probabilidade (P) e número de dados (N) utilizados na análise de regressão múltipla stepwise para as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' nos dias ensolarados avaliados (dias Julianos 53, 147, 240 e 348 de 2005).....	87
Tabela 3 - Coeficientes de regressão, coeficientes de determinações parcial e acumulado (em %), probabilidade (P) e número de dados (N) utilizados na análise de regressão múltipla stepwise para as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' nos dias nublados avaliados (dias Julianos 49, 150, 239 e 345 de 2005).....	88

1 INTRODUÇÃO

A cultura dos citros tem ocupado posição de destaque no comércio internacional das commodities agrícolas, em especial, as do setor frutícola. Neste cenário, o Brasil desponta como o maior produtor mundial de frutas cítricas e o maior exportador de suco de laranja concentrado e congelado, com participação de 39% da produção mundial de laranja, o equivalente a um volume superior a 18 milhões de toneladas (FNP, 2007). Em nível nacional, São Paulo é o maior Estado produtor de citros, com participação de 80% do total dessa produção, o que gera uma receita bruta de US\$ 3,4 bilhões (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008), além de gerar mais de 500 mil empregos diretos e indiretos (PASSOS; SOARES FILHO, 2008).

Não obstante a liderança brasileira na produção mundial de citros, a produtividade dos novos pomares ainda é baixa, apresentando média nacional de cerca de 560 caixas/hectare (FNP, 2007). Vários fatores, tanto de natureza biótica, quanto abiótica, têm sido considerados como responsáveis por essa baixa produtividade. Nos últimos anos, o fator fitossanidade tem motivado sérias adversidades à citricultura brasileira, como a ocorrência de novas pragas e doenças, o que, em associação a ocorrências esporádicas de limitações climáticas, como deficiência hídrica e temperaturas extremas, têm afetado sobremaneira a produtividade dos pomares e a qualidade da fruta, aumentando significativamente os custos de produção.

Para fazer face à crescente competitividade pelo mercado citrícola mundial, é de vital importância que se envidem esforços no sentido de se melhorar a eficiência global do processo da produção citrícola. E tal eficiência depende da adoção de tecnologias, da otimização no uso de insumos e da melhor compreensão da influência dos fatores ambientais, tais como radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e umidade do solo, sobre a fisiologia e a produtividade das plantas cítricas.

No Estado de São Paulo, existem vários tipos climáticos que certamente afetam o metabolismo das plantas de forma diferenciada. Existem áreas com distribuição anual irregular de chuvas, determinando épocas com alta e baixa disponibilidade hídrica, e áreas em que o fator sazonal determinante é a temperatura (RIBEIRO,

2006). Ressalta-se, entretanto, que a maior parte do território paulista possui climas onde ocorre deficiência hídrica em parte do ano. Segundo Ribeiro (2006), apesar da importância da citricultura paulista, a maioria dos estudos de campo disponíveis apresenta resultados de cunho prático (produção, plantio, adubação e crescimento) que nem sempre relacionam os aspectos fisiológicos subjacentes essenciais para a construção do conhecimento.

O estudo das relações hídricas em plantas é de fundamental importância para a compreensão da sua fisiologia. Nesse sentido, a determinação do fluxo de seiva tem merecido especial atenção por parte da comunidade científica, principalmente em pesquisas conduzidas em condições de campo. Essa metodologia permite o acompanhamento da dinâmica do transporte de água no xilema em resposta às variações do ambiente, tanto em microescala (minutos, horas, dias), quanto em macroescala (meses, anos).

Como se sabe, as variações no ângulo zenital solar ao longo do dia impõem condições diferenciadas de radiação entre as faces leste e oeste das copas das plantas, o que certamente irá determinar uma resposta fisiológica diferenciada entre ambas as faces no tocante ao potencial da água foliar, fluxo de seiva, condutância estomática e transpiração, dentre outras. O conhecimento desses processos fisiológicos setorizados na copa poderá subsidiar informações para um melhor manejo da cultura, bem como para futuras pesquisas, além, é claro, de ampliar o conhecimento da ecofisiologia dos citros.

Visando a aumentar esse conhecimento sobre a resposta fisiológica das plantas cítricas aos fatores climáticos prevaletentes no Estado de São Paulo, pilar da citricultura nacional, e assim melhor alicerçar a atividade citrícola, é que a ESALQ, juntamente com o IAC e demais parceiros, vêm realizando trabalhos nesta área, dentre os quais se inclui o presente estudo.

A hipótese assumida neste trabalho é que as variações dos fatores ambientais alteram significativamente as relações hídricas entre as faces leste e oeste da copa de plantas cítricas. O presente estudo teve por objetivo avaliar a influência da variação sazonal dos fatores ambientais sobre as relações hídricas das faces leste e oeste da

copa de laranjeiras 'Valência', enxertadas sobre tangerineiras 'Cleópatra', conduzidas em condição natural de regime térmico e hídrico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Importância econômica dos citros

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, sendo superado apenas pela China e a Índia. Segundo estimativas, em 2007, o País colheu um total de 43,7 milhões de toneladas de frutas, em um elenco de 20 espécies, numa área correspondente a 2,3 milhões de hectares. Desse total, as frutas cítricas participaram com cerca de 20,3 milhões de toneladas, representando 46,4% de toda a produção frutícola nacional (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008).

O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo, com um volume superior a 18,2 milhões de toneladas, representando cerca de 39% da produção mundial, a qual gira em torno de 46,8 milhões de toneladas. Em segunda posição no ranking aparece os Estados Unidos, responsável por aproximadamente 15% da produção mundial de laranjas (FNP, 2007).

Apesar da imensa área agrícola que o Brasil possui, 80% da produção de laranja está concentrada no Estado de São Paulo. A produção paulista de laranja na safra de 2007 foi de 365,8 milhões de caixas de 40,8 kg, o equivalente a 14,9 milhões de toneladas (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2008). O Estado participou com uma área de 565.790 ha, do total de 799.549 ha ocupados com laranjais no País, representando cerca de 71% dessa área (FNP, 2007). O rendimento médio dos pomares paulistas é de 637 caixas por hectare ($25,9 \text{ ton ha}^{-1}$), bem superior à média nacional, que é de 560 caixas por hectare ($22,8 \text{ ton ha}^{-1}$) (FNP, 2007).

O Brasil também se destaca no cenário mundial da citricultura como o maior produtor e exportador de suco concentrado de laranja. Na safra de 2006/07, foi responsável por 62% da produção mundial de suco, a qual alcançou um volume de produção superior a 2,3 milhões de toneladas. Os Estados Unidos participaram com apenas 27% dessa produção (FNP, 2007).

As exportações de suco de laranja concentrado foram recordes em 2007, fechando o ano com faturamento de US\$ 2,3 bilhões. A receita é 53,3% superior à de 2006, quando foi contabilizado US\$ 1,5 bilhões com as exportações de suco. O volume embarcado correspondeu a 1,3 milhões de toneladas em 2007. A maior parte das vendas (62,8%) teve como destino a União Européia, seguido pelos países integrantes do Nafta (Canadá, Estados Unidos e México), com 19,7% (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008).

Segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Esalq, a receita bruta gerada pela laranja em São Paulo na safra 2007/08 foi de US\$ 3,4 bilhões (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008). Somente no estado de São Paulo, a citricultura gera mais de 500 mil empregos diretos e indiretos (PASSOS; SOARES FILHO, 2008).

2.1.2 Métodos térmicos de determinação do fluxo de seiva

Nos denominados métodos térmicos, mede-se diretamente o fluxo de seiva que passa por um determinado segmento do caule utilizando-se princípios físicos relativamente simples. A sua determinação se baseia no aquecimento da corrente transpiratória e no acompanhamento da transferência de calor pela mesma. Apresentam a vantagem de poderem ser aplicados diretamente no campo sem perturbarem a fisiologia e as condições microclimáticas da planta ao longo do período de avaliação. Conforme a técnica e os princípios utilizados de fornecimento de calor, os métodos térmicos podem ser classificados em 3 grupos: método de pulso de calor; método de dissipação de calor; e método de balanço de calor.

O método de pulso de calor foi proposto inicialmente por Huber (1932 apud TREJO-CHANDIA, 1997), tendo recebido, posteriormente, desenvolvimentos teóricos realizados por Marshall (1958) e Closs (1958). O método emprega um pulso de calor como traçador para determinar a velocidade da seiva. A limitação desta teoria é que somente a velocidade da seiva é medida; o cálculo do fluxo de seiva requer o conhecimento da área condutora do xilema, o que representa uma dificuldade adicional.

O método de dissipação de calor foi desenvolvido por Granier (1985) para utilização em árvores de grande porte. O método utiliza duas sondas inseridas radialmente no caule; uma contendo um fio que dissipa calor e um termopar, e a outra, contendo apenas um termopar. A variação temporal da diferença de temperatura entre as sondas é ocasionada pelo transporte convectivo de calor pela seiva. A estimativa do fluxo de seiva é determinada empiricamente pelo monitoramento do aumento da temperatura quando o fio dissipador é alimentado com corrente elétrica constante. A desvantagem do método é a de necessitar o estabelecimento da relação entre a velocidade do fluxo de seiva e a diferença de temperatura entre as sondas, bem como a de se fazer amostragem invasiva do caule para a determinação da área efetiva de transporte de seiva.

Medidas diretas de fluxo de massa de seiva usando uma aplicação contínua de calor ao caule foram primeiramente propostas por Vieweg e Ziegler (1960 apud TREJO-CHANDIA, 1997), e posteriormente por Daum (1967). A utilização prática do método de balanço de calor (MBC) foi inicialmente feita por Cermak, Deml e Penka (1973), que aplicavam intensidade de calor variável para manter estável o gradiente de temperatura nas extremidades do segmento de caule aquecido. A precisão do método em condições de campo foi demonstrada por Schulze et al. (1985) e Grime, Morison e Simmonds (1995b). A desvantagem dessa modalidade é requerer aparelhagem eletrônica sofisticada, controle individual para cada sensor e ser invasivo.

Uma modalidade mais simples do método de balanço de calor foi proposta por Sakuratani (1981), no Japão, para uso em herbáceas. O autor empregou um sistema de fornecimento de calor constante, o que dispensa a utilização de uma sofisticada aparelhagem eletrônica para manter a estabilidade térmica no segmento aquecido. Posteriormente recebeu aperfeiçoamentos propostos por Baker e van Bavel (1987). Sua aplicação em lenhosas começou com os trabalhos de Steinberg, Van Bavel e McFarland (1989), nos Estados Unidos, e Valancogne e Nasr (1989), na França.

Vários métodos têm sido usados para determinar a transpiração de plantas individuais, incluindo medidas de traçadores para os cálculos da velocidade do fluxo de seiva e medidas porométricas da transpiração foliar para a estimativa da

condutância estomática (ZHANG et al., 1997). Muitos trabalhos têm sido feitos usando-se um fornecimento contínuo de calor como um traçador (SAKURATANI, 1981; BAKER; VAN BAVEL, 1987; STEINBERG; VAN BAVEL; McFARLAND, 1989). Com este método, o fluxo de massa de seiva é calculado a partir do balanço de calor e é considerado igual à transpiração se o período considerado é suficientemente longo tal que a capacitância hidráulica da planta possa ser ignorada.

2.1.3 Características e aplicações do método de balanço de calor

Os princípios do método de balanço de calor são tratados mais detalhadamente em Material e Métodos, mas de uma maneira geral, envolve a aplicação de um pequeno fluxo constante de calor a um segmento de caule, medindo-se a partição desse calor nos fluxos condutivos axiais e radiais nos tecidos, na variação de armazenamento de calor no volume correspondente ao segmento, e no calor dissipado convectivamente pela seiva. Este último é calculado como termo residual na equação do balanço e, então, transformado em fluxo de seiva através do grau de aquecimento que esta sofre durante sua passagem pelo segmento e da capacidade calorífica da água, assumindo-se ser a água a componente predominante na seiva.

O método de balanço de calor apresenta uma série de vantagens em relação aos métodos anteriormente descritos, dentre as quais citam-se: é um método absoluto, não necessitando de calibração; exige equipamento relativamente mais simples que os demais; e é não invasivo (MARIN et al., 2008). Sua utilização, no entanto, exige que certos cuidados sejam tomados de modo a minimizar erros de medidas, sendo os principais: assegurar bom contato entre o corpo do sensor e o caule (HAM; HEILMAN, 1990; WEIBEL; DE VOS, 1994); realizar boa amostragem dos gradientes axiais de temperatura, nos casos em que houver acentuada variabilidade espacial na secção reta do tronco para condução de água (STEINBERG; McFARLAND; WORTHINGTON, 1990); e cômputo da variação do armazenamento de calor no volume de tronco amostrado, especialmente nos caules de grande porte (GRIME; SINCLAIR, 1999; VALANCOGNE; NASR, 1993; WEIBEL; DE VOS, 1994).

Em plantas lenhosas, desde que evitadas tais fontes de erro, o MBC tem se mostrado eficiente na determinação do fluxo de seiva e, portanto, da transpiração (em intervalos de 24 h) de ramos ou troncos, mesmo em plantas de grande porte (GRIME; SINCLAIR, 1999).

Na maioria dos trabalhos nos quais foram feitas comparações entre a transpiração medida pelo método de balanço de calor e a medida por pesagens em balanças, têm sido encontradas diferenças variando de 4% (STEINBERG; VAN BAVEL; McFARLAND, 1989; VELLAME, 2007; WEIBEL; DE VOS, 1994) a cerca de 10% (SMITH; ALLEN, 1996; TREJO-CHANDIA, 1997). Em lenhosas de certo porte, a boa concordância somente ocorre em escala diária, porque em intervalos menores ou iguais a quatro horas, o fluxo medido próximo à base do tronco representa bem a absorção de água pelas raízes, mas não corresponde necessariamente à transpiração nas folhas (SHACKEL et al., 1992; STEINBERG; VAN BAVEL; McFARLAND, 1989; VALANCOGNE; NASR, 1993).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos em condições de campo utilizando o método do balanço de calor na modelagem da transpiração de plantas (COELHO FILHO, 2002; VILLA NOVA et al., 2002; ZHANG et al., 1997), em estudos de balanço de energia (MARIN et al., 2002; RIGHI, 2004), na avaliação de estresse de plantas (KNIGHT; HARRIS; FANELLI, 2000; MASSAI et al., 2000), e em estudos envolvendo problemas fitossanitários (DAL BOSCO, 2001; MACHADO et al., 2006).

No Brasil, ao longo dos últimos onze anos, vários trabalhos foram desenvolvidos com a cultura dos citros nos quais empregaram-se o método de balanço de calor para a estimativa da transpiração. Em São Paulo, utilizou-se a limeira ácida 'Tahiti' em diferentes idades e condições ambientais: mudas em ambiente de casa de vegetação (DAL BOSCO, 2001; TREJO-CHANDIA; ANGELOCCI; OLIVEIRA, 1997); em plantas adultas a campo (MARIN et al., 2001b, 2002); em pomar jovem, com menos de um ano de idade (COELHO FILHO, 2002; COELHO FILHO et al., 2005); e em plantas jovens e adultas (ROJAS, 2003), além de laranjeira 'Natal' em condições de campo, com pouco mais de dois anos de idade (MACHADO et al., 2006). Na Bahia, Vellame (2007) trabalhou com mudas de laranja em ambiente

protegido e, em Minas Gerais, Simões (2007) utilizou um pomar de limeira ácida 'Tahiti' de quatro anos de idade.

2.1.4 Comparações de métodos de estimativas da transpiração de plantas

As medidas do fluxo de seiva podem proporcionar um método preciso para a determinação da transpiração a partir de uma única árvore (STEINBERG; McFARLAND; WORTHINGTON, 1990; GRIME; MORISON; SIMMONDS, 1995a). Além disso, o fluxo de seiva pode ser monitorado continuamente durante longos períodos (GRANIER; LOUSTAU, 1994; ALLEN; GRIME, 1995).

Vários trabalhos têm mostrado que as medidas de fluxo de seiva com os métodos de balanço de calor caulinar concordam bem com os resultados de técnicas gravimétricas (HEILMAN; HAM, 1990; STEINBERG; McFARLAND; WORTHINGTON, 1990; DUGAS et al., 1993; GRIME; MORISON; SIMMONDS, 1995a; VALANCOGNE; NASR, 1993). Steinberg, McFarland e Worthington (1990) também encontraram boa correlação entre fluxo de seiva e estimativas porométricas da transpiração em pecan. O mesmo se verificou para limeira ácida 'Tahiti' nas condições de Piracicaba (SP) (COELHO FILHO et al., 2005). Ansley et al. (1994) encontraram que o fluxo de seiva e a transpiração estimada por porometria em *Prosopis glandulosa* tiveram padrões diurnos similares, exceto quando a transpiração aumentou durante a tarde enquanto o fluxo de seiva decresceu. Uma possível razão sugerida para esta discrepância é a capacitância hidráulica das plantas.

No Brasil, foram efetuados estudos de comparação entre o fluxo de seiva e a transpiração medida em balanças de precisão em condições controladas em mudas de limeira ácida 'Tahiti' (TREJO-CHANDIA; ANGELOCCI; OLIVEIRA, 1997). Angelocci et al. (2000) e Marin et al. (2001b) desenvolveram estudos em árvores adultas de limeira ácida 'Tahiti' com o MBC, no qual o fluxo de seiva foi utilizado como estimativa da transpiração, como parte do consumo de água do pomar.

2.1.5 Influência dos fatores ambientais e da planta no movimento estomático e transpiração

Os estômatos respondem rapidamente aos estímulos do meio, sendo o mecanismo básico de controle das interações da planta com o ambiente. Vários fatores ambientais, tais como irradiância solar, temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo, concentração de CO₂, velocidade do vento, e fatores da própria planta, tais como reguladores do crescimento e estado hídrico da planta, estão associados com o papel regulatório do estômato (ANGELOCCI et al., 2004; ELFVING; KAUFMANN; HALL, 1972; HALL; CAMACHO-B; KAUFMANN, 1975; HALL; HOFMANN, 1976; JARVIS, 1976; LEVY, 1980), sendo que a condutância estomática é reduzida em função de estresses ambientais, os quais são presumidos de atuarem independentemente (JARVIS, 1976).

Para um eficiente funcionamento da planta, a condutância estomática deve estar sintonizada com o ambiente e o metabolismo fotossintético da folha e com as características hidráulicas do solo e da planta. Todos esses fatores, em algum grau, variam estocasticamente, e isto requer que o estômato seja capaz de perceber as mudanças que ocorrem (FARQUHAR; SHARKEY, 1982).

As respostas estomáticas às variáveis ambientais são extremamente complexas (LLOYD, 1991 apud ANGELOCCI et al., 2004) e os mecanismos envolvidos na resposta estomática às condições ambientais são múltiplos e têm diferentes efeitos quantitativos sobre a condutância estomática (TARDIEU; SIMONEAU, 1998). A quantificação dos efeitos de cada fator afetando essas respostas é difícil de estimar sob condições experimentais em nível de campo (JONES, 1994 apud ANGELOCCI et al., 2004; SYVERTSEN; LLOYD, 1994).

A seguir, serão abordados os principais fatores ambientais e fisiológicos que influenciam o movimento estomático e a transpiração.

2.1.5.1 Intensidade e qualidade da luz

Em citros, a condutância foliar aumenta com a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), tendendo a atingir a saturação em um determinado valor (ANGELOCCI et al., 2004; JONES, 1998; ZIEGER; ZHU. 1998). Entretanto, esse valor poderá sofrer variações em função de fatores endógenos e exógenos, pois conforme ressalta Hsiao (1973), o nível de saturação de luz que determina o máximo de abertura estomática possivelmente aumentará com o aumento do déficit hídrico foliar. Segundo Angelocci et al. (2004), o valor da saturação poderá variar em função das condições de temperatura do ar e do déficit de pressão de vapor (DPV).

Para plantas de pomelo cultivadas em casa-de-vegetação e em condições de campo, o valor de DFFF no qual a abertura estomática alcançou a saturação foi cerca de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (SYVERTSEN; LLOYD, 1994; SYVERTSEN, 1999). Para laranjeiras em ambiente controlado (DAVIES; KOZLOWSKI, 1974; KRIEDEMANN, 1971) e sob condições de campo (COHEN; COHEN, 1983), o valor da saturação por luz para a condutância foliar também foi de aproximadamente $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Já para citrange e citrumelo, em ambiente controlado, a saturação foi de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (BRAKKE; ALLEN JUNIOR, 1995), sendo esse valor também similar ao encontrado para laranjeira 'Valência' nas condições do Estado de São Paulo (MACHADO et al., 2005). Em limeira ácida 'Tahiti' a campo, nas condições de Piracicaba, a saturação da condutância foliar variou de cerca de 400 a $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ANGELOCCI et al., 2004).

A relação entre a condutância foliar à difusão de vapor e DFFF é bem descrita como uma função exponencial, mas é adequadamente considerada como uma relação linear na maior parte da faixa fisiológica (GRANTZ; MEINZER, 1990). Em ambiente controlado, no qual a energia radiante foi abaixo de 200 W m^{-2} , a condutância estomática de laranjeira foi linearmente relacionada à radiação (HALL; CAMACHO-B; KAUFMANN, 1975). Entretanto, alguns trabalhos relatam a ausência de efeito da radiação sobre a condutância foliar. Segundo Khairi e Hall (1976), em plantas de laranjeira sob condições controladas e com temperatura foliar constante (26°C), mas variando-se os $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ (0,7, 1,4 e 2,1 kPa), a radiação não teve efeito

significativo sobre a condutância foliar, mas foi significativa sobre a assimilação de CO₂. Sob condições de campo, a condutância difusiva da copa de citros foi relativamente insensível às mudanças no aumento da energia radiante (COHEN; COHEN, 1983; COHEN; FUCHS; MORESHET, 1993; MEYER; GREEN, 1981).

A abertura estomática também é induzida por luz, respondendo tanto à luz azul, quanto à luz vermelha. A luz azul atua como um sinal e a luz vermelha tanto como um sinal quanto como fonte de energia. A luz azul ativa a H⁺-ATPase da membrana plasmática, hiperpolarizando o potencial de membrana com a simultânea acidificação do apoplasto, e impele a absorção de potássio através dos canais de K⁺ ativado por diferença de potencial elétrico (SHIMAZAKI et al., 2007). A abertura estomática induzida por luz vermelha pode resultar da combinação da resposta da célula-guarda à redução na concentração intercelular de CO₂ e de uma resposta direta dos cloroplastos da célula-guarda à luz vermelha (ROELFSEMA; HEDRICH, 2005).

A luz azul, em uma base quântica, é até 20 vezes mais efetiva que a vermelha na abertura estomática (FARQUHAR; SHARKEY, 1982; SHIMAZAKI et al., 2007). A alta sensibilidade desta resposta à luz azul torna-se proeminente na presença de luz vermelha de fundo (SHIMAZAKI et al., 2007).

2.1.5.2 Umidade do ar

Na maioria das plantas, os estômatos fecham-se à medida que a concentração de vapor d'água na atmosfera diminui sob temperatura de folha constante. Isto reduz a perda de água em ambientes com baixa umidade do ar (MOTT; PARKHURST, 1991). Medições em laboratório e em condições de campo, cobrindo uma ampla faixa de espécies, têm demonstrado que a condutância estomática decresce em exposição ao ar seco (GRANTZ, 1990).

Respostas estomáticas das folhas dos citros ao DPV são bem documentadas (ANGELOCCI et al., 2004; BRAKKE; ALLEN JUNIOR, 1995; COHEN et al., 1997; COHEN; COHEN, 1983; HABERMANN et al., 2003; HALL; CAMACHO-B; KAUFMANN, 1975; KAUFMANN; LEVY, 1976; KHAIRI; HALL, 1976; KRIEDEMANN; BARRS, 1981; LLOYD; HOWIE, 1989; SHERIFF, 1977; SINCLAIR; ALLEN JUNIOR,

1982; SYVERTSEN, 1982, 1985). Os estômatos de todas as cultivares de citros que tem sido estudadas fecham-se em resposta a um aumento no $DPV_{folha-ar}$, presumivelmente como uma adaptação evolucionária para conservar água (SYVERTSEN, 1999; SYVERTSEN; LLOYD, 1994; SINCLAIR; ALLEN JUNIOR, 1982). A condutância da copa como um todo também tem sido mostrada como sendo negativamente correlacionada com o $DPV_{folha-ar}$ em citros (GREEN; MORESHET, 1979), macadâmia, lichia (LLOYD et al., 1995) e espécies florestais tropicais (GRANIER; HUC; BARIGAH, 1996).

Brakke e Allen Junior (1995), em trabalho realizado com duas espécies cítricas na Flórida, em condições de casa de vegetação, relataram que com o aumento da demanda evaporativa houve um limitado aumento na transpiração. Quando a condutância de folhas de laranjeira foi medida sob condições controladas e com temperatura constante ($26^{\circ}C$), mas variando-se os $DPV_{folha-ar}$, a condutância foliar determinada em $DPV_{folha-ar}$ de 2,4 kPa foi somente um terço daquela medida a 0,8 kPa (KHAIRI; HALL, 1976). Em Israel, sob condições de deserto, a condutância foliar de *Citrus grandis* foi altamente sensível às mudanças no $DPV_{folha-ar}$, reduzindo substancialmente após as 9:00 h, mesmo em plantas irrigadas (VESTE; BEN-GAL; SHANI, 2000). Valores de $DPV_{folha-ar}$ superiores a 1,5 kPa foram capazes de promover reduções na condutância estomática de laranjeiras (JIFON; SYVERTSEN, 2003; MACHADO et al., 2005).

Na Austrália, em laranjeira sob irradiância não-limitante e temperaturas de folhas entre 20 e $41^{\circ}C$, aumento no DPV de 1,2 para 2,2 kPa reduziu a condutância estomática em 34% (LLOYD; HOWIE, 1989). Nas condições de Israel, a condutância foliar de laranjeira foi reduzida em cerca de 50% com o aumento do $DPV_{folha-ar}$ de 0 para 3,5 kPa (COHEN; COHEN, 1983). Em São Paulo, em trabalho conduzido com laranjeira, verificou-se uma redução de 80% na abertura estomática quando o DPV aumentou de 1,2 para 2,5 kPa (HABERMANN et al., 2003).

Mott e Parkhurst (1991) apresentaram evidências de que a aparente resposta do estômato a uma mudança na umidade do ar ambiente é a consequência de uma mudança na taxa de transpiração do que da umidade *per se*. Uma reanálise de trabalhos já publicados e a qual envolveram 52 conjuntos de medidas em 16 espécies,

suportou essa conclusão (MONTEITH, 1995). A abertura e a condutância estomática são determinadas pela taxa de transpiração e não pela diferença de concentração de vapor d'água entre o interior da folha e o ar. O estômato responde às taxas de perdas de água e não “sente” e responde diretamente à concentração de vapor d'água próximo à folha. Assim, as respostas estomáticas à umidade do ar são, na verdade, respostas às taxas de perda de água, mas, na natureza, estas duas variáveis estão inevitavelmente correlacionados (MOTT; PARKHURST, 1991).

O mecanismo pelo qual a taxa de transpiração regula a condutância estomática é ainda muito debatido, mas presumivelmente reflete as mudanças no gradiente de potencial da água no interior do mesofilo e/ou epiderme e as células-guarda da folha. À medida que a transpiração aumenta, o suprimento de água para as células-guarda através das células epidérmicas é reduzido, o que reduz o turgor estomático e, portanto, a sua abertura (EAMUS, 1999).

Mesmo quando os solos estão próximos à capacidade de campo, a condutância estomática pode ser diminuída por uma alta demanda evaporativa oriunda de elevado DPV, o qual tenderá a aumentar a transpiração, especialmente quando os decréscimos na condutância estomática não são grandes o bastante para reduzir a transpiração (SYVERTSEN, 1982, 1999).

Angelocci et al. (2004), trabalhando com limeira ácida ‘Tahiti’ irrigada nas condições de Piracicaba, relataram que o decréscimo geral na condutância foliar e transpiração a partir de maio até outubro foi uma consequência dos efeitos da temperatura do ar e do DPV, concluindo que mesmo sob condições de boa disponibilidade de água no solo, as trocas gasosas foram limitadas pela regulação estomática decorrentes da baixa umidade do ar. Medina; Machado e Gomes (1999) também concluíram que no Estado de São Paulo, mesmo quando há alta irradiância solar e boa umidade no solo durante o verão, baixas condições de umidade do ar em alguns dias poderiam contribuir para o fechamento estomático.

A depressão do meio-dia na condutância estomática é frequentemente observada em citros, principalmente em dias quentes com alto DPV ao meio-dia, e o fechamento estomático ocorre em resposta a tais condições climáticas adversas, ou seja, alta temperatura associada a uma baixa umidade do ar (BRAKKE; ALLEN

JUNIOR, 1995; SINCLAIR; ALLEN JUNIOR, 1982; VESTE; BEN-GAL; SHANI, 2000; VU; YELENOSKY, 1988). Uma depressão no meio-dia na abertura estomática também é típica para outras espécies, tais como pêssago, uva (LANGE; MEYER, 1979 apud VESTE; BEN-GAL; SHANI, 2000) e *Arbutus unedo* (RASCHKE; RESEMAN, 1986).

2.1.5.3 Umidade do solo

Embora os estômatos estejam distanciados espacialmente do solo, principalmente em árvores de grande porte, eles respondem às condições de umidade do solo. Quando a água do solo não está prontamente disponível, os citros são mais sensíveis a altos níveis de temperatura do ar e DPV, o que resulta na redução da condutância estomática (BRAKKE; ALLEN JUNIOR, 1995).

Durante períodos de reduções no teor de água do solo, reduções na condutância estomática e na transpiração são comumente observados em citros (KAUFMANN; LEVY, 1976; LEVY, 1983), ocorrendo, simultaneamente, decréscimos no potencial da água foliar (Ψ_f) (ELFVING; KAUFMANN; HALL, 1972).

De acordo com Ramos e Kaufmann (1979), o estresse hídrico sozinho pode reduzir a condutividade hidráulica das raízes. Em plantas cítricas estressadas, a condutância foliar permaneceu praticamente constante, e em baixos níveis, na faixa de Ψ_{solo} de -0,2 a -0,8 MPa, caindo rapidamente após decréscimos abaixo deste valor (COHEN; COHEN, 1983).

2.1.5.4 Temperatura do ar

A resposta estomática à temperatura, em geral, pode ser perfeitamente descrita pela pressuposição de uma faixa ótima de temperatura acima e abaixo da qual a condutância estomática decresce (MACHADO et al., 2005; SYVERTSEN, 1999; SYVERTSEN; LLOYD, 1994). Em citros, temperatura foliar de 16°C resultou em redução da condutância foliar, a qual permaneceu irreversível por um período de algumas horas. Em temperaturas foliares entre 22 e 30°C, a condutância foliar foi

relativamente constante, quando o $DPV_{\text{folha-ar}}$ foi mantido estável (0,8 kPa). Entretanto, acima de 30°C, houve uma redução substancial na condutância (KHAIRI; HALL, 1976).

Tipicamente, há pouco ou nenhum efeito da temperatura foliar na condutância estomática de folhas de citros na faixa de 20 a 41°C (HALL; CAMACHO-B; KAUFMANN, 1975; KAUFMANN; LEVY, 1976). Para as condições do Estado de São Paulo, a sensibilidade estomática à temperatura é baixa entre 25 e 40°C, mas fora dessa faixa o fechamento estomático é provavelmente afetado (MACHADO et al., 2005). Para a região de Cordeirópolis (SP), foram registrados valores máximos de temperatura foliar ao redor de 39°C (RIBEIRO; MACHADO; SANTOS, 2005). Segundo Ahrens e Ingram (1988), a temperatura letal para as folhas de citros se encontra entre 54 e 56°C, indicando que as folhas sob condições naturais não estão suscetíveis à injúria severa causada pela temperatura. Vale salientar que um dos principais mecanismos reguladores da temperatura foliar é a transpiração e que menores aberturas estomáticas levam a redução da transpiração e aumento da temperatura da folha, afetando diretamente o movimento estomático (NOBEL, 1999).

Baixas temperaturas reduzem a condutância estomática e a transpiração em laranjeira 'Valência' (VU; YELENOSKY, 1988). Segundo Vu (1999), as baixas temperaturas alteram a expressão gênica e o metabolismo de proteínas, e pode causar impedimentos à fotossíntese através dos efeitos sobre as proteínas catalíticas e o metabolismo de carbono. O fechamento estomático causado pelo frio poderia ser um efeito direto da baixa temperatura no funcionamento da célula-guarda ou uma resposta indireta a um aumento na concentração intercelular de CO₂ causada pela perda de atividade da Rubisco induzida pelo frio (ALLEN; ORT, 2001).

Em muitas espécies sensíveis ao frio, as baixas temperaturas podem causar um bloqueio no fechamento dos estômatos e torná-los incapazes de responder normalmente ao déficit hídrico da folha. Isto pode provocar um rápido murchamento se as plantas não forem aquecidas sob alta umidade do ar, especialmente se suas raízes estiverem resfriadas (ALLEN; ORT, 2001).

2.1.5.5 Temperatura do solo

Declínios na temperatura do solo perturbam as relações hídricas das raízes, uma vez que as baixas temperaturas diminuem a condutividade hidráulica da raiz e, assim, diminuem o potencial da água foliar (ELFVING; KAUFMANN; HALL, 1972; FARQUHAR; SHARKEY, 1982; FENNEL; MARKHART, 1998; PASSIOURA, 1988). Isto, por sua vez, pode fechar o estômato, restringindo, então, a perda de água. Limitar a perda de água pela parte aérea é uma reação adaptativa da raiz a ambientes muito desfavoráveis (VESELOVA et al., 2005).

O resfriamento das raízes reduz a condutividade hidráulica e inibe substancialmente a absorção de água (ALLEN; ORT, 2001). Um menor fluxo de água na raiz pode ser uma consequência direta da baixa temperatura sobre as membranas celulares (FENNEL; MARKHART, 1998; RAMOS; KAUFMANN, 1979), uma vez que o reduzido fluxo não poderia ser explicado só pelas mudanças na viscosidade da água. Portanto, a temperatura teve um efeito muito maior sobre a resistência hidráulica do que sobre a viscosidade (RAMOS; KAUFMANN, 1979).

Em plântulas de limoeiro e laranjeira submetidos a temperaturas do solo de 16, 24 e 33°C por 3 meses, Syvertsen, Zablotowicz e Smith Junior (1983) relataram não ter havido efeito da temperatura do solo na condutância estomática ou no Ψ_f , ressaltando que essa faixa de temperatura pode não ter sido o suficiente para causar efeitos significativos nas relações hídricas da planta. No entanto, a redução da temperatura do ar reduziu a condutividade hidráulica das raízes em todas as temperaturas do solo avaliadas. Segundo Khairi e Hall (1976), variações da temperatura do ar são provavelmente mais importantes do que as da temperatura do solo em determinar mudanças nas relações hídricas foliares.

Em citros, tanto em condições de campo quanto de laboratório, temperaturas do solo menores que 15°C propiciaram as mais altas resistências radiculares ao fluxo de água (ELFVING; KAUFMANN; HALL, 1972; RAMOS; KAUFMANN, 1979).

Em *Citrus grandis*, a condutância foliar foi similar no verão e no inverno, e a transpiração foi maior no verão (VESTE; BEN-GAL; SHANI, 2000). Assim, o inverno reduziu a transpiração porque a absorção de água e o seu transporte foram limitados

por uma baixa condutância hidráulica (KRIEDEMANN; BARRS, 1981; MORESHET et al., 1990; VESTE; BEN-GAL; SHANI, 2000).

O resfriamento da raiz reduziu a condutância estomática, a qual esteve associada com um rápido decréscimo no conteúdo de citocinina nos ramos, ligada a um aumento na atividade de citocininas oxidases. Esta redução de citocinina pode ter sido responsável pelo fechamento estomático, uma vez que o hormônio é conhecido por manter a abertura estomática quando aplicado às plantas (VESELOVA et al., 2005). Os autores também verificaram que enquanto o resfriamento das raízes sozinho fechou os estômatos, pré-tratamento com citocinina evitou este efeito.

2.1.5.6 Concentração de CO₂

Os estômatos também são influenciados pela concentração de CO₂ do ar e da câmara subestomática (MACHADO et al., 2005; RASCHKE, 1979). Altos valores de concentração intercelular de CO₂ (C_i) tendem a induzir o fechamento estomático, enquanto que baixos valores de C_i tendem a promover a abertura estomática (MACHADO et al., 2005; SYVERTSEN; LLOYD, 1994).

Aumentos na concentração de CO₂ induzem reduções na condutância estomática e na transpiração, tanto na luz quanto no escuro (FARQUHAR; SHARKEY, 1982; SYVERTSEN, 1999). O estômato é mais sensível ao CO₂ na presença de ABA, o que pode explicar porque os estômatos de plantas com estresse de água e de frio são também mais sensíveis (FARQUHAR; SHARKEY, 1982).

2.1.5.7 Estado hídrico da folha

A relação entre condutância estomática e o potencial da água foliar (Ψ_f) sugere uma relação de retroalimentação (“feedback”), com um valor crítico de Ψ_f para o fechamento estomático (COHEN; COHEN, 1983). Ambos decrescem progressivamente com decréscimos de longo prazo (vários dias) no estado hídrico da planta. Em estresse hídrico de curto prazo (1-2 h), déficits hídricos na planta podem

causar o fechamento estomático quando um valor crítico no Ψ_f é alcançado (LAKSO, 1979).

De acordo com Syvertsen (1982), a condutância foliar máxima foi correlacionada de forma positiva e significativa às variações diárias em Ψ_f , indicando que a condutância geralmente decresce com decréscimos em Ψ_f , mesmo em plantas bem supridas de água, corroborando os dados encontrados por Hall, Camacho-B e Kaufmann (1975) e Sheriff (1977).

O potencial da água foliar mínimo no qual ocorreu o fechamento estomático em folhas maduras de laranjeira 'Valência' variou de -2,6 a -3,6 MPa (SYVERTSEN, 1982). Já para Syvertsen, Smith Junior e Allen (1981), o valor crítico de Ψ_f foi de cerca de -2,5 a -3,1 MPa, para folhas maduras de laranjeira 'Valência' a campo. Em Israel, o valor crítico de Ψ_f para o fechamento estomático do meio-dia em folhas de laranjeiras bem-irrigadas foi de -2,0 a -2,2 MPa (COHEN; COHEN, 1983). Potenciais hídricos mais baixos têm sido reportados em citros que sofreram vários ciclos de estresse hídrico (-4,3 MPa) (KAUFMANN; LEVY, 1976) ou experienciaram seca severa (-6,5 MPa) (FERERES et al., 1979).

À medida que o potencial da água foliar da antemanhã (Ψ_A) declina nas diferentes épocas do ano, não apenas o valor máximo da condutância estomática diminui, mas também as maiores aberturas tornam-se mais confinadas às primeiras horas da manhã, quando a temperatura e DPV exercem menor demanda sobre a transpiração. À medida que Ψ_A diminui, a disponibilidade de água para a transpiração diminui e, por conseguinte, a abertura estomática diminui para reduzir a transpiração (EAMUS, 1999).

Na Flórida, em trabalhos com laranjeiras 'Valência' e 'Navel', o potencial da água foliar da antemanhã (Ψ_A) variou de -0,3 a -0,7 MPa ao longo do ano. Em trabalho conduzido com laranjeiras 'Valência' cultivadas em vasos, os valores de Ψ_A variaram de -0,36 a -0,58 MPa em plantas irrigadas, ao passo que em plantas que permaneceram 10 dias sem irrigação Ψ_A chegou a -2,23 MPa (MEDINA; MACHADO; PINTO, 1998). Em Cordeirópolis (SP), laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas com e sem irrigação, os valores de Ψ_A variaram ao longo do ano entre -

0,2 e -0,4 MPa em plantas irrigadas, e entre -0,2 e -1,1 MPa, em plantas em condições naturais (RIBEIRO, 2006).

Em condições ambientais não-limitantes há uma dependência de Ψ_f em relação ao fluxo transpiratório. A relação foi linear em citros em condições de campo e curvilínea em mudas em ambiente controlado (CAMACHO-B; KAUFMANN; HALL, 1974; ELFVING; KAUFMANN; HALL, 1972).

2.1.5.8 Fatores hormonais

O controle da abertura e fechamento dos estômatos também pode ser mediado por processos metabólicos, envolvendo principalmente dois grupos de hormônios endógenos de efeitos antagônicos, o ácido abscísico (ABA) e as citocininas. Nas células-guardas, o fechamento dos estômatos é induzido pelo ABA, que provoca um rápido efluxo de K^+ das células-guardas. O efeito contrário, o influxo de K^+ e a abertura dos estômatos envolvem a participação das citocininas, um hormônio sintetizado principalmente nas raízes e transportado via xilema para a parte aérea (MARENCO; LOPES, 2005).

Há tempos tem sido sugerido que o ABA, conduzido no fluxo xilemático, exerce um importante papel na regulação da abertura estomática (BLAKE; FERREL, 1977). Posteriormente, fortes evidências experimentais deram suporte a esta visão, onde a concentração de ABA na seiva do xilema apresentou uma correlação muito alta com o grau de abertura do estômato na folha (DAVIES; ZHANG, 1991; ZHANG; GOWING; DAVIES, 1990; TARDIEU et al., 1991).

Existem relatos de que a falta de água induz o fechamento estomático devido ao acúmulo de ABA nas folhas (GOMES et al., 2003; LAUER; BOYER, 1992; THOMAS; EAMUS, 2002). Em laranjeiras, o fechamento estomático ocorre em valores de Ψ_f inferiores a -1MPa, estando relacionado ao aumento de ABA nas folhas (GOMES et al., 2004).

Segundo Veselova et al. (2005), as citocininas mantêm os estômatos mais abertos e uma redução do seu conteúdo na folha pode muito bem favorecer o fechamento estomático e reduzir a transpiração.

O resfriamento das raízes reduziu a concentração de citocininas na parte aérea em cerca de 66% dentro de 15 minutos, enquanto o nível de ABA permaneceu estável. Esse decréscimo da concentração foliar de citocininas pode ocorrer via redução na quantidade transportada a partir das raízes ou pela maior degradação das mesmas nas folhas (VESELOVA et al., 2005).

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido entre fevereiro e dezembro de 2005, na Área Experimental do Centro APTA Citros “Sylvio Moreira”, do Instituto Agrônomo - IAC, situada no município de Cordeirópolis, SP, nas seguintes coordenadas geográficas: 22° 32’ de latitude Sul; 47° 27’ de longitude Oeste; e a 639 m de altitude.

O tipo climático da região de Cordeirópolis é subtropical úmido sem estação seca (ROLIM et al., 2005), com as temperaturas médias mensais variando de 23,8°C, no verão, a 17,8°C, no inverno. A precipitação pluviométrica média anual é da ordem de 1366 mm. Segundo Ribeiro, Machado e Brunini (2006), o balanço hídrico climatológico médio (1995-2004) evidencia que o período de menor disponibilidade hídrica ocorre entre os meses de julho a setembro, sendo agosto o mês que apresenta o máximo valor de deficiência hídrica, alcançando 11,7 mm ao se considerar uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

O experimento foi instalado em um pomar de 2,5 ha de plantas matrizes de laranjeiras doces com cerca de 15 anos de idade. O espaçamento entre plantas foi de 8 x 5 m, com linha de plantio orientada no sentido norte - sul.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo vermelho distrófico, com textura médio-argilosa. As adubações com macro e micronutrientes, os tratamentos fitossanitários e a roçagem das entrelinhas foram feitas em conformidade com as orientações técnicas.

Utilizaram-se plantas de laranjeiras ‘Valência’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] enxertadas sobre tangerineira ‘Cleópatra’ (*Citrus reticulata* Blanco), as quais estavam

localizadas em uma mesma linha de plantio, uma vez que cada fileira do pomar era composta por diferentes combinações de copa/porta-enxerto. Foram utilizadas cinco plantas para as avaliações de condutância estomática (g_s) e transpiração (E), e destas, três foram selecionadas para as avaliações de fluxo de seiva e potencial da água do ramo. As plantas foram conduzidas em regime de sequeiro, ou seja, sem irrigação.

2.2.2 Medidas das variáveis ambientais

Os sensores para as medidas dos dados meteorológicos no interior do pomar foram instalados em dois mastros, um de cada lado da copa (leste e oeste), situados a uma altura de 2 m do solo e a uma distância de 20 cm da copa. Os dados de radiação solar global (Q_g , $W\ m^{-2}$), temperatura do ar (T_{ar} , $^{\circ}C$) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPa) foram coletados e armazenados em um sistema de aquisição de dados modelo CR7 (Campbell Scientific, Logan, UT, USA), com leitura a cada segundo e média a cada 15 minutos. Para as medidas de radiação solar global, utilizaram-se piranômetros modelo LI-200 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Para as medidas de temperatura do ar e do déficit de pressão de vapor, foram utilizados psicrômetros ventilados, construídos com tubos de PVC e junções de termopar de cobre-constantan, conforme descrito em Marin et al. (2001a). Os dados de temperatura do solo a 5, 10, 40 e 100 cm de profundidade e os de precipitação pluvial foram obtidos em uma estação meteorológica convencional (CIIAGRO/IAC) localizada a 500 m do campo experimental.

2.2.3 Medidas de potencial da água no ramo

As medidas de potencial da água no ramo (Ψ , MPa) foram realizadas com uma câmara de pressão, modelo 3005 (SoilMoisture Equipment Corp., EUA). As medidas foram realizadas antes do amanhecer (Ψ_A) e às 14:30 horas (Ψ_{14}). Em ambos os horários foram retirados dois ramos por plantas situadas na porção externa da copa:

um do lado leste (nascente) e o outro do lado oeste (poente). Com o objetivo de diminuir a variabilidade e aumentar a representatividade da amostragem optou-se por realizar as medições em ramos ao invés de folhas. Para minimizar erros na medida do potencial da água, colocou-se a câmara de pressão próxima às plantas avaliadas, de modo que o tempo entre o corte do ramo e a leitura do potencial fosse o mínimo possível, evitando-se ultrapassar 30 segundos, conforme relata Fereres et al. (1979). As avaliações foram efetuadas durante um dia de cada estação, ou seja, nos dias Juliano 48 (verão), 153 (outono), 242 (inverno) e 344 (primavera) de 2005.

2.2.4 Medidas de fluxo de seiva

As medidas de fluxo de seiva foram realizadas nas quatro estações climáticas, durante dias consecutivos, cujos intervalos foram os seguintes: de sete dias, para o verão e o outono, e de seis dias, para o inverno e a primavera. O fluxo de seiva foi determinado pelo método do balanço de calor (SAKURATANI, 1981), utilizando-se sensores dos modelos SGB10, SGB16, SGB19 e SGB25 (Dynamax Inc., Houston, TX, EUA) instalados em ramos, cujos diâmetros variaram de 11,92 a 27,29 mm. Os ramos de maiores diâmetros estavam localizados no terço inferior da copa, e os sensores (SGB19 e SGB25) foram instalados próximos da base dos ramos, no interior da copa. Os ramos mais finos situaram-se no terço médio da copa, com os sensores instalados menos internamente na copa. Em fevereiro foram utilizados três sensores SGB10, dois SGB19 e um SGB25. Nas demais épocas, utilizaram-se um sensor SGB10, um SGB16, dois SGB19 e dois SGB25. Foram utilizados três sensores em cada face avaliada. Os mesmos foram conectados através de cabos manga a um sistema de aquisição de dados modelo CR7 (Campbell Scientific, Logan, UT, USA). Para a alimentação elétrica das jaquetas térmicas dos sensores utilizou-se um regulador portátil de voltagem de corrente contínua (AVR 3/6, Dynamax Inc., Houston, TX, EUA), fazendo-se o ajuste da potência aplicada ao elemento resistivo de cada sensor de acordo com o recomendado pelo fabricante (VAN BAVEL, 1999). As leituras dos sinais dos sensores foram realizadas a cada segundo, sendo as médias armazenadas a cada 10 minutos.

Foram selecionados ramos com segmentos de caule uniformes, e antes da instalação dos sensores, o tecido suberoso de cada ramo foi parcialmente eliminado com o auxílio de uma lixa fina. Esse procedimento é importante para garantir um bom contato do sensor com o caule (WEIBEL; DE VOS, 1994). Em seguida, aplicou-se uma camada da pasta de alta condutividade térmica Dow Corning Compound 4 (Dow Corning Corp., Midland, MI, EUA), que é também isolante elétrica e hidrofóbica, a fim de melhorar o contato da jaqueta térmica e os termopares com o segmento de caule, favorecendo, assim, a manutenção do sistema em condição de equilíbrio-dinâmico (WILTSHIRE et al., 1995; BETHENOD et al., 2000). Para melhorar o isolamento térmico após a instalação, cada sensor foi totalmente coberto com quatro camadas de papel alumínio (MARIN et al., 2008), tanto acima quanto abaixo das extremidades dos sensores.

Nos cálculos de fluxo de seiva foram utilizados os princípios envolvidos no método de balanço de calor de Sakuratani (1981), com modificações propostas por Baker e Van Bavel (1987). O princípio teórico deste método se baseia na aplicação de um fluxo constante de calor (P_{in} , W) a um determinado segmento de caule ou ramo, através de uma resistência que o envolve, e à posterior quantificação da partição desse calor nos fluxos condutivos axiais (Q_v , W) e radiais (Q_r , W), na variação de armazenamento (Q_s , W) no segmento de caule aquecido e no fluxo convectivo dissipado pela seiva (Q_f , W). Esta, pelo princípio de conservação da energia, é determinada como termo residual do balanço de calor, sendo, então, associada ao fluxo de massa de seiva.

Desta forma, o balanço de calor no segmento de caule aquecido é descrito conforme a equação abaixo:

$$P_{in} = Q_v + Q_r + Q_s + Q_f \quad (1)$$

O cálculo do calor fornecido ao segmento de caule é dado pela equação:

$$P_{in} = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

onde V (volt) é a voltagem fornecida e R (Ω) é a resistência do elemento aquecedor.

O fluxo de calor axial Q_v , que é o resultante da somatória dos fluxos condutivos acima e abaixo dos limites do segmento de caule aquecido, é calculado como:

$$Q_v = K_{st} A \frac{(\Delta T_s + \Delta T_i)}{\Delta x} \quad (3)$$

em que K_{st} é a condutividade térmica do caule, a qual foi considerada igual a $0,42 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, recomendada para caules lenhosos (STEINBERG; VAN BAVEL e McFARLAND, 1989); A é a área da secção transversal do caule aquecido; ΔT_s e ΔT_i são os gradientes de temperatura dos limites superior e inferior do segmento de caule aquecido; e Δx é a distância entre os dois termopares fixados acima e abaixo da jaqueta térmica do sensor.

O fluxo de calor conduzido radialmente Q_r pode ser estimado como:

$$Q_r = Kr \cdot \Delta T \quad (4)$$

onde Kr é a condutividade térmica do substrato de cortiça do fluxímetro, em W K^{-1} , e ΔT é a diferença de temperatura entre a face interna e externa do fluxímetro.

Para uma correta estimativa de Q_r é necessário que Kr seja determinado em condições de fluxo de seiva nulo ou próximo de nulo (GRIME; MORISON; SIMMONDS, 1995b), condição essa geralmente alcançada no final da madrugada. Deve-se, também, determinar o valor de Kr a cada instalação e para cada sensor. No presente trabalho, o Kr foi calculado pela média dos valores obtidos entre as 3 e 5 h, para cada dia avaliado.

No presente trabalho, o valor de Q_s (calor armazenado no caule) foi desprezado, uma vez que em caules e ramos com diâmetros inferiores a 3 cm pode-se prescindir de Q_s sem prejuízos na qualidade das estimativas do fluxo de seiva (WEIBEL; DE VOS, 1994; GRIME; MORISON; SIMMONDS, 1995a; WEIBEL; BOERSMA, 1995; TREJO-CHANDIA, 1997; TREJO-CHANDIA; ANGELOCCI; OLIVEIRA, 1997).

A quantidade de calor transportada convectivamente pela seiva da planta é determinada, então, conforme a equação (5):

$$Q_f = Pin - Q_v - Q_r \quad (5)$$

Sendo a quantidade de calor (Q) absorvida por um corpo calculada como:

$$Q = mc\Delta T \quad (6)$$

em que m é a massa do corpo considerado; c é o calor específico desse corpo; e ΔT é a sua variação de temperatura, tem-se, igualando-se as equações (5) e (6), que o fluxo de massa de seiva (FS) é determinado como:

$$FS = \frac{Pin - Qv - Qr}{cp\Delta T} \quad (7)$$

onde cp é o calor específico da seiva, considerado como igual ao da água pura (4,186 J kg⁻¹ K⁻¹), e ΔT a variação de temperatura da seiva entre o limite inferior e o superior do sensor, a qual é calculada conforme a seguinte equação:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_s - \Delta T_i}{2} \quad (8)$$

Após o cálculo do fluxo de seiva (FS, g s⁻¹), esse foi expresso por unidade de área foliar, doravante denominado neste trabalho como densidade de fluxo de seiva (DFS, g m⁻² s⁻¹).

2.2.5 Medidas de área foliar

Após cada período de avaliação foi realizada a medida da área foliar de cada ramo nos quais os sensores de fluxo de seiva foram instalados. Para a determinação da área foliar, primeiramente estimou-se equações de regressão da área em função das medidas do maior comprimento (C) e da maior largura (L) de folha e do produto de ambas. Foram coletadas 200 folhas ao acaso e determinadas suas medidas lineares e a sua área foliar real por meio de um planímetro digital, modelo LI 3100 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Embora o modelo linear envolvendo o produto tenha apresentado o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9703$) (Figura 1B), decidiu-se trabalhar com o modelo envolvendo a maior largura (L), uma vez que este também apresentou um alto valor de R^2 (0,9327) (Figura 1A), além de facilitar a execução dos trabalhos de medições em campo. Deste modo, a área de cada folha foi estimada através da equação $AF = 9,4537.L - 15,211$, sendo que o somatório de AF correspondeu à área foliar total do ramo em estudo. O modelo proposto para determinação de AF foi testado em 100 folhas, e obteve-se uma alta correlação dos valores reais de AF com os valores estimados, com $r = 0,977$ ($p < 0,001$) (Figura 1C).

Figura 1 - Relações entre a área foliar medida e as dimensões foliares de comprimento (Comp), largura (Larg) (em A) e o produto de ambas (Prod) (em B), e a relação entre a área foliar estimada (AE) e a área foliar medida (AM) (em C)

2.2.6 Medidas de condutância estomática e transpiração

A condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram avaliadas com um analisador de gases por infravermelho, modelo LI - 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), operando em sistema aberto. O aparelho estava equipado com uma fonte de luz modelo LI - 6400 - 02B LED (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), utilizada para a fixação da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em cada horário de medida e em cada face da copa (leste e oeste). Para tanto posicionou-se o sensor quântico do aparelho paralelamente à superfície do solo a uma altura aproximada de 1,7 m e a uma distância de cerca de 20 cm da copa, considerando-se esse valor de DFFF para as medidas da seqüência considerada, em

cada posição da copa. Adotou-se este procedimento com o intuito de evitar que variações rápidas e momentâneas de DFFF criassem variabilidade indesejável, ou seja, diferentes DFFF numa mesma seqüência de medidas.

As leituras foram efetuadas em folhas sadias, maduras e expostas ao sol, em ramos sem frutos situados no terço médio da copa. Utilizou-se uma folha por planta em cada face da copa, em cinco plantas diferentes. Essas medidas foram realizadas nos mesmos dias da avaliação de potencial da água no ramo, e transcorreram durante o período diurno em intervalos de 1 a 1,5 hora. O total de avaliações ao longo do dia variou de 9, em abril, a 12, em fevereiro e dezembro.

2.2.7 Análise dos resultados

O estudo da relação entre a DFS e as variáveis ambientais radiação solar global, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor foi realizado mediante análise de regressão multilinear do tipo “stepwise” (passo a passo).

As médias de potencial da água no ramo, da DFS acumulada no período de 24 horas durante os períodos de avaliação, bem como dos valores integrados de transpiração foliar (E_i) foram comparadas empregando-se o teste t a um nível de significância de 5% de probabilidade.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Condições ambientais e área foliar dos ramos das faces leste e oeste

Ao analisar-se o ambiente da área experimental no decorrer do ano de 2005, percebe-se um nítido período de baixas temperaturas, que abrange os meses de junho, julho e agosto, e outro de temperaturas mais elevadas, abrangendo não só o verão, mas também as outras duas estações. As maiores temperaturas do ar, expressas em médias decendiais, foram verificadas nos meses de fevereiro, abril e outubro, nos quais pelo menos um decêndio apresentou média superior a 30°C

(Figura 2A). As menores temperaturas foram registradas em julho e agosto, atingindo valores de 11,7 e 12,5°C, respectivamente (Figura 2A). Tendo em vista que os citros paralisam o crescimento da parte aérea em temperaturas menores que 13°C (REUTHER, 1973), certamente as plantas tiveram o seu crescimento paralisado nesses dois meses. As temperaturas médias variaram de 17,6°C, em julho, a 25,5°C, em abril.

A temperatura do solo acompanhou a variação da temperatura do ar, sendo que as maiores variações de temperatura ocorreram nas camadas superficiais, ou seja, a 5 e 10 cm de profundidade (Figura 2B). Nessas camadas foram registrados valores entre 11,9 e 21,8°C, a 5 cm, e entre 14,3 e 23,4°C, a 10 cm. Uma vez que a temperatura inferior a 15°C diminui o crescimento e a absorção radicular dos citros (ELFVING; KAUFMANN, 1972; RAMOS; KAUFMANN, 1979; CASTLE, 1980 apud SPIEGEL-ROY; GOLDSMITH, 1996), muito provavelmente os mesmos foram afetados durante o período abrangido desde o primeiro decêndio de junho até o segundo decêndio de agosto, os quais apresentaram temperatura do solo abaixo de 15°C à profundidade de 5 cm. À profundidade de 10 cm, tal situação só se verificou nos dois primeiros decêndios de julho (Figura 2B). Tal possibilidade torna-se mais evidente devido ao fato de que os citros apresentam sistema radicular superficial. Em tangerineira 'Cleópatra' não irrigada, 65,4% das raízes se localizaram nos primeiros 25 cm do solo, e que elas se distribuem, praticamente, na mesma proporção em todas as direções (OLIVEIRA; VIEIRA; SOUZA, 1998). Em limão 'Cravo', em condições de sequeiro, a atividade de absorção de água na camada de 0-25 cm de profundidade foi responsável por 68 a 74% do volume de água absorvida, evidenciando que as raízes mais rasas apresentam maior capacidade de absorção e de condutividade hidráulica (MACHADO; COELHO, 2000).

Quanto ao regime pluviométrico, os maiores valores decendiais foram registrados em janeiro, março e maio, com totais decendiais ultrapassando os 100 mm. Percebe-se, ainda, que o inverno, além de apresentar as menores temperaturas (Figura 2A,B), também é o período de menor precipitação pluviométrica (Figura 2C). Em 2005, o volume de precipitação registrada no inverno foi de 83 mm, de um total anual de 1084 mm, correspondendo a cerca de 7,6% desse valor. Cabe destacar que esse total

anual de chuvas em 2005 ficou bem abaixo da média normal da região, que é de 1366 mm. Verifica-se, outrossim, que o verão sobressai-se como a estação do ano de maior intensidade pluviométrica, registrando cerca de 50% do total anual (Figura 2C).

Figura 2 - Temperatura do ar (A) e do solo (B) e precipitação (C) durante 2005 em Cordeirópolis (SP). Os símbolos representam o valor médio decendial (A e B) e as barras representam o somatório decendial (C). As setas indicam as épocas das avaliações. Dados obtidos em estação meteorológica convencional (CIIAGRO/IAC) localizada a 500 m do campo experimental

A disponibilidade de água para as plantas ao longo do ano de 2005 pode ser melhor avaliada pelo extrato do balanço hídrico climatológico apresentado na Figura 3. Verifica-se que houve deficiência hídrica na maior parte do ano, ou seja, em decêndios de fevereiro, março, abril, maio e a partir de julho até dezembro (Figura 3). A deficiência hídrica decendial máxima foi de 22,3 mm, registrada no primeiro decêndio de novembro. No geral, a deficiência hídrica decendial foi inferior ou flutuou ao redor dos 10 mm. Segundo relata Ribeiro (2006), o ano de 2005 foi atípico, com menor intensidade pluviométrica anual, maior irregularidade na distribuição de chuvas, maior período e maior valor anual de deficiência hídrica. Esta apresentou grande variação temporal na última década para a região de Cordeirópolis, com valores entre 38,9 mm, em 1996, e 236 mm, em 2005 (RIBEIRO; MACHADO; BRUNINI, 2006).

Os valores referentes à soma das áreas foliares dos ramos de cada face da copa, em cada época de avaliação, estão apresentados na Tabela 1. A variação refletiu a desigualdade de área foliar entre ramos de diâmetros semelhantes, como foi o caso da época de fevereiro, em que o ramo da face oeste que recebeu um sensor SGB19 apresentou área foliar 4,3 vezes maior que a do ramo da face leste com o mesmo modelo de sensor (SGB19), bem como a falhas no funcionamento dos sensores, como em maio e dezembro.

Tabela 1 – Valores do somatório das áreas foliares dos ramos das faces leste e oeste da copa de laranjeira 'Valência', conduzidas sem irrigação, nas avaliações realizadas nos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005

Face da copa	Somatório da área foliar dos ramos (m ²)			
	Fevereiro	Maio	Agosto	Dezembro
Leste	0,722	2,230	2,299	2,165
Oeste	2,189	1,375	2,118	1,338

2.3.2 Variação sazonal do potencial da água no ramo

O potencial da água nos ramos (Ψ) refletiu a condição da disponibilidade hídrica do solo por ocasião das avaliações, demonstrando que as plantas estavam menos hidratadas durante o período de deficiência hídrica, o qual é característico para a época de inverno (Figuras 3 e 4). Vale salientar que outros fatores, também típicos de ocorrência no inverno, tais como baixas temperaturas do ar e do solo, poderiam estar contribuindo para o decréscimo no Ψ . Durante o período experimental a temperatura do solo variou entre 27,5°C (a 40 cm de profundidade) e 11,9°C (a 5 cm de profundidade), sendo esses valores observados em fevereiro e julho, respectivamente (Figura 2B). De fato, temperaturas do solo abaixo de 15°C reduzem a absorção de água pelas raízes dos citros (ELFVING; KAUFMANN, 1972; RAMOS; KAUFMANN, 1979; SYVERTSEN, 1982), induzindo a menores valores de Ψ .

Os potenciais da água nos ramos medidos antes do amanhecer (Ψ_A) foram semelhantes para os meses de fevereiro, junho e dezembro, variando entre -0,31 e -0,48 MPa, enquanto em agosto o valor obtido foi duas a três vezes maior, ou seja, cerca de -1,1 MPa (Figura 4A).

Em todas as avaliações, os valores de Ψ_A entre as faces da copa não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), indicando que a reidratação dos tecidos que normalmente acontece durante o período da noite ocorreu uniformemente na copa da planta.

Em relação aos valores de potencial da água nos ramos obtidos às 14:30 h (Ψ_{14}) (Figura 4B), este foi menor ($p < 0,01$) do que os medidos antes do amanhecer, fato que se verificou em todas as épocas avaliadas. O menor valor de Ψ_{14} ocorreu em agosto, alcançando -1,89 MPa, enquanto o maior Ψ_{14} foi verificado em dezembro, com valor de -0,95 MPa. À medida que a planta perde água para a atmosfera via transpiração, vai ocorrendo um aumento na tensão da coluna de água no interior dos vasos de xilema.

Figura 3 - Extrato do balanço hídrico climatológico durante 2005 em Cordeirópolis (SP). Valores positivos indicam excedentes hídricos (incluindo a reposição de água) e negativos a deficiência hídrica (incluindo a retirada de água). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. As setas indicam as épocas das avaliações. Os cálculos foram realizados a partir dos dados decendiais obtidos em estação meteorológica convencional (CIIAGRO/IAC) localizada a 500 m do campo experimental

Essa variação diurna de Ψ ocorre mesmo em plantas com boa disponibilidade hídrica no solo e, em média, esses valores de Ψ em laranjeira 'Valência' variaram entre -0,4 e -2,4 MPa ao longo do dia nas condições da Flórida, em um pomar com 20 anos de idade, cuja área recebeu 1177 mm de chuva, bem distribuídas ao longo do ano de estudo (SYVERTSEN; ALBRIGO, 1980).

Em todas as avaliações, a face oeste da copa apresentou menores ($p < 0,05$) valores de Ψ_{14} quando comparados aos obtidos na face leste. Em trabalho com laranjeira 'Valência', Ribeiro (2006) também obteve menores ($p < 0,05$) valores de Ψ_{14} na face oeste, tanto em plantas irrigadas, quanto em condições de sequeiro. Uma vez que a face oeste recebe radiação solar direta no período da tarde, quando se observa

a maior temperatura e a menor umidade relativa do ar, essa conjunção de fatores aumentou a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar na face oeste, redundando em maior transpiração e a conseqüente redução de Ψ_{14} .

Figura 4 - Variação do potencial de água em ramos (Ψ) de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram efetuadas antes do amanhecer (Ψ_A , em A) e às 14:30 h (Ψ_{14} , em B) em ramos amostrados nas faces leste e oeste da copa. Barras indicam o valor médio ($n=3$) $\pm$ erro padrão. As medidas foram realizadas em 17/02, 02/06, 30/08 e 10/12 de 2005. Em B, médias sinalizadas por letras distintas, nas colunas de cada mês, representam diferenças significativas pelo teste-t ($p<0,05$)

Em laranjeiras 'Valência' nas condições da Flórida, e não irrigadas, pois a área recebeu 1173 mm de chuvas bem distribuídas ao longo do ano de estudo, Syvertsen e Albrigo (1980) também relataram que o Ψ_{14} da face oeste foi menor que o da face leste, cujos valores foram cerca de -1,90 e -1,65 MPa, respectivamente.

A maior amplitude de variação de Ψ (diferença entre os valores da antemanhã e às 14:30 h), ocorreu no mês de junho, e a menor amplitude em agosto, sendo maiores na face oeste.

2.3.3 Variação da densidade de fluxo de seiva das faces leste e oeste da copa

Na Figura 5 são observadas as variações diárias da densidade de fluxo de seiva, da radiação solar global, da temperatura do ar e do déficit de pressão de vapor, em intervalos de 30 minutos, para um dia de céu claro e para um dia nublado do mês de fevereiro de 2005. A variação de DFS para o dia ensolarado (dia Juliano 53) apresentou, para a face leste, um rápido incremento, a partir das 7:30 h, alcançando o seu valor máximo às 11:30 h ($74,34 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$), com decréscimos graduais até o início da noite. Na face oeste, houve um aumento progressivo até atingir o seu pico, às 14 h ($108,01 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$), diminuindo lentamente até às 16:30 h, seguido por reduções acentuadas em DFS (Figura 5A). O padrão de irradiância para esse dia foi de sombreamento para a face oeste até às 10 h, igualando-se, a partir daí, à radiação recebida pela face leste até às 14h, quando esta passou, então, a ficar completamente sombreada (Figura 5B).

A diferença de temperatura do ar entre ambas as faces foi de 4°C , às 15 h. A temperatura máxima do dia Juliano 53 (22/02/05) foi de $33,1^{\circ}\text{C}$, na face oeste, e de $29,8^{\circ}\text{C}$, na face leste, ambas ocorridas às 13:30 h (Figura 5C). Para o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), o valor máximo foi de 2,37 kPa, ocorrido às 15:30 h, na face oeste. Já para a face leste, o máximo DPV ocorreu às 14:30 h, alcançando o valor de 1,94 kPa (Figura 5D).

Para o dia nublado (dia Juliano 49), a variação da densidade de fluxo de seiva nas faces leste e oeste, durante o período da manhã, foi bastante similar, tanto em relação aos valores quanto ao padrão de variação ocorridos no dia ensolarado para o período considerado (Figuras 5A,E). Isto deveu-se ao fato de no dia nublado ter ocorrido céu claro durante toda a manhã, com nebulosidade somente no período da tarde (Figura 5F), sendo esta característica bem típica de dias nublados de verão. No período da tarde, as oscilações bruscas na densidade de fluxo de seiva,

principalmente para a face oeste, estiveram em estreita concordância com as oscilações da radiação solar.

A diferença máxima de temperatura entre as faces foi de aproximadamente $1,2^{\circ}\text{C}$, às 10:30 h. O valor máximo da temperatura do ar ocorreu às 13:30 h, alcançando valores de $33,3$ e 33°C para as faces leste e oeste, respectivamente (Figura 5G). As pequenas diferenças de DPV verificadas entre as faces foram decorrentes das diferenças de temperatura das mesmas. Os valores máximos de DPV foram de $1,71$ e $1,55$ kPa para as faces leste e oeste, respectivamente (Figura 5H).

Figura 5 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 53) e um dia nublado (dia Juliano 49) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2$) $\pm$ erro padrão

Na Figura 6 estão representados os cursos diários da densidade de fluxo de seiva (DFS), da radiação solar, da temperatura do ar e do déficit de pressão de vapor (DPV), em escala semi-horária, para um dia ensolarado e um dia nublado do mês de maio de 2005. Para o dia ensolarado (dia Juliano 147), a densidade de fluxo de seiva da face leste começou a acentuar-se às 8:30 h (Figura 6A), ou seja, uma hora e meia após o nascer do Sol (Figura 6B), e aumentou de forma repentina e linear até às 11 h, quando, então, passou a declinar de maneira gradual até o final da tarde (Figura 6A). Já para a face oeste, a DFS acentuou-se por volta das 10 h e, à semelhança da face leste, prosseguiu aumentando linearmente, porém de maneira menos intensa, atingindo o ápice do fluxo por volta das 14:30 h e mantendo-se praticamente neste platô até às 15:30 h, quando, então, se verifica um declínio acentuado do fluxo até às 18 h (Figura 6A).

A radiação solar medida na face leste no dia Juliano 147 (27/05/05) foi superior à da face oeste até às 14:30 h (Figura 6B). A intensidade de radiação incidente na face oeste acentuou-se somente por volta das 11 h, atingindo o pico às 13 h (Figura 6B).

Como as temperaturas verificadas no dia Juliano 147 foram amenas, não ultrapassando os 24,5°C, as diferenças entre as faces foram de menor intensidade que as ocorridas em fevereiro, alcançando valor máximo de 2,36°C. A face leste apresentou temperatura máxima de 24,1°C (Figura 6C). A variação do DPV entre as faces espelhou fielmente o verificado para a temperatura, apresentando diferença máxima de 0,17 kPa. Os picos de DPV foram de 1,23 e 1,26 kPa, na faces leste e oeste, respectivamente, ocorridos às 14 h (Figura 6D).

Com relação ao dia nublado (dia Juliano 150), tanto para a DFS, quanto para a radiação solar, praticamente não houve diferença entre as faces avaliadas. Em virtude da intensa nebulosidade ocorrida ao longo de todo o dia, houve o predomínio da radiação difusa, a qual promoveu uma distribuição uniforme da energia radiante entre as faces da copa (Figura 6F), refletindo, tal fato, num padrão idêntico para o fluxo de seiva (Figura 6E).

Figura 6 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 147) e um dia nublado (dia Juliano 150) do mês de maio de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão

As temperaturas apresentaram pouca variação ao longo do dia, com máxima de 22,6°C, para a face leste, e de 23,2°C, para a oeste (Figura 6G). A demanda evaporativa da atmosfera do dia nublado (30/05/05) foi muito baixa, com valor máximo de DPV de 0,53 kPa, verificado às 16 h (Figura 6H).

Para o dia de céu claro da avaliação de agosto (dia Juliano 240), observou-se que a DFS, para a face leste da copa, aumentou de forma linear, até às 9h, atingindo o valor máximo às 12 h ($65,66 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$). Após esse horário, verificou-se um decréscimo gradual até estabilizar-se por volta das 18:30 h (Figura 7A). Para a face oeste, a DFS também começou a aumentar, de forma lenta e gradual, a partir das 7:30 h até alcançar o valor máximo de $42,54 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, às 14 h (Figura 7A).

Quanto à radiação solar, percebe-se o típico comportamento da mesma para cada face da copa. Na face leste iniciou-se às 7 h e prosseguiu até o seu máximo, às 12:30 h ($1,608 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$), decaindo verticalmente após as 14 h, enquanto que a face oeste recebeu radiação solar só após as 10:30 h, alcançando o seu pico às 12:30 h ($1,579 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$) (Figura 7B).

O dia Juliano 240 (28/08/05) apresentou temperaturas elevadas, no qual a máxima da face leste foi de 31,5°C, e de 35,1°C, na face oeste, ambas ocorridas às 15 h. A temperatura da face oeste suplantou a da face leste em até 3,84°C, às 16 h (Figura 7C). As diferenças de DPV verificadas entre as faces das copas refletiram, similarmente, as diferenças observadas nas temperaturas do ar. O DPV da face oeste foi superior à leste em 0,45 kPa, ocorrido às 16 h. Os valores máximos foram de 2,81 e 3,23 kPa, para as faces leste e oeste, respectivamente, ocorridos às 15:30 (Figura 7D).

O dia Juliano 239 foi um dia de intensa nebulosidade e de alta umidade relativa do ar durante todo o período da manhã, o que ocasionou a ausência de fluxo transpiratório no período matutino. No período da tarde, em resposta aos pequenos aumentos verificados na energia radiante, temperatura do ar e DPV, a DFS começou a ocorrer a partir das 12:30 h, e seguiu aumentando até atingir o seu máximo por volta das 15:30h, declinando gradualmente em seguida (Figuras 7E,F,G,H).

Figura 7 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 240) e um dia nublado (dia Juliano 239) do mês de agosto de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=3$) $\pm$ erro padrão

Observa-se, ainda, que os cursos diários da DFS foram similares em ambas as faces, cujos valores máximos foram de 27,57 e 25,80 g m⁻² 30min⁻¹, para as faces leste e oeste, respectivamente. As temperaturas variaram de 14 a 24,4°C, enquanto o DPV máximo foi de 0,59 kPa.

Observando-se os cursos diários da DFS para o dia ensolarado da avaliação de dezembro (dia Juliano 348), verificou-se que na face leste da copa a DFS começou a intensificar-se a partir das 6:30 h e aumentou rapidamente, de forma praticamente linear, até às 9:30 h, alcançando o seu valor máximo: 92,55 g m⁻² 30min⁻¹. Após esse horário, e até às 16 h, a DFS apresentou oscilações motivadas pelas variações ocorridas nas condições ambientais, decaindo, após isso, de maneira gradual (Figura 8A). Para a face oeste, o fluxo de seiva acentuou-se a partir das 7 h, aumentando, lenta e gradualmente, até atingir o seu valor máximo, de 73,94 g m⁻² 30min⁻¹, às 14:30 h, decaindo acentuadamente em seguida (Figura 8A).

Embora o dia Juliano 348 (14/12/05), aqui representado como dia ensolarado, tenha mostrado variações na radiação solar decorrentes da presença de nuvens a partir das 10 h, este foi o dia, dentre os seis avaliados em dezembro, que apresentou maior valor integrado de radiação solar, num total de 24,96 MJ d⁻¹. Os valores máximos obtidos foram de 2,27 e 2,21 MJ m⁻² 30min⁻¹, às 12 h, para as faces leste e oeste, respectivamente (Figura 8B).

As diferenças de temperatura entre as faces da copa foram relativamente pequenas, sendo que no período da manhã a diferença máxima foi de 1,33°C a favor da face leste, e de 1,15°C, no período da tarde, a favor da face oeste. As temperaturas máximas e mínimas alcançadas neste dia foram de 30,7°C, às 14:30 h, e de 16,2°C, às 24 h (Figura 8C).

Em consonância com a temperatura, as diferenças de DPV entre as faces da copa também foram pequenas, e os seus valores máximos foram de 0,08 kPa, no período da manhã, e de 0,15kPa, no período da tarde. O DPV máximo foi de 1,80 kPa, ocorrido às 14:30 h (Figura 8D).

Figura 8 - Curso diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A,E), da radiação solar global (Qg, em B,F), da temperatura do ar (Tar, em C,G) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em D,H) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 348) e um dia nublado (dia Juliano 345) do mês de dezembro de 2005. Símbolos (em A,E) indicam valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão

Com relação ao dia nublado (dia Juliano 345), os cursos diários da DFS entre ambas as faces da copa foi bastante similar, e a maior disponibilidade de energia radiante no período da tarde promoveu um fluxo mais intenso, cujos valores máximos obtidos em cada face foi de $48,71 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, na leste, e de $51,18 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, na oeste. As temperaturas variaram de $17,7$ a $25,3^{\circ}\text{C}$, e o DPV máximo foi de $0,77 \text{ kPa}$ (Figuras 8E,H).

Nos dias ensolarados, como era de se esperar, observa-se claramente a defasagem entre os ciclos diurnos da densidade de fluxo de seiva das faces leste e oeste da copa (Figuras 5A, 6A, 7A, 8A). Essa defasagem reflete a diferença na incidência da radiação solar entre ambas as faces da copa durante o percurso do Sol na abóbada celeste ao longo do dia. Enquanto a face leste encontra-se iluminada durante toda a manhã, a face oeste encontra-se sombreada durante boa parte do período matutino, invertendo-se esse padrão de disponibilidade energética das faces durante o período da tarde. Essa defasagem pode ser explicada em parte, também, pelas diferenças de variação da temperatura e DPV do ar.

De um modo geral, nos dias ensolarados, a DFS da face leste atingiu o seu máximo por volta das 11-12 h, enquanto na face oeste, o pico da DFS ocorreu ao redor das 14:00-14:30 h. Esses resultados concordam com os obtidos por Machado et al. (2006), que, ao avaliarem o fluxo de seiva da planta inteira de laranjeira 'Natal', ou seja, com os sensores instalados no tronco da planta, obtiveram valores máximos de DFS entre 12 e 14 h. Uma vez que a DFS da planta inteira corresponde à média dos valores obtidos em cada face da copa, o seu valor máximo ocorrerá entre os horários de pico de cada face.

Nos dias ensolarados, o rápido aumento da DFS no lado leste da copa está respondendo ao aumento da radiação global, o qual promove aumento da abertura estomática e o conseqüente aumento da transpiração, até atingir a saturação. Em condições subtropicais, independente da estação climática, os valores máximos de condutância estomática são verificados por volta das 9:00-10:30 h (MACHADO et al., 2006, 2007; RIBEIRO, 2006). Atingida a saturação lumínica da condutância estomática, o aumento da DFS passa a responder ao aumento da demanda evaporativa do ar (DPV e temperatura) até atingir o seu máximo, por volta das 11-12

h. A partir desse horário, o desbalanço entre o total de água transpirada e o total de água absorvida pela face leste durante o período matutino induz um acentuado déficit hídrico foliar, ocasionando rígido controle estomático para evitar a desidratação excessiva dos tecidos dessa face. O indício desse desbalanço é a diferença de Ψ ao longo do dia, variando entre -0,56 e -0,84 kPa (Figura 4).

Na face oeste, o lento aumento da DFS na parte inicial da manhã está sendo limitado pelos baixos níveis de radiação solar devido ao sombreamento em que essa face se encontra. Quando a radiação passa a ser não limitante para a abertura estomática, o que geralmente ocorre entre 10-11 h, o aumento da DFS indica estar sendo em função do aumento da transpiração promovida, principalmente, pelo aumento do DPV. A DFS continua a aumentar até alcançar o seu pico, por volta das 14:00-14:30 h, quando o potencial da água foliar atinge os valores mais negativos (Figura 4B), induzindo à ativação de mecanismos de controle estomático da transpiração, a fim de evitar a desidratação excessiva dos tecidos da face oeste, prevenindo, assim, disfunções fisiológicas à planta, como, por exemplo, a cavitação dos vasos do xilema. As reduções em DFS, logo após o seu pico, parecem estar respondendo ao controle estomático e à redução da demanda evaporativa, a qual se verifica após às 15:00-15:30 h, sendo que mais para o final da tarde, a DFS passa a responder às limitações de radiação. Segundo Lakso (1979), déficits hídricos de curto prazo (1-2 h) na planta podem causar o fechamento estomático quando um valor crítico de potencial da água foliar é alcançado.

Fato interessante aconteceu em agosto (Figura 6A), em que os valores de DFS da face oeste foram menores que o da face leste. Nessa época as plantas encontravam-se menos hidratadas (Figuras 3 e 4A), e à medida que o Ψ_A decresce nas diferentes épocas, não apenas o valor máximo da condutância estomática diminui, mas também as maiores aberturas tornam-se mais confinadas às primeiras horas da manhã, quando a temperatura e o DPV exercem menor demanda evaporativa (EAMUS, 1999), o que permite maiores valores de transpiração. À tarde, o forte aumento na demanda evaporativa promove restrições adicionais na abertura estomática, reduzindo sensivelmente os valores de transpiração.

Em dezembro, também foi observado menores valores de DFS na face oeste (Figura 8A). Uma vez que as plantas encontravam-se bem hidratadas (Figura 4A) e sob condições de demanda evaporativa intermediária (Figura 8C,D), era de se esperar maiores intensidades de DFS na face oeste. Porém, como esse dia apresentou oscilações acentuadas na radiação durante o período da tarde (Figura 8B), esse fato provavelmente pode ter contribuído para as reduções nos valores esperados para DFS.

Já para os dias nublados, devido à predominância da radiação difusa, o curso diário de DFS foi praticamente similar em ambas as faces da copa, o que concorda com Ribeiro et al. (2005), que afirmam não haver diferença significativa na energia disponível entre as faces da copa de laranjeira em dias de alta nebulosidade.

2.3.4 Comparações dos padrões diários de DFS e os dos elementos meteorológicos

Para uma melhor comparação entre os padrões de variação da densidade de fluxo de seiva e os de cada variável ambiental isoladamente, optou-se por plotar o curso diário separadamente para cada face da copa (Figura 9). Verifica-se que os padrões de variação diurna entre a densidade de fluxo de seiva e a radiação solar global para a face leste apresentaram estreita concordância durante o período da manhã (Figura 9A), evidenciando a rápida resposta do fluxo de seiva ao aumento da radiação solar durante o período matutino. Para esta face, o valor máximo do fluxo de seiva foi de $74,34 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, ocorrido às 11:30 h, enquanto a irradiância máxima alcançou $2,06 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, às 12:30 h. No período da tarde, conforme o esperado, verificou-se uma queda brusca na radiação global após as 14 h, e uma diminuição menos acentuada na densidade de fluxo de seiva até o horário das 20 h. Para a face oeste da copa (Figura 9B), o aumento do fluxo de seiva se dá de forma gradual, menos intensa, respondendo pouco aos aumentos na intensidade de radiação que se verificam após as 9:30 h, e continua crescendo mesmo após se verificar declínio nos valores de irradiância ocorridos depois do seu pico, $2,13 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, às 12:30 h, indo alcançar o seu ponto máximo somente às 14 h, com um valor de $108,01 \text{ g m}^{-2}$

30min^{-1} . Posteriormente, verifica-se uma lenta e gradual redução no fluxo de seiva até às 17 h, ocorrendo, após este horário, uma abrupta queda no mesmo e mantendo-se essa tendência até às 19 h.

Figura 9 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 53) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2)

Os padrões de variação diária entre o fluxo de seiva e a temperatura do ar apresentaram-se com menor grau de concordância, sendo que a face oeste (Figura

9D) mostra-se bem mais concordante do que a leste (Figura 9C), tanto para o período da manhã, quanto para o da tarde.

Quanto ao fluxo de seiva e déficit de pressão de vapor, a resposta dos seus ciclos diários apresenta-se, para a face leste da copa (Figura 9E), bem mais concordante do que a temperatura do ar (Figura 9C) e menos concordante do que a radiação solar global (Figura 9A). A defasagem entre o pico do fluxo de seiva e o do déficit de pressão de vapor foi de 3 h, tendo os mesmos ocorridos às 11:30 h e 14:30 h, respectivamente. Para a face oeste (Figura 9F), verifica-se um ótimo acoplamento entre os padrões de variação ao longo de todo o dia. O valor máximo do déficit de pressão de vapor foi de 2,37 kPa, ocorrido às 15:30 h. Este foi superior ao verificado para a face leste em cerca de 22%.

Para o dia nublado da avaliação realizada em fevereiro (dia Juliano 49), as comparações dos padrões diários da densidade de fluxo de seiva com os das variáveis ambientais avaliadas estão representadas na Figura 10. Observa-se que a variação da densidade de fluxo de seiva da face leste da copa acompanha, de forma bastante similar, a variação ocorrida na radiação solar ao longo do dia (Figura 10A), enquanto que para a face oeste, essa similitude verificou-se somente para o período da tarde, no qual houve uma acentuada redução na radiação solar em virtude da presença de nuvens (Figura 10B). Nesse período, em ambas as faces, as variações do fluxo de seiva foram moduladas pela disponibilidade de energia radiante. Os valores máximos de densidade de fluxo de seiva foram de $82,64 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, às 11:30 h, e de $95,71 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, às 13 h, para as faces leste e oeste, respectivamente. O pico da radiação solar foi às 13 h, em ambas as faces, cujos valores alcançaram $1,61 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, na face leste, e $1,64 \text{ MJ m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$, na face oeste.

O padrão de temperatura do ar para a face leste da copa apresentou, de certa forma, boa concordância com o do fluxo de seiva durante o período matutino, passando a apresentar padrões discordantes no período da tarde (Figura 10C). Já para a face oeste, observou-se uma visível resposta diferenciada entre ambos os padrões, especialmente no período vespertino (Figura 10D).

Quanto ao padrão diário do déficit de pressão de vapor para o dia Juliano 49 (18/02/05), observou-se que a face oeste apresentou forte correlação com o fluxo de seiva até por volta das 14 h, só voltando a exibirem bom correlacionamento a partir das 17 h (Figura 10F). Já para a face leste (Figura 10E), observa-se que o correlacionamento foi bem inferior quando comparado ao apresentado pela face oeste da copa.

Figura 10 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 49) do mês de fevereiro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2)

Em relação à comparação dos padrões entre a DFS e a radiação solar para o dia ensolarado da avaliação de maio (dia Juliano 147), observa-se que a DFS da face leste da copa acompanhou *pari passu* o aumento da radiação solar, apresentando um aumento rápido e linear a partir das 8:30 h, atingindo o seu pico às 11 h, e cujo valor foi de $70,90 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$. Já a irradiância apresentou valor máximo às 13 h, alcançando $1,443 \text{ MJ } 30\text{min}^{-1}$. Na parte da tarde, conforme o esperado, verificou-se uma súbita redução na radiação global após as 14:30 h, enquanto a DFS se manteve num ritmo gradual de decréscimo às 18 h (Figura 11A). Já para a face oeste, durante o período matutino, observa-se um acentuado afastamento entre os padrões da DFS e da radiação solar recebida pela copa, pois o rápido incremento que se verifica nesta após as 10:30 h, não é acompanhado na mesma intensidade pela DFS. No período da tarde também se verifica certa defasagem entre os padrões, pois enquanto a radiação solar começou a decrescer após as 13 h ($1,362 \text{ MJ } 30\text{min}^{-1}$), a DFS só iniciou a decrescer após as 15:30 h ($88,46 \text{ g m}^{-2} 30\text{min}^{-1}$), porém, de forma acentuada, atingindo valores mínimos no início da noite (Figura 11B).

Figura 11 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 147) do mês de maio de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3)

O padrão da temperatura do ar para a face leste da copa apresentou boa concordância com a DFS durante o período da manhã, passando a apresentar padrões menos concordantes no período da tarde, verificando-se uma redução mais acentuada na DFS em relação às verificadas para a temperatura, a qual decresceu de maneira lenta e gradual (Figura 11C). Já para a face oeste, durante a manhã, observa-se um distanciamento entre os padrões, pois ocorre apenas um reduzido aumento na DFS durante esse período, representando 42,3% do seu aumento total, enquanto se verifica um incremento acentuado na temperatura, correspondente a 82,4% da amplitude térmica do dia.

Quanto ao padrão de variação do DPV para o dia ensolarado (27/05/05), observou-se certa concordância com DFS para o período da manhã, na face leste, porém, no período da tarde, os padrões apresentaram fraca concordância. No horário em que a DFS apresentou valor máximo, às 11 h, o DPV se encontrava em 0,68 kPa, só indo alcançar o seu pico às 14 h, cujo valor foi de 1,23 kPa (Figura 11E). Já para a face oeste, observa-se uma ótima concordância entre a DFS e o DPV ao longo de todo o dia. Para esta face, o DPV apresentou um ritmo contínuo e linear de aumento desde o início da manhã até atingir o seu pico (1,26 kPa), às 14 h, mantendo-se praticamente estacionário até às 15:30 h, quando, então, apresenta quedas acentuadas até o final da tarde (Figura 11F).

As comparações dos padrões diários da DFS com os das variáveis ambientais avaliadas durante o dia nublado de maio (dia Juliano 150) estão representadas na Figura 12. Verifica-se que os padrões de variação diurna entre a DFS e a radiação solar global para a face leste apresentaram-se discordantes durante todo o dia. As oscilações na radiação solar ocorridas durante o dia não foram acompanhadas pela DFS. Este seguiu crescente e de forma linear até às 14 h, cujo valor foi de $27,93 \text{ g m}^{-2} \text{ 30min}^{-1}$, apresentando uma queda seguida de novo aumento, porém esta oscilação foi defasada da ocorrida na radiação solar (Figura 12A). Na face oeste também se verificou padrões discordantes até às 15:30 h, quando, então, passaram a apresentar padrões similares (Figura 12B).

Os padrões de variação entre a DFS e a temperatura do ar apresentaram boa concordância tanto para a face leste, quanto para a face oeste (Figuras 12C,D). Para o DPV também se verificou um bom relacionamento com a DFS, em ambas as faces (Figuras 12E,F).

Na Figura 13 estão apresentadas as comparações dos padrões diários de DFS com os das variáveis ambientais estudadas referentes ao dia ensolarado de agosto (dia Juliano 240). Na face leste, durante o período da manhã, observa-se que o aumento da DFS acompanhou em estreita relação ao aumento da radiação solar. Percebe-se, também, no horário das 7 às 9 h, um aumento quase vertical da DFS em resposta ao aumento da radiação solar.

Figura 12 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Q_g , em A,B), da temperatura do ar (T_{ar} , em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 150) do mês de maio de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio ($n=2-3$)

No período da tarde, verifica-se o comportamento discrepante entre ambos, uma vez que a radiação reduz-se drasticamente após as 14 h, enquanto a DFS diminui de forma lenta e gradual até o início da noite (Figura 13A). Já para a face oeste da copa, o comportamento de ambas se dá de forma inversa, ou seja, são pouco concordantes durante a manhã, enquanto no período da tarde passam a apresentar certa concordância após as 14 h (Figura 13B).

Figura 13 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 240) do mês de agosto de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=3)

Os padrões de variação diária entre DFS e a temperatura do ar apresentaram, para a face leste, comportamento com certa semelhança durante o período da manhã, porém, bem menor do que a verificada entre a DFS e a radiação solar para esse

mesmo período (Figuras 13C,A). À tarde, verificou-se um padrão diferenciado entre ambos (Figura 13C). Para a face oeste, observa-se que houve uma alta concordância entre os padrões durante praticamente todo o dia (Figura 13D). Ressalta-se que esse foi um dia com temperaturas elevadas, o que pode ter causado uma maior influência direta da temperatura na transpiração, além do seu efeito indireto, via DPV.

Em relação à DFS e DPV, os padrões dos seus ciclos diários, para a face leste da copa, apresentaram-se bem defasados, sendo essa defasagem de cerca de quatro horas. Enquanto o pico da DFS ocorreu às 12 h, o do DPV ocorreu só às 16 h (Figura 13E). Já para a face oeste, houve uma ótima concordância ao longo do dia (Figura 13F), porém, um pouco menor que a da temperatura (Figura 13D).

Para o dia nublado da avaliação realizada em agosto (dia Juliano 239), em virtude da forte nebulosidade e da alta umidade do ar, não houve transpiração durante o período da manhã (Figura 14). Desse modo, durante o período da tarde, para a face leste, a maior concordância entre os padrões foi entre a DFS e o DPV (Figura 14E), e a menor foi com a radiação solar (Figura 14A). Para a face oeste, a DFS apresentou alta concordância com a temperatura do ar (Figura 14D), enquanto que com a radiação solar e o DPV, a DFS apresentou um certo afastamento entre os padrões (Figuras 14B,F).

Em relação à comparação dos padrões entre a DFS e a radiação solar para o dia ensolarado da avaliação de dezembro (dia Juliano 348), observa-se que as variações da DFS acompanharam as variações da radiação solar ao longo do dia, para ambas as faces da copa (Figura 15A,B). Entre DFS e temperatura, a face oeste mostrou boa semelhança entre os padrões ao longo do dia (Figura 15D), enquanto na face leste, somente no período da manhã houve boa semelhança, havendo no período da tarde um acentuado afastamento (Figura 15C). Para os padrões de variação entre DPV e DFS, verificou-se, para a face oeste, uma concordância quase total entre ambos ao longo de todo o dia (Figura 15F). Já na face leste, houve uma fraca concordância (Figura 15E).

As comparações dos padrões diários da DFS com os das variáveis ambientais avaliadas durante o dia nublado de dezembro (dia Juliano 345) estão apresentadas na Figura 16. Verifica-se que houve uma elevada concordância da DFS com o DPV e a

temperatura em ambas as faces da copa, tanto no período da manhã, quanto no período da tarde (Figuras 16C,D,E,F), sendo que o DPV, para a face oeste, apresentou uma concordância perfeita (Figura 16F). Embora a DFS tenha tido um bom acompanhamento das variações da radiação em ambas as faces (Figuras 16A,B), a concordância entre ambas foi menos pronunciada que as das outras duas variáveis.

Figura 14 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 239) do mês de agosto de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio ($n=3$)

Figura 15 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Qg, em A,B), da temperatura do ar (Tar, em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV, em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (dia Juliano 348) do mês de dezembro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio (n=2-3)

Figura 16 - Padrão diário da densidade de fluxo de seiva (DFS, em A-F) em comparação com os padrões da radiação solar global (Q_g , em A,B), da temperatura do ar (T_{ar} , em C,D) e do déficit de pressão de vapor (DPV , em E,F) nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia nublado (dia Juliano 345) do mês de dezembro de 2005. Símbolos de DFS indicam valor médio ($n=2-3$)

2.3.5 Variação da transpiração das faces leste e oeste da copa em períodos diário, matutino e vespertino

Os valores integrados da DFS em cada face da copa para os dias de céu claro e os dias nublados estão apresentados na Figura 17. Analisando-se os dias ensolarados, na avaliação de fevereiro (verão) a face oeste transpirou mais que a face

leste em cerca de 34%. Esta época também foi a que apresentou os maiores valores de transpiração, os quais alcançaram 1055,8 e 1417,9 g m⁻² d⁻¹, nas faces leste e oeste, respectivamente (Figura 17A). No outono (maio), ambas as faces apresentaram valores semelhantes de transpiração, atingindo 881,4 g m⁻² d⁻¹, na face leste, e 899,1 g m⁻² d⁻¹, na face oeste (Figura 17B). Verifica-se, ainda, que houve uma redução acentuada na transpiração quando comparada à época de maior transpiração (verão), redução esta que correspondeu a cerca de 28%, em termos de média das faces. Já em agosto (inverno), a transpiração do lado leste da copa foi superior em cerca de 53% à do lado oeste, cujos valores foram, respectivamente, 952,1 e 621,6 g m⁻² d⁻¹ (Figura 17C). Considerando a média das faces, o inverno foi a estação em que ocorreu a menor transpiração, e correspondeu a cerca de 64% da registrada no verão (fevereiro). Em dezembro (final da primavera), verificou-se também maior transpiração da face leste da copa em relação à oeste, sendo essa superioridade de aproximadamente 37%. Os valores de transpiração registrados para as faces leste e oeste foram, respectivamente, 1354,1 e 975,1 g m⁻² d⁻¹ (Figura 17D). Vale ressaltar, ainda, que a transpiração média nesta época voltou a elevar-se, atingindo patamares próximos aos verificados em fevereiro. Em outras palavras, a transpiração média na primavera foi inferior em 6% apenas quando comparada à ocorrida no verão

Figura 17 - Total diário da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado e um dia nublado dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005. Barras indicam o valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão

No tocante aos dias nublados, as diferenças entre os valores de transpiração de cada face foram bem menos acentuadas. Estas corresponderam a cerca de 7, 20, 10 e 20% para os meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro, respectivamente (Figura 17). É importante atentar para o fato dos valores de transpiração da face leste do dia ensolarado e nublado, na época do verão (fevereiro), ter sido praticamente idênticos (Figura 17A). Isto é explicado pelo fato do dia nublado, com menor valor integrado de radiação solar dentre os dias avaliados em fevereiro, só ter apresentado nebulosidade praticamente no período da tarde, o que permitiu que a face leste recebesse os níveis normais de radiação durante a manhã. Adicionalmente, o valor integrado da radiação deste dia foi inferior apenas em 25% ao do dia ensolarado.

Com o intuito de verificar a partição da transpiração de cada face entre os turnos da manhã e tarde, realizou-se a integração dos valores da DFS antes e após o meio-dia, expressando-os em termos de percentuais para uma melhor percepção da mesma (Figura 18). De uma maneira geral, para os dias ensolarados, a face leste apresentou uma distribuição mais equânime entre os turnos, notadamente para o verão (fevereiro), outono (maio) e inverno (agosto). No outono, a transpiração ocorrida após o meio-dia representou cerca de 55%, enquanto na primavera, foi o período antes do meio-dia que apresentou o maior percentual de transpiração, com cerca de 56% (Figura 18A,D).

Figura 18 - Distribuição percentual da densidade de fluxo de seiva (DFS), antes e após o meio-dia, das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado (A-D) e um dia nublado (E-H) dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005

Por sua vez, na face oeste, em qualquer época avaliada, observa-se claramente o predomínio da transpiração após o meio-dia, em especial no verão (fevereiro) e outono (maio), quando chegaram, respectivamente, a cerca de 78 e 85% do total transpirado por esta face. Em agosto (inverno), a transpiração no período da tarde representou 69%, enquanto em dezembro (final da primavera), foi ao redor de

66% (Figura 18A,D). Em termos gerais, pode-se dizer que cerca de 70 a 80% da transpiração da face oeste ocorre após o meio-dia.

Em dias nublados (Figura 18E-H), tanto na face leste, quanto na face oeste da copa, a transpiração quase que exclusivamente se deu após o meio-dia, sendo que nos dias de intensa nebulosidade (maio e agosto), cerca de 90% da perda total de água da planta ocorreu no período da tarde. Isso vem reforçar mais uma vez a importante contribuição que a conjugação dos fatores ambientais que se verificam após o meio-dia exerce sobre o total de água transpirada pela planta durante o dia.

Realizando-se agora a análise para a partição do total de água transpirado pela planta (Figura 19), ou seja, do somatório da transpiração ocorrida em cada face da copa, verifica-se que a participação do período da tarde variou entre 55%, em dezembro, e 70%, em maio, para dias ensolarados. Em média, o período da tarde foi responsável por cerca de 62% do total transpirado pelas plantas de laranjeiras. Nos dias nublados, a participação do período vespertino na transpiração total foi bem mais relevante, e variou entre 55%, em fevereiro, e 91%, em agosto.

Na Figura 20 estão apresentados os valores integrados da DFS de cada face da copa, em base diária, por um período de seis a sete dias consecutivos durante as quatro épocas avaliadas, bem como as suas respectivas médias. Durante o período do verão, os valores de transpiração da face oeste superaram os da face leste em todos os dias. Essa transpiração mais elevada, em termos percentuais variou entre 2,1%, para o dia Juliano 48, e 41,6%, para o dia Juliano 52. Em termos de média, a face oeste diferiu significativamente ($p < 0,01$) da face leste (Figura 20A), e os seus valores foram, respectivamente, 1278,08 e 1070,72 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

No outono, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias das faces, cujos valores foram de 785,17 e 830,72 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para as faces leste e oeste, respectivamente (Figura 20B).

Figura 19 - Distribuição percentual do somatório da densidade de fluxo de seiva das faces leste e oeste da copa (DFS Total), antes e após o meio-dia, de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante um dia ensolarado e um dia nublado dos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro de 2005

O período do inverno apresentou resposta inversa à observada no verão, ou seja, a transpiração na face leste foi bem mais intensa que a da face oeste para todos os dias avaliados. Percentualmente, a diferença entre as faces variou de 10,5%, no dia Juliano 239, e 61,7%, no dia 244 (Figura 20C). A transpiração média da face leste diferiu significativamente ($p < 0,05$) da ocorrida na face oeste, cujos valores foram, respectivamente, 795,89 e 531,30 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Para a avaliação realizada no final da primavera, a face leste da copa também apresentou transpiração média maior ($p < 0,05$) do que a da face oeste (Figura 20D). Essa superioridade variou entre 19,6 e 57,2%, registradas, respectivamente, nos dias Juliano 345 e 343. Os valores médios foram de 1142,30 e 854,05 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para as faces leste e oeste, respectivamente.

Figura 20 - Total diário da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, durante o período de avaliação nos meses de fevereiro (A), maio (B), agosto (C) e dezembro (D) de 2005, e suas respectivas médias. Barras indicam o valor médio ($n=2-3$) $\pm$ erro padrão. Letras distintas, nas colunas de 'Média', representam diferenças significativas pelo teste-t ($p<0,05$)

Considerando-se os valores de transpiração diária verificados neste trabalho, pode-se inferir que os mesmos encontram-se dentro da magnitude esperada para citros. Em trabalhos realizados por Marin et al. (2001b, 2002) com limeira ácida 'Tahiti' irrigada, em Piracicaba (SP), os valores variaram de 290 a 1320 g m⁻² d⁻¹, no verão, e de 260 a 630 g m⁻² d⁻¹, no inverno. Vellame (2007), em plantas jovens de laranjeira em ambiente protegido, relatou que a transpiração diária variou de 400 a 1350 g m⁻² d⁻¹. Simões (2007), em trabalho conduzido no Norte de Minas Gerais, com limeira ácida 'Tahiti' irrigada e no qual foi avaliada a DFS nas faces leste, oeste, norte e sul, obtiveram valores de transpiração diária das faces variando de 252 a 874 g m⁻² d⁻¹, na floração, e de 420 a 1300 g m⁻² d⁻¹, na frutificação.

Ao longo do ano, verificou-se que a transpiração decresceu do verão para o inverno, voltando a aumentar na primavera. Este fato também foi verificado em outros trabalhos com citros irrigados (ANGELOCCI et al., 2004; RIBEIRO, 2006), nos quais a transpiração foi estimada por meio de medidas de trocas gasosas. O acentuado decréscimo da transpiração no inverno está associado às limitações da abertura estomática em consequência do elevado DPV (baixa umidade do ar) (ANGELOCCI et al., 2004) e das baixas temperaturas do solo e do ar (MARIN et al., 2001b; RIBEIRO, 2006).

2.3.6 Regressão multilinear de DFS para as faces leste e oeste da copa

Para a associação das mensurações de DFS com as variáveis climáticas radiação solar global, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (DPV), nos dias ensolarados e nublados avaliados, utilizou-se a análise de regressão multilinear do tipo "stepwise", cujos resultados encontram-se nas Tabelas 2 e 3. Para os dias ensolarados, na face leste da copa, a radiação global foi a variável climática que apresentou maior poder de explicação na variação da DFS, para todas as épocas avaliadas. O seu coeficiente de determinação variou de cerca de 70%, em maio, a 78%, em fevereiro. Embora as outras duas variáveis tenham tido participação significativa nos modelos, os seus percentuais de contribuição para a explicação da variação de DFS foram muito pequenos, geralmente abaixo dos 9%. Na face oeste,

houve uma forte associação do DPV com a DFS, pois a sua influência na variação total de DFS foi ao redor de 90%, em todas as épocas, exceto para a avaliação de agosto, que em virtude das altas temperaturas registradas neste dia, houve uma forte associação desta com a DFS (Tabela 2).

Uma possível explicação para o fato da radiação global ter sido a variável mais correlacionada com a DFS na face leste e o DPV a que melhor se correlacionou com a DFS na face oeste, nos dias ensolarados, é que, provavelmente, a radiação solar sofre uma variação maior na face leste, no período da manhã, e tem uma amplitude de variação que vai desde valores ainda bem abaixo da saturação para a abertura estomática até valores acima da saturação, enquanto, à tarde, ela, em média, já atingiu esses valores saturantes, não tendo mais efeito sobre a abertura estomática. Quanto ao efeito do DPV, parece, pela observação das Figuras 9, 11, 13 e 15, que ele não se diferenciou tanto entre as duas faces, mas como se faz a análise “stepwise”, o que reflete bastante é a proporção de efeito de cada variável. Um problema da análise de regressão utilizada é que há uma grande covariância entre as variáveis, dificultando as explicações.

Contudo, mesmo havendo multicolinearidade entre as variáveis, Ogutunde, Giesen e Savenije (2007), na África, estudaram a modelagem da condutância da copa de citros com base na transpiração estimada pelo fluxo de seiva, utilizando-se de um modelo de regressão multilinear e um não-linear (modelo de Jarvis ou multiplicativo). As variáveis ambientais utilizadas foram radiação solar global, temperatura do ar e DPV. Para o modelo multilinear, o DPV apresentou o mesmo poder de explicação, e com menores erros nos parâmetros, que o modelo completo, cujo R^2 foi de 79,7%. No modelo não-linear, o DPV apresentou R^2 de 78,6%, enquanto o completo o R^2 foi de 82,4%. Os autores concluíram que ambos os modelos são capazes de descrever a resposta fisiológica da copa de laranjeiras às condições ambientais prevalecentes em clima tropicais subúmidos.

Teixeira Filho (2005), trabalhando com laranjeira ‘Pêra’ em evapotranspirômetros nas condições de Campinas, utilizou um modelo polinomial quadrático para as variáveis radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa e DPV em diferentes faixas de Ψ_A , e reportou que a transpiração se correlacionou

melhor com o DPV até à faixa de Ψ_A de -0,5 a -3,0 MPa, com R^2 variando de 65 a 72%.

Nos dias nublados, a variável climática que praticamente influenciou na DFS, independentemente da face da copa, foi a temperatura do ar, exceto para as avaliações de fevereiro e agosto, na face leste. Em fevereiro, por ter apresentado céu claro durante a manhã do dia avaliado, foi a radiação que melhor se relacionou com a DFS, com R^2 de aproximadamente 88%. Em agosto, época de acentuada demanda evaporativa do ar, foi o DPV que se relacionou com a DFS, com alto valor de R^2 (~97%) (Tabela 3).

Tabela 2 - Coeficientes de regressão, coeficientes de determinações parcial e acumulado (em %), probabilidade (P) e número de dados (N) utilizados na análise de regressão múltipla stepwise para as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' nos dias ensolarados avaliados (dias Julianos 53, 147, 240 e 348 de 2005)

Variável	Coeficiente	R ² Parcial	R ² Acumulado	P	N	Variável	Coeficiente	R ² Parcial	R ² Acumulado	P	N
-----Fevereiro Leste-----						-----Fevereiro Oeste-----					
Qg	11,23	77,86	77,86	**	26	DPV	33,79	91,88	91,88	**	26
Tar	17,45	4,97	82,83	**	26	Qg	9,98	2,83	94,71	**	26
DPV	-95,92	7,77	90,60	**	26	Constante	-1,93			ns	
Constante	-301,02			**							
-----Maio Leste-----						-----Maio Oeste-----					
Qg	21,71	69,56	69,56	**	22	DPV	69,63	90,62	90,62	**	22
Tar	2,32	17,34	86,90	**	22	Constante	-9,36			*	
Constante	-24,62										
-----Agosto Leste-----						-----Agosto Oeste-----					
Qg	14,37	74,68	74,68	*	24	Tar	1,51	88,48	88,48	**	24
Tar	9,15	4,33	79,01	*	24	Qg	6,16	3,49	91,97	**	24
DPV	-48,35	5,10	84,11	*	24	Constante	-20,89			**	
Constante	-131,48			*							
-----Dezembro Leste-----						-----Dezembro Oeste-----					
Qg	33,25	73,61	73,61	**	28	DPV	53,39	90,57	90,57	**	28
DPV	18,11	8,81	82,42	*	28	Qg	13,22	4,61	95,18	**	28
Constante	5,40			ns		Tar	-3,16	0,94	96,12	*	28
						Constante	48,01			*	

* = significativo a 5% de probabilidade ** = significativo a 1% de probabilidade
ns = não significativo

Tabela 3 - Coeficientes de regressão, coeficientes de determinações parcial e acumulado (em %), probabilidade (P) e número de dados (N) utilizados na análise de regressão múltipla stepwise para as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' nos dias nublados avaliados (dias Julianos 49, 150, 239 e 345 de 2005)

Variável	Coeficiente	R ² Parcial	R ² Acumulado	P	N	Variável	Coeficiente	R ² Parcial	R ² Acumulado	P	N
-----Fevereiro Leste-----						-----Fevereiro Oeste-----					
Qg	43,79	88,56	88,56	**	26	Tar	3,68	68,59	68,59	**	26
Constante	13,75			**		Qg	20,14	14,01	82,60	**	26
						Constante	-68,75			**	
-----Maio Leste-----						-----Maio Oeste-----					
Tar	4,74	92,93	92,93	**	22	Tar	4,95	88,87	88,87	**	22
Constante	-81,71			**		Constante	-83,34			**	
-----Agosto Leste-----						-----Agosto Oeste-----					
DPV	49,78	97,30	97,30	**	24	Tar	2,72	92,40	92,40	**	24
Constante	-0,93			ns		Qg	7,17	1,30	93,70	*	24
						Constante	-43,67			**	
-----Dezembro Leste-----						-----Dezembro Oeste-----					
Tar	7,78	93,11	93,11	**	28	Tar	7,05	97,16	97,16	**	28
Constante	-144,51			**		Constante	-133,81			**	

* = significativo a 5% de probabilidade ** = significativo a 1% de probabilidade

ns = não significativo

2.3.7 Variação da transpiração instantânea e da condutância estomática das faces leste e oeste da copa

A Figura 21 apresenta a variação diurna da transpiração instantânea (E) e da condutância estomática (g_s) nas faces leste e oeste da copa, durante o período experimental. Em fevereiro (dia Juliano 48), na face leste, E e g_s aumentaram rapidamente logo no início da manhã, ambas atingindo os seus valores máximos, $2,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,18 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, já por volta das 7:30 h, enquanto na face oeste, ainda sombreada (Figura 22E), os valores são praticamente nulos (Figura 22A,E). Verifica-se, pois, a rápida e forte influência do aumento de DFFF na abertura estomática, principalmente em condições não-limitantes dos fatores ambientais, como parece ser este o caso. Em fevereiro, estação quente e chuvosa, as plantas encontravam-se bem hidratadas (Figura 4A), e os valores de DFFF, $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ e T_f no horário de máxima abertura estomática do dia (7:30 h) eram de $600 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $1,5 \text{ kPa}$ e $28,8^\circ\text{C}$, respectivamente (Figura 22A,E). Na literatura reporta-se que os estômatos respondem ao aumento de DFFF até valores próximos a $600 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, quando apresentariam sua máxima abertura. Em outras palavras, este seria o ponto de saturação luminosa da abertura estomática (VU; YELENOSKY; BAUSHER, 1986; MACHADO et al., 2005). Em seguida, às 8:20 h, observa-se uma queda acentuada em g_s e menos intensa em E , provavelmente devido ao aumento do $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$, que neste horário já se encontrava em $2,2 \text{ kPa}$ (Figura 22A), induzindo a uma redução na abertura estomática e na transpiração (Figura 21A,E). Essa redução em g_s para a face leste continua de forma praticamente linear até ao meio-dia, quando atinge valor próximo ao mínimo, verificando-se, também, queda acentuada na transpiração nesse horário. Paralelamente a isso, na face oeste, observa-se um aumento linear no $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ até atingir o seu ponto máximo, às 12 h ($3,6 \text{ kPa}$). Isso indica que os estômatos da face leste estão exercendo um estreito controle da abertura estomática em resposta ao aumento da demanda evaporativa do ambiente, evitando, assim, a desidratação excessiva desta face.

Figura 21 - Variação diurna da transpiração (E) e da condutância estomática (g_s) medidas nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,E), junho (dia Juliano 153, em B,F), agosto (dia Juliano 242, em C,G) e dezembro (dia Juliano 344, em D,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio ($n=5$) $\pm$ erro padrão

Figura 22 - Variação diurna da diferença de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{folha-ar}$), da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e da temperatura foliar (T_r) medidas nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,E), junho (dia Juliano 153, em B,F), agosto (dia Juliano 242, em C,G) e dezembro (dia Juliano 344, em D,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio ($n=5$) $\pm$ erro padrão

Em fevereiro, ocorreu também um fato interessante que exemplifica a resposta diferenciada dos estômatos entre as faces leste e oeste da copa às

mesmas condições pontuais do ambiente. Conforme discutido acima, observa-se que a face leste apresentou o fenômeno fisiológico conhecido como “depressão do meio-dia”, o qual é caracterizado pela redução da condutância estomática às 12 h em decorrência da alta demanda evaporativa atmosférica que geralmente se verifica nesse horário. Essa redução na abertura estomática causou uma queda acentuada na transpiração da face leste, enquanto que a face oeste continuou a transpirar a taxas três vezes superiores. As condições ambientais nesse horário, em ambas as faces, eram bem similares (Figura 22A,E). Esse fato pode ser explicado pela responsividade diferenciada entre os estômatos de cada face aos fatores ambientais previamente experienciados. De outra forma: os estômatos da face leste, desde o início da manhã estão sendo submetidos a níveis crescentes de radiação solar direta, enquanto que os da face oeste estão à sombra até por volta das 11 h. Isso faz com que essa face experiencie condições mais amenas de temperatura foliar e, conseqüentemente, de $DPV_{\text{folha-ar}}$ do que a face leste, à qual é exigida a manter, cada vez mais, um controle mais sensível ao aumento das condições adversas do ambiente.

A depressão do meio-dia é um fenômeno típico em citros, e mesmo sob condições de boa disponibilidade hídrica no solo, a condutância estomática pode ser reduzida em função da alta demanda evaporativa decorrente do aumento no DPV (SINCLAIR; ALLEN JUNIOR, 1982; VU; YELENOSKY, 1988; SYVERTSEN; LLOYD, 1994; MEDINA; MACHADO; GOMES, 1999). Tyree e Sperry (1988) sugerem que a diminuição da condutância estomática ao meio-dia, em algumas espécies de planta, estaria relacionada à prevenção da disfunção do xilema, pois a água nos vasos do xilema está sob tensão, ou seja, o potencial de pressão do xilema é negativo. Esta tensão aumenta à medida que a umidade do solo decresce e/ou a transpiração aumenta, o que poderia levar à cavitação e embolia da coluna de água no xilema. O ácido abscísico também pode estar envolvido nesse processo, pois Burschka, Tenhunen e Hartung (1985) detectaram aumento do conteúdo de ABA, ao meio-dia, em folhas de *Arbutus unedo*.

Em junho (dia Juliano 153), na face leste, verifica-se também, no início da manhã, o rápido aumento na condutância estomática induzido pelo aumento em

DFFF, ocorrendo uma queda acentuada às 9 h, e voltando a aumentar às 10 h, quando atinge o seu valor máximo, de $0,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A partir daí se mantém praticamente estabilizada até por volta das 14 h, decaindo rápida e linearmente até o entardecer (Figura 21F). A oscilação em g_s no período da manhã foi em decorrência da presença de nuvens, que promoveu uma queda em DFFF de $840 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, às 8:10 h, para $440 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, às 9 h, e retornando a aumentar até por volta das 11 h, com um valor máximo de $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 22F). Na face oeste, g_s aumenta gradualmente até por volta das 11 h ($0,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mantendo-se nesse patamar até às 13:30 h, ocorrendo, em seguida, um acentuado aumento às 14 h ($0,22 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ocasião em que alcança o valor máximo registrado no dia. Em seguida, decresce de forma linear e acentuada até o final da tarde (Figura 21F). Vale ressaltar que durante a maior parte do dia, em ambas as faces, os valores de g_s se mantiveram elevados, indicando que as condições ambientais foram favoráveis ou pouco limitantes à abertura estomática. De fato, verifica-se que ao longo do dia a T_f situou-se praticamente entre 20 e 30°C , o $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ entre 1 e 2 kPa, e o DFFF não ultrapassou os $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 22B,F), como também as plantas se encontravam bem hidratadas (Figura 4A). Assim, a transpiração máxima em junho ($3,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) chega a superar o valor máximo do registrado em fevereiro (Figura 21A,B), que foi de alta demanda atmosférica (4,6 kPa) e T_f elevadas (40°C) (Figura 22A,E). Mesmo com o menor fotoperíodo em relação a fevereiro, a transpiração diária das faces foi bastante semelhante entre essas duas épocas (Figura 23).

Em agosto (dia Juliano 242) há um decréscimo bastante acentuado em E e g_s , não alcançando mais do que $1,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. As diferenças entre os valores das faces leste e oeste são muito pouco evidenciadas, e com um padrão praticamente estável ao longo do dia (Figura 21C,G). Numa análise comparativa com a avaliação realizada em fevereiro, pode-se perceber certa semelhança para $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$, T_f e níveis de saturação luminosa de DFFF. Nessas duas épocas, o padrão do $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ apresenta-se de forma crescente e linear até o meio-dia, e decaindo linearmente

com a mesma inclinação da subida, exceto para a face oeste de fevereiro, que apresenta uma leve diferença desse padrão. Os valores máximos de $DPV_{\text{folha-ar}}$ são idênticos: 4,6 kPa (Figura 22A,E). A T_f exibe também padrões semelhantes e com variações entre 20 e 40°C, em fevereiro, e entre 22,5 e 37,5°C, em agosto. Níveis de DFFF acima de 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, se verificam desde as 8 h até por volta das 15 h, em ambos os dias (Figura 22E,G). No entanto, em fevereiro, observa-se altos valores de E e g_s , indicando que a alta demanda atmosférica não está sendo o fator preponderante na restrição estomática em agosto. Poder-se-ia, então, supor que a deficiência hídrica do solo que ocorre nesta época (Figuras 3 e 4) é que seria o fator limitante da abertura estomática. Entretanto, Ribeiro (2006) constatou, em trabalho realizado com laranjeiras 'Valência' com e sem irrigação na região de Cordeirópolis, que não houve efeito da irrigação no aumento de g_s ao longo do dia durante o período de menor disponibilidade hídrica do solo. Angelocci et al. (2004), em experimento conduzido em Piracicaba com limeira ácida 'Tahiti' irrigada, reportaram que a menor condutância foliar à difusão de vapor ocorreu em agosto. Machado et al. (2002), trabalhando com laranjeiras 'Valência' enxertadas em quatro espécies de porta-enxerto, também relataram redução acentuada de g_s durante o inverno, mesmo em plantas irrigadas. Comportamento semelhante também foi verificado para café em condição de campo (BARROS et al., 1997). Portanto, a deficiência hídrica do solo também não estaria limitando a condutância estomática em agosto.

Embora a avaliação de agosto tenha apresentado médias decendiais de temperaturas mínima, média e máxima do ar bem próximas às de fevereiro (Figura 2A), observa-se que nos nove decêndios anteriores, as médias de temperaturas mínimas do ar e do solo a 5 cm de profundidade, situaram-se abaixo dos 15°C (Figura 2A, B). Portanto, essa exposição prolongada às baixas temperaturas do ar e do solo estaria limitando a abertura estomática. Ao que parece, esse efeito inibidor ainda levaria um certo tempo a desaparecer, após as plantas voltarem a experienciar condições de temperatura mais elevadas, como foi o presente caso.

Em dezembro (dia Juliano 344), a face oeste apresentou valores de E e g_s superiores aos da face leste durante todo o período da manhã (Figura 21D,H). Este comportamento inverso ao esperado pode ser atribuído ao fato de que houve uma acentuada redução de DFFF em virtude de nebulosidade ao longo do período matutino (Figura 22H). Esse fato, juntamente com o relativamente baixo $DPV_{\text{folha-ar}}$ durante a manhã, abaixo de 2 kPa, e da T_f entre 25 e 31°C (Figura 22D,H) nesse período, favoreceram aos altos valores de g_s durante a manhã (Figura 21H). Após o meio-dia, o retorno de DFFF aos seus níveis normais de radiação promove aumentos expressivos na T_f e no $DPV_{\text{folha-ar}}$ (Figura 22D,H), provocando um acentuado aumento na transpiração até por volta das 14 h (Figura 21D). Em seguida, instala-se uma forte restrição na abertura estomática induzida, provavelmente, pela redução do potencial da água foliar dado aos altos fluxos transpiratórios previamente ocorridos, os quais alcançaram valores de até 4,4 mmol m⁻² s⁻¹.

A Figura 23 apresenta os valores de transpiração diária (E_i) para as faces leste e oeste da copa nas quatro épocas avaliadas. O total de água transpirado pela face oeste foi significativamente maior ($P < 0,05$) do que o da face leste para todas as épocas, exceto agosto. Os valores de E_i variaram entre 665,8 g m⁻² d⁻¹, em agosto, e 1764,6 g m⁻² d⁻¹, em dezembro, ambos na face oeste. As diferenças percentuais entre as faces oeste em relação à leste foram de 19,3, 22,5, -1,2 e 31%, em fevereiro, junho, agosto e dezembro, respectivamente. Em termos de média das duas faces, pode-se distinguir três níveis de transpiração: de alta transpiração, em dezembro (final da primavera), com média de 1556 g m⁻² d⁻¹; de baixa transpiração, em agosto (inverno), com média de 670 g m⁻² d⁻¹; e intermediário, em fevereiro (verão) e junho (outono), com valores de 1246 e 1120 g m⁻² d⁻¹, respectivamente.

Figura 23 - Total diário da transpiração (E_i) das faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram realizadas nos dias Julianos 48 (17/02), 153 (02/06), 242 (30/08) e 344 (10/12) de 2005. Barras indicam o valor médio ($n=5$) $\pm$ erro padrão. Letras distintas, nas colunas de cada mês, representam diferenças significativas pelo teste-t ($p<0,05$)

2.3.8 Comparação da transpiração determinada por fluxo de seiva e por análise de gases por infravermelho (IRGA)

A Figura 24 apresenta a comparação entre as variações diurnas da transpiração instantânea (E) e da densidade de fluxo de seiva (DFS) nas faces leste e oeste da copa realizadas ao longo de um dia nos meses de fevereiro, junho, agosto e dezembro de 2005. Para essa comparação, os valores de DFS, registrados nos horários correspondentes às medidas de E , foram transformados para a mesma unidade ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Inicialmente, observa-se que, em ambas as faces, as maiores diferenças entre as duas técnicas de medição ocorreram nos períodos de alta transpiração, em todas as épocas estudadas, exceto em agosto (Figura 24E) e fevereiro (Figura 24A), na face leste. No geral, esse período de maior transpiração ocorreu entre as 12 e 14 horas. Esse comportamento mostra claramente a defasagem entre a transpiração e a absorção de água pela planta (fluxo de seiva), uma vez que em fluxos

transpiratórios mais intensos, mesmo com boa disponibilidade hídrica no solo, as raízes não conseguem suprir, na mesma velocidade, o volume de água perdida para a atmosfera. Sob essas condições, o fluxo transpiratório dá-se às expensas da água armazenada no caule e ramos da planta, ou seja, ao seu efeito de capacitância hídrica. Landsberg, Blanchard e Warrit (1976), avaliando a teoria do fluxo de água em plantas, explicaram que o fluxo transpiratório é suprido tanto a partir da capacitância da água armazenada no caule e ramos, quanto a partir da água do solo, via raízes. Segundo Schulze et al. (1985), o uso da água armazenada permite à planta transpirar a altas taxas e a abrir os estômatos para a assimilação de CO_2 sob condições de baixo influxo de água oriunda das raízes.

De uma maneira geral, verifica-se que a transpiração se mantém superior à absorção de água (DFS) desde o período da manhã até o meio da tarde, e praticamente cessando ao entardecer (Figura 24). O fluxo de seiva continua ocorrendo durante parte do período noturno, até que a água armazenada consumida seja totalmente reposta (SCHULZE et al., 1985; ANGELOCCI, 2002). Em trabalho com limeira ácida 'Tahiti' a campo, na região de Piracicaba, comparando-se a transpiração medida com porômetro (Licor LI 1600) e o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor, não foi possível constatar a defasagem entre ambas (COELHO FILHO, 2002; COELHO FILHO et al., 2005), porém, como o estudo foi conduzido em plantas muito pequenas, entre quatro e oito meses de idade, e, portanto, com pouca capacitância hidráulica, isto explicaria a ausência de defasagem. Já Trejo-Chandia et al. (1997), trabalhando com mudas de limeira ácida 'Tahiti' em condições de laboratório, ao comparar o fluxo de seiva com a transpiração determinada em balança de precisão, verificaram uma defasagem na escala horária entre ambos os métodos, porém, o padrão de defasagem foi invertido. No período da manhã, no qual a transpiração deveria ser maior, em função da capacitância do tronco, foi menor, permanecendo essa tendência em boa parte do dia. Os autores atribuíram a superestimativa das medidas do fluxo de seiva aos erros inerentes ao método do balanço de calor.

Figura 24 - Variação diurna da transpiração (E) medida pelo IRGA e da densidade de fluxo de seiva (DFS) (valores obtidos nos horários correspondentes aos de E), nas faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação, nos meses de fevereiro (dia Juliano 48, em A,B), junho (dia Juliano 153, em C,D), agosto (dia Juliano 242, em E,F) e dezembro (dia Juliano 344, em G,H) de 2005. Símbolos indicam valor médio (n=5, em E; e n=2-3, em DFS) $\pm$ erro padrão

Na Figura 25 tem-se a transpiração total diária determinada por analisador de gases por infravermelho (IRGA) e pelo método do balanço de calor caulinar (MBC), nas faces leste e oeste da copa, nos dias Juliano 48 (fevereiro), 153 (junho), 242 (agosto) e 348 (dezembro) de 2005. Na face leste, observa-se que ocorreram sub e superestimativas de um método em relação ao outro (Figura 25A). As diferenças do IRGA em relação ao MBC foram de -4, 18, -24 e 12% para os meses de fevereiro, junho, agosto e dezembro, respectivamente. Já na face oeste, a transpiração estimada pelo IRGA foi sempre maior que a determinada pelo fluxo de seiva (MBC) (Figura 25B), como também os valores foram mais discrepantes entre os métodos, quando comparados aos da face leste (Figura 25A). As diferenças foram de 12, 23, 16 e 79% a favor do IRGA. Os valores de transpiração do MBC variaram entre $854,3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (junho) e $1207,4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (dezembro), na face leste, e entre $572,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (agosto) e $1208,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (fevereiro), na face oeste. Os do IRGA variaram entre $673,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (agosto) e $1347,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (dezembro), na face leste, e entre $665,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (agosto) e $1764,6 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (dezembro), na face oeste.

Alguns autores avaliando a transpiração diária por diferentes metodologias em coníferas (SCHULZE et al., 1985), pecan (STEINBERG; McFARLAND; WORTHINGTON, 1990) e limeira ácida 'Tahiti' (COELHO FILHO et al., 2005; COELHO FILHO, 2002), encontraram valores similares entre as transpirações medidas por fluxo de seiva e por porometria, fato esse não observado no presente trabalho, principalmente para a face oeste. Essa discordância pode ser explicada em função da metodologia de amostragem das folhas ou do intervalo de tempo entre as medidas porométricas. Schulze et al. (1985) realizaram medições porométricas em diferentes exposições (norte, sul, leste e oeste), em diferentes camadas da copa (extremidade, meio e base do ramo principal) e nas partes ensolaradas e sombreadas da copa.

Figura 25 - Transpiração diária medida pelo método do balanço de calor no caule (MBC) e por um analisador de gases infravermelho (IRGA) nas faces leste (A) e oeste (B) da copa de laranjeiras 'Valência' em condições de campo, conduzidas sem irrigação. As medidas foram realizadas nos dias Julianos 48 (17/02), 153 (02/06), 242 (30/08) e 344 (10/12) de 2005. Barras indicam valor médio ($n=5$, em IRGA; e $n=2-3$, em MBC) $\pm$ erro padrão

Desta forma, as medidas apresentaram uma alta representatividade das diversas condições ambientais existentes na copa. No entanto, a transpiração medida em um ramo situado na parte externa e ensolarada da copa, utilizando-se uma câmara de trocas gasosas, foi 25% maior em *Picea abies*, e 12% maior em *Larix*. Steinberg, McFarland e Worthington (1990), também realizaram medições em folhas expostas ao sol e sombreadas, em igual número, permitindo uma boa representatividade. Já Coelho Filho et al. (2005) realizaram medições em folhas expostas ao sol, porém, em intervalos de 20 minutos, permitindo, assim, obter uma maior quantidade de pontos e, conseqüentemente, melhor representatividade. Como nesse trabalho usaram-se apenas folhas expostas ao sol e intervalos de medições de 1-1,5 h, isso provavelmente favoreceu a uma maior diferença entre os métodos.

Por outro lado, Machado et al. (2006), estudando o fluxo de seiva (pelo MBC) e as trocas gasosas (com IRGA) em laranjeira 'Natal' em condições de campo, obtiveram valores máximos de E 2,4 vezes superiores aos valores médios máximos do fluxo de seiva (média de 10 dias), calculados em unidades equivalentes. Os valores foram, respectivamente, de 3,2 e 1,3 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Segundo os autores, a diferença entre os valores está relacionada com o método de medida, pois enquanto E foi determinado de forma pontual, em folhas totalmente expandidas e expostas diretamente à radiação solar, o fluxo de seiva representou a média de todas as folhas da copa. Segundo Angelocci et al. (2004), folhas diretamente expostas à radiação

solar apresentam maior temperatura e, portanto, maior $DPV_{\text{folha-ar}}$, proporcionando elevação na transpiração, e que o arranjo de folhas com diferentes idades e intensidades de sombreamento que se verifica na copa da planta proporciona redução na transpiração, ocasionada tanto pelo sombreamento quanto pela idade das folhas. Ainda conforme Angelocci et al. (2004), nas camadas mais internas da copa, o fluxo de radiação decresce exponencialmente, promovendo reduções na temperatura e na transpiração das folhas localizadas mais internamente na copa. Portanto, para Machado et al. (2006), esse arranjo das folhas deve ter sido a principal causa da menor transpiração média estimada pelo fluxo de seiva.

Desse modo, como as folhas expostas da face oeste estão submetidas à condições mais adversas de temperatura e $DPV_{\text{folha-ar}}$ que as da face leste, o que ocasiona aumentos na transpiração durante o período da tarde (Figura 24), isso, provavelmente, deve ter motivado à maior discrepância entre os métodos para a face oeste (Figura 25B).

3 CONCLUSÕES

Independente da época do ano, o potencial da água no ramo, medido antes do amanhecer, não apresenta diferenças significativas entre as faces leste e oeste da copa de laranjeiras 'Valência', motivado pela similaridade das condições ambientais em ambas as faces durante o período noturno, indicando que a reidratação durante esse período ocorre uniformemente em toda a copa da planta. Por outro lado, às 14:30 h, a face oeste apresenta menor potencial da água, diferindo significativamente da face leste, em todas as épocas avaliadas.

Em dias ensolarados, há uma defasagem entre os cursos diários da densidade de fluxo de seiva (DFS) das faces leste e oeste da copa, cujos picos ocorrem por volta das 11:00-12:00 h e 14:00-14:30 h, respectivamente. Essa defasagem é consequência das variações dos fatores ambientais entre as faces ao longo do dia, principalmente da radiação solar. Em dias nublados, os cursos diários de DFS entre as faces são similares, ocasionado pela predominância da radiação difusa.

A variação dos fatores ambientais, dependendo da época do ano, promove diferenças significativas de transpiração entre as faces da copa, e se verifica em ambos os métodos utilizados para a sua estimativa (o método de balanço de calor e o de análise de gases por infravermelho).

As condições ambientais que se verificam após o meio-dia exercem forte influência sobre a transpiração da planta ao longo do ano, representando, em média, 62% do total transpirado pela planta, em dias ensolarados, chegando a alcançar 91%, em dias nublados.

Na face leste, em dias ensolarados, a partição da transpiração diária ocorre de forma equilibrada entre os períodos da manhã e da tarde, enquanto na face oeste ocorre predominantemente no período da tarde, independente da época do ano. Em dias nublados, e para ambas as faces da copa, a transpiração ocorre mais intensamente no período da tarde.

Em dias ensolarados, a DFS da face leste apresenta melhor associação com a radiação solar, em todas as épocas, enquanto na face oeste, a melhor associação se

verifica com o déficit de pressão de vapor do ar. Em dias nublados, há melhor associação de DFS com a temperatura do ar, para ambas as faces.

A comparação entre os cursos diários da transpiração instantânea (E) e de DFS, expressas em unidades equivalentes, evidencia a defasagem entre ambas, tanto na face leste quanto na oeste, em todas as épocas avaliadas, exceto em agosto, quando os baixos valores da condutância estomática limitaram a transpiração.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, M.J.; INGRAM, D.L. Heat tolerance of citrus leaves. **HortScience**, Alexandria, v. 23, p. 747-748, 1988.
- ALLEN, D.J.; ORT, D.R. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 6, p. 36-42, 2001.
- ALLEN, S.J.; GRIME, V.L. Measurements of transpiration from savannah shrubs using sap flow gauges. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 75, p. 23-41, 1995.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: O Autor, 2002. 268 p.
- ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R.; OLIVEIRA, R.F.; RIGHI, E.Z. Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 53-64, 2004.
- ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; MARIN, F.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C. Estimativa da transpiração de lima ácida 'Tahiti' por modelos climatológicos e comparação com o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor. In: REUNION ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 2000, Mendoza. **Anais...** Mendoza: SAA, 2000. 1 CD-ROM.
- ANSLEY, R.J.; DUGAS, W.A.; HEVER, M.L.; TREVINO, B.A. Stem flow and porometer measurements of transpiration from honey mesquite (*Prosopis glandulosa*). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, p. 847-856, 1994.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2008. p 65-68.
- BAKER, J.M.; VAN BAVEL, C.H.M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 777-782, 1987.
- BARROS, R.S.; MOTA, J.W.S.; DAMATTA, F.M.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 54, p. 65-72, 1997.
- BETHENOD, O.; KATERJI, N.; GOUJET, R.; BERTOLINI, J.M.; RANA, G. Determination and validation of corn crop transpiration by sap flow measurement under field conditions. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 67, p. 153-160, 2000.
- BLAKE, J.; FERREL, W. The association between soil and xylem water potential leaf resistance and abscisic acid content in droughted seedlings of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 39, p. 106-109, 1977.

BRAKKE, M.; ALLEN JUNIOR, L.H. Gas exchange of *Citrus* seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, p. 497-504, 1995.

BURSCHEKA, C.; TENHUNEN, J.D.; HARTUNG, W. Diurnal variations in abscisic acid content and stomatal response to applied abscisic acid in leaves of irrigated and non-irrigated *Arbutus unedo* plants under naturally fluctuating environmental conditions. **Oecologia**, Berlin, v. 58, p. 128-131, 1985.

CAMACHO-B, S.E.; KAUFMANN, M.R.; HALL, A.E. Leaf water potential response to transpiration by citrus. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 31, p. 101-105, 1974.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. Disponível em: <<http://ciiagro.iac.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2006.

CERMAK, J.; DEML, M.; PENKA, M. A new method of sap flow rate determination in trees. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 15, p. 171, 1973.

CLOSS, R.L. The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. **New Zealand Journal of Science**, Wellington, v. 1, p. 281-288, 1958.

COELHO FILHO, M.A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 2002. 91 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V.; BERNARDES, M.S. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 240-247, 2005.

COHEN, S.; COHEN, Y. Field studies of leaf conductance response to environmental variables in citrus. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 20, p. 561-570, 1983.

COHEN, S.; MORESHET, S.; LE GUILLOU, L.; SIMON, J.; COHEN, M. Response of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 48, p. 35-44, 1997.

COHEN, Y.; FUCHS, M.; MORESHET, S. Estimating citrus orchard canopy resistance from measurement of actual and potential transpiration. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. (Ed.). **Water transport in plant under climatic stress**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 229-237.

DAL BOSCO, A. **Fluxo de seiva em laranjeira (*Citrus sinensis* L. Osb.) 'Pêra' infectada com *Xylella fastidiosa* Wells**. 2001. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

DAUM, C.R. A method for determining water transport in trees. **Ecology**, Washington, v. 48, p. 425-431, 1967.

DAVIES, W.J.; KOZLOWSKI, T.T. Stomatal response of five woody angiosperms to light intensity and humidity. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 52, p. 1525-1534, 1974.

DAVIES, W.J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soils. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 55-76, 1991.

DUGAS, W.A.; WALLACE, J.S.; ALLEN, S.J.; ROBERTS, J.M. Heat balance, porometer and deuterium estimates of transpiration from potted trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 64, p. 47-62, 1993.

EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology and Evolution**, London, v. 14, p. 11-16, 1999.

ELFVING, D.C.; KAUFMANN, M.R. Diurnal and seasonal effects of environment on plant water relations and fruit diameter of citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 97, p. 566-570, 1972.

ELFVING, D.C.; KAUFMANN, M.R.; HALL, A.E. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 27, p. 161-168, 1972.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 33, p. 317-345, 1982.

FENNEL, A.; MARKHART, A. H. Rapid acclimation of root hydraulic conductivity to low temperature. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 879-884, 1998.

FERERES, E.; CRUZ-ROMERO, G.; HOFFMAN, G.J.; RAWLINS, S.L. Recovery of orange trees following severe water stress. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 16, p. 833-842, 1979.

FNP CONSULTORIA E COMERCIO. Citrus-Laranja. In: _____. **AGRIANUAL 2008: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2007. p. 280-288

GOMES, M.M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L. Absciscic acid and idole-3-acetic acid contents in orange trees infected by *Xylella fastidiosa* and submitted to cycles of water stress. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 39, p. 263-270, 2003.

GOMES, M.M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; MACHADO, M.A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 155-161, 2004.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 42, p. 81-88, 1985.

GRANIER, A.; LOUSTAU, D. Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine canopy from sap flow data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, p. 61-81, 1994.

GRANIER, A.; HUC, R.; BARIGAH, S.T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 78, p. 19-29, 1996.

GRANTZ, D.A. Plant response to atmospheric humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 13, p. 667-679, 1990.

GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Stomatal response to humidity in a sugarcane field: simultaneous porometric and micrometeorological measurements. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 13, p. 27-37, 1990.

GREEN, G.C.; MORESHET, S. An analysis of seasonal water use characteristics of Valencia orange trees in the Sundays River Valley. **Crop Production**, Washington, v. 8, p. 179-183, 1979.

GRIME, V.L.; SINCLAIR, F.L. Sources of error in stem heat balance sap flow measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 94, p. 103-121, 1999.

GRIME, V.L.; MORISON, J.I.L.; SIMMONDS, L.P. Including the heat storage term in sap flow measurements with the stem heat balance method. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 74, p. 1-25, 1995a.

_____. Sap flow measurements from stem heat balances: a comparison of constant with variable power methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 74, p. 27-40, 1995b.

HABERMANN, G.; MACHADO, E.C.; RODRIGUES, J.D.; MEDINA, C.L. Gas exchange rates at different vapor pressure deficits and water relations of 'Pera' sweet orange plants with citrus variegated chlorosis (CVC). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 98, p. 233-245, 2003.

HALL, A.E.; HOFFMAN, G.J. Leaf conductance response to humidity and water transport in plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 876-881, 1976.

HALL, A.E.; CAMACHO-B, S.E.; KAUFMANN, M.R. Regulation of water loss by citrus leaves. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 33, p. 63-65, 1975.

HAM, J.M.; HEILMAN, J.L. Dynamics of heat balance stem flow gauge during high flow. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 147-152, 1990.

HEILMAN, J.L.; HAM, J.M. Measurements of mass flow rate of sap in *Ligustrum japonicum*. **HortScience**, Alexandria, v. 25, p. 465-467, 1990.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 16 out. 2008.

JARVIS, P.G. The interpretation of the variations in leaf water potencial and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Series B, London, v. 272, p. 593-610, 1976.

JIFON, J.L.; SYVERTSEN, J.P. Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. **Tree Physiology**, Victoria, v. 23, p. 119-127, 2003.

JONES, H.G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 387-398, 1998.

KAUFMANN, M.R.; LEVY, Y. Stomatal response of *Citrus jambhiri* to water stress and humidity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 38, p. 105-108, 1976.

KHAIRI, M.M.A.; HALL, A.E. Effects of air and soil temperatures on vegetative growth of citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 101, p. 337-341, 1976.

KNIGHT, P.R.; HARRIS, J.R.; FANELLI, J.K. Root severance at harvest increases embolism and decreases sap flow of field-grown *Acer rubrum* L. **HortScience**, Alexandria, v. 35, p. 833-836, 2000.

KRIEDEMANN, P.E. Photosynthesis and transpiration as a function of gaseous diffusive resistance in orange leaves. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 24, p. 218-225, 1971.

KRIEDEMANN, P.E.; BARRS, H.D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKI, T.T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1981. p. 325-417.

LAKSO, A.N. Seasonal changes in stomatal response to leaf water potential in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 104, p. 58-60, 1979.

LANDSBERG, J.; BLANCHARD, T.; WARRIT, B. Studies on the movement of water through apple trees. **Journal of the Experimental Botany**, Oxford, v. 27, p. 579-596, 1976.

LAUER, M.J.; BOYER, J.S. Internal CO₂ measured directly in leaves: abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. **Plant Physiology**, Rockville, v. 98, p. 1310-1316, 1992.

LEVY, Y. Effect of evaporative demand on water relations of *Citrus limon*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 46, p. 695-700, 1980.

_____. Acclimation of citrus to water stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 20, p. 267-273, 1983.

LLOYD, J.; HOWIE, H. Salinity, stomatal responses and whole-tree hydraulic conductivity of orchard 'Washington Navel' orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 16, p. 169-179, 1989.

LLOYD, J.; WONG, S.C.; STYLES, J.M.; BATTEN, D.; PRIDDLE, R.; TURNBULL, C.; McCONCHIE, C.A. Measuring and modeling whole-tree gas exchange. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 22, p. 987-1000, 1995.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo de distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 21, p. 359-380, 2000.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'Valência'. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; RIBEIRO, R.V.; MEDINA, C.L.; STUCHI, E.S.; PAVANI, L.C. Deficiência hídrica agrava os sintomas fisiológicos da clorose variegada dos citros em laranjeira 'Natal'. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 373-379, 2007.

MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; RIBEIRO, R.V.; MEDINA, C.L.; STUCHI, E.S.; MARIN, F.R.; SILVA, J.A.B.; SILVA, S.R. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranjeira 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 911-918, 2006.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MARIN, F.R.; RIBEIRO, R.V.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z. Fluxo de seiva pelo método do balanço de calor: base teórica, qualidade das medidas e aspectos práticos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 1-14, 2008.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A.; VILLA NOVA, N.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 839-844, 2001a.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 17, p. 219-228, 2002.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Sap flow and evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, p. 219-226, 2001b.

MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, Rockville, v. 33, p. 385-396, 1958.

MASSAI, R.; REMORINI, D.; FERREIRA, M.I.; PAÇO, T.A. Sap flow in peach trees during water stress and recovery in two environmental conditions. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 537, p. 351-358, 2000.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 11, p. 29-34, 1999.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; PINTO, J.M. Fotossíntese de laranja 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 1-14, 1998.

MEYER, W.S.; GREEN, G.C. Comparison of stomatal action of orange, soybean and wheat under field conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 8, p. 65-76, 1981.

MONTEITH, J.L. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 18, p. 357-364, 1995.

MORESHET, S.; COHEN, Y.; GREEN, G.C.; FUCHS, M. The partitioning of hydraulic conductances within mature orange trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 833-839, 1990.

MOTT, K.A.; PARKHURST, D.F. Stomatal responses to humidity in air and helox. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 509-515, 1991.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1999. 474 p.

OGUNTUDE, P.G.; GIESEN, N.; SAVENIJE, H.G. Measurement and modelling of transpiration of a rain-fed citrus orchard under subhumid tropical conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 200-208, 2007.

OLIVEIRA, L.F.C.; VIEIRA, D.B.; SOUZA, I.S. Estudo do sistema radicular da tangerineira 'Cleópatra' com copa de laranjeira 'Pêra'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 19, p. 117-131, 1998.

PASSIOURA, J.B. Water transport in and to roots. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v. 39, p. 245-265, 1988.

PASSOS, O.S.; SOARES FILHO, W.S. O desenvolvimento da citricultura. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Ed.). **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informática Tecnológica, 2008. cap. 7, p. 359-366.

RAMOS, C.; KAUFMANN, M. Hydraulic resistance of rough lemon. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen v. 45, p. 311-314, 1979

RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M.E. **Encyclopedia of plant physiology**: physiology of movements Berlin: Springer-Verlag, 1979. v. 7, chap. 4, p. 383-441.

RASCHKE, K.; RESEMANN, A., The midday depression of CO₂ assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L.: diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. **Planta**, Berlin, v. 168, p. 546-558, 1986.

REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: _____. **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1973. v. 3, chap. 9, p. 280-337.

RIBEIRO, R.V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranjeira 'Valência'**. 2006. 157 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 247-253, 2006.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C.; SANTOS, M.G. Leaf temperature in sweet orange plants under field conditions: influence of meteorological elements. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, p. 393-403, 2005.

RIGHI, E.Z. **Balanco de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 151 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ROELFSEMA, M.R.G.; HEDRICH, R. In the light of stomatal opening: new insights into 'the Watergate'. **New Phytologist**, Cambridge, v. 167, p. 665-691, 2005.

ROJAS, J.S.D. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. 2003. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Atualização da classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para o Estado de São Paulo com o uso de sistema de informação geográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Resumos expandidos...** Campinas: SBAgro, 2005. 1 CD-ROM.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 37, p. 9-17, 1981.

SCHULZE, E.D.; CERMÁK, J.; MATYSSEK, R.; PENKA, M.; ZIMMERMANN, R.; VASICEK, F.; GRIES, W.; KUCERA, J. Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees - a comparison of xylem flow, porometer and cuvette measurements. **Oecologia**, Berlin, v. 66, p. 475-483, 1985.

SHACKEL, K.A.; JOHNSON, R.S.; MEDAWAR, C.K.; PHENE, C.J. Substantial errors in estimates of sap flow using the heat balance technique on woody stems under field conditions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, p. 351-356, 1992.

SHERIFF, D.W. The effect of humidity on water uptake by, and viscous flow resistance of, excised leaves of a number of species: physiological and anatomical observations. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, p. 1399-1407, 1977.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SIMÕES, W.L. **Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do *Citrus latifolia* Tanaka sobre o porta-enxerto *Citrus limonia* Osbeck**. 2007. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SINCLAIR, T.R.; ALLEN JUNIOR, L.H. Carbon dioxide and water vapour exchange of leaves on field-grown citrus trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 33, p. 1166-1175, 1982.

SMITH, D.M.; ALLEN, S.J. Measurement of sap flow in plants stems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 1833-1844, 1996.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230 p.

STEINBERG, S.L.; McFARLAND, M.J.; WORTHINGTON, J.W. Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 653-659, 1990.

STEINBERG, S.L.; VAN BAVEL, C.H.M.; McFARLAND, M.J. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 114, p. 466-472, 1989.

SYVERTSEN, J.P. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. **Annals of Botany**, Oxford, v. 49, p. 827-834, 1982.

_____. Integration of water stress in fruit trees. **HortScience**, Alexandria, v. 20, p. 1039-1043, 1985.

_____. Physiological determinants of citrus tree growth and development. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FRUIT CROP - PRODUCTION AND QUALITY OF CITRUS FRUITS, 1., 1999, Botucatu. **Proceedings...** Botucatu: UNESP, 1999. p. 23-160.

SYVERTSEN, J.P.; ALBRIGO, L.G. Seasonal and diurnal citrus leaf and fruit water relations. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 141, p. 440-446, 1980.

SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. v. 2, chap. 4, p. 65-99.

SYVERTSEN, J.P.; SMITH JUNIOR, M.L.; ALLEN, C. Growth rate and water relations of citrus leaf flushes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 47, p. 97-105, 1981.

SYVERTSEN, J.P.; ZABLOTOWICZ, R.M.; SMITH JUNIOR, M.L. Soil temperature and flooding effects on two species of citrus 1. Plant growth and hydraulic conductivity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 72, p. 3-12, 1983.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 419-432, 1998.

TARDIEU, F.; KATERJI, N.; BETHENOD, O.; ZHANG, J.; DAVIES, W.J. Maize stomatal conductance in the field: its relationship with soil and plant water potentials, mechanical constraints and ABA concentration in the xylem sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 121-126, 1991.

TEIXEIRA FILHO, A.J. **Fluxo de água em espécie de citros (*Citrus sinensis* L. Osbeck - Laranja Pêra) - Campinas - São Paulo - Brasil**. 2005. 322 p. Tese (Doutorado em Engenharia. Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

THOMAS, D.S.; EAMUS, D. Seasonal patterns of xylem sap pH, xylem abscisic acid concentration, leaf water potential and stomatal conductance of six evergreen and deciduous Australian savanna tree species. **Australian Journal of Botany**, Victoria, v. 50, p. 229-236, 2002.

TREJO-CHANDIA, J.E. **Avaliação do método de balanço de calor na estimativa da transpiração em tomateiros, plantas de milho e mudas de limoeiro**. 1997. 75 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

TREJO-CHANDIA, J.E.; ANGELOCCI, L.R.; OLIVEIRA, R.F. Aplicação do método de balanço de calor na determinação da transpiração de mudas de limoeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, p. 221-231, 1997.

TYREE, M.T.; SPERRY, J.S. Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 574-580, 1988.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. **Hortscience**, Alexandria, v. 24, p. 383-385, 1989.

_____. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. **Water transport in plants under climatic stress**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.

VAN BAVEL, C.H.M. **Flow32™ installation and operation manual**. Houston: Dynamax, 1999. 178 p.

VELLAME, L.M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e sensor de balanço de calor caulinar**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2007.

VESELOVA, S.V.; FARHUTDINOV, R.G.; VESELOV, S.Y.; KUDOYAROVA, G.R.; VESELOV, D.S.; HARTUNG, W. The effect of root cooling on hormone content, leaf conductance and root hydraulic conductivity of durum wheat seedlings (*Triticum durum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 162, p. 21-26, 2005.

VESTE, M.; BEN-GAL, A.; SHANI, U. Impact of thermal stress and high VPD on gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Citrus grandis* under desert conditions. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 531, p. 143-149, 2000.

VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R. Estimativa da transpiração máxima de macieiras, em pomares irrigados, pelo método de Penman adaptado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, p. 245-250, 2002.

VU, J.C.V. Photosynthetic responses of citrus to environmental changes. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1999. chap. 45, p. 947-961.

VU, J.C.V.; YELENOSKY, G. Water deficit and associated changes in some photosynthetic parameters in leaves of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis* Osbeck). **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, p. 375-378, 1988.

VU, J.C.V.; YELENOSKY, G.; BAUSHER, M.G. CO₂ exchange rate, stomatal conductance and transpiration in attached leaves of Valencia orange. **HortScience**, Alexandria, v. 21, p. 143-144, 1986.

WEIBEL, F.; BOERSMA, K. An improved stem heat balance method using analog heat control. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 75, p. 191-208, 1995.

WEIBEL, F.P.; DE VOS, J.A. Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 166, p. 203-219, 1994.

WILTSHIRE, J.J.J.; WRIGHT, C.J.; COLLS, J.J.; UNSWORTH, M.H. Effects of heat balance stem-flow gauges and associated silicone compound on ash trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 73, p. 135-142, 1995.

ZEIGER, E.; ZHU, J. Role of zeaxanthin in blue light photoreception and the modulation of light-CO₂ interactions in guard cells. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 433-442, 1998.

ZHANG, H.; SIMMONDS, L.P.; MORISON, J.I.L.; PAYNE, D. Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 87, p. 155-169, 1997.

ZHANG, J.; GOWING, D.J.G.; DAVIES, W.J. ABA as a root signal in root-to-shoot communication of soil drying. In: DAVIES, W.J.; JEFFCOAT, B. (Ed.). **Importance of root-to-shoot communication in the response to environmental stress**. Bristol: British Society for Plant Growth Regulation, 1990. p. 163-174.