



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**GUSTAVO CAVALARI BARBOZA**

**FLUXO DE SEIVA E RELAÇÃO FOLIAR DE  
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)**

CAMPINAS

2016

**GUSTAVO CAVALARI BARBOZA**

**FLUXO DE SEIVA E RELAÇÃO FOLIAR DE  
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO GUSTAVO CAVALARI BARBOZA, E ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ TEIXEIRA FILHO.

CAMPINAS

2016

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** FAPESP, 2012/05549-8; FAPESP, 2013/10109-0

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B234f Barboza, Gustavo Cavalari, 1982-  
Fluxo de seiva e relação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) / Gustavo Cavalari Barboza. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: José Teixeira Filho.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Fluxo de seiva. 2. Plantas - Transpiração. 3. Cana-de-açúcar. 4. Plantas - Relações hídricas. 5. Ecofisiologia vegetal. I. Teixeira Filho, José, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Flow of sap and sugarcane leaf relationship (*Saccharum officinarum* L.)

**Palavras-chave em inglês:**

Sap flow

Plants - Sweating

Sugarcane

Plants - Water relations

Ecophysiology plant

**Área de concentração:** Água e Solo

**Titulação:** Doutor em Engenharia Agrícola

**Banca examinadora:**

José Teixeira Filho [Orientador]

André Luiz Lopes da Silveira

Marcos Vinicius Folegatti

Antonio Carlos Zuffo

Jurandir Zullo Junior

**Data de defesa:** 31-08-2016

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Gustavo Cavalari Barboza**, aprovada pela Comissão Julgadora em 31 de agosto de 2016, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

**FEAGRI**

---

**Prof. Dr. José Teixeira Filho – Presidente e Orientador**  
**FEAGRI/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira – Membro Titular**  
**IPH/UFRGS**

---

**Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti – Membro Titular**  
**ESALQ/USP**

**Faculdade de**  
**Engenharia Agrícola**  
**Unicamp**

---

**Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo – Membro Titular**  
**FEC/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior – Membro Titular**  
**CEPAGRI/UNICAMP**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do discente.

Dedico essa conquista aos meus pais, Auro Teixeira Barboza e Malvina Cavalari Barboza que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus que iluminou meu caminho durante esta caminhada.

Ao amigo e orientador José Teixeira Filho, pela oportunidade em continuar meus estudos, pelos ensinamentos e credibilidade depositados em mim. Minha gratidão, admiração e meu respeito.

À FAPESP, pelas concessões da bolsa (Processo: 2012/05549-8) e suporte financeiro (Processo: 2013/10109-0), sendo fundamentais para realização desta pesquisa.

Este trabalho como poderá ver, só foi possível com a colaboração, perseverança e ensinamento por parte dos funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola, especialmente ao Antônio Donizete Sipriano (Pequeno), Antônio Freire, Carlos Roberto de Melo (Carlão), Jamílson Martins, João Costa e ao José Lucarelli. Aos docentes do programa de Pós-Graduação, aos secretários desta seção, Rita, Cláudio e Fábio, as secretárias da direção, Rosângela Parreira e Claudia Armelin (pelas palavras enquanto esperava o orientador) e aos funcionários da informática, André, Clovis, João e Edgar, pelo apoio nos momentos em que os equipamentos falharam. E sou extremamente grato ao técnico do Laboratório de Hidrologia, Sérgio Lopes, pela amizade, sempre pronto a ajudar na instalação do experimento no campo e colaborar no andamento desta pesquisa. Muito obrigado. À Solange Kahl pelo fornecimento dos dados climáticos da estação automática da CEPAGRI.

Ao apoio e carinho da família, meus irmãos, Carla e Caio Barboza, meus sobrinhos, Tuyla, João Vitor, Sarah e Alice e meus cunhados, José Gonçalves e Daniele. Agradeço à minha avó, Percília (*In Memoriam*) por todo carinho e por suas orações.

À Marcela Prisco dos Santos, pelo apoio, amor, carinho e compreensão, por todos esses anos ao meu lado. Aos meus sogros Sidney e Vilma (*In Memoriam*) por toda a convivência familiar.

A amiga de longa data, Ilse Ferrari, pelo carinho e amizade. Aos colegas da pós-graduação, em especial, aos amigos Adriana, Evandro, German, Jorge, Kátia, Milla, Rônega, Taís Coutinho e Thaís Carraro pela convivência e amizade durante todo esse o tempo. Agradeço a Gabriela Silva, pela amizade, pelos conselhos e por toda contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa. Ainda, agradeço o Evandro Lutero pela ajuda no início dos experimentos, Kelly Tonello e o Henrique pelos ensinamentos de como manusear os equipamentos e ao Henrique Tozzi por toda a contribuição para utilização do IRGA.

Agradeço todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que essa pesquisa se tornasse realizada.

## RESUMO

O Brasil se apresenta como o principal país a implantar, em larga escala, o etanol como combustível alternativo ao petróleo. No entanto, diversos fatores interferem na produção da cana-de-açúcar (solo, clima, manejo e variedade). Assim, este trabalho teve como objetivo estudar os comportamentos ecofisiológicos da transpiração e condutância estomática na escala de folha e, a transpiração na escala de planta, para a variedade RB 867515 em resposta às variáveis ambientais, como radiação global, radiação fotossinteticamente ativa, déficit de pressão de vapor da atmosfera e ao potencial hídrico foliar antemanhã. Para isso, foi instalada uma parcela de cana-de-açúcar em que foram realizadas medidas de transpiração e condutância estomáticas nas folhas com auxílio de um analisador automático de fotossíntese (IRGA) e também, foram instalados sensores de fluxo de seiva, pelo método de balanço de calor, para o monitoramento da transpiração na escala de planta. Medidas de potencial hídrico foliar antemanhã foram realizadas para o acompanhamento das disponibilidades hídricas no solo. Em cada escala, foram descritos e quantificados os principais mecanismos dos fluxos de água na cultura. Os resultados evidenciaram que a transpiração e a condutância estomática, tanto na escala de folha quanto na escala de parcela, estiveram associadas às condições do clima (radiação global, radiação fotossinteticamente ativa e déficit de pressão de vapor) e às condições do potencial hídrico foliar antemanhã. Durante a fase experimental, ocorreu um evento climático extremo, o que provocou o tombamento de parte das plantas, resultando em menores taxas de trocas gasosas, devido à menor incidência da radiação solar sobre as plantas nessa condição e, assim, resultou na diminuição na transpiração total da parcela, no qual os efeitos dos fatores ambientais sobre as folhas variam conforme a posição delas na copa. As informações geradas possibilitarão o desenvolvimento de melhores manejos e cultivares, permitindo assim explorar ao máximo o local de produção e promovendo o melhor rendimento da cultura, visando uso eficiente dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** fluxo de seiva; transpiração; condutância estomática; necessidade hídrica.

## ABSTRACT

The Brazil presents as the main country, to deploy on a large scale, ethanol as an alternative fuel to the oil. However, several factors influence the crop production of sugarcane (soil, climate, management and variety). The purpose this work were to study the ecophysiological behavior of transpiration and stomatal conductance on the leaf-scale and transpiration in plant-scale to the sugarcane variety RB 867515 in response to environmental variables such as global radiation, photosynthetically active radiation, deficit atmospheric vapor pressure and the leaf water potential. For this, was installed a portion of sugarcane that were performed transpiration and conductance stomata measures in the leaves with the assistance of an automated analyzer photosynthesis (IRGA) and also sap flow sensors were installed, by the method heat balance, for the monitoring of transpiration in plant scale. Leaf water potential measurements were carried out for the monitoring of water availability in the soil. In each scale, were described and quantified the main mechanisms of water flows in culture. The results showed that the transpiration and stomatal conductance, in leaf-scale leaf like at plant-scale, were related to weather conditions (global radiation, photosynthetically active radiation and deficit vapor pressure) and the conditions of leaf water potential. During the experimental phase, there was an extreme weather event, which caused the plants of stalk lodging, resulting in lower rates of gas exchange, due to the lower incidence of solar radiation on plants in this condition and thus resulted in a decrease in total transpiration the orchard, in which the effects of environmental factors on the leaves vary according to their position in the canopy. The information generated will enable the development of better managements and cultivars, thus exploit the place of production and promoting better crop yield, aiming at efficient use of water.

**Keywords:** sap flow; transpiration; stomatal conductance, water requerements.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.....	40
Figura 2 - Presença de capivaras (A e B) e danos ao no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP (C e D).....	41
Figura 3 - Queda da cerca que delimitava o campo experimental 2 da Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B).....	42
Figura 4 - Destruição da parcela experimental pelos animais, na Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B) .....	43
Figura 5 - Instalação da nova parcela experimental no Campo 1 da Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B). .....	43
Figura 6 - Tombamento de parte do canal proveniente do vento causado no dia 08 de setembro de 2015 na Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP (A, B, C e D).....	45
.....	45
Figura 7. Dados diários de chuva acumulada e temperatura média observada no decorrer do período experimental, Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.....	46
.....	46
Figura 8 - Procedimento para a medição do potencial hídrico foliar antemanhã no laboratório de Hidrologia da FEAGR/UNICAMP .....	48
Figura 9 - Medição da transpiração (E) e condutância estomática (Gs) da cana-de-açúcar no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP .....	49
Figura 10 - Instalação dos sensores de fluxo de seiva na cana-de-açúcar, composto por sistema automático Flow 32-1k (A), sensores do tipo “Dynagage”, modelo SGB 25 (B), sensores protegidos (C) e isolados (D). Campo experimental da FEAGRI/UNICAMP. ....	51
.....	51
Figura 11 - Curso diurno da transpiração (E), condutância estomática (Gs), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e déficit de pressão de vapor (DPV) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP .....	58

Figura 12 - Relação entre transpiração/radiação fotossinteticamente ativa ( $E/PAR$ ), transpiração/déficit de pressão de vapor ( $E/DPV$ ), condutância estomática/radiação fotossinteticamente ativa ( $G_s/PAR$ ) e condutância estomática/déficit de pressão de vapor ( $G_s/DPV$ ) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP .....	59
Figura 13 - Relação entre $E_{total}/PAR_t$ , $E_{total}/DPV_m$ , $G_{sm}/PAR_t$ e $G_{sm}/DPV_m$ em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Cada ponto representa a média de 7 observações e as barras verticais, o desvio-padrão.....	63
Figura 14 - Curso horário do déficit de pressão de vapor ( $DPV$ ) (A) e os valores médios do déficit de pressão do vapor ( $DPV$ ) para os dias 229, 316 e 318 (B). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. ....	69
Figura 15 - Curso horário da radiação global ( $R_g$ ) (A) e os valores médios da radiação global ( $R_g$ ) para os dias 229, 316 e 318 (B). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. ....	70
Figura 16 - Curso diário do fluxo de seiva ( $FS$ ) e do respectivo potencial hídrico foliar antemanhã para os dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.....	71
Figura 17 - Relação entre a transpiração líquida total/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 25 observações e as barras verticais o desvio-padrão. ....	74
Figura 18 - Relação entre a transpiração líquida/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 6 observações e as barras verticais o desvio-padrão.....	75
Figura 19 - Relação entre a transpiração líquida/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 25 observações e as barras verticais o desvio-padrão. ....	76

Figura 20 - Relação entre a transpiração líquida/déficit de pressão de vapor (Fs/DPV) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 6 observações e as barras verticais o desvio-padrão. ....	77
Figura 21 - Curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) e da radiação global (Rg) para os dias monitorados na Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP .....	83
Figura 22 - Valor do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) e curso diário da transpiração foliar (E) e do fluxo de seiva caulinar (FS) da cana-de-açúcar. ....	85
Figura 23 - Valores médios diários de transpiração foliar (E médio) (A), fluxo de seiva caulinar (FS médio) (B) e os respectivos potenciais hídricos foliares antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cada planta de cana-de-açúcar. ....	88
Figura 24 - Valores totais médios da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em plantas tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015. ....	96
Figura 25 - Valores médios diários de déficit de pressão de vapor (DPV), atuando nas plantas tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015. ....	97
Figura 26 - Valor médio de transpiração líquida total (Fstotal) em cana-de-açúcar, cujas plantas estão tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015.....	98
Figura 27 - Transpiração da parcela sem tombamento ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados (NDA) - período 17/08/2015 a 16/11/2015. ....	99
Figura 28 - Transpiração da parcela com tombamento ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano- período 08/09/2015 a 16/11/2015.....	100

Figura 29 - Transpiração total (TR) da parcela com tombamento, transpiração dos toletes tombados (TRt) e transpiração dos toletes não tombados (TRn) ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano – período 17/08/2015 a 16/11/2015.....	101
Figura 30 - Transpiração total (TR) da parcela com e o deficit de pressão de vapor (DPV) ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano - período 17/08/2015 a 16/11/2015.....	102
Figura 31 - Valores totais médios da transpiração foliar (Et) entre cana-de-açúcar que estavam tombadas e as eretas, no período de setembro a novembro de 2015 .....	103
Figura 32 - Valores médios de condutância estomática (G <sub>sm</sub> ) entre cana-de-açúcar que estavam tombadas e as eretas, no período de setembro a novembro de 2015.....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre transpiração/radiação fotossinteticamente ativa (E/PAR), transpiração/déficit de pressão de vapor (E/DPV), condutância estomática/radiação fotossinteticamente ativa (Gs/PAR) e condutância estomática/déficit de pressão de vapor (Gs/DPV) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. ....	61
Tabela 2. Valores do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração líquida média ( $F_s$ média) e transpiração líquida total ( $F_s$ total) da cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.....	72
Tabela 3 - Valores diários do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração foliar total ( $E_{total}$ ) e do fluxo de seiva total ( $F_{S_{total}}$ ) das plantas monitoradas (A-H), na Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, nos meses de agosto a novembro de 2015.....	86
Tabela 4 - Distribuição dos valores do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) das plantas de cana-de-açúcar tombadas e eretas, período de setembro a novembro de 2015. ....	95

## SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
BH-AH	Diferença de temperatura acima e abaixo do aquecimento, °C.m <sup>-1</sup>
CH	Tensão para aquecimento radial, mV
Cp	Calor específico da água, J.g <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup>
DPV	Déficit de pressão de vapor, KPa
DPVm	Déficit de pressão de vapor médio, KPa
dT	Aumento da temperatura da seiva, °C
dX	Distância entre o termopar, m
E	Transpiração foliar, mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
ea	Pressão parcial de vapor, KPa
es	Pressão de vapor de saturação, KPa
E <sub>max</sub>	Transpiração foliar máxima, mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
E <sub>med</sub>	Transpiração foliar média, mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>
E <sub>total</sub>	Transpiração foliar acumulada, mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
FS	Fluxo de seiva caulinar, g.h <sup>-1</sup>
F <sub>smax</sub>	Fluxo de seiva máxima, g.h <sup>-1</sup>
F <sub>Stotal</sub>	Fluxo de seiva acumulado, g.h <sup>-1</sup>
G <sub>s</sub>	Condutância estomática, mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
G <sub>sm</sub>	Condutância estomática média, mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>
IAF	Índice de área foliar, m <sup>2</sup> .m <sup>-2</sup>
K <sub>sh</sub>	Condutividade térmica do fluxo, W.mV <sup>-1</sup>
K <sub>st</sub>	Condutividade térmica do colmo, W.mV <sup>-1</sup>
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa, μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
PAR <sub>total</sub>	Radiação fotossinteticamente ativa acumulada, μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>

Pin	Potência de entrada, W
Qf	Perda de calor pelo fluxo de seiva, W
Qr	Perda de calor radial, W
Qv	Perda de calor vertical pelo colmo, W
Rg	Radiação global, KW.m <sup>-2</sup>
Tar	Temperatura do ar, °C
TR	Transpiração total da parcela, mm.dia <sup>-1</sup>
TRn	Transpiração dos toletes não tombados mm.dia <sup>-1</sup>
TRt	Transpiração dos toletes tombados, mm.dia <sup>-1</sup>
UR	Umidade relativa do ar, %
Ψpd	Potencial hídrico foliar antemanhã, MPa

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	18
1.1. Objetivos .....	20
1.1.2. Objetivo geral.....	20
1.1.3. Objetivos específicos.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Importância da cana-de-açúcar.....	21
2.2. Variedade RB867515.....	23
2.3. Balanço Hídrico .....	23
2.4. Fatores ambientais e fisiológicos da cana-de-açúcar.....	25
2.4.1. Disponibilidade de água .....	25
2.4.2. Temperatura e umidade .....	27
2.4.3. Radiação Solar .....	30
2.4.4. Solo e Potencial Hídrico .....	32
2.4.5. Condutância Estomática, Fotossíntese e Transpiração.....	33
2.4.6. Fluxo de Seiva.....	37
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1. Caracterização da área de estudo.....	40
3.2. Índice de Área Folia (IAF) e Número de Plantas e Toletes .....	46
3.3. Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ).....	47
3.4. Transpiração (E) e condutância estomática (Gs).....	48
3.5. Fluxo de Seiva .....	49

3.6. Variáveis climáticas.....	51
3.7. Análise estatística .....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.....	55
5. RESULTADO E DISCUSSÃO DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA NO TRONCO E TRANSPIRAÇÃO LÍQUIDA EM CANA-DE-AÇÚCAR .....	67
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA COMPARAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E DO FLUXO DE SEIVA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO CLIMA E POTENCIAL HÍDRICO.....	81
7. RESULTADO E DISCUSSÃO DO EFEITO DO TOMBAMENTO NO COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO EM CANA-DE-AÇÚCAR .....	92
8. DISCUSSÃO GERAL .....	110
9. CONCLUSÕES .....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) são obtidos dois produtos essenciais para a economia mundial: o açúcar, que é parte indispensável da alimentação humana, e o álcool, que é utilizado em bebidas alcoólicas e como combustível (etanol) para os veículos.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2016), o Brasil terá um acréscimo de 3,8% na safra 2016/2017 em relação à safra (2015/16), o que corresponde uma produção de 691 mil toneladas de cana-de-açúcar, ante as 665,6 mil toneladas na safra 2015/16. Em São Paulo, maior produtor nacional, as informações coletadas no primeiro levantamento indicam crescimento em torno de 14 mil toneladas, devido às excelentes condições climáticas nos últimos meses, contrastando com o déficit hídrico ocorrido na safra 2013/14.

São necessárias pesquisas direcionadas ao melhoramento genético de plantas, com objetivo de obter variedades mais adaptadas a determinadas localidades, e também, pesquisas a respeito das interferências ambientais nas diferentes características fisiológicas e morfológicas dos vegetais (FERREIRA JUNIOR et al., 2012). Para a cana-de-açúcar, as pesquisas se concentraram em características agrônômicas (altura, número de folhas e de colmos) e fisiológicas, que podem ser correlacionadas à tolerância à seca, e assim, poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento de novas variedades (BEGUM et al., 2012).

A compreensão da influência dos fatores ambientais no desenvolvimento de uma determinada cultura é essencial, uma vez que eles estão diretamente atrelados a vários processos fisiológicos da planta.

Devido a poucos estudos sobre os comportamentos ecofisiológicos da variedade RB867515 de cana-de-açúcar, em relação ao fluxo de água, faz-se necessário uma modelagem das trocas gasosas foliares, principalmente a transpiração da planta em função das condições de clima, na perspectiva do solo-planta-atmosfera.

Dentre as metodologias utilizadas para avaliar a transpiração da planta, são empregadas medidas de fluxo de seiva, em que é aplicada uma quantidade determinada de calor no caule da planta e, à medida que a planta transpira ocorre a condução dessa calor. Essa metodologia implica na equivalência entre o fluxo de seiva no tronco e o fluxo transpiratório nas superfícies das folhas (DELGADO-ROJAS et al., 2006).

No entanto, Tonello e Teixeira Filho (2011) afirmam que poucos são os trabalhos desenvolvidos no intuito de verificar as relações ecofisiológicas de uma única folha pelo método de porometria e sua extrapolação para uma escala maior. O sucesso da extrapolação,

na escala foliar para outras escalas, depende da qualidade dos dados obtidos e da rapidez de respostas fisiológicas com a mudança dos fatores ambientais. A mudança de escala das informações obtidas de uma escala inferior para outra de ordem maior tem uma série de dificuldades como, por exemplo, condições ambientais que se alteram rapidamente, a própria espécie, posição e idade das folhas.

Assim, a hipótese que fundamenta esse trabalho é de que as associações das medições de fluxo de seiva, dos comportamentos ecofisiológicos (transpiração e condutância estomática), das variáveis climáticas locais (déficit de pressão de vapor e radiação fotossinteticamente ativa) e dos potenciais hídricos foliares, permitem obter a relação hídrica em escala de folha e, posteriormente, para escala de planta, de forma a contribuir para a definição dos mecanismos de transferência de água no contexto hidrológico para a cana-de-açúcar (variedade RB867515) cultivada em latossolo vermelho distroférico.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.2. Objetivo geral**

Esse trabalho visa contribuir com informações que permitam avaliar o modelo hidrológico de transpiração para a cana-de-açúcar (variedade RB867515) em resposta às variáveis ambientais - radiação fotossinteticamente ativa, déficit de pressão de vapor da atmosfera e ao potencial hídrico foliar antemanhã.

### **1.1.3. Objetivos específicos**

Caracterizar o comportamento da transpiração e da condutância estomática em função da radiação fotossinteticamente ativa e déficit de pressão de vapor da atmosfera e do potencial hídrico foliar antemanhã na escala de folha.

Caracterizar o fluxo de seiva em função da radiação global, déficit de pressão de vapor da atmosfera e potencial hídrico foliar antemanhã na escala de planta.

Comparar a transpiração foliar e o fluxo de seiva em função do potencial hídrico foliar antemanhã, da radiação global e déficit de pressão de vapor da atmosfera na escala de planta.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Importância da cana-de-açúcar

A cana de açúcar é cultivada em diversas regiões do mundo que vão desde regiões temperadas até regiões dos trópicos quentes e úmidos e, em muitos lugares, a gestão da água é um componente importante do sistema de produção (CARR e KNOX, 2011).

O gênero *Saccharum* é composto por duas espécies selvagens e quatro grupos de clones cultivados, sendo os cultivares modernos de cana-de-açúcar híbridos derivados dos cruzamentos interespecíficos, realizados há um século entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* e retrocruzadas com *S. officinarum* para aumentar o teor de açúcar (SOUZA et al., 2011).

Importante cultura agrícola para o Brasil desde o período da colonização pelos europeus, ainda no século XVI, a cana-de-açúcar tem significativo peso econômico para o país (SILVA et al., 2009b). O Brasil é o maior produtor mundial tanto de cana-de-açúcar como etanol. No entanto, o Brasil é o segundo maior produtor de bioetanol, atrás dos Estados Unidos, que produz principalmente do milho e, os dois países são responsáveis por quase 90% da produção mundial de bioetanol (MARIN et al., 2016b).

A cana-de-açúcar é uma planta que têm por característica o desenvolvimento em forma de touceira e ciclo semi-perene, em média de 4 anos. Sua parte aérea é formada por colmos, folhas, inflorescência e frutos, esses dois últimos, importantes para o melhoramento genético (SEGATO et al., 2006).

A cana planta (cana-de-açúcar no primeiro corte) explora mais intensamente camadas mais superficiais e a soqueira (cana-de-açúcar a partir do primeiro corte) apresenta um incremento na exploração em subsuperfície (LANDELL et al., 2003). Faroni e Trivelin (2006) destacaram que 23% das raízes ativas da soqueira se concentram entre 0 e 0,2m de profundidade e 31% entre 0,6 e 0,8m de profundidade no solo.

A cana-de-açúcar é uma planta com metabolismo C4 para a fixação de carbono, que produz vários perfilhos, cada uma com vários nódulos (gomos) separados por entrenós, sendo o maior sumidouro de fotossintetizados (sacarose) (TEJERA et al., 2007; ENDRES et al., 2010). A planta apresenta abundância de cloroplastos, capacidade de fixação de CO<sub>2</sub> acima de 35°C e ausência de fotorrespiração, fatores estes que permitem maiores taxas de crescimento, maior eficiência no uso da água e maior eficiência fotossintética (CASAGRANDE e VASCONCELOS, 2008).

Apresenta potencial geneticamente favorável para o acúmulo de açúcares, especialmente na forma de sacarose. Sob condições ideais de cultivo, este potencial é

intensificado. Ao final do ciclo vegetativo, ocorre a maturação, quando o acúmulo de sacarose é maximizado nas plantas cultivadas (SANTOS et al., 2011).

Devido a essas características genéticas, a cana-de-açúcar é a cultura mais promissora para a produção de biocombustíveis renováveis, sendo o etanol, a alternativa mais viável para a substituição dos derivados de petróleo e, conseqüentemente, elevando com grande importância o cenário agrícola brasileiro (MEGDA et al., 2012).

O baixo custo do bioetanol brasileiro proveniente da cana-de-açúcar pode ser explicado por uma combinação de condições favoráveis tais como a taxa fotossintética da cana-de-açúcar por hectare, as condições meteorológicas e o ciclo de vida da cultura, (MACRELLI et al., 2012).

O agronegócio sucroalcooleiro brasileiro passou por um período de excitação, devido à combinação dos fatores favoráveis para cultura, incluindo as perspectivas para o crescimento do mercado interno e externo, a tendência de longo prazo ao aumento dos preços internacionais do petróleo, menor custo na produção de etanol, o crescimento da frota “flex” e a preocupação universal de alternativas energéticas sustentáveis (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

Apesar disso, o potencial impacto pelo uso da água na agricultura para a demanda de bioenergia é grande, pois para produzir um litro de biocombustível a partir de determinadas plantas, requer um consumo entre 2500 e 3500 litros de água, volume quase igual ao utilizado para produzir a quantidade de alimento diário para uma única pessoa (FRAITURE e WICHELNS, 2010).

Para as condições de campo do experimento de Gava et al. (2011), a cana-de-açúcar necessitou, em média, de 14,2 mm de água para produzir uma tonelada de colmos. De acordo com Dantas Neto et al. (2006), uma tonelada de cana-de-açúcar tem o potencial energético equivalente ao de 1,2 barril de petróleo.

Sendo assim, a cana-de-açúcar é de fundamental importância para a economia brasileira, sendo responsável por milhares de empregos ligados diretamente ao cultivo e outros milhares na cadeia de processamento de açúcar e álcool. Isto tudo, além da importância ambiental, já que o etanol é considerado menos poluente que os combustíveis provenientes do petróleo.

## **2.2. Variedade RB867515**

A Variedade de cana-de-açúcar RB867515 foi desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana da Universidade Federal de Viçosa (UFV), cujas principais características são: maturação média, ótima brotação, tolerante ao carvão e ferrugem e reação intermediária ao mosaico e escaldadura, crescimento inicial rápido e perfilhamento médio com talos de diâmetro uniforme, hábito de crescimento ereto e de fácil remoção da palha, segundo Barbosa et al. (2001).

No experimento realizado por Batista et al. (2013), concluíram que a variedade RB867515 apresentou a melhor resposta à condição de temperatura ambiente, uma vez que manteve o crescimento a taxas mais elevadas que as demais variedades, o que resultou em maior valor acumulado de massa seca.

No entanto, Hoffmann et al. (2008) relatam que alguns problemas podem ocorrer relacionados à variedade RB867515 cultivada em ambientes favoráveis e com alto potencial de produção. Segundo esses autores, dentre estes problemas, se destacam: o atraso na maturação, a possível incidência de estrias vermelhas nas folhas e, a possibilidade de tombamento associada à elevada produtividade.

## **2.3. Balanço Hídrico**

Um dos importantes desafios da agricultura atual é melhorar a qualidade dos produtos, associado à preservação do meio ambiente, com benefícios sustentáveis nas explorações agrícolas (OLIVEIRA et al., 2013). Segundo os mesmos autores, devido à tendência de redução da disponibilidade de água para a agricultura, é crescente a preocupação mundial com os recursos hídricos levando à adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos na produtividade.

O planejamento hídrico é a base para dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos. Assim o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (SANTOS et al., 2010; SANTOS et al. 2013).

O balanço hídrico pode ser definido como o cálculo da entrada e saída de água de um sistema, podendo ser estimado em diferentes escalas espaciais e temporais. A importância do balanço hídrico está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem, ascensão capilar, escoamento superficial), mas

também ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação dos resultados do balanço hídrico (SOUZA et al., 2013).

A demanda hídrica das plantas é governada pelos balanços de radiação e de energia à superfície da cultura (SILVA et al., 2012).

Evapotranspiração é a componente mais vulnerável do balanço de água, pois ela depende principalmente da disponibilidade energética para transformação de água em vapor. A demanda por vapor atmosférico é caracterizada pelo potencial de evaporação de água e, na cobertura vegetal, passa a ser em função do uso da terra e do estágio de desenvolvimento da planta (SZWED et al., 2010).

Estudos baseados em fatores climáticos permitem acompanhar os efeitos do clima ao longo do ciclo da cultura e relacioná-los com a produtividade final, tornando possível avaliar as restrições ao desenvolvimento agrícola (OLIVEIRA et al., 2012).

As plantas estão frequentemente sujeitas a períodos de déficit hídrico no solo e na atmosfera durante o seu ciclo de vida (CHAVES et al., 2009). Desta maneira, o balanço hídrico disponibiliza informações que permitem aos produtores identificar as fragilidades climáticas, sendo uma ferramenta essencial para o sucesso de um empreendimento agrícola, que inclui a decisão de optar ou não por sistemas de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (SANTOS et al., 2013).

As necessidades hídricas das culturas agrícolas precisam ser satisfatórias nos diversos estádios fenológicos das plantas, desde a germinação e estabelecimento da cultura, passando pelo desenvolvimento, floração, formação e crescimento dos grãos ou frutos, até atingir a maturação e a colheita (SILVA et al., 2009a).

No caso da cana-de-açúcar, a produtividade é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações inter e intra anuais do clima (OLIVEIRA et al., 2012), sendo que o déficit hídrico afeta inúmeros aspectos do crescimento vegetal, bem como o tamanho das plantas, a área foliar e, por fim, a produtividade da cultura (FARIAS et al., 2008).

O déficit hídrico é conhecido por alterar uma variedade de processos fisiológicos dos vegetais, tais como a redução na interceptação de radiação, o aumento da temperatura foliar, a redução da condutância estomática, da transpiração, e da fotossíntese, o que acabará por determinar o rendimento da cultura (SILVA et al., 2007).

Endres et al. (2010) afirmam que a cana-de-açúcar é fisiologicamente econômica na questão do uso da água, em comparação com outras culturas, mas, mesmo assim, necessita de 250 partes de água para fazer uma parte de massa seca.

O conhecimento do requerimento hídrico da cana-de-açúcar se torna de suma importância, visto que pode ser utilizado no manejo de água em áreas irrigadas, visando aumentar sua eficiência através de melhorias do dimensionamento e do manejo dos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2012).

## **2.4. Fatores ambientais e fisiológicos da cana-de-açúcar**

### **2.4.1. Disponibilidade de água**

Apesar de o Brasil ser o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo, em algumas regiões produtoras onde as chuvas não foram suficientes, ocorreu redução na produção (CONAB, 2016).

O estresse hídrico é uma ocorrência comum na produção de culturas de sequeiro, incluindo a produção de cana-de-açúcar, e um bom entendimento de como a cultura responde ao estresse hídrico é um pré-requisito para a escolha da melhor cultivar e práticas de gestão para explorar ao máximo os recursos naturais (SMIT e SINGELS, 2006).

A partir do conhecimento da resposta das plantas ao potencial de água no sistema radicular, vários estudos foram elaborados para a estimativa da transpiração, no qual esses autores afirmam que o processo de transpiração da cana-de-açúcar está associado à diferença das temperaturas da folha e do ar (TRETIN et al., 2011).

A disponibilidade de água é um fator significativo que deve ser destacado, visto que influencia na produtividade das culturas, pois nem sempre as chuvas atendem a real necessidade hídrica das plantas, surgindo, daí a importância da irrigação a qual, quando bem planejada, tem retorno econômico inquestionável (DANTAS NETO et al., 2006).

No estudo realizado por Ninou et al. (2013) para determinar as características fisiológicas que estão associadas com tolerância à seca para a produção de feijão e eficiência do uso da água, os autores concluíram que, sob maiores lâminas de irrigação, obtiveram o aumento na produção devido à maior taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, em comparação com as taxas mais baixas de irrigação.

Para a cultura do café, Silva et al. (2010) afirmam que a planta mantém altas produtividades, em condição de seca, devido ao mecanismo fisiológico de aprofundamento do sistema radicular e fechamento estomático. Além disso, algumas características bioquímicas

também são importantes para o aumento da tolerância ao estresse hídrico, entre elas, a manutenção da capacidade de transporte de fotoassimilados da parte aérea para as raízes, que pode permitir maior crescimento radicular, de modo a aumentar a absorção de água.

Resultados obtidos por Oliveira et al. (2002), avaliando as respostas da pupunha em relação ao déficit hídrico, mostraram que, no décimo dia após a suspensão da irrigação, o teor de água no solo era de 13%, o potencial hídrico da folha era de -1,9MPa e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> era de apenas 10% da inicial, enquanto que a condutância estomática e a taxa de transpiração representavam 13 e 23%, respectivamente, da inicialmente obtida.

Esses autores concluíram que se evidencia, dessa forma, uma estratégia de economia de água durante o período crítico, com o fechamento gradual dos estômatos e a manutenção de menores taxas de transpiração.

A falta ou excesso de água no solo podem afetar significativamente o desenvolvimento da área foliar da cana-de-açúcar bem como o desenvolvimento e a duração dos estádios fenológicos dos vegetais (MAULE et al., 2001). Resultados obtidos por Oliveira et al. (2011) evidenciaram que, aos 120 dias após o plantio, a disponibilidade hídrica promovida pela irrigação e as elevadas temperaturas constatadas durante este período proporcionaram aumento na atividade metabólica das folhas, concentrando neste componente os nutrientes mais móveis na planta (N, P e K).

Em seu experimento, Santana et al. (2007) verificaram que a cana-de-açúcar é sensível à salinidade da água de irrigação durante sua fase inicial de cultivo, e concluíram que todos os parâmetros vegetativos (brotação das gemas, massa seca das raízes e da parte aérea e a evapotranspiração) foram reduzidos com o aumento da salinidade da água de irrigação.

No entanto, a cana-de-açúcar requer alguma restrição no período de maturação para forçar o repouso fisiológico e o enriquecimento em sacarose (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). A diminuição da umidade do solo ocasiona uma redução do teor de água nos tecidos da planta e essa desidratação força a conversão de açúcar redutor em sacarose (TOPPA et al., 2010).

O estresse hídrico causa nas plantas mudanças fisiológicas e bioquímicas, tais como a diminuição nas atividades fotoquímicas, a redução da fixação de CO<sub>2</sub> e a alteração no metabolismo de carboidratos. Esse fenômeno limita a taxa fotossintética, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola e a manutenção da qualidade de ecossistemas naturais (LIU e BAIRD, 2003).

Resultados obtidos por Smit e Singels (2006) elucidaram que o estresse hídrico na cana-de-açúcar reduziu o índice de área foliar e o aparecimento de folhas jovens e aumentou a senescência foliar. O experimento desenvolvido por Golçalves et al. (2010) demonstrou, de maneira geral, que a taxa fotossintética apresentou redução significativa em todas as variedades avaliadas de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico.

Frizzone et al. (2001) avaliaram a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar na região Norte do Estado de São Paulo e os resultados confrontam com a tradição paulista do cultivo exclusivo de cana de sequeiro, mostrando a necessidade de reabrir a questão sobre a viabilidade da introdução da tecnologia de irrigação suplementar na lavoura canavieira, que pode proporcionar resultados técnicos e econômicos bastante significativos para o empresariado do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo.

O estudo desenvolvido por Dantas Neto et al. (2006), cujo objetivo foi identificar o comportamento da cultura da cana-de-açúcar diante de diferentes lâminas de irrigação no município de Capim, na Paraíba, concluíram que as irrigações influenciaram na fase inicial de crescimento e no início do máximo desenvolvimento da primeira soca.

A irrigação utilizada de forma complementar à chuva da cana-de-açúcar é, hoje, uma das alternativas tecnológicas em busca da verticalização da produção dessa cultura; no entanto, muitos produtores partem para a irrigação sem o planejamento adequado, sem considerar as necessidades hídricas, o manejo apropriado da água na cultura e sem conhecer as peculiaridades fisiológicas do crescimento da cana (FARIAS et al., 2008).

Ainda de acordo com esses autores, um importante efeito particular, em resposta ao déficit hídrico, é o decréscimo da área foliar, pela diminuição do surgimento de novas folhas e pelo aumento da abscisão foliar. Resultados obtidos por Carlin e Santos (2009), que avaliaram os indicadores fisiológicos, principalmente em relação ao déficit hídrico, permitiram concluir que o crescimento das plantas foi drasticamente reduzido, apresentando uma redução no crescimento de folhas e de colmos de 71,8% e 58,9%, respectivamente, nas condições mais severas de disponibilidade hídrica.

Sendo assim, o conhecimento das necessidades hídricas da cana-de-açúcar, possibilita a potencialização do cultivo sem levar prejuízos ao solo e aos recursos hídricos.

#### **2.4.2. Temperatura e umidade**

A temperatura é importante para a cana-de-açúcar, igualmente à disponibilidade hídrica, uma vez que está estreitamente relacionada com o crescimento e produtividade da

planta, importante para a maturação fisiológica da cana, além de afetar a absorção de água e nutrientes por meio do fluxo transpiratório (ANDRÉ et al., 2010).

O controle do fluxo transpiratório é regulado pelos estômatos. A abertura e fechamento dos estômatos são regulados pelo hormônio ácido abscísico (ABA), o qual, por sua vez, é regulado pela concentração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, pela umidade, temperatura do ar e radiação (ARVE et al., 2013).

É interessante que um único fator, como baixo déficit de pressão de vapor do ar atmosférico, pode perturbar o sistema robusto de controle estomático. A principal consequência dessa disfunção dos estômatos é uma capacidade reduzida da folhas de manter um status adequado de água, o que muitas vezes resulta em um grau letal de estresse hídrico (ALINIAEIFARD e MEETEREN, 2013). Arve et al. (2013), afirmam que plantas que se desenvolvem sob alta umidade relativa do ar (90%), apresentam mau funcionamento dos estômatos, permanecendo abertos, o que resulta em alta perda de água evaporada. De acordo com Niglas et al. (2015) é bem conhecido que a condutância estomática diminui em resposta à seca do solo e às elevadas demandas evaporativas do ar atmosférico.

Em sua revisão bibliográfica, Ashraf e Harris (2013), a respeito dos efeitos estressantes sobre a cana-de-açúcar, entre eles a alta temperatura e umidade, evidenciaram que essas alterações promovem mudanças nos processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, uma vez que o mecanismo de fotossíntese envolve vários componentes, incluindo os pigmentos fotossintéticos e fotossistemas (o sistema de transporte de elétrons), e as vias de redução de CO<sub>2</sub>. Qualquer dano causado por um estresse pode reduzir a capacidade fotossintética total da planta.

Resultados obtidos por Romero et al. (2010) evidenciaram que a temperatura influenciou nas taxas médias de emergência, alongamento do colmo e aparecimento de folhas em cana-de-açúcar. Além disso, foi estabelecida uma relação inversa altamente significativa entre a temperatura e o alongamento caulinar.

Temperaturas elevadas associadas ao estresse hídrico acarretam diminuição da área foliar, acelerando o processo de senescência foliar, causando redução significativa na assimilação diurna de CO<sub>2</sub> (MACHADO et al., 2013).

No entanto, previsões feitas por Gouvêa et al. (2009) apontaram que haverá um efeito benéfico das mudanças climáticas previsto na produtividade da cana-de-açúcar (35% de ganho na produtividade em 2020, 51% em 2050 e 61% em 2080) devido ao esperado aumento da temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>.

Os resultados obtidos por Pfautsch e Adams (2013), estudando o fluxo de água em eucalipto no período de seca e uma onda de calor recorde que atingiu a Austrália em 2009 elucidaram que, enquanto as temperaturas do ar aumentaram de forma constante, a média máxima do fluxo de seiva diminuiu com a progressão da seca antes da onda de calor. Já, no dia (07/02) em que a onda de calor atingiu o valor máximo (temperatura do ar superior a 42°C e deficit de pressão de vapor acima de 7,0 kPa), o fluxo de seiva foi drasticamente reduzido. Esses autores concluíram que a redução e a recarga de água armazenada no eucalipto são características importantes para a árvore suportar os efeitos climáticos extremos relacionados com o calor.

A faixa ótima de temperatura varia para diferentes fases da planta, apresentando um efeito severo para o bom crescimento da planta e recuperação de açúcar (SRIVASTAVA e RAI, 2012). Segundo esses autores, uma temperatura ótima para a germinação de estacas de cana-de-açúcar é entre 32-38°C e quando a temperatura passou de 38°C a germinação foi praticamente nula, pois a taxa de fotossíntese diminuiu e a taxa de respiração aumentou. Conforme os resultados obtidos por Almeida et al. (2008), quando a temperatura ultrapassa 20°C, ocorre um aumento na taxa de crescimento da cultura, sendo que a faixa de 25°C a 33°C é a mais adequada ao desenvolvimento vegetativo.

A cultura, ao longo de seu ciclo vegetativo, lida com variações meteorológicas e, para a produção de açúcar, essa cultura é muito mais exigente com umidade (chuva) e a temperatura do ar (BRUNINI, 2008).

A diminuição da temperatura no período de maturação é importante para a cana, pois tem efeito direto na absorção de nutrientes cujo resultado é a diminuição do desenvolvimento vegetativo e, assim, a maior parte dos açúcares produzidos é armazenado (TOPPA et al., 2010).

Um estudo elaborado por Inman-Bamber (1994), que teve como objetivo determinar como o dossel da cana-de-açúcar responderia à variação sazonal da temperatura e da umidade do solo (para compreender sobre a eficiência de interceptação da luz pelas plantas a partir de diferentes épocas do ano), concluiu que a temperatura foi um fator importante, influenciando o perfilho e o aparecimento de folhas na cana-de-açúcar. Tem sido observado, em uma ampla gama de espécies, o fechamento do estômato em resposta imediata ao alto valor de déficit de pressão de vapor e uma abertura devido à diminuição no valor da demanda evaporativa do ar em torno da folha (ALINIAEIFARD e MEETEREN, 2013).

Maule et al. (2001) concluíram que algumas variedades de cana-de-açúcar exibiram diferentes comportamentos em função das condições climáticas do ambiente de

desenvolvimento. Conforme Bonnett (1998), em temperaturas abaixo de 8°C, o desenvolvimento das folhas de algumas cultivares pode ser prejudicado.

Com o objetivo de determinar as épocas de iniciação e emergência da inflorescência da cana-de-açúcar, correlacionando com os fatores climáticos, Carlucci e Ramos (1989) realizaram um experimento na região de Piracicaba e concluíram que a ocorrência de temperaturas elevadas (acima de 31°C) e a baixa precipitação (47,3mm) promoveram o não florescimento das cultivares NA 56-79 e SP 70-1143 e a cultivar IAC 52-150 apresentou uma redução de cerca de 50% no florescimento.

Dessa forma, verifica-se a atuação da temperatura e da umidade sobre os comportamentos fisiológicos da cana-de-açúcar, sendo um componente importante na relação hídrica da planta.

### **2.4.3. Radiação Solar**

A grande quantidade de radiação solar em regiões de climas secos é favorável para a fotossíntese, mas as plantas consomem muita água nesse caso por causa da alta demanda evaporativa da atmosfera sob condições de forte radiação solar e baixa umidade. Mesmo quando as plantas de arroz são cultivadas sob condições inundadas, os brotos sofrem de estresse hídrico, aparentemente porque a absorção de água pelas raízes não pode compensar a alta transpiração (KUWAGATA et al., 2012).

Para estudos de perda d'água para atmosfera em solos vegetados, torna-se indispensável o conhecimento do balanço de radiação e suas variações, sendo necessárias medidas da irradiância solar incidente, da absorção dessa radiação de ondas curtas, da emissão da superfície e da atmosfera (ANDRÉ et al., 2010).

Vários métodos foram utilizados para explicar o crescimento das plantas, tais como taxa de crescimento relativo (taxa de crescimento por unidade de massa), taxa de assimilação líquida (taxa de aumento da biomassa por unidade de área foliar), razão de área foliar (área foliar por unidade de massa da planta) e duração da área foliar. De acordo com esses autores, esses métodos foram chamados de Análise Clássica de Crescimento, sendo que a hipótese principal desses métodos, é que a interceptação e o uso da luz pelas plantas são proporcionais à biomassa (COSTA et al., 1997).

O rendimento da cultura é determinado pela interação entre as plantas e o ambiente, e está diretamente relacionado com a radiação solar interceptada pelas folhas para a realização da fotossíntese (TAIZ e ZIEGER, 2009). De acordo com esses mesmos autores, a

radiação visível, que abrange os comprimentos de onda entre 400nm e 700nm, chamada de radiação fotossinteticamente ativa, é a fonte primária de energia no processo da fotossíntese. A relação entre a formação de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa tem sido largamente utilizada para definir a eficiência do uso da radiação pelas culturas (COSTA et al., 1997).

Richardson et al. (2013) elaboraram uma revisão bibliográfica a respeito das respostas fisiológicas em função das mudanças climáticas e concluíram que essas mudanças no clima estão influenciando a sazonalidade da radiação fotossinteticamente ativa e que altera a condutância, os fluxos de água, energia e CO<sub>2</sub> do dossel. No entanto, apenas uma porção dessa radiação incidente é aproveitada pelas plantas, sendo dependente de parâmetros biológicos, físicos e geométricos (CASAROLI et al., 2007). Segundo Monteith (1977), a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel é proporcional à matéria seca estimada da parte aérea da planta, desde que supridas a quantidade de água e nutrientes.

A interceptação da radiação é determinada instantaneamente pelo tamanho e estrutura do dossel e é uma questão puramente geométrica, enquanto que a eficiência do uso da radiação expressa o balanço entre a fotossíntese e a respiração de toda a cultura em relação à quantidade de radiação interceptada (GIMENEZ et al., 1994).

Todavia, cuidados são indispensáveis quando se compara a produtividade da cultura em diferentes níveis de radiação, pois a taxa fotossintética e a densidade de fluxo de radiação não apresentam uma relação linear dentro do dossel, já que a maioria das folhas está exposta a baixos níveis de radiação (RADIN et al., 2003).

Resultados obtidos por Yan et al. (2013), que compararam o cultivo de *Zizania latifolia* (arroz selvagem) em campo e em estufa, mostraram que houve um maior crescimento das plantas na estufa devido à maior temperatura e radiação.

As medidas dos componentes do balanço de radiação e de energia em condições de campo têm aplicabilidade direta em práticas agrícolas, principalmente no planejamento racional da irrigação, no uso adequado do solo, no zoneamento agrícola regional, no impacto das variações meteorológicas sobre os cultivos agrícolas e na proteção de plantas (ANDRÉ et al., 2010). O progresso dos conhecimentos meteorológicos em micro escala, bem como o desenvolvimento da tecnologia instrumental de monitoramento, tem propiciado um acréscimo das pesquisas nesta área.

O potencial fotossintético da cana-de-açúcar excede a maioria das plantas, pelo qual a fotossíntese aumenta à medida que a intensidade da luz aumenta (IRVIN, 1971). Esse

mesmo autor concluiu em seu experimento que a fotossíntese em folhas de cana de açúcar aumentou em relação ao acréscimo da luz, mesmo quando a abertura estomática foi reduzida.

As características particulares das variedades também influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, pois neste sentido a fotossíntese correlaciona-se negativamente com a largura das folhas e positivamente com a sua espessura. Além disso, uma maior inclinação da folha no colmo conduz a uma maior eficiência fotossintética (COSTA, 2009).

A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas é, portanto, parâmetro necessário à modelagem do crescimento das plantas (FONTANA et al., 2012). E para o estudo dos comportamentos ecofisiológicos das plantas, o acompanhamento da radiação é imprescindível.

#### **2.4.4. Solo e Potencial Hídrico**

O conteúdo de água e a sua taxa de movimento no solo dependem em grande parte do tipo e da estrutura do solo (TAÍZ e ZEIGER, 2009). A dinâmica da água no solo é regida, fundamentalmente, pelo seu estado energético em diferentes camadas do perfil do solo (BRITO et al., 2014). A água ocupa uma posição de destaque na produção de culturas, onde a baixa disponibilidade reduz a produtividade, mesmo nos solos mais férteis e, em todas as culturas, ela é um fator limitante quando se busca a máxima expressão do potencial produtivo porque afeta o crescimento das plantas, reduz a produtividade agrícola e resulta em baixa eficiência do uso da água pelas culturas (MARQUES et al., 2013).

O solo é apenas um dos componentes de um conjunto complexo de fatores da produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer suporte físico, água e nutrientes às plantas (MAULE et al., 2001). Dentre os fatores físicos do solo com influência direta, o potencial da água, o oxigênio e a temperatura participam em processos fisiológicos das plantas (GUBIANI et al., 2013).

Outras propriedades físicas do solo como a densidade, a porosidade e a resistência mecânica à penetração de raízes são bons indicadores da qualidade do solo, no qual, os macroporos são responsáveis pela aeração e a infiltração de água, e, para a maioria das culturas de sequeiro, uma porosidade de aeração menor do que 10-15% pode limitar o crescimento das plantas, devido à ausência de oxigênio para as raízes. Já os microporos são responsáveis pela manutenção e armazenamento de água no solo, para posterior utilização

pelas plantas. Um equilíbrio entre macroporos e microporos no solo é, portanto, essencial para um desenvolvimento saudável da planta (TAVARES FILHO et al., 2010).

No sistema de colheita da cana sem a utilização do fogo, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada, e essa camada de material vegetal aumenta a infiltração de água no solo (OLIVEIRA et al., 1999).

Resultados obtidos por Silva et al. (2005) mostraram que os sistemas de manejo com cana-de-açúcar influenciaram as propriedades físicas de um argissolo amarelo, devido ao aumento da densidade em relação ao solo de uma área com mata.

Oliveira et al. (2002) realizaram um experimento em que a cana-de-açúcar foi cultivado em um lisímetro para avaliar a lixiviação do N oriundo da uréia (15N) ou do solo arenoso e de restos culturais, bem como do  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , e os resultados mostraram que não foi verificada perda por lixiviação do N derivado do fertilizante (15N) e nas três primeiras semanas ocorreram as maiores perdas de N ( $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) por lixiviação que foram provenientes do solo ou dos restos culturais.

#### **2.4.5. Condutância Estomática, Fotossíntese e Transpiração.**

As plantas necessitam de água para as reações bioquímicas e expansão celular, sendo fundamental para o crescimento e desenvolvimento (YOO et al., 2010).

Embora esse crescimento seja controlado por uma multiplicidade de processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares, a fotossíntese é um fenômeno essencial, que contribui substancialmente para o crescimento e desenvolvimento da planta (ASHRAF; HARRIS, 2013).

Em cana-de-açúcar, parece haver uma inter-relação extremamente complexa entre a taxa fotossintética e o teor de umidade durante o dia, mesmo quando as plantas estão com crescimento normal (BEGUM et al., 2012), sendo a produtividade definida principalmente pela taxa de fotossíntese, dado que a acumulação de açúcar no caule e seu tamanho são proporcionais à atividade fotossintética, durante todo o ciclo da cultura (ENDRES et al., 2010).

Resultados obtidos por Gava et al. (2011) elucidaram que o aumento da produtividade da cana-de-açúcar foi maior com o manejo da irrigação por gotejamento, devido à diminuição do estresse hídrico tendo em vista que a ocorrência desse tipo de estresse provoca a redução das trocas gasosas, devido ao fechamento dos estômatos. O fechamento

dos estômatos é a primeira resposta ao déficit hídrico, para reduzir a perda de água pela transpiração e, assim, contribuir para a sobrevivência da planta durante o período seco (BOYLE et al., 2016). No entanto, quando os estômatos estão abertos, há necessidade da regulação entre a perda de água pela transpiração e a absorção de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese e esse equilíbrio é o resultado da história evolutiva das plantas (EWERS, 2013).

A perda de água das plantas pela transpiração pode chegar a até 97% da água absorvida e o fluxo da transpiração é fundamental para a manutenção hídrica, temperatura foliar e absorção dos minerais do solo pelas raízes (YOO et al., 2010).

Resultados obtidos por Bodin et al. (2013), no qual utilizaram isótopo de carbono, revelou que muitas plantas se adaptam à perda de água para a maior obtenção de CO<sub>2</sub>. Entretanto, os resultados apresentados por Oliveira et al. (2002) indicaram a existência de mecanismos de adaptação na pupunheira, no sentido de diminuir as perdas de água, promovido pelo fechamento parcial dos estômatos, ocorrendo assim a rápida diminuição da transpiração e da fotossíntese.

É amplamente observado que existe uma forte relação entre a condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese devido às condições ambientais e da própria espécie (HÉROULT et al. 2013). Na escala celular, a relação entre fotossíntese, transpiração e respiração são processos fundamentais para o rendimento de carbono, e, na escala de organismo, o crescimento das plantas está relacionado à taxa de assimilação líquida e à destinação do carbono adquirido (TEJERA et al., 2007).

Machado et al. (2013) concluíram em seu trabalho que a ocorrência simultânea de deficiência hídrica e baixa temperatura noturna em cana-de-açúcar interferiu na recuperação fotossintética das plantas, pois estão associadas à diminuição da condutância estomática (fator difusivo), e à redução na atividade das enzimas PEPcase e da Rubisco (fatores bioquímicos).

A fotossíntese e o uso eficiente da água da planta também estão ligados à dinâmica da condutância estomática (DRAKE et al., 2013). Segundo esses mesmos autores, sob déficit hídrico grave resultante da alta demanda evaporativa do ar e/ou solo seco, as plantas dependem do fechamento completo dos estômatos para minimizar a perda de água.

As variáveis fisiológicas das plantas (condutância estomática, fotossíntese e transpiração) acompanham a demanda evaporativa atmosférica, sendo dependente do potencial hídrico das plantas (TONELLO e TEIXEIRA FILHO, 2011).

Resultados obtidos por Busch (2000) mostraram que o déficit de pressão de vapor foi um importante parâmetro para o fechamento ou abertura dos estômatos de três variedades de plantas do gênero *Carex*.

Rodrigues et al. (2011) avaliaram o comportamento da condutância estomática em um ecossistema de manguezal e elucidaram que a condutância estomática varia (aumenta ou diminui) proporcionalmente ao déficit de pressão de vapor, pelo fato de não haver restrição de água no solo. E concluíram que este comportamento é influenciado primordialmente pelas condições atmosféricas.

Resultados apresentados por Rejšková et al. (2010) apontaram que para o capim-amarelo (*Phalaris arundinacea*), a transpiração apresentou uma relação linear com o déficit de pressão de vapor, consistindo no fator externo mais importante nos resultados da transpiração. Rodrigues et al. (2011) afirmam que ao diminuir a concentração de umidade na atmosfera, o ar aumenta seu poder evaporativo, o que induz a maiores trocas gasosas entre as plantas e a atmosfera, por meio dos estômatos.

Vários pesquisadores propuseram a utilização de condutância estomática como um indicador para avaliar a diferença entre a condutância estomática e a fotossíntese em ambientes com limitação de água (ASHRAF e HARRIS, 2013).

Klein et al. (2013) comparando as relações entre condutância estomática e uso eficiente da água, entre espécie isohídrico (em que o potencial da água na planta permanece elevado) e anisohídrico (em que diminui acentuadamente nas horas mais quentes do dia), mostraram que para ambas as espécies, pinheiro (isohídrico) e carvalho (anisohídrico), a condutância estomática é reduzida em resposta ao aumento de déficit de pressão de vapor.

A redução do potencial hídrico em laranjeiras enxertadas, nos períodos de alta demanda por evaporação, causa redução na condutância estomática e isso leva a uma menor assimilação fotossintética líquida de CO<sub>2</sub>, o que pode afetar a produção de biomassa, conforme os resultados apresentados por Martínez-Alcántara et al. (2013).

Resultados obtidos por Tonello e Teixeira Filho (2012) mostraram que os valores extremos para o déficit de pressão de vapor ocorreram entre as 13 e 14 h, e que devido a esse comportamento, optaram pela avaliação do comportamento ecofisiológico, separadamente no período da manhã e tarde em virtude da maior demanda evaporativa da atmosfera no período da tarde.

A eficiência de transpiração instantânea (a proporção da taxa de fotossíntese para a transpiração) é uma variável importante para as culturas, porque afeta a produção de massa seca por unidade de água da planta perdida para a atmosfera (DUURSMA et al., 2013).

De acordo com Silva e Costa (2009), a cana-de-açúcar, por ser uma planta do tipo C<sub>4</sub>, apresenta taxa fotossintética extraordinariamente alta, não apresenta saturação pela luz por causa de seu mecanismo de concentração de CO<sub>2</sub> e, portanto, a cana-de-açúcar tem

possibilidade de manter altas taxas de fotossíntese a pleno sol, com menores taxas de transpiração do dossel para, assim, aumentar a eficiência do uso da água.

A redução da atividade fotossintética, a acumulação de ácidos orgânicos e as mudanças no metabolismo de carboidratos são típicas respostas bioquímicas e fisiológicas ao estresse hídrico, e essa redução é devido a vários eventos coordenados, como fechamento dos estômatos e a redução da atividade de enzimas fotossintéticas (VALLIYODAN e NGUYEN, 2006).

No trabalho realizado por Escalona et al. (2013), em que avaliaram a resposta da transpiração foliar noturna de videira em função do estresse hídrico, os resultados demonstraram, pela primeira vez, que a perda noturna de água pela planta pode ser total ou parcialmente compensada pela deposição de orvalho.

O entendimento da influência dos fatores ambientais no desenvolvimento e no crescimento de uma cultura é fundamental, já que estão diretamente ligados a vários processos metabólicos. Assim, pesquisas direcionadas diversas vezes a fatores ambientais, interagem ou complementam outras linhas de pesquisa ligadas à produção vegetal, em que o melhoramento vegetal é uma dessas linhas de pesquisa que analisam os efeitos dos fatores ambientais nas diferentes características morfológicas e fisiológicas de genótipos previamente selecionados, tendo em vista obter cultivares mais adequadas para uma determinada região (FERREIRA JUNIOR et al., 2012).

Dessa maneira, a fotossíntese, a transpiração e a condutância estomática são termos conceituais chave, mais contemporâneos, na modelagem do carbono e da ciclagem de água dos ecossistemas (WOHLFAHRT et al., 2012).

Entre as alternativas empregadas para determinar a transpiração no campo, os porômetros são amplamente utilizados hoje em dia, mas eles possuem problemas na medição devido à interferência na resposta estomática das plantas por causa da perturbação causada pelo ar durante a introdução da folha na câmara (VELLAME et al., 2010).

Pires et al. (2013), comparando as trocas gasosas entre orquídeas terrestres e epífitas da Mata Atlântica no nordeste brasileiro, através da porometria, elucidaram que a transpiração e a condutância estomática, para a espécie terrestre foram superiores à espécie epífita, devido à maior disponibilidade de água das plantas terrestres.

De acordo com Endres et al. (2010), o déficit hídrico é um dos principais obstáculos para a expansão da cana no nordeste e centro-oeste brasileiro e, em algumas regiões, a cana-de-açúcar não pode ser cultivada sem irrigação. Assim, conhecer a relação entre a condutância estomática, transpiração e fotossíntese é importante para o programa de

melhoramento genético na seleção de genótipos tolerantes à seca ou com maior eficiência no uso da água.

#### **2.4.6. Fluxo de Seiva**

Métodos micro-meteorológicos, como "eddy covariance" e balanço energético de Bowen, estão sendo empregados para quantificar a evapotranspiração acima do dossel, além da alternativa, por meio de sensoriamento remoto utilizando o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). No entanto, nesses métodos, não é possível a separação entre a evaporação e a transpiração (KALLARACKAL et al., 2013).

Outros métodos (Penman, Penman-Monteith e Priestley-Taylor, evapotranspiração de referência e evaporação do tanque Classe-A) para a estimativa da evapotranspiração de culturas foram discutidos por McMahon et al (2013) e mostraram ser complexa a separação entre os fatores do balanço hídrico.

Segundo She et al. (2013), alguns modelos exibiram alta sensibilidade à umidade do solo, no entanto, a relação obtida entre transpiração e conteúdo de água no solo é empírico, no qual o resultado da transpiração é impreciso. Esses autores alegam que é necessária uma análise mais detalhada da dinâmica da água, do solo e estudo da fisiologia vegetal, para entender o mecanismo da transpiração das plantas, a fim de desenvolver um modelo mais confiável.

Entretanto, Kallarackal et al. (2013) afirmam que medições de fluxo de seiva, usando métodos térmicos (balanço de calor) ganharam popularidade, uma vez que oferecem oportunidades para estimar a transpiração de uma árvore toda. Esses autores declararam que as medições podem ser redimensionadas até a escala de ecossistema, utilizando o índice de área foliar.

Diversos estudos sobre transpiração de plantas basearam-se na metodologia de fornecimento de calor no caule (VELLAME et al., 2012; ZHANG et al., 2011; PAMPONET et al., 2012, BOEHRINGER et al., 2013). Nos trabalhos de Swaef et al. (2012), em que avaliaram o fluxo de seiva em tomateiro, Coelho et al. (2012) estimaram a transpiração em laranja, Pinto Júnior et al. (2013) analisaram o comportamento do fluxo de seiva em espécies da floresta de transição Amazônia Cerrado e caracterizaram a dependência do fluxo de seiva em função do déficit de pressão de vapor da atmosfera. Alvarado-Barrientos et al. (2013) com o objetivo de caracterizar a velocidade do fluxo de seiva em *Pinus* e trabalho de

Gharun et al. (2013a) que compararam o fluxo de seiva em rebrotas de eucalipto que cresceram naturalmente e de que foram submetidos a queima.

Medições de fluxo de seiva fornecem estimativas da velocidade da água em movimento no tronco por unidade de tempo (GHARUN et al., 2013b). Além da estimativa de transpiração de grandes áreas vegetadas, com base em várias técnicas de integração, também tem sido utilizada na investigação de efeitos ambientais como, na variação da transpiração em condições de campo, em fisiologia do estresse e fitossanidade (PAMPONET et al., 2012).

Estudos que utilizam métodos de medição do fluxo de seiva são de grande relevância para identificar variedades de cana-de-açúcar resistentes ao estresse hídrico (BOEHRINGER et al., 2013).

A velocidade do fluxo de seiva e da água no caule pode diminuir significativamente, devido à menor disponibilidade de água no solo, mas pode aumentar rapidamente com o aumento da umidade do solo (SHE et al., 2013).

Os fatores meteorológicos que influenciam o fluxo de seiva do tronco incluem: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, umidade relativa e velocidade do vento, no qual alguns trabalhos apresentaram regressão linear do fluxo de seiva com os principais fatores meteorológicos (XU et al., 2011).

A demanda evaporativa da atmosfera é atendida pela planta através da transpiração, devido à resistência hidráulica entre o solo e a folha. A absorção de água da raiz fica atrás da transpiração no qual este intervalo resulta em uma diminuição do potencial hídrico do caule à medida que a transpiração aumenta (SWAEF et al., 2012). No entanto, de acordo com os resultados obtidos por esses autores, a diferença entre transpiração e absorção de água da raiz é muito pequena para o tomate e, portanto, difícil de medir com sensores de fluxo de seiva.

O mecanismo para medição do fluxo de seiva tem por objetivo monitorar a temperatura produzida por uma sonda de pulso de calor através dos dois sensores de temperatura, de modo a determinar o momento em que dois sensores apresentam a mesma temperatura (LIU et al., 2012).

Assim, no período de um dia, a máxima diferença de temperatura entre os dois pontos de medida significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, enquanto a mínima diferença significa uma taxa máxima de fluxo de seiva, através dessa área de transporte (PINTO JUNIOR et al., 2013). Esses autores afirmam que a máxima diferença de temperatura acontece normalmente no amanhecer enquanto a mínima, ao entardecer.

Os trabalhos encontrados na literatura sobre fluxo de seiva em cana-de-açúcar foram elaborados por Alves (1999), Chabot et al. (2002), Chabot et al. (2005) e Boehring et al. (2013).

De acordo com Vellame et al. (2010), os métodos de dissipação de calor (GRANIER, 1985) e balanço de calor (SAKURATANI, 1981) são bem conhecidos por suas características e permitem o estudo simultâneo de transpiração numa variedade de plantas no campo. Porém, esses métodos obtêm a densidade de fluxo de seiva, exigindo a determinação da área eficaz do xilema para transformar a densidade de fluxo de seiva em fluxo de seiva.

Segundo Boehring et al. (2013), o balanço de energia tem sido aplicado com resultados relevantes para estimativa do fluxo de seiva de plantas herbáceas com diâmetro de caule inferior a 2 cm. Entretanto, de acordo com os autores, à medida que o diâmetro aumenta, dificuldades associadas ao isolamento térmico do sistema de medição e contato da fonte de aquecimento com o caule promovem erros na determinação dos componentes do cálculo do balanço de energia.

Segundo Wullschleger et al. (2011), as medições do fluxo de seiva através dos termopares é relativamente simples porém, a teoria matemática e o tratamento das características de transferência de calor é complexa.

Todos esses trabalhos pressupõem a equivalência entre o fluxo xilemático e o fluxo transpiratório foliar em escala diária (ARAÚJO et al., 2012).

Além da avaliação da transpiração, este método também permite a estimativa de condutância estomática do dossel e sua resposta aos fatores ambientais em uma escala de tempo, pois usando uma combinação de técnicas hidrológicas e ecofisiológicas é possível determinar o vapor d'água acima do dossel (SCOTT et al., 2006).

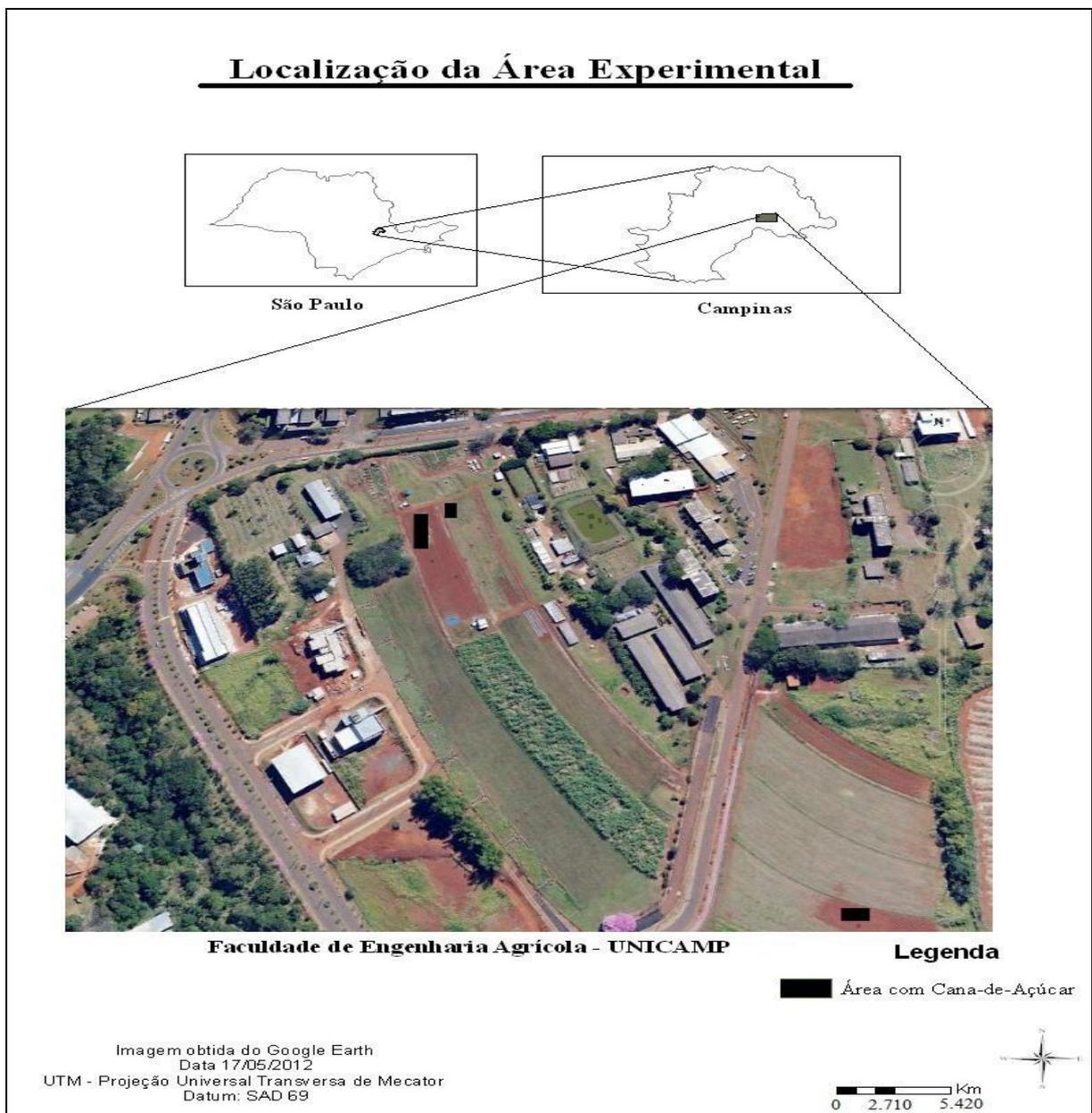
Desta maneira, a medição do fluxo de seiva é de grande importância para subsidiar tanto os recursos humanos como tecnológicos que visam identificar e desenvolver plantas resistentes à deficiência hídrica.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

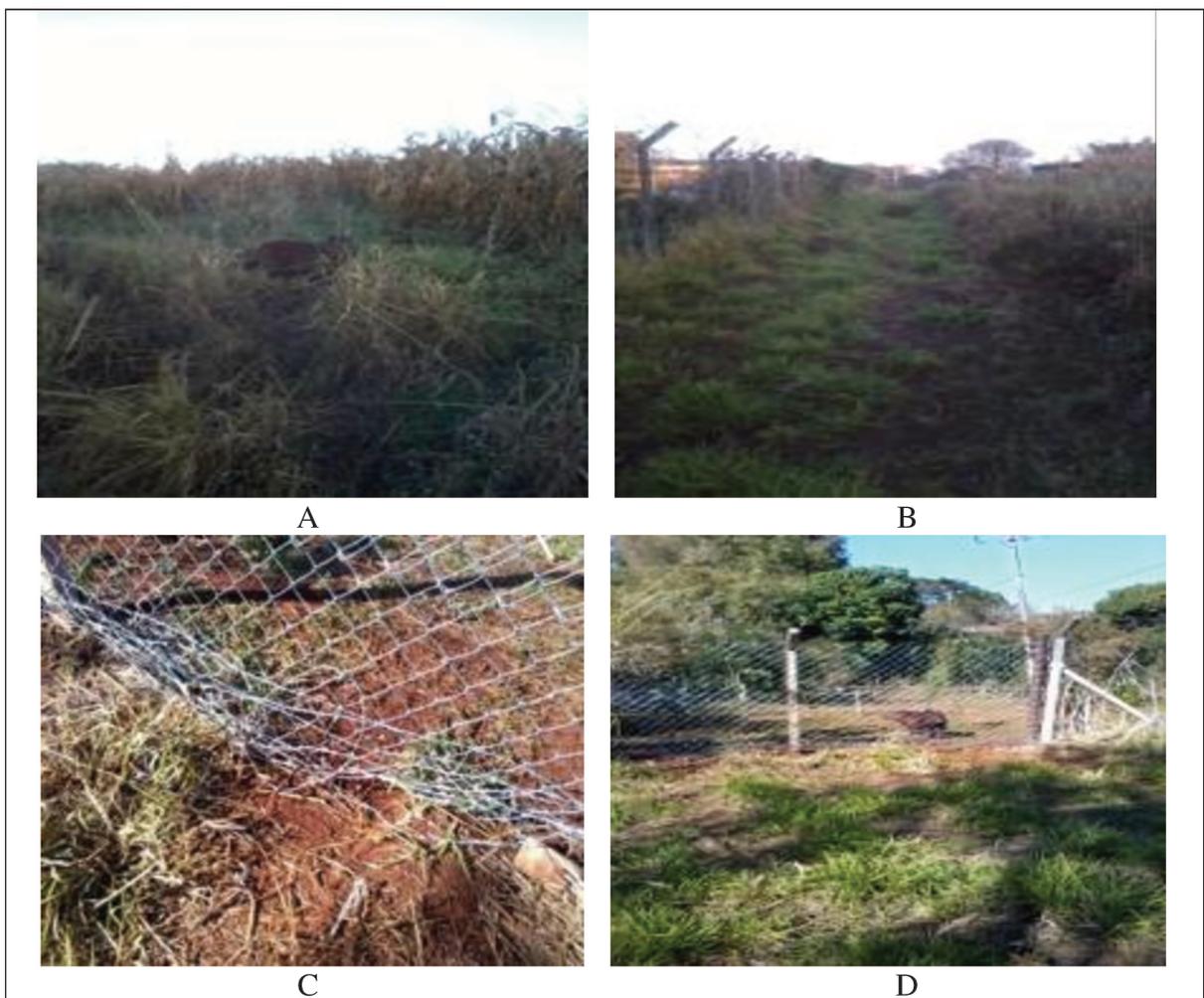
Esse estudo foi iniciado em junho de 2012, no qual a parcela foi instalada no Campo Experimental 2, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, e que faz divisa com a Fazenda Argentina em que a principal atividade é o cultivo da cana-de-açúcar, destinada à produção de açúcar e álcool (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.



Dentro dessa fazenda há um pequeno manancial, que fornece água para um reservatório dentro dos limites da UNICAMP, no qual essa estrutura tem por objetivo a captação de água para suprir as necessidades da manutenção dos parques, jardins e experimentos da Universidade. O entorno do reservatório é utilizado por animais como abrigo, em especial, as capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). O campo experimental 2 da FEAGRI, onde se localiza a parcela, faz fronteira com esse reservatório, e mesmo com alambrado separando as áreas, alguns animais em busca de alimento rompem a cerca e chegam na parcela experimental para se alimentar (Figura 2 A e B). Periodicamente, o responsável pela pesquisa caminhava pelo perímetro do cercado, para consertar as telas danificadas, onde os animais passavam (Figura 2 C e D).

Figura 2 - Presença de capivaras (A e B) e danos ao no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP (C e D).



O controle de entrada de animais no campo experimental 2 foi realizado periodicamente. Entretanto, no dia 2 de setembro de 2014, um evento meteorológico extremo no local produziu um problema imprevisível. Ventos de até 62 km/h, registrados pelos sensores da estação climática da CEPAGRI/UNICAMP, produziram a queda dos mourões e do alambrado, que isolavam mais de 100 metros do campo experimental 2 e o reservatório. Assim, a barreira, que impedia a entrada de animais foi totalmente destruída e, em uma noite, uma parte significativa da cana-de-açúcar foi destruída, de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Queda da cerca que delimitava o campo experimental 2 da Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B).



Como os servidores permaneciam em greve nesse momento (23 de maio à 11 de setembro de 2014), não foi possível o conserto imediato da cerca. Nessas condições, os animais tiveram livre acesso para se alimentar das plantas do experimento, sendo impossível evitar a destruição quase na sua totalidade, principalmente no período noturno, já que esses animais são mais ativos durante a noite. Com pouco mais de uma semana, grande parte do canavial foi consumida pelos animais, tanto pela alimentação como pelo pisoteio, de acordo com a Figura 4. A maior parte das plantas foi quebrada, e assim, as últimas medições dos comportamentos ecofisiológicos da cana-de-açúcar ocorreram no mês de setembro de 2014.

Figura 4 - Destruição da parcela experimental pelos animais, na Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B)



A partir da destruição total da parcela experimental, houve a necessidade de remontar o experimento, só que agora no Campo Experimental 1, onde a entrada dos animais nessa área é menos frequente. Isso só foi possível após o encerramento da greve dos servidores da UNICAMP, pois envolvia a preparação do solo, plantio, irrigação e adubação desta nova parcela. Essas atividades foram finalizadas somente no final do mês de setembro (Figura 5).

Figura 5 - Instalação da nova parcela experimental no Campo 1 da Faculdade de Engenharia Agrícola (A e B).

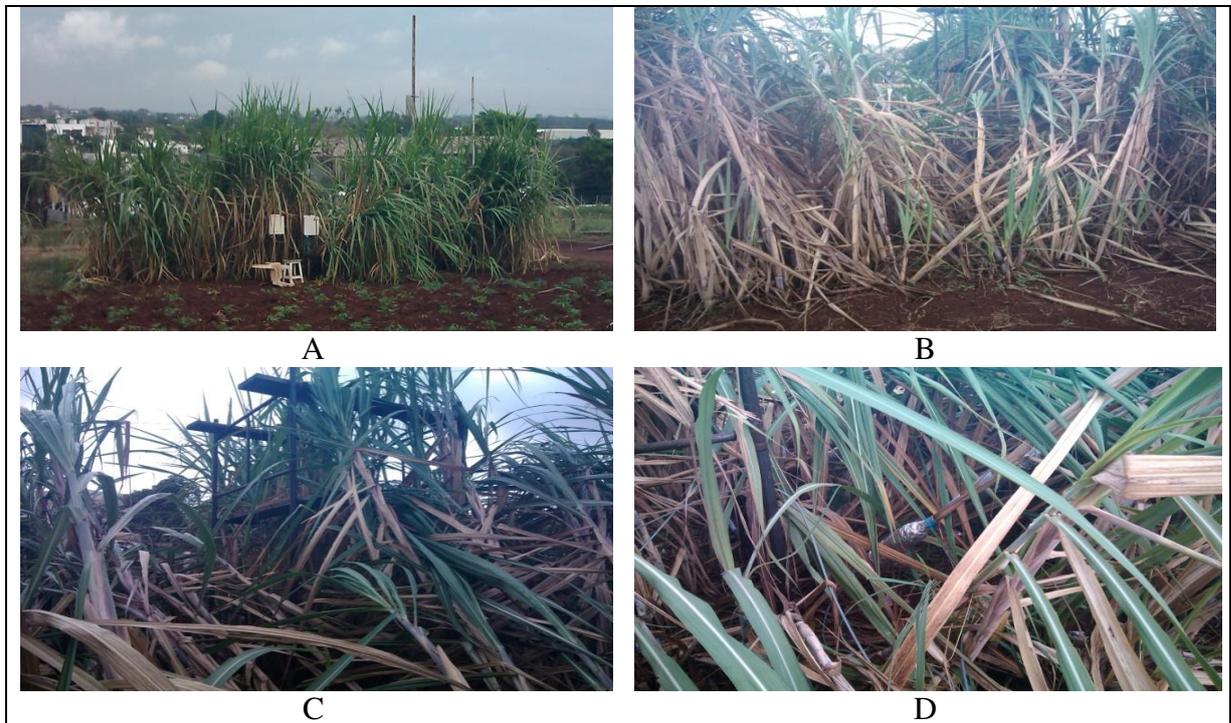


Como citado anteriormente, o plantio dessa parcela ocorreu em setembro de 2014, atentando para a distribuição de 12 a 18 gemas por metro linear, com profundidade de 0,30 m de acordo com o recomendado e utilizado por diversos autores (DANTAS NETO et al., 2006, GONÇALVES, 2015; NOGUEIRA et al., 2015). As adubações foram realizadas em cobertura entre as linhas de plantio (1m) nos dias 21 de novembro de 2014 e 18 de julho de 2015. As doses aplicadas foram 30, 80 e 80 Kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássio (K<sub>2</sub>O), respectivamente, o que correspondeu a utilizar aproximadamente 15 kg de adubo. A parcela experimental contou com uma área de 780 m<sup>2</sup> (13 x 60 m), com 13 linhas espaçadas de 1m entre elas. Dessa maneira, as plantas escolhidas para o monitoramento ecofisiológico apresentavam distâncias de 1m entre elas.

No entanto, havia uma pequena parcela (15m x 12m) de cana-de-açúcar, a mesma variedade utilizada no projeto (RB 867515), que foi instalada em julho de 2014 e que não estava sendo utilizada pelo pesquisador responsável e, por isso, foi cedida para o acompanhamento da transpiração e condutância estomática. No dia 16 de junho de 2015, nessa parcela os sensores de fluxo de seiva foram instalados. Dessa forma, foram obtidas informações de fluxo de seiva nessa parcela, de 20 de julho a 27 de novembro de 2015.

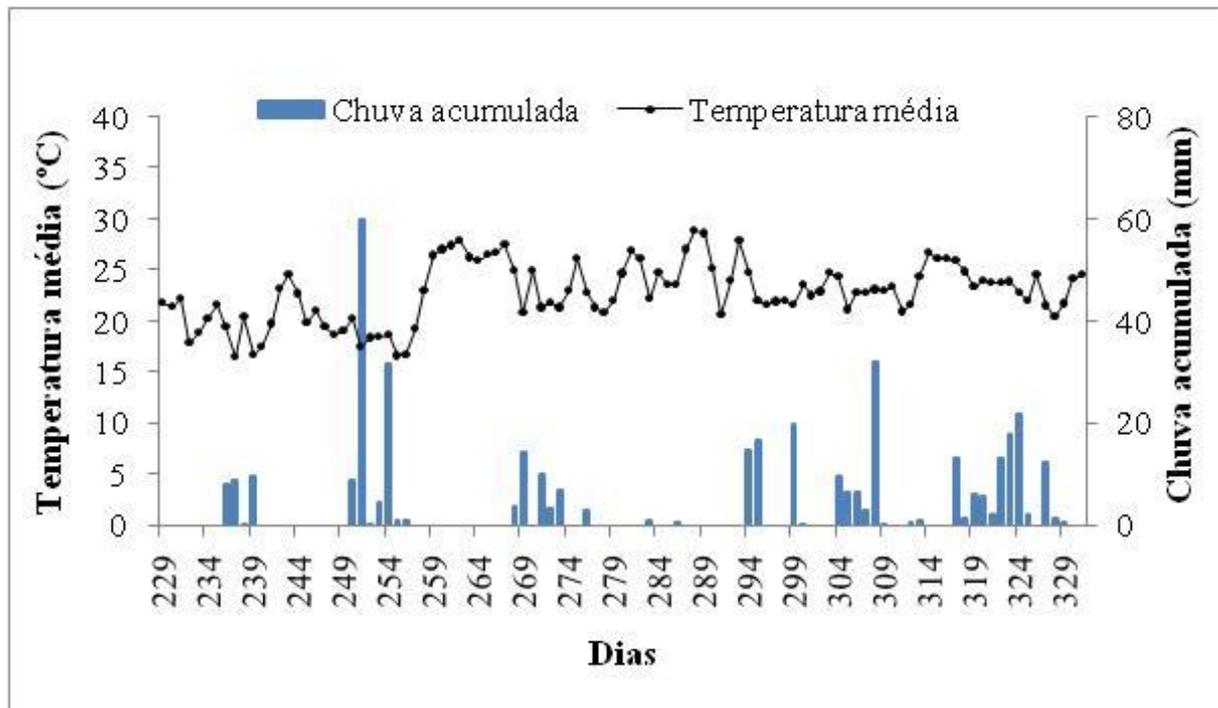
Porém, no dia 08 de setembro de 2015, rajadas de ventos atingiram o Campo Experimental, fazendo com que parte das plantas fosse acamada (tombadas). Frente a esse evento não previsto, foi decidido acompanhar o comportamento ecofisiológico e fluxo de seiva dessas plantas (três plantas), a fim de compará-las com as plantas que permaneciam eretas (cinco plantas), para verificar quais as respostas das plantas frente essa adversidade (Figura 6).

Figura 6 - Tombamento de parte do canavial proveniente do vento causado no dia 08 de setembro de 2015 na Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP (A, B, C e D)



Desta maneira, o estudo foi conduzido na área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP, entre as coordenadas geográficas de latitude 22°53'20"S e longitude 47°04'40" W de Greenwich, altitude média de 640 m. De acordo com a classificação da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (2006) o solo é do tipo latossolo vermelho distroférico. Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima de transição entre os tipos Cwa e Cfa, caracterizado como clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. Na Figura 7 é apresentado o valor diário de chuva acumulada e os valores médios de temperatura do ar, observada no decorrer do período experimental.

Figura 7. Dados diários de chuva acumulada e temperatura média observada no decorrer do período experimental, Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.



### 3.2. Índice de Área Folia (IAF) e Número de Plantas e Toletes

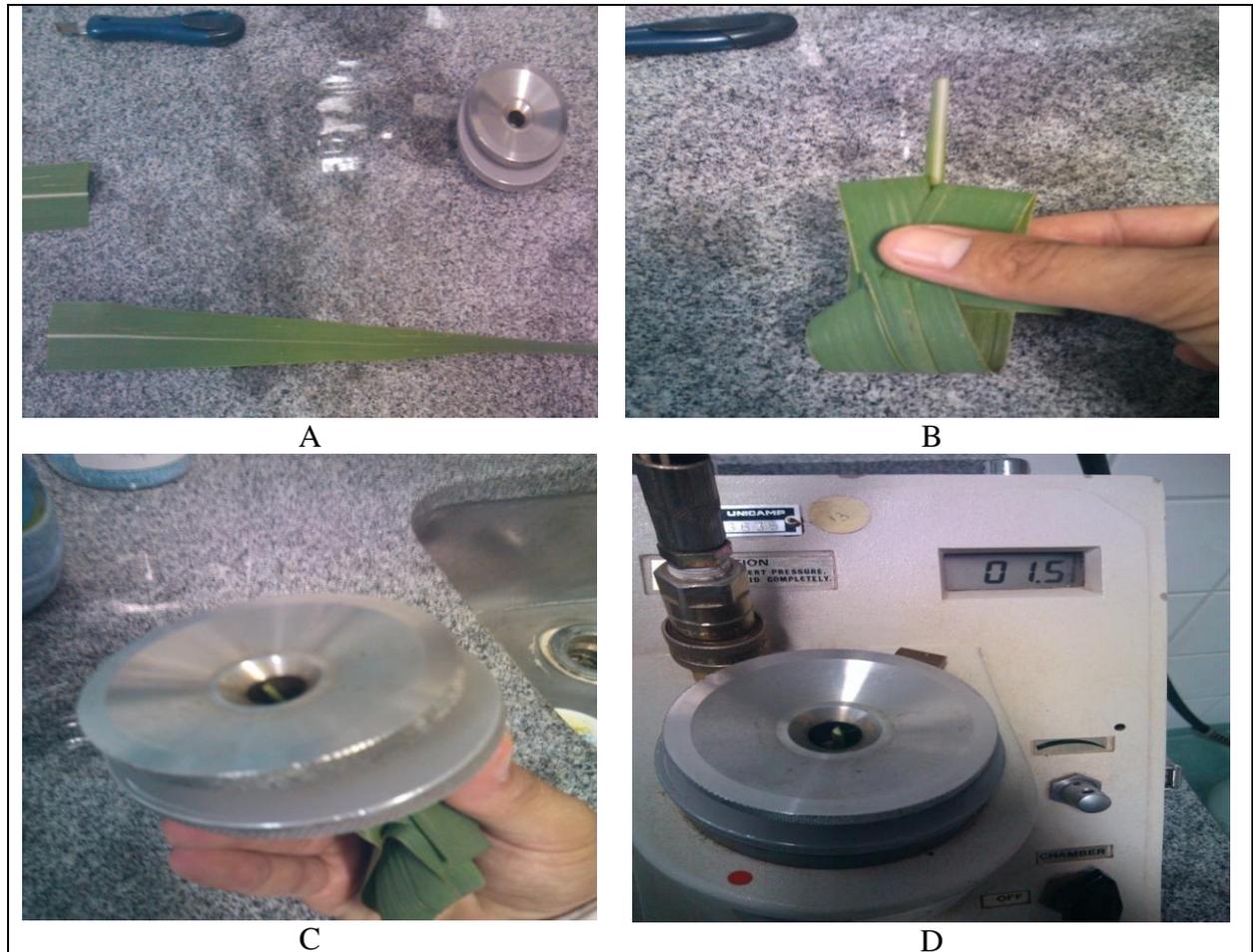
As medidas do Índice de Área Foliar (IAF) foram realizadas por meio de um método não destrutivo, utilizando um equipamento denominado Plant Canopy Analyzer, modelo LAI-2000 (LI-COR Inc., USA), que calcula a estrutura do dossel das árvores por meio das medidas de radiação que penetram nas copas. Este equipamento vem sendo amplamente utilizado em áreas florestais, devido à sua praticidade, rapidez e confiabilidade na obtenção indireta do IAF. O equipamento LAI-2000 é dotado de dois sensores ópticos (LAI-2050) acoplados a um datalogger cada (LAI-2070). Para a medição em campo, um sensor foi mantido em área aberta e em condições de iluminação ambiente, tomando medidas de iluminação difusa a cada 60 segundos, enquanto o outro foi levado ao interior do talhão, onde foram efetuadas medições em dois ângulos diferentes. As leituras foram feitas nos meses de abril, junho, julho, outubro, novembro e dezembro de 2015, em condições de nebulosidade. Os dados coletados com o LAI-2000 foram armazenados na memória dos próprios dispositivos e processados com o aplicativo FV-2000 que, por meio do cruzamento das tabelas resultantes dos dois sensores, gerou o IAF para cada ponto. Mensalmente, no período de agosto a dezembro, o número de plantas e toletes foi contado no talhão. Essa informação é importante para mudança de escala da transpiração (fluxo de seiva) para a

parcela. Porém, no dia 08 de setembro de 2015, rajadas de ventos atingiram o Campo Experimental, fazendo com que parte das plantas fossem acamadas (tombadas). Assim, a partir dessa data, considerou-se a contagem separada de toletes não tombados e tombados.

### **3.3. Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ )**

Para o acompanhamento das disponibilidades hídricas no solo, foram realizadas medidas do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ), antes do nascer do sol, utilizando uma câmara de pressão de Scholander (SCHOLANDER et al., 1965), modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp., USA). Para isso, foram coletadas três folhas inteiras (cortadas na altura da bainha), sadias e totalmente expandidas, em que foram mensurados as trocas gasosas e fluxo de seiva (procedimento necessário para que não alterasse as condições das plantas analisadas). Estas folhas foram armazenadas em sacos plásticos, para evitar a perda de água, e levadas imediatamente ao Laboratório de Hidrologia da FEAGRI/UNICAMP, onde se procederam as medidas. No laboratório, cada folha foi cortada com 30 cm de comprimento, sendo posteriormente enrolada e inserida na câmara, procedimento este necessário para que a nervura principal da folha transpassasse a abertura do suporte da câmara (Figura 8).

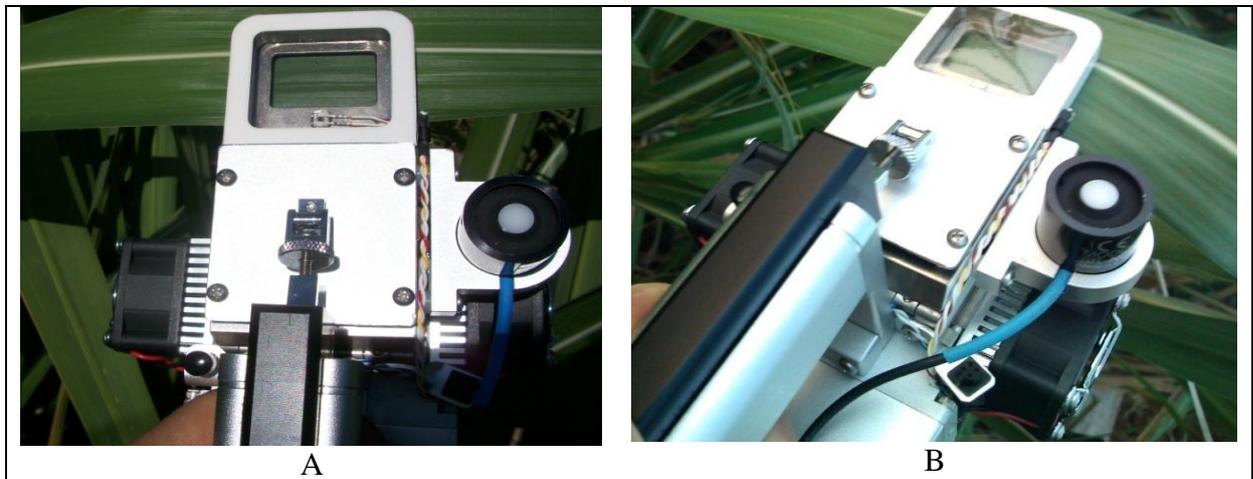
Figura 8 - Procedimento para a medição do potencial hídrico foliar antemanhã no laboratório de Hidrologia da FEAGR/UNICAMP



### 3.4. Transpiração (E) e condutância estomática (Gs)

Para as medições do comportamento da transpiração (E) e condutância estomática (Gs), foram escolhidas oito plantas realizadas nos mesmos indivíduos escolhidos para medição do fluxo de seiva. As leituras se procederam em intervalos horários ao longo do dia, no período das 6 às 19 horas, com auxílio do analisador de gás-infravermelho (IRGA – modelo LI6400XT, Li-cor). Para tanto, escolheram-se para cada indivíduo três folhas saudáveis e totalmente expandidas (+3, +4 e +5), localizadas na parte superior da copa, expostas à radiação solar por todo período de avaliação (Figura 9)

Figura 9 - Medição da transpiração (E) e condutância estomática (Gs) da cana-de-açúcar no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP



### 3.5. Fluxo de Seiva

A obtenção dos dados do fluxo de seiva constituiu de um sistema automático Flow 32-1k (“Datalogger”), composto por oito sensores do tipo “Dynagage”, Modelo SGB-25, fabricadas pela Dynamax Inc.(Houston, EUA) e baseado na metodologia do balanço de energia desenvolvida por Sakuratani (1981), a qual consiste na aplicação contínua de uma tensão elétrica nos terminais de um resistor. Cada sensor é constituído de uma resistência elétrica que fornece aquecimento constante ao colmo da planta, termopares que determinam as transferências de temperatura no colmo e, conseqüentemente, determinam a velocidade e o fluxo de seiva no colmo, e isolantes térmicos que evitam a troca de energia com o ambiente. Essas sondas não causam nenhum dano ao tecido da planta. Oito plantas foram selecionadas aleatoriamente dentro do talhão, evitando as plantas localizadas nas bordaduras, no qual foi instalado um sensor por tolete, sendo esses sensores, instalados no centro do entrenó do colmo, a 30 cm de altura do solo. Cada entrenó foi limpo com papel toalha embebido em óleo de canola assegurando um bom contato entre o sistema de aquecimento e o entrenó. Em seguida, acima e abaixo dos sensores, foram adicionados anéis isolantes a fim de proteger e isolar os sensores. Adicionalmente, foi utilizado filme plástico no entorno dos sensores, para evitar a entrada de água, e finalmente revestidas com fita aluminizada para refletir a radiação incidente (Figura 10). Os sensores foram instalados e testados no período de junho a agosto de 2015. Nesse período, foram realizados ajustes e, no início de agosto, foi realizada a instalação definitiva em oito plantas. Assim, foi considerado que o sistema de fluxo de seiva iniciou no dia 17/08/2015. No entanto, com as rajadas de ventos do dia 08 de setembro de 2015, as

plantas 1, 2 e 3 monitoradas com fluxo de seiva foram acamadas (tombadas). Assim, foi decidido acompanhar o comportamento ecofisiológico e fluxo de seiva dessas plantas (plantas 1, 2 e 3), a fim de compará-las com as plantas que permaneciam eretas (plantas 4, 5, 6, 7 e 8).

O sistema automático gerenciou todo o processo de obtenção dos dados e cálculos das taxas de fluxo de seiva, sendo programado para fazer leituras a cada minuto, registrando os valores médios a cada cinco minutos no período de 24 horas.

O balanço de calor é dado pelas Equações (1) a (5).

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

$$Q_v = K_{st} * A * (B_H - A_H)/(dX * 0,04) \quad (2)$$

$$Q_r = K_{sh} * C_H \quad (3)$$

$$F = (P_{in} - Q_r - Q_v)/(C_p * dT) \quad (4)$$

$$dT = (A_H - B_H)/(2) \quad (5)$$

em que:  $P_{in}$  é a potência de entrada (W),  $Q_r$  é a perda de calor radial (W);  $Q_v$  é a perda de calor vertical pelo colmo (W);  $Q_f$  é a perda de calor pelo fluxo de seiva (W);  $K_{st}$  é a condutividade térmica do colmo (W/mV),  $A$  é a área transversal do colmo (m<sup>2</sup>);  $(B_H - A_H)$  consiste na diferença de temperatura acima e abaixo do aquecimento (°C/m);  $dX$  sendo a distância entre o termopar (m); 0,04 converte os sinais (mV) dos termopares em temperatura (°C);  $K_{sh}$  é a condutividade térmica do fluxo (W/mV);  $C_H$  é a tensão para aquecimento radial (mV);  $F$  é o fluxo de seiva (g/s);  $C_p$  é o calor específico da água (J/g °C);  $dt$  é o aumento da temperatura da seiva (°C). Sendo o valor de  $K_{st}$  para plantas herbáceas igual a 0,54 W/mV, a área ( $A$ ) variou de  $3,5 \cdot 10^{-4}$  a  $7,5 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>;  $dX$  para o sensor SGB-25 é de 0,007 m,  $K_{sh}$  utilizada de 0,8 W/mV e  $C_p$  foi considerado a da água (4,18 J/g °C). Para se ter condições adequadas de operação elétrica dos sensores, estes requerem uma tensão de alimentação na ordem de 4,5 V. Como os sensores apresentavam resistência de 43  $\Omega$ , a quantidade de calor fornecida (potência de entrada) foi de 0,47 W.

Figura 10 - Instalação dos sensores de fluxo de seiva na cana-de-açúcar, composto por sistema automático Flow 32-1k (A), sensores do tipo “Dynagage”, modelo SGB 25 (B), sensores protegidos (C) e isolados (D). Campo experimental da FEAGRI/UNICAMP.



### 3.6. Variáveis climáticas

Os comportamentos ecofisiológicos e o fluxo de seiva foram relacionados às condições climáticas locais (radiação global -  $R_g$ , temperatura e umidade relativa do ar) que foram obtidos da estação meteorológica do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP, que armazena informações diárias em intervalos de 10 minutos. Essas informações foram utilizadas para o cálculo do déficit de pressão de vapor de água (DPV), a cada intervalo correspondente ao período de estudo, obtido pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ) e a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) conforme aplicado por Tonello e Teixeira Filho (2012), descrito pela Equação 6.

$$DPVS = e_s - e_a \quad (6)$$

A pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) foi calculada aplicando-se a Equação 7.

$$e_s = 0,61088 * 10^{7,5 Tar / 237,3 + Tar} \quad (7)$$

em que: Tar é a temperatura do ar (°C) e  $e_s$  é expressa em KPa.

A pressão parcial de vapor ( $e_a$ ), por sua vez foi calculada pela Equação 8.

$$e_a = UR\% * e_s / 100 \quad (8)$$

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) na superfície da folha foi determinada simultaneamente às medições de transpiração foliar (E) e condutância estomática (Gs), utilizando-se o sensor acoplado na câmara do analisador de gás-infravermelho (IRGA – modelo LI6400XT, Li-cor), sempre disposto perpendicularmente à luz solar incidente na superfície foliar ao longo de cada dia de trabalho. Este aparelho fornece dados de DPV, através de sensores de temperatura e umidade presente na câmara. Dessa maneira, para cada registro de transpiração foliar havia um valor momentâneo de PAR e DPV.

### 3.7. Análise estatística

A análise estatística e os gráficos foram elaborados por meio do software estatístico SPSS 16.0 para o Sistema Operacional Windows. Adotou-se o critério de Gravetter e Wallnau (1995) para diferenciar estatisticamente os tratamentos, indicado pela ausência de sobreposição dos limites superior e inferior dos valores da média  $\pm$  desvio-padrão.

Visando a melhor interpretação dos resultados referentes às variáveis ecofisiológicas da cana-de-açúcar em função das variáveis ambientais, foi proposto apresentá-los em quatro capítulos, a saber:

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.**

Procurou-se avaliar os efeitos das intensidades da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e do déficit de pressão de vapor (DPV) no período de agosto a outubro, sobre a transpiração foliar (E) e condutância estomática (Gs) da cana-de-açúcar na escala de folha, assim como identificar situações de comportamentos distintos entre elas. Para isso, foram obtidas informações sobre o potencial hídrico foliar antemanhã com auxílio da bomba tipo Scholander e para o monitoramento em escala horária da transpiração foliar, condutância estomática, radiação fotossinteticamente ativa e deficit de pressão de vapor com auxílio do

analisador de gás-infravermelho (IRGA) Licor-LI6400XT. Modelos de regressão foram elaborados para melhor compreender a interdependência entre as variáveis ecofisiológicas e climáticas dos valores horários dentro de cada classe de potencial hídrico foliar antemanhã, conforme a metodologia detalhada no item 3.1 desta tese.

### **CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA NO TRONCO E TRANSPIRAÇÃO LÍQUIDA EM CANA-DE-AÇÚCAR.**

Buscou-se avaliar o comportamento na escala horária do fluxo de seiva ( $F_s$ ), em três dias aleatórios, da cana-de-açúcar e associá-lo aos fatores climáticos, especificamente à radiação global ( $R_g$ ) e ao déficit de pressão de vapor (DPV) da atmosfera circundante, informações estas obtidas da estação meteorológica do CEPAGRI/UNICAMP, bem como as condições hídricas de cada planta, no qual foram realizadas medidas do potencial hídrico foliar antemanhã. Para obtenção dos valores de fluxo de seiva de cada planta, foi utilizado o sensor modelo SGB 25-WS, Dynamax Inc., com leitura a cada minuto ao longo das 24 horas, durante o período de agosto a dezembro de 2015. Foram elaborados gráficos para verificar a influência da disponibilidade de água, radiação global ( $R_g$ ) e déficit de pressão de vapor (DPV) para verificar as respostas em relação ao fluxo de seiva da cana-de-açúcar.

### **CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO DA COMPARAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E DO FLUXO DE SEIVA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO CLIMA E POTENCIAL HÍDRICO.**

Este estudo foi desenvolvido com objetivo de verificar o comportamento da transpiração foliar ( $E$ ) e do fluxo de seiva ( $F_s$ ) na escala de planta na escala horária, em função da radiação global ( $R_g$ ) e déficit de pressão de vapor (DPV), a fim de verificar o acoplamento dos cursos diários dos comportamentos ecofisiológicos, buscando observar se tanto a transpiração foliar como o fluxo de seiva apresentaram os valores máximos no mesmo instante. Também foi verificado o comportamento da transpiração foliar e do fluxo de seiva em função do potencial hídrico de cada planta de cana-de-açúcar.

## **CAPÍTULO 7: RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EFEITO DO TOMBAMENTO NOS COMPORTAMENTOS ECOFISIOLÓGICOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Frente ao evento de tombamento de parte das plantas monitoradas, conforme descrito na metodologia, procurou-se verificar quais foram os efeitos nos comportamentos da transpiração e a condutância estomática na escala de folha e do fluxo de seiva na escala de planta, determinando, assim, a transpiração da parcela, a fim de estabelecer uma comparação entre as plantas que foram atingidas pelo vento e que permaneceram tombadas e as plantas que permaneceram eretas ao longo do tempo.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.**

O Brasil vem utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção em larga escala de bioetanol por mais de 30 anos (MARIANO et al., 2013). O baixo custo do bioetanol brasileiro proveniente da cana-de-açúcar pode ser explicado por uma combinação de condições favoráveis tais como a taxa fotossintética da cana-de-açúcar por hectare, as condições climáticas e o ciclo de vida da cultura, denotando uma relação de energia renovável (MACRELLI et al., 2012). A produtividade vegetal está associada com a quantidade de água transferida do solo para a atmosfera, processo denominado de transpiração, e essa quantificação é um desafio para os pesquisadores (KOOL et al., 2014).

Uma das metodologias utilizadas para quantificar a transferência de água para a atmosfera é pela utilização da porometria. A análise de trocas gasosas de CO<sub>2</sub> e água com auxílio de um analisador portátil infravermelho é uma metodologia viável, poderosa e rápida nos estudos de respostas fisiológicas entre a planta e a atmosfera adjacente (VALENTINE et al., 2013).

Tonello e Teixeira Filho (2011) alegaram existir poucos trabalhos desenvolvidos no intuito de verificar as relações ecofisiológicas (transpiração e condutância estomática) de uma única folha pelo método da porometria. No entanto, nesse nos últimos anos, pesquisadores utilizaram essa metodologia para mensurar o comportamento ecofisiológico de diferentes culturas, a fim de estabelecer uma relação com o consumo de água. Nos trabalhos de Matimati et al. (2014), utilizaram o porômetro com folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) para mensurar os comportamentos ecofisiológicos a fim de verificar o efeito da adubação nitrogenada no fluxo de água na raiz. Baron et al. (2015) utilizaram a porometria a fim de determinar se as condições ambientais do domínio do Cerrado poderiam influenciar diretamente as trocas gasosas de assa-peixe (*Vernonia polyanthes*). Beis e Patakas (2015), utilizando diferentes lâminas de irrigação, verificaram os efeitos nas trocas gasosas foliares de videiras (*Vitis vinifera*) com auxílio de um porômetro. Gíron et al. (2015), utilizando a porometria verificaram quais os efeitos de uma seca moderada (potencial hídrico foliar de -1,8MPa) nas trocas gasosas foliares de oliveira (*Olea europaea*). Kenzo et al. (2015), com auxílio da porometria, verificaram se as plantas mais altas nas florestas apresentavam uma maior eficiência nas trocas gasosas, o que justificaria a diversidade de árvores em uma

floresta tropical. Sun et al. (2015) utilizaram a porometria para a análise de trocas gasosas entre a folha de luzerna-cortada (*Medicago truncatula*) e a atmosfera. Medidas de trocas gasosas foram realizadas por Torrez-Ruiz et al. (2016) para verificar as respostas ecofisiológicas de Kiwi (*Actinidia deliciosa*) em função do tempo de irrigação.

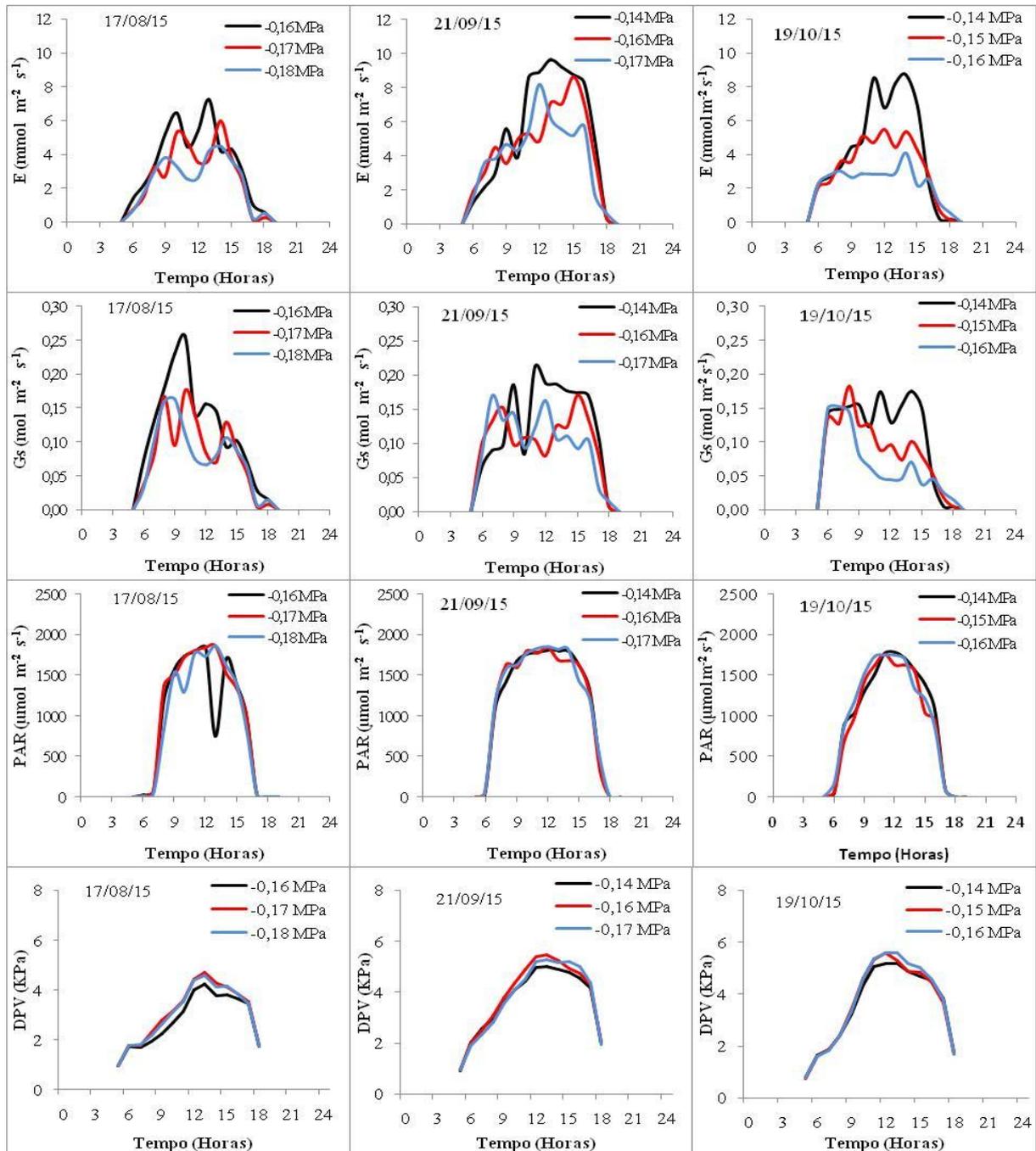
Especificamente para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), são escassos os trabalhos que utilizam a porometria para medidas ecofisiológicas em folhas, especialmente para estabelecer a transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera. Nas pesquisas relacionadas com a utilização de medidas ecofisiológicas por porometria, destacam-se os trabalhos de Anderson et al. (2015), com auxílio de um porômetro para determinar a evapotranspiração de cana-de-açúcar irrigada sob influência das condições de vento. Jackson et al. (2016) compararam a variação genética de cinco genótipos de cana-de-açúcar em relação à eficiência da transpiração foliar. Sales et al. (2015) testaram a hipótese de que a tolerância à seca em cana-de-açúcar está associada a uma resposta metabólica (antioxidante) eficaz durante a fase de amadurecimento, o que permite manter alta as taxas de fotossíntese durante a seca. Simões et al. (2015) avaliaram as variáveis fisiológicas (transpiração e condutância estomática) da cana-de-açúcar em função do sistema de irrigação.

Desse modo, o presente capítulo tem como objetivo verificar o comportamento da transpiração (E) e da condutância estomática (Gs) da cana-de-açúcar em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e do deficit de pressão de vapor (DPV), e correlacionar com os diferentes potenciais hídricos das plantas ( $\Psi_{pd}$ ), conforme a metodologia descrita no item 3 da tese.

A Figura 11 apresenta o comportamento diurno da E, Gs, PAR e DPV em cana-de-açúcar em diferentes níveis de  $\Psi_{pd}$ . O  $\Psi_{pd}$  das plantas é diferente mesmo com a proximidade espacial dos indivíduos, devido às condições locais do solo na área. Os valores mostram oscilações diferentes de E e Gs em relação ao ( $\Psi_{pd}$ ), no qual, observa-se que plantas com menores restrições de água apresentavam valores mais elevados de E e Gs em relação às plantas que apresentavam maiores restrições de água. Para o dia 17/08/2015, a planta com maior  $\Psi_{pd}$  (-0,16 MPa) a transpiração foi superior as demais plantas que apresentaram menores  $\Psi_{pd}$  (-0,17 e -0,18 MPa) respectivamente. Para a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a de -0,16 MPa, a E atingiu o valor máximo de  $7,3 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  as 13:00, enquanto que plantas com  $\Psi_{pd}$  de -0,17 e -0,18 MPa, os valores máximos foram de 6,0 e 4,5  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 14:00, respectivamente. Percebe-se, nesse dia, que às 11:00 houve uma redução acentuada dos valores da E, aumentando o valor na hora seguinte. Esse mesmo comportamento da E foi observado no dia 19/10/2015 para a planta que apresentou  $\Psi_{pd}$  de -0,14 MPa. Essa mesma

planta apresentou ao longo do dia valores mais elevados do que as demais plantas, com valor de E máximo de  $8,7 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  as 14:00, enquanto que as plantas com  $\Psi_{pd}$  de -0,15 e -0,16MPa, apresentaram valores máximos de 5,4 e 4,1  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Desta maneira, a E máxima da planta com menor restrição (-0,14 MPa) foi 38% superior em relação à planta com  $\Psi_{pd}$  de -0,15 MPa e 53% à E da planta com  $\Psi_{pd}$  de -0,16 MPa. Observa-se também que a E acompanhou a Gs em várias situações, destacando o dia 21/09/2015, principalmente, no período após às 12:00 em que verificou-se uma similaridade entre a E e Gs de todas as plantas. No período da manhã, verifica-se que a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd} = -0,14$  MPa) apresentou valores mais baixos de E e Gs em relação às plantas com maiores restrições de água ( $\Psi_{pd}$  -0,16 e 0,17 MPa) até 08:00, quando ocorreu um aumento dos valores de E e Gs dessa planta e uma redução acentuada da E e Gs às 10:00. Provavelmente, esses maiores valores de E e Gs das plantas com maiores restrições de água estejam relacionadas com a PAR, já que nesse período, os valores da radiação foram maiores do que a planta com menor restrição. Destaca-se que no dia 17/08/2015 houve uma redução drástica da PAR às 13:00 para a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,16 MPa e que não influenciou no resultado da E e Gs. Esse fato, provavelmente, pode ser explicado pelo valor alto de DVP que atingiu o pico nesse horário, contribuindo para a elevação da E e Gs dessa planta. Ainda em relação ao DPV, observa-se que os valores máximos para o período avaliado ocorreram entre 12:00 e 14:00 para todas as plantas, destacando-se uma ligeira elevação no fim da tarde, aproximadamente, às 16:00 horas, o que resulta em uma elevação nos valores da E e Gs em todas as plantas, independentemente da quantidade de água na planta.

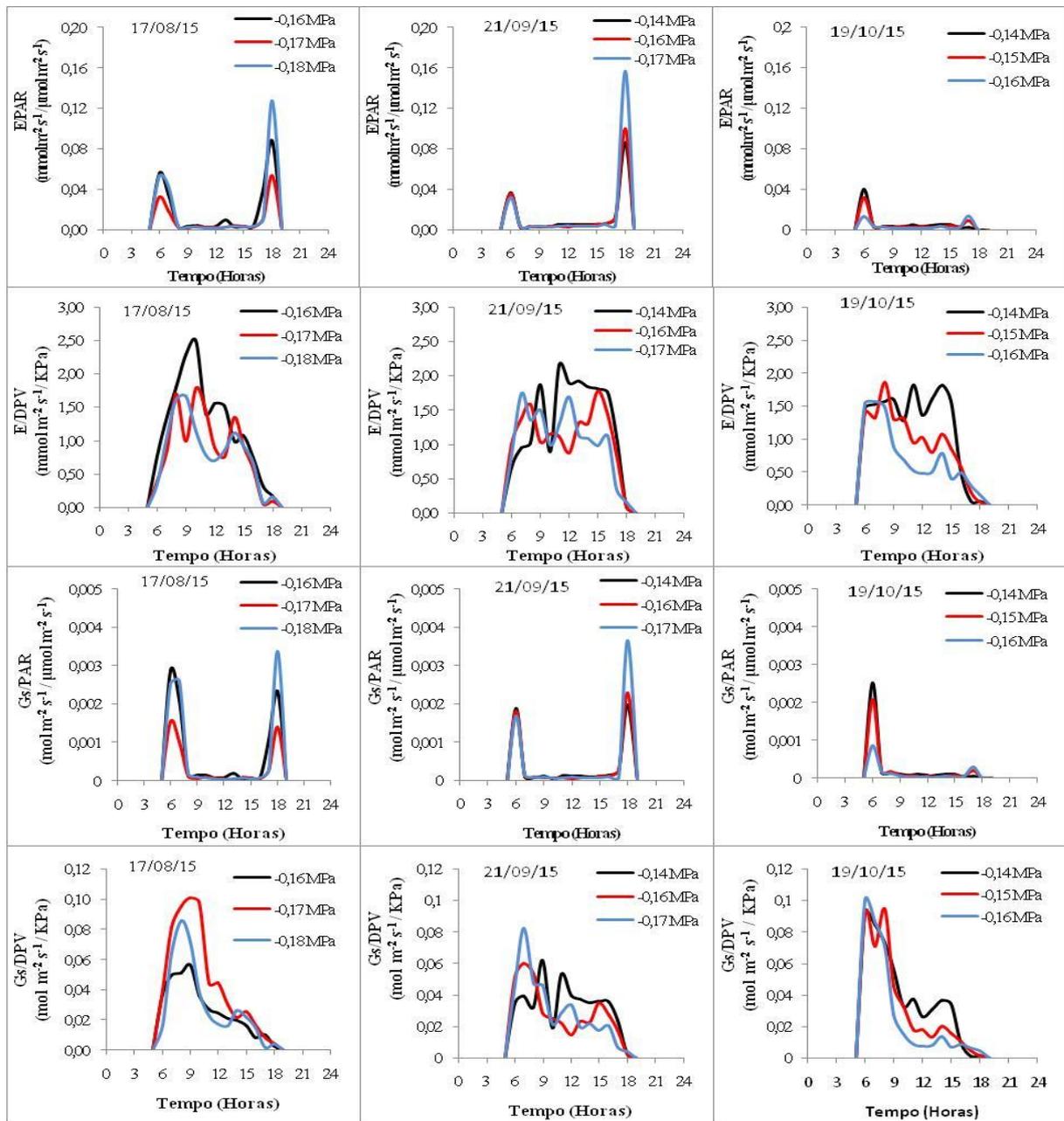
Figura 11 - Curso diurno da transpiração (E), condutância estomática (Gs), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e déficit de pressão de vapor (DPV) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP



Para melhor compreender a interdependência entre as variáveis fisiológicas (E e Gs),  $\Psi_{pd}$ , DPV e PAR, foi estabelecida uma razão entre a E e Gs dos valores horários observados

por unidade em relação ao DPV e PAR dos respectivos dias de avaliação dentro de cada classe de  $\Psi_{pd}$  (Figura 12).

Figura 12 - Relação entre transpiração/radiação fotossinteticamente ativa (E/PAR), transpiração/déficit de pressão de vapor (E/DPV), condutância estomática/radiação fotossinteticamente ativa (Gs/PAR) e condutância estomática/déficit de pressão de vapor (Gs/DPV) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP



Com essa razão, observa-se o efeito da reidratação das plantas, pois no início do dia com os valores mais baixos da PAR e DPV, a planta mantém seus estômatos abertos e por isso verifica-se o efeito observado nas relações entre E/PAR e Gs/PAR. Em torno das 9:00, inicia o processo de fechamento dos estômatos, evitando assim, a maior perda de água por transpiração. No final do dia, com a maior dessecação das plantas há um amplo controle estomático da cana-de-açúcar com objetivo de reduzir as perdas de água, e com a atuação dos valores elevados de DPV ocorre uma elevação tanto nos valores de E/PAR e Gs/PAR, principalmente após as 16:00. Para o dia 17/08/2015 observou-se que tanto para a E como para a Gs por unidade de radiação (E/PAR e Gs/PAR), as plantas que apresentavam  $\Psi_{pd}$  maior (-0,16 MPa) apresentavam as relações maiores tanto para E/PAR como para Gs/PAR, seguidas das plantas com maiores restrições de água (-0,18 MPa), enquanto que plantas com (-0,17 MPa) apresentaram as menores taxas nas relações. No entanto, durante o período das 10:00 às 17:00, cujo período é que apresenta maiores valores de radiação, mostraram que as taxas entre E/PAR e Gs/PAR foram maiores para as plantas que apresentavam menores restrições de água ( $\Psi_{pd}$  -0,16 MPa), seguida das plantas com  $\Psi_{pd}$  de -0,17 MPa e as plantas com maiores restrições de água, ou seja, com  $\Psi_{pd}$  de -0,18 MPa, apresentaram menores taxas entre E/PAR e Gs/PAR.

No período da manhã, era para se esperar o comportamento ocorrido no dia 19/10/2015, cuja relação entre E/PAR e Gs/PAR mostraram que as taxas entre as relações seguiam o  $\Psi_{pd}$ . Dessa forma, as plantas com menores restrições de água apresentavam maiores taxas de E/PAR e Gs/PAR e decresciam conforme o aumento da restrição de água.

Em relação à E e Gs por unidade de déficit de pressão de vapor (E/DPV e Gs/DPV), para a E/DPV verificou-se que nos três dias avaliados, de modo geral, no período da manhã, as plantas apresentavam crescimento semelhante, independentemente do  $\Psi_{pd}$ , exceto para o dia 21/09/2015. No entanto, especificamente no final da tarde, plantas com maiores restrições de água apresentavam menores taxas de E por unidade de DPV enquanto a taxa de E/DPV eram maiores para plantas com menores restrições de água.

Em relação ao Gs/DPV, os resultados mostraram que, no período da manhã, as plantas mais hidratadas ( $\Psi_{pd}$  maiores) apresentaram taxas menores, provavelmente esse comportamento pode ser resultado de um controle mais eficiente do fechamento estomático. No entanto, no final da tarde, os valores de Gs/DPV se inverteram em relação ao período da manhã, no qual as plantas menos hidratadas ( $\Psi_{pd}$  menores) apresentaram as menores taxas de Gs/DPV enquanto plantas mais hidratadas ( $\Psi_{pd}$  maiores) a taxa de Gs por unidade de DPV

foi maior. Provavelmente, esse resultado ocorre devido ao aumento da demanda evaporativa do ar promovendo a retirada de água das folhas mais hidratadas.

Na Tabela 1, estão tabulados os valores da razão entre a E e Gs por unidade de DPV e PAR dos respectivos dias de avaliação dentro de cada classe de  $\Psi_{pd}$ , na escala horária das 8:00 às 16:00. Fato necessário para excluir os efeitos observados no início e no final do dia, conforme a Figura 12.

Tabela 1 - Relação entre transpiração/radiação fotossinteticamente ativa (E/PAR), transpiração/déficit de pressão de vapor (E/DPV), condutância estomática/radiação fotossinteticamente ativa (Gs/PAR) e condutância estomática/déficit de pressão de vapor (Gs/DPV) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar.

Dia	$\Psi_{pd}$	E/PAR	Gs/PAR	E/DPV	Gs/DPV
17/08/15	-0,16	0,0036 a	0,00011 a	1,66 a	0,059 a
	-0,17	0,0027 b	0,00007 b	1,19 b	0,037 b
	-0,18	0,0022 c	0,00006 b	1,00 b	0,032 b
21/09/15	-0,14	0,0045 a	0,00010 a	1,75 a	0,041 a
	-0,16	0,0041 a	0,00009 a	1,41 b	0,036 a b
	-0,17	0,0029 b	0,00006 b	1,12 c	0,029 b
19/10/15	-0,14	0,0040 a	0,00008 a	1,41 a	0,033 a
	-0,15	0,0032 b	0,00007 a	1,07 b	0,027 a
	-0,16	0,0022 c	0,00005 a	0,77 c	0,022 a

Letras iguais na coluna, para o mesmo dia, não diferem estatisticamente entre si ( $P < 0,05$ ).

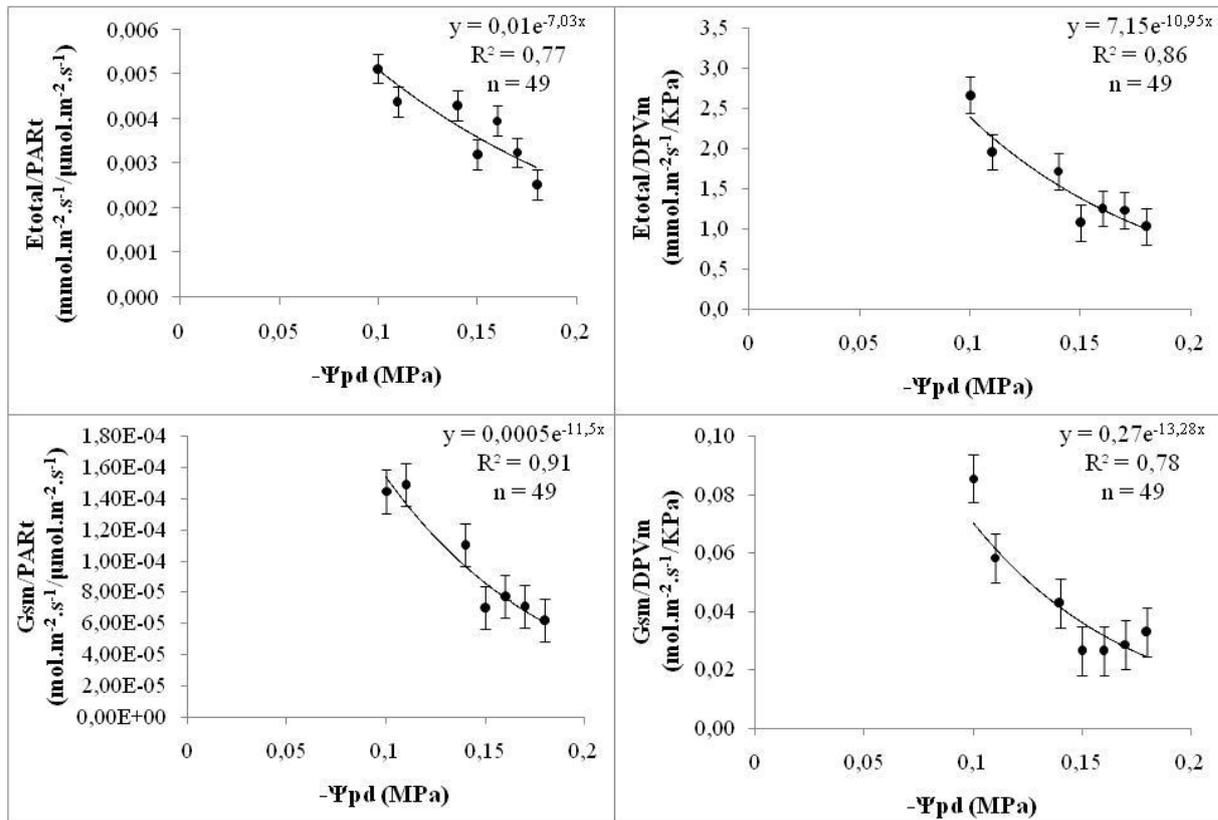
De acordo com a Tabela 1, observa-se que no dia 17/08/15, todos os valores das relações foram reduzidas à medida que houve a redução da disponibilidade de água, apresentada pelo valor do  $\Psi_{pd}$ . Ainda, observa-se que a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,16 MPa (maior disponibilidade de água) diferiu estatisticamente, da planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,18 MPa (menor disponibilidade de água) em todas as relações, sendo 39% superior em relação ao E/PAR, 45% superior em relação ao Gs/PAR, 40% superior em relação ao E/DPV e 46% superior em relação ao Gs/DPV. Comportamento semelhante foi observado para o dia 21/09/15, no qual a planta com maior disponibilidade de água,  $\Psi_{pd}$  igual a -0,14 MPa, em relação à planta com menor disponibilidade de água,  $\Psi_{pd}$  igual a -0,17 MPa, apresentou as maiores relações e, também diferiu estatisticamente, entre os dois potenciais hídricos, sendo a

relação E/PAR 35% superior da planta com maior potencial hídrico em relação à planta com menor potencial hídrico. Ainda, 40% superior em relação ao Gs/PAR, 36% em relação ao E/DPV e 29% em relação ao Gs/DPV. Para o dia 19/10/15, destaca-se que os valores das relações Gs/PAR e Gs/DPV, das plantas com diferentes  $\Psi_{pd}$ , estatisticamente não apresentaram diferenças estatísticas entre os valores das relações, mesmo apresentando uma redução dos valores das relações com a redução do  $\Psi_{pd}$ . No entanto, observando as relações entre E/PAR e E/DPV, a planta com maior potencial hídrico,  $\Psi_{pd}$  igual a -0,14MPa, diferiu estatisticamente em relação as plantas com menores valores do potencial hídrico,  $\Psi_{pd}$  igual a -0,15 e -0,16 MPa, respectivamente.

A Figura 13 representa um modelo simplificado para obtenção dos valores tanto de transpiração (E) como condutância estomática (Gs). Com o fornecimento dos valores do PAR e  $\Psi_{pd}$  é possível obter os valores de transpiração, cujo modelo apresenta um  $r^2$  de 0,77. Também é possível obter os valores de E a partir das informações do DPV e  $\Psi_{pd}$  no qual o modelo apresentou um  $r^2$  de 0,86. Ainda pela Figura 3 é possível obter os valores de Gs, com o fornecimento dos valores do PAR e  $\Psi_{pd}$  é possível obter os valores de Gs, cujo modelo apresenta um  $r^2$  de 0,91. E também, é possível obter os valores de Gs a partir das informações do DPV e  $\Psi_{pd}$  no qual o modelo apresentou um  $r^2$  de 0,78. Sendo fornecidos os valores de PAR e  $\Psi_{pd}$  é possível obter os valores de E e Gs para a cana-de-açúcar. Também, a Figura 3 representa um modelo matemático para mudança de escala para os valores de E e Gs para cana-de-açúcar.

Ainda de acordo com a Figura 13, verifica-se que tanto para entre  $E_{total}/PAR_t$ ,  $E_{total}/DPV_m$ ,  $Gsm/PAR_t$  e  $Gsm/DPV_m$  variaram em função do  $\psi_{pd}$ , pois observa-se que plantas com menores  $\psi_{pd}$  apresentaram menores taxas de trocas gasosas, conforme também apresentada na Tabela 1 e tendo uma correlação positiva entre o potencial hídrico foliar antemanhã  $E_t/PAR_t$  ( $\rho=0,91$ ),  $E_t/DPV_m$  ( $\rho= 0,84$ ),  $Gsm/PAR_t$  ( $\rho = 0,96$ ) e  $Gsm/DPV_m$  ( $\rho = 0,89$ ).

Figura 13 - Relação entre  $E_{total}/PART$ ,  $E_{total}/DPVm$ ,  $Gsm/PART$  e  $Gsm/DPVm$  em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar. Cada ponto representa a média de 7 observações e as barras verticais, o desvio-padrão.



De modo geral, as plantas com menores potenciais hídricos foliares antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) apresentaram menores taxas de trocas gasosas, transpiração (E) e condutância estomática (Gs). Segundo Bergonci et al. (2000), o potencial de água na folha descreve o estado energético dela, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera, e embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, esse parâmetro descreve o estado hídrico da planta. De acordo com resultados apresentados por Martínez-Alcántara et al. (2013), a redução do potencial hídrico em laranjeiras enxertadas causou redução na condutância estomática e isso promoveu redução nas trocas gasosas, o que pode afetar a produção de biomassa.

Os dados observados na Figura 11 e também na Tabela 1 apresentam que plantas com maiores restrições de água na folha tinham menores trocas gasosas. Esse comportamento também foi observado nos trabalhos realizados por Tonello e Teixeira Filho (2011, 2012), cujo trabalho foi desenvolvido no mesmo campo experimental, sendo que as plantas de eucalipto que apresentavam maiores restrições hídricas, apresentavam as menores taxas de

trocas gasosas. Semelhante aos dados obtidos por Silva et al. (2013), no qual avaliou as trocas gasosas em função do restrição da água para a cultura do girassol, elucidaram que a transpiração decresceu em função da maior restrição da quantidade de água.

O trabalho desenvolvido por Trentin et al. (2011) mostrou que sob valores máximos de radiação solar global e de déficit de saturação de pressão de vapor d'água no ar, a taxa de transpiração diária da cana-de-açúcar, em condições de estresse hídrico severo ( $-150 < \Psi < -110$  MPa), foi, aproximadamente, 73% inferior em relação à das plantas cultivadas sob plena disponibilidade de água. Apesar de que nesse trabalho não termos atingidos estresses hídricos tão elevados como apresentado por esses autores, observou que a taxa de transpiração diária foi reduzida em função da restrição de água apresentada na planta.

Pelos dados na Figura 11, observa-se que as maiores taxas de E ocorreram no período da tarde, onde os valores de DPV também eram os mais elevados. Segundo Tonello e Teixeira Filho (2011), as variáveis fisiológicas das plantas acompanham a demanda evaporativa atmosférica. Fato observado no dia 21/09/2016, Figura 11, no qual ocorreu uma queda no valor de DPV as entre 10 e 11h, o que provocou uma queda acentuada na E e na Gs. De acordo com Swaef et al., (2012) a demanda evaporativa da atmosfera é atendida pela planta através da transpiração, devido à resistência hidráulica entre o solo e a folha, a absorção de água da raiz fica atrás da transpiração no qual, este intervalo resulta em uma diminuição do potencial hídrico do caule a medida que a transpiração aumenta.

Segundos resultados obtidos por Rodrigues et al. (2011), que avaliaram o comportamento da condutância estomática em um ecossistema de manguezal, a condutância estomática varia (aumenta ou diminui) proporcionalmente ao déficit de pressão de vapor, pelo fato de não haver restrição de água no solo. Concluíram que o comportamento dos estômatos é influenciado primordialmente pelas condições atmosféricas. Dessa maneira, devido à maior restrição de água em algumas plantas houve redução da condutância estomática, corroborando com os dados apresentados nessa pesquisa.

Resultados apresentados por Rejšková et al. (2010) mostraram que para o capim-amarelo (*Phalaris arundinacea*), a transpiração apresentou uma relação linear com o déficit de pressão de vapor, consistindo no fator externo mais importante nos resultados da transpiração.

Klein et al. (2013), comparando as relações entre a condutância estomática e o uso eficiente da água entre espécie isohídrica (em que o potencial de água na planta permanece elevado) e anisohídrica (em que diminui acentuadamente nas horas mais quentes do dia), mostraram que para ambas as espécies, pinheiro (isohídrico) e carvalho (anisohídrico), a condutância estomática é reduzida em resposta ao aumento de déficit de pressão de vapor. No

entanto, nesse trabalho, verifica-se que a ocorrência dos maiores valores de condutância, ocorreu no instante em que os valores do DPV estava elevado, principalmente no final da tarde.

Resultados obtidos por Tonello e Teixeira Filho (2012) mostraram que os valores extremos para o DPV ocorreram entre as 13:00 e 14:00 e que, devido a esse comportamento, optaram pela avaliação do comportamento ecofisiológico separadamente nos períodos da manhã e da tarde em virtude da maior demanda evaporativa da atmosfera no período da tarde. Esse comportamento também foi observado na Figura 12, já que, no início do dia, com o DPV mais baixo em relação ao período da tarde, teve-se que a relação  $G_s/DPV$  apresentou taxa mais elevada no período da manhã do que no período da tarde. Observam-se pela Tabela 1, quando ocorre a exclusão tanto do início quanto ao final do dia, as relações entre trocas gasosas e fatores ambientais, estão relacionados com os valores de  $\Psi_{pd}$  que as plantas apresentaram.

Resultado obtido por Chen et al. (2015) mostrou que houve mudanças fisiológicas na folha de liana (Woody climbers), no qual os estômatos responderam rapidamente às mudanças de déficit de pressão de vapor, maximizando a obtenção de  $CO_2$  e menor perda de água. A rápida regulação da condutância estomática permitiu que as plantas reduzissem o consumo de água, evitando a perda excessiva no período seco.

De acordo com Gao et al. (2015), os estômatos coordenam os fluxos de entrada de  $CO_2$  e saída de água nas folhas. Assim, essa estrutura celular assume papel importante no equilíbrio hídrico do ecossistema florestal em respostas às variáveis meteorológicas, especialmente ao déficit de pressão de vapor. Segundo esses autores, quando o déficit de pressão de vapor está elevado, resultando em altas taxas de transpiração vegetal, os estômatos se fecham para evitar uma falha hidráulica causada pela diminuição do potencial hídrico foliar. Assim, percebe-se a atuação dos estômatos na regulação da transpiração principalmente no período da tarde especialmente nas plantas que apresentavam maiores restrições de água, conforme observado nas Figuras 12 e 13. Segundo Pilau et al (2007) e Nicolás et al. (2008), existe uma estreita relação entre abertura estomática e déficit de pressão ao longo do dia. Tonello e Teixeira Filho (2011) afirmam que nas espécies dotadas de ajuste estomático, as perdas de água são reduzidas, mas não evitadas, pelo fechamento parcial dos estômatos à medida que o déficit hídrico se desenvolve, o qual pode atingir valores elevados. Ainda, como os estômatos permanecem parcialmente abertos, característico de planta com metabolismo  $C_4$ , a assimilação de gás carbônico não cessa especialmente no período da manhã e no final da tarde, quando o déficit de saturação é baixo e a eficiência do uso da água é alta.

Pelos resultados apresentados, nota-se que para a cana-de-açúcar no período da manhã, os valores de  $E$  e  $G_s$  são influenciados principalmente pelo aumento da PAR e, no período da tarde, quem coordena os comportamentos ecofisiológicos é a demanda evaporativa do ar (DPV). Sendo observado que os cursos da  $E$  e  $G_s$  acompanharam o crescimento da PAR e DPV, e ainda, foram afetados pelo déficit hídrico, de forma que plantas sob estresse mantiveram baixas taxas de  $E$  e  $G_s$ . De certo modo, para a cana-de-açúcar existe, um controle estomático eficiente para evitar ainda mais a perda de água na planta. Os modelos da  $E$  e  $G_s$  relacionados à PAR, DPV e ao  $\Psi_{pd}$  mostraram-se robusto, apesar de simples, para a determinação da  $E$  e  $G_s$  para cana-de-açúcar.

## **5. RESULTADO E DISCUSSÃO DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA NO TRONCO E TRANSPIRAÇÃO LÍQUIDA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

A cultura da cana-de-açúcar se destaca pela grande influência na economia brasileira, além da produção de açúcar, na busca de fontes alternativas de combustível e energia, o Brasil tornando o maior produtor de álcool (DIAS et al., 2015).

Nos últimos anos, a produtividade agrícola da cana-de-açúcar apresentou aumento expressivo no Brasil, principalmente devido às novas variedades, manejo adequado do solo, uso de resíduos agroindustriais e uso racional de agroquímicos (SOUZA et al., 2015). Segundo dados publicados pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2015), o país produziu aproximadamente 660 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2015/16, ocorrendo um incremento de 3,8% em relação à safra anterior. O aumento não foi maior em razão da produtividade nos canaviais de São Paulo, maior estado produtor, que se recuperam de um impacto hídrico da safra anterior. No entanto, os canaviais do Nordeste foram novamente impactados pela restrição hídrica na região.

Sobre o consumo de água da cana-de-açúcar, estudos tornaram-se importantes frente à escassez dos recursos hídricos. Neste sentido, nos últimos anos, houve um aumento expressivo do número de pesquisas científicas relacionadas à medição da transpiração por meio de técnicas térmicas, a partir da determinação do movimento da seiva no interior do caule (BOEHRINGER et al., 2013). Esses autores afirmam que estudos no qual utilizam métodos de medição do fluxo de seiva são de grande relevância para identificar variedades de cana-de-açúcar resistentes ao estresse hídrico. Dessa maneira, a medição do fluxo de seiva é importante nos estudos destinados à quantificação do movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera.

Entre os métodos comumente utilizados para medidas de fluxo de seiva destacam-se o método de dissipação de calor e o método do balanço de calor. O primeiro foi desenvolvido por Granier em 1985, que consiste em sondas termoeletricas que são inseridas no tronco para a medição do fluxo de seiva. Para isto são necessárias duas sondas com junção de termopar de cobre e constantan. Quando uma corrente elétrica é fornecida à resistência, esta se aquece e os termopares medem a diferença de temperatura entre as agulhas, que são dependentes do fluxo de seiva. Quando não há fluxo de seiva, a diferença de temperatura é máxima; com o aumento

do fluxo de seiva, o calor é dissipado mais rapidamente da fonte de aquecimento e a diferença de temperatura diminui (PIMENTEL et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012).

Já, o segundo método foi adaptado por Sakuratani em 1981 que o empregou em plantas herbáceas. Esse método consiste no balanço de energia em um segmento do caule o qual é aquecido por um aquecedor elétrico. Desta maneira, o calor transmitido pelo aquecedor é subtraído pelas perdas (condução axial e radial), sendo o saldo desse balanço, o calor transportado pela seiva (TREJO-CHANDIA et al., 1997; MARIN et al., 2008b).

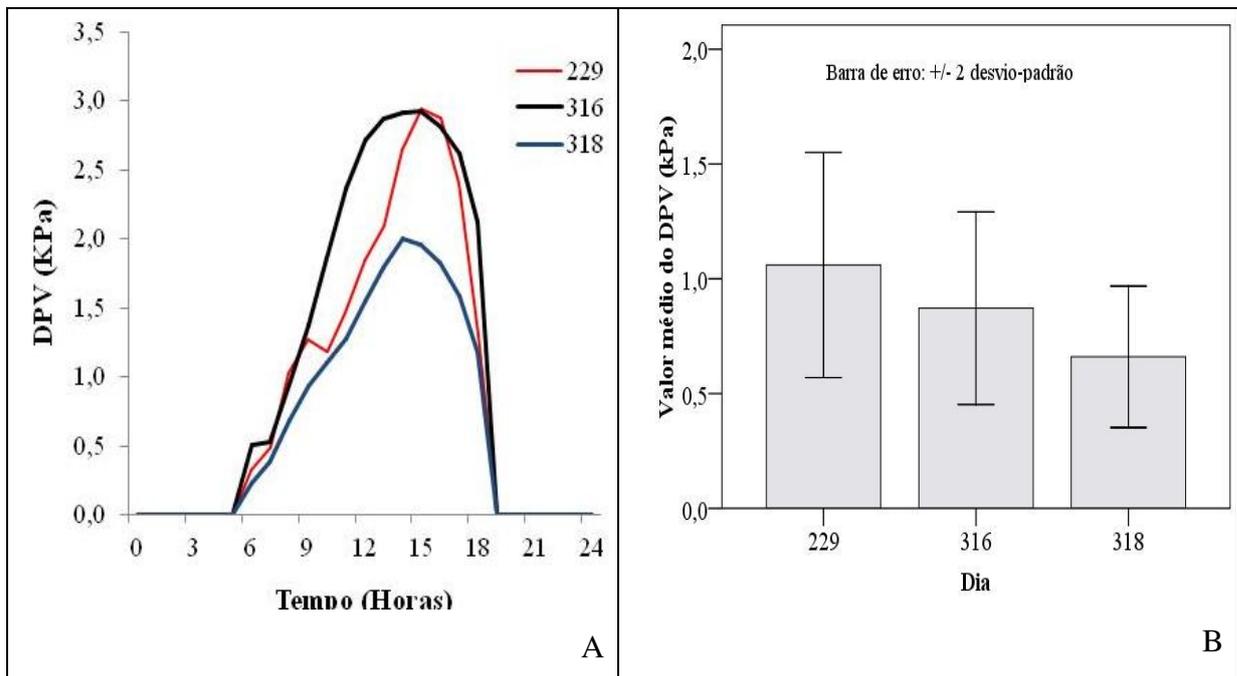
Os trabalhos mais recentes, cuja utilização do método do balanço de calor no segmento do caule para a medição da transpiração foram realizados por Burkhardt e Pariyar (2015) com objetivo de comparar o fluxo diário da faia-europeia (*Fagus sylvatica*) e pinheiro-da-escócia (*Pinus sylvestris*). Bai et al. (2015) com a finalidade de acompanhar o curso diário da transpiração e da condutância estomática do dossel de videira (*Vitis vinifera*) utilizaram a metodologia do balanço de calor. Para desenvolver um coeficiente de cultura (Kc) adequado para a mamona (*Ricinus communis*), Campbell et al. (2015) utilizaram o fluxo de seiva para alcançar os objetivos. Uddin et al. (2015) utilizaram medidas de fluxo de seiva associada ao método de covariância de vórtices turbulentos (*Eddy Covariance*) para estimar a evaporação e a transpiração do dossel de algodão (*Gossypium hirsutum*) após a irrigação, enquanto Zhang et al. (2016) utilizaram sensores de fluxo de seiva para determinar a evapotranspiração em plantas de milho de verão (*Zea mays*) e Torres-Ruiz et al. (2016) utilizaram sensores de fluxo de seiva para investigar as relações hídricas de kiwi (*Actinidia deliciosa*) em função do tempo de irrigação.

No entanto, para a cultura da cana-de-açúcar, poucos trabalhos foram publicados em relação à medição de fluxo de seiva. Destacam-se os trabalhos de Boehringer et al. (2013), cujo objetivo foi avaliar o desempenho do método do balanço de energia para a determinação do fluxo de seiva da cana-de-açúcar, de Nassif et al. (2014) que utilizaram os sensores para avaliar o consumo de água na escala de planta e de Marin et al. (2016a) que utilizaram sensores de fluxo de seiva para determinar o coeficiente de cultura (kc), parâmetro utilizado na irrigação, para plantas de café, cana-de-açúcar e limão.

Dessa maneira, esse capítulo visa apresentar o comportamento do fluxo de seiva diário em cana-de-açúcar em função dos potenciais hídricos das plantas bem como as condições climáticas locais, radiação global e déficit de pressão de vapor.

A Figura 14 apresenta o curso horário do DPV, para os dias 229 (17/08/2015), 316 (12/11/2015) e 318 (14/11/2015) (Figura 14A) e os valores médios diários do DPV, seguido da barra de erro mais o desvio-padrão (Figura 14B). Observa-se que, para os dias avaliados, os valores do DPV apresentaram comportamentos semelhantes, no qual o valor máximo de 2,9, 2,9 e 2,0 kPa, respectivamente, ocorrem as 15:00 h, sendo que para o dia 318 o DPV apresentou os menores valores em comparação aos demais dias, devido a ocorrência de precipitação, conforme apresentado pela Figura 7. Para esse mesmo dia, apresentou a menor média diária de DPV, com valor de 0,6 KPa.dia<sup>-1</sup> em relação aos demais dias, porém, estatisticamente os valores dos três dias avaliados, foram semelhantes, sendo o valor médio do DPV para o dia 229 foi 36% superior em relação ao valor médio do dia 318 (Figura 14B).

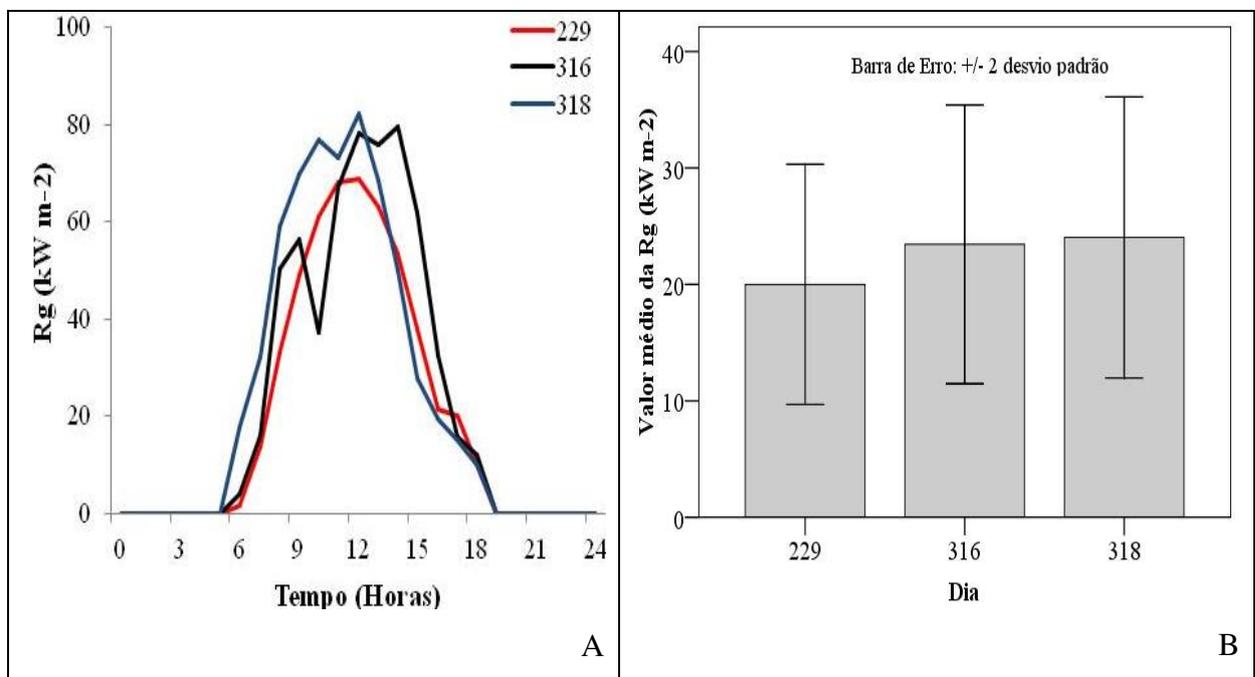
Figura 14 - Curso horário do déficit de pressão de vapor (DPV) (A) e os valores médios do déficit de pressão do vapor (DPV) para os dias 229, 316 e 318 (B). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.



A Figura 15 apresenta o curso horário da Rg, para os dias 229 (17/08/2015), 316 (12/11/2015) e 318 (14/11/2015) (Figura 15A) e os valores médios diários da Rg, seguido da barra de erro mais o desvio-padrão (Figura 15B). O curso da Rg seguiu um comportamento similar ao encontrado para os valores de DPV (Figura 14), no qual, os valores máximos de 69, 79 e 82 kW.m<sup>-2</sup> ocorreram às 13:00 para os dias 229 e 318 e, no dia 316, a máxima ocorreu às

14:00 h (Figura 15A). Neste último dia citado, observa-se que houve uma redução no valor da  $R_g$  às 10:00 h e também verifica-se uma redução no DPV (Figura 14A), neste mesmo intervalo. Para os valores médios diários da  $R_g$  (Figura 15B), os valores médios dos três dias avaliados não diferiram estatisticamente, conforme a ausência de sobreposição da barra de erro, sendo que para o dia 318, a  $R_g$  média foi 17% superior em relação ao dia 229, que este apresentou a menor média com o valor de  $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  (Figura 15B).

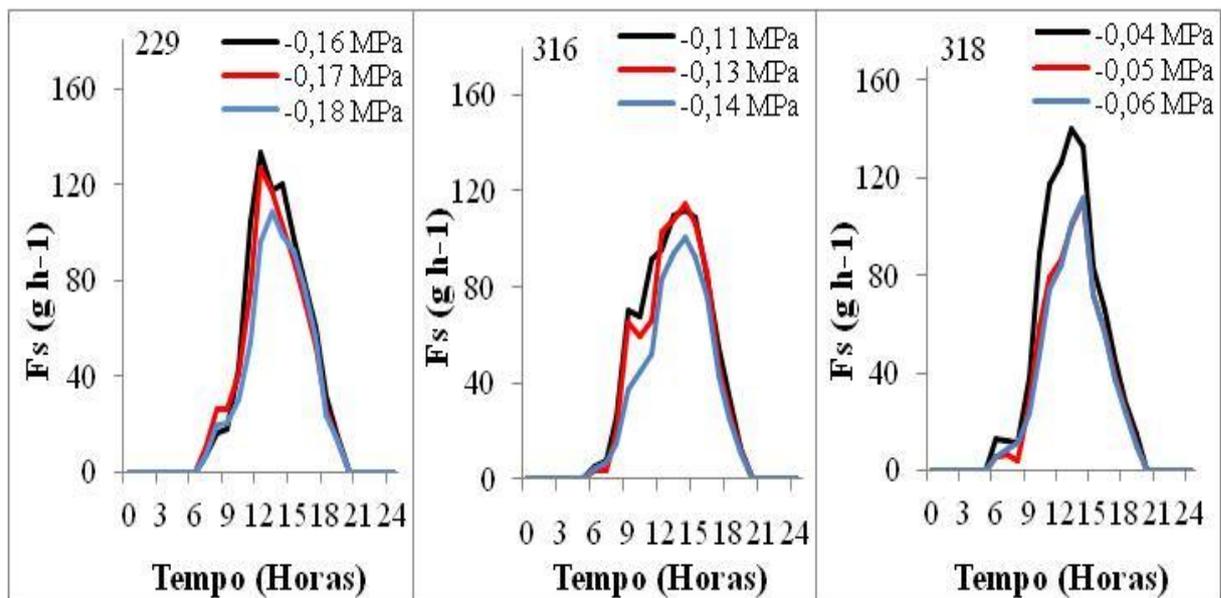
Figura 15 - Curso horário da radiação global ( $R_g$ ) (A) e os valores médios da radiação global ( $R_g$ ) para os dias 229, 316 e 318 (B). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.



A Figura 16 apresenta o curso diário da transpiração líquida ( $F_s$ ) e o respectivo valor do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) da cana-de-açúcar nos dias 229 (17/08/2015), 316 (12/11/2015) e 318 (14/11/2015). De modo geral, observa-se que a  $F_s$  apresentou comportamento semelhante entre os dias avaliados, no qual os valores máximos ocorreram 12:00 e 14:00 h. Além disso, observa-se que as plantas com menores  $\Psi_{pd}$  (maior restrição de água) apresentaram menores valores da  $F_s$  em relação às plantas com maiores  $\Psi_{pd}$  (menor restrição de água), conforme apresentado no dia 229, no qual o valor máximo da  $F_s$  de  $133 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  para a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd} -0,16 \text{ MPa}$ ) enquanto que a planta com maior restrição ( $\Psi_{pd} -0,18 \text{ MPa}$ ) a  $F_s$  máxima foi de  $108 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ . No dia 316, no qual a  $F_s$

máxima foi de  $112 \text{ g.h}^{-1}$  para a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd} -0,11 \text{ MPa}$ ) enquanto que a planta com maior restrição de água ( $\Psi_{pd} -0,14 \text{ MPa}$ ) a  $F_s$  máxima foi de  $101 \text{ g.h}^{-1}$ . Já no dia 318, no qual a  $F_s$  máxima foi de  $140 \text{ g.h}^{-1}$  para a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd} -0,04 \text{ MPa}$ ) enquanto que a planta com maior restrição ( $\Psi_{pd} -0,06 \text{ MPa}$ ) a  $F_s$  máxima foi de  $111 \text{ g.h}^{-1}$ . No entanto, neste mesmo dia, a planta com  $\Psi_{pd}$  de  $-0,05 \text{ MPa}$  apresentou o valor máximo de  $111 \text{ g.h}^{-1}$ , sendo o mesmo valor da planta com  $\Psi_{pd}$  de  $-0,06 \text{ MPa}$ . Os maiores valores de  $F_s$  no dia 318 estão relacionados com a menor restrição de água para as plantas bem como a maior radiação solar apresentada em relação aos demais dias, com o valor integral da  $R_g$  de  $601 \text{ kW.m}^{-2}$ , que comparado com o dia 229 a integral da  $R_g$  foi de  $500 \text{ kW.m}^{-2}$ .

Figura 16 - Curso diário do fluxo de seiva (FS) e do respectivo potencial hídrico foliar antemanhã para os dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.



Observa-se ainda pela Figura 16 que no período da manhã para o dia 229 houve uma estabilidade nos valores de  $F_s$ , entre 6:00 e 7:00, para as plantas com diferentes  $\Psi_{pd}$ . Esse resultado da  $F_s$  está relacionado com o comportamento do DPV em que apresentou uma estabilidade nesse mesmo horário, conforme apresentado na Figura 2. Também foi verificado comportamento semelhante em que ocorreu a redução nos valores da  $F_s$ , no dia 316 às 10:00 e

esse decréscimo da  $F_s$  acompanhou a redução nos valores da  $R_g$  e  $DPV$ , conforme apresentado na Figura 14.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração líquida média ( $F_s$  média) e transpiração líquida total ( $F_s$  total) da cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Observa-se que, no dia 229, a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,16 MPa) apresentou a  $F_s$  média e  $F_s$  total superior em 18 e 17% respectivamente, em relação à planta com maior restrição de água na folha ( $\Psi_{pd}$  -0,18 MPa). Já no dia 316, a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,11 MPa) apresentou a  $F_s$  média e  $F_s$  total superior em 23 e 22% respectivamente, em relação à planta com maior restrição de água na folha ( $\Psi_{pd}$  -0,14 MPa). Para o dia 318, a planta com menor restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,04 MPa) apresentou a  $F_s$  média e  $F_s$  total superior em 27% respectivamente, em relação à planta com maior restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,06 MPa).

Tabela 2. Valores do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração líquida média ( $F_s$  média) e transpiração líquida total ( $F_s$  total) da cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Dia	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$F_s$ média (g.h <sup>-1</sup> )	$F_s$ total (g.dia <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )
229	-0,16	34	844
	-0,17	31	780
	-0,18	28	699
316	-0,11	35	881
	-0,13	33	826
	-0,14	27	687
318	-0,04	37	916
	-0,05	27	684
	-0,06	27	667

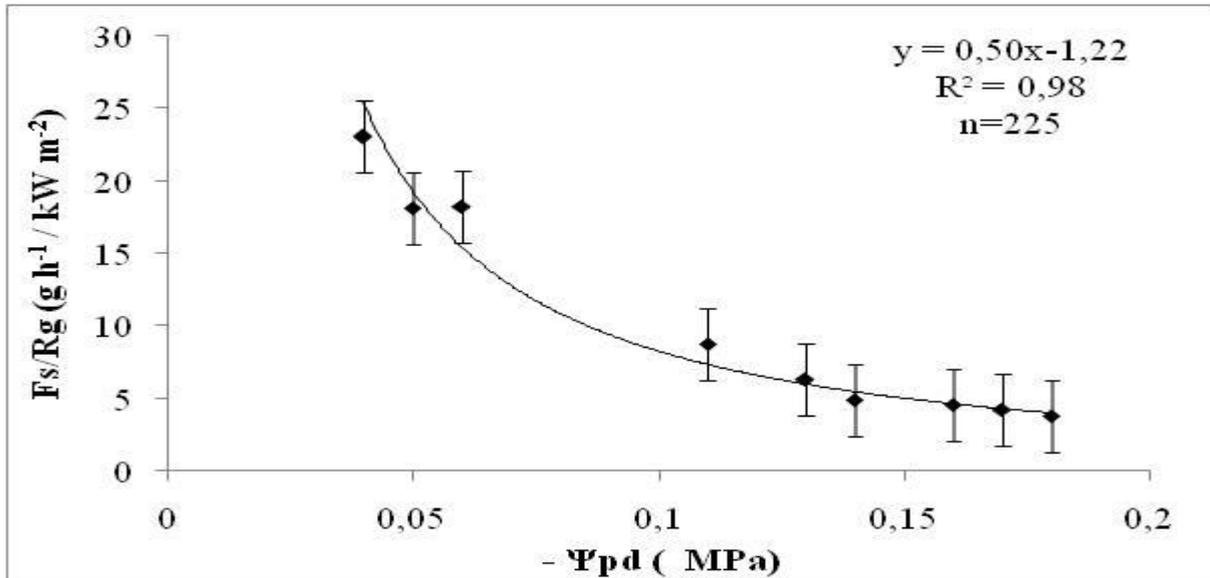
Cabe ressaltar que o mês de agosto é caracterizado pelo inverno, onde ocorrem menores frequências e volumes de chuva, fazendo com que as plantas apresentassem maiores restrições de água, sendo que a maior  $F_s$  total de 916 g.dia<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> foi para a planta com menor

restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,18 MPa). Enquanto que no mês de novembro, caracterizado pela primavera, ocorre maiores frequências e volumes de chuva, fazendo com que as plantas apresentassem menores restrições de água, assim, para a planta com  $\Psi_{pd}$  de -0,04 MPa, a  $F_s$  total foi de  $916 \text{ g}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , conforme apresentado pela Figura 7, onde apresenta as maiores volumes de chuva no mês de novembro, com um volume acumulado de 147,3 mm, enquanto para o mês de agosto a chuva acumulada foi de 26,7 mm.

A fim de verificar a influência do  $\Psi_{pd}$  no comportamento da  $F_s$ , as Figuras 17 a 20 apresentam a relação entre a transpiração líquida e a radiação global ( $F_s/R_g$ ) (Figura 17), a relação  $F_s/R_g$  separando os valores no período da manhã e tarde (Figura 18), a relação entre a transpiração líquida e o déficit de pressão de vapor ( $F_s/DPV$ ) (Figura 19) e a relação  $F_s/DPV$  separando o comportamento no período da manhã e tarde (Figura 20) em função do  $\Psi_{pd}$ . Observou-se uma correlação positiva ( $\rho=0,97$ ) entre os valores de  $F_s/R_g$  com o  $\Psi_{pd}$  (Figura 17), em que para as plantas com situação menos restritiva de água, o fluxo de seiva foi maior em relação às plantas com maior restrição de água, o que vem reforçar os dados apresentados na Figura 16 e na Tabela 2.

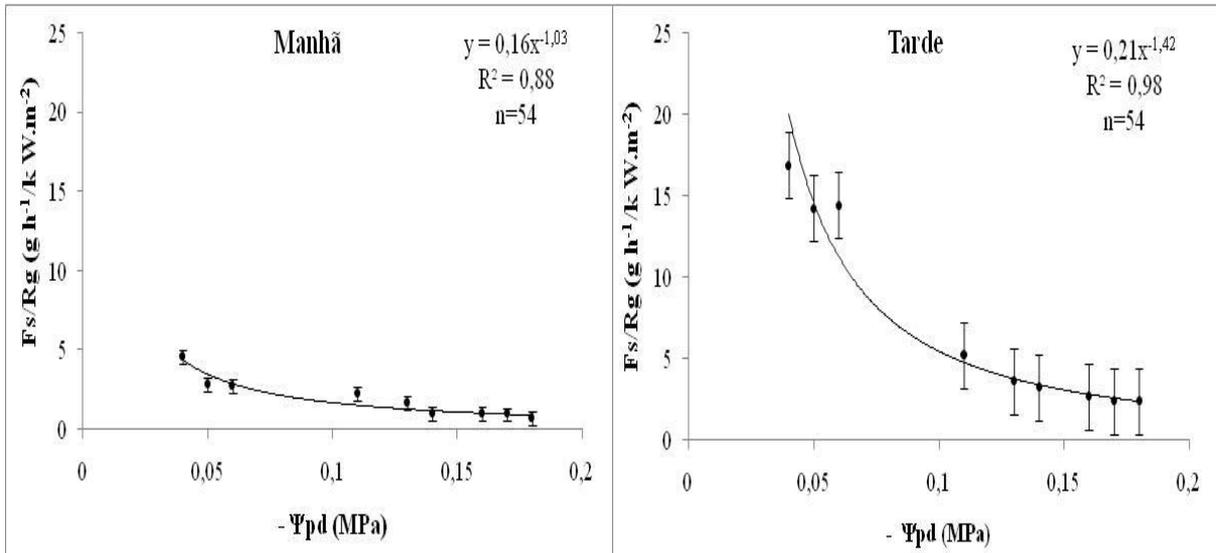
Observa-se, também, pela Figura 17 há existência de um modelo simplificado de mudança de escala para determinação da transpiração da cana-de-açúcar, no qual nota-se, que informado os valores de  $\Psi_{pd}$  e da  $R_g$ , é possível obter os valores de  $F_s$ .

Figura 17 - Relação entre a transpiração líquida total/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 25 observações e as barras verticais o desvio-padrão.



A Figura 18 apresenta a relação entre a transpiração líquida/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Observa-se, tanto no período da manhã como no período da tarde uma correlação positiva,  $\rho=0,93$  e  $0,96$  respectivamente, entre a  $F_s/R_g$  com o  $\psi_{pd}$ . Desse modo, observa-se uma influência menor da  $R_g$  nos valores de  $F_s$  em relação ao  $\psi_{pd}$  no período da manhã. Isso mostra que a  $F_s$  pode apresentar uma maior aderência ao déficit de pressão de vapor no período da manhã. Já no período da tarde, ocorre uma maior influência da  $R_g$  nos valores diários da  $F_s$  da cana-de-açúcar.

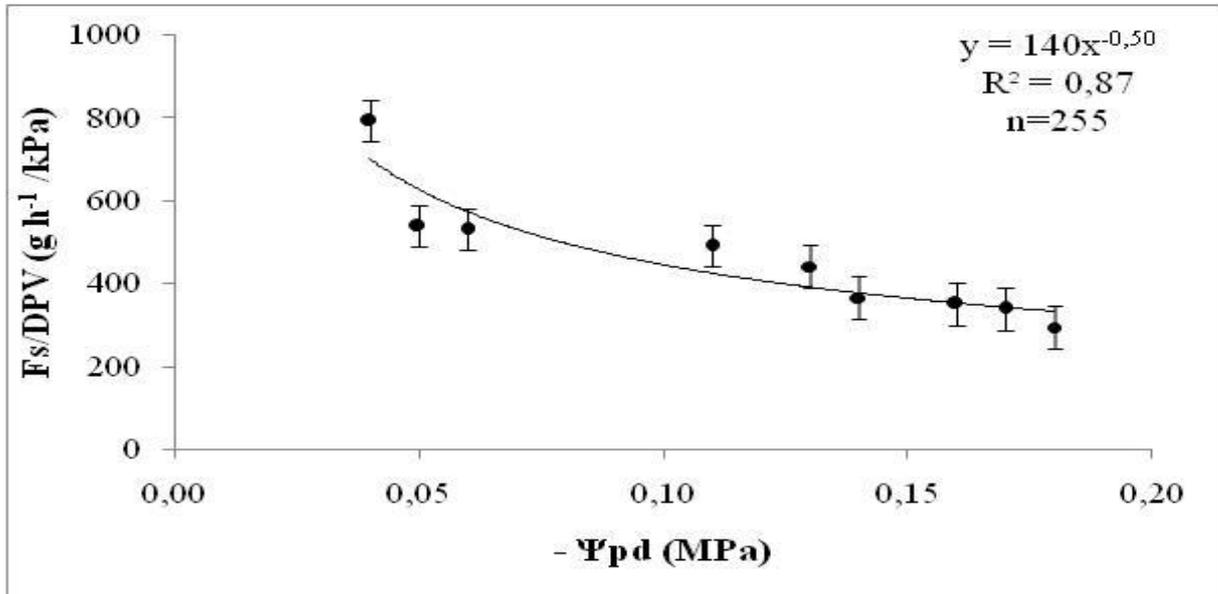
Figura 18 - Relação entre a transpiração líquida/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 6 observações e as barras verticais o desvio-padrão.



A Figura 19 apresenta a relação entre a transpiração líquida/deficit de pressão de vapor ( $F_s/DPV$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Observou-se uma correlação positiva ( $\rho=0,90$ ) entre os valores de  $F_s/DPV$  com o  $\Psi_{pd}$ , em que para plantas com situação menos restritiva de água, o fluxo de seiva é maior em relação às plantas com maior restrição de água, o que vem reforçar os dados apresentados na Figura 14 e Tabela 2.

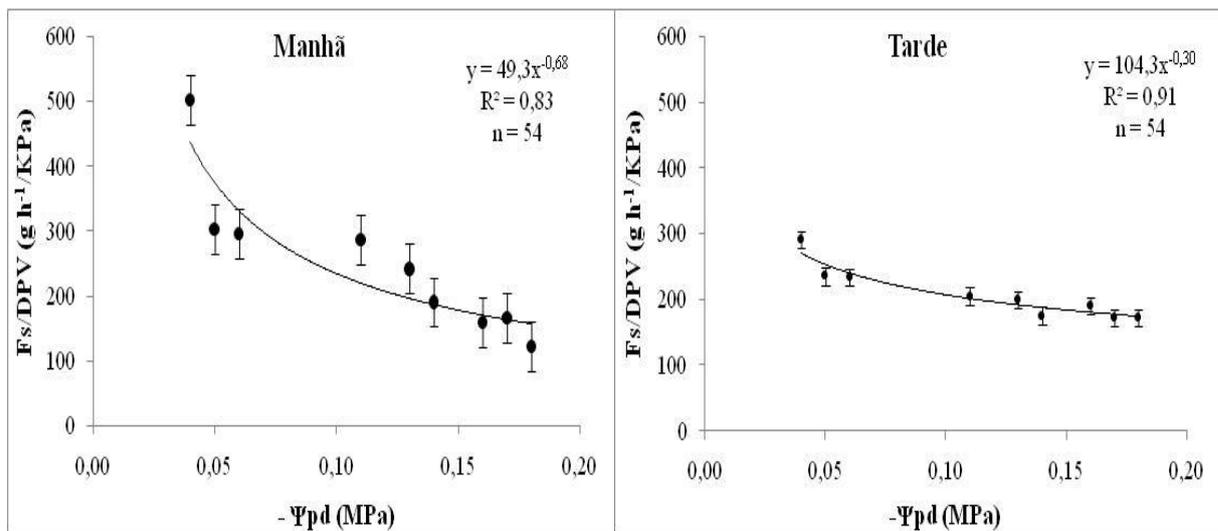
Observa-se, também, pela Figura 19 há existência de um modelo simplificado de mudança de escala para determinação da transpiração da cana-de-açúcar, no qual nota-se, que informado os valores de  $\Psi_{pd}$  e do DPV, é possível obter os valores de  $F_s$ .

Figura 19 - Relação entre a transpiração líquida/radiação global ( $F_s/R_g$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 25 observações e as barras verticais o desvio-padrão.



A Figura 20 apresenta a relação entre a transpiração líquida/deficit de pressão de vapor ( $F_s/DPV$ ) para diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 17/08, 12/11 e 14/11/2015. Observa-se, tanto no período da manhã como no período da tarde uma correlação positiva,  $\rho=0,89$  e  $0,92$  respectivamente, entre o  $F_s/DPV$  com o  $\Psi_{pd}$ . Desse modo, observa-se uma maior influência do DPV nos valores de  $F_s$  em relação ao  $\Psi_{pd}$ , no período da tarde. Enquanto que no período da manhã, ocorreu uma menor influência do DPV na resposta da  $F_s$  da cana-de-açúcar. Isso mostra uma melhor aderência da  $R_g$  no comportamento do  $F_s$  da cana-de-açúcar, principalmente no período matutino.

Figura 20 - Relação entre a transpiração líquida/déficit de pressão de vapor ( $F_s/DPV$ ) para cana-de-açúcar, no período da manhã e tarde, nos dias 229, 316 e 318. Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Cada ponto representa o somatório de 6 observações e as barras verticais o desvio-padrão.



De acordo com os resultados apresentados, observou-se que a quantidade de água no solo, caracterizado pelos valores de  $\Psi_{pd}$ , interfere nos processos fisiológicos dos vegetais, principalmente na quantificação da transpiração por parte das plantas. Além disso, as respostas do fluxo de seiva são impulsionadas não só pelas condições de umidade do solo, mas também pelos fatores meteorológicos, especialmente a radiação solar e ao déficit de pressão de vapor (CHEN et al., 2014; ZHANG et al., 2015).

Vários estudos observaram o comportamento da transpiração, através de medidas de fluxo de seiva, em relação aos fatores climáticos e disponibilidade de água (KUME et al., 2010; LIN, 2010; BOEHRINGER et al., 2013; CHANG et al., 2014; CHEN et al., 2014; HUANG et al., 2015; NADESHDINA et al., 2015; SÁNCHEZ-COSTA et al., 2015; ZHANG et al., 2015; LI et al., 2016). Eller et al. (2015) verificaram que, para a casca-de-anta (*Drimys brasiliensis*), a planta dependia fortemente das condições climáticas e que devido à alta  $R_g$  e elevado DPV, a transpiração total diária chegou ao valor de  $1.166,9 \text{ kg.m}^{-2}$ , enquanto que em dias de chuva, a transpiração total atingiu o valor de  $4,5 \text{ kg.m}^{-2}$ , uma redução de 99,6%.

Apesar desse trabalho não ter apresentado resultados da  $F_s$  em condições de dias nublados, verifica-se uma forte dependência tanto da  $R_g$  como de DPV, no qual houve uma aderência do comportamento da  $F_s$  (Figura 16) com as condições ambientais, conforme as Figuras 14A e 15A.

Dados obtidos por Nassif et al. (2014) mostraram que, durante o mês de setembro de 2011, a taxa de transpiração da cana-de-açúcar foi menor, devido à ocorrência da radiação solar mais baixa (inverno) quando comparado com a estação chuvosa (verão). Conforme os resultados apresentados nessa pesquisa, o valor da  $F_s$  do dia 17/08/2015 (inverno) foi menor em relação ao  $F_s$  do dia 14/11/2015 (primavera), conforme apresentado na Tabela 2.

Dados obtidos por Boehringer et al. (2013) para a cana-de-açúcar mostraram que, para condição de céu parcialmente nublado, a transpiração máxima foi superior a  $100 \text{ g.h}^{-1}$  e, para condição de céu nublado, a transpiração máxima registrada foi de  $27 \text{ g.h}^{-1}$ . De acordo com esses autores, o método do balanço de energia apresentou desempenho satisfatório para a determinação da transpiração da cana-de-açúcar, tanto em condições de céu nublado como de parcialmente nublado, tendo subestimado a transpiração em apenas  $3,0$  e  $6,5 \text{ g.planta}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , respectivamente. Dessa maneira, os dias avaliados, de um modo geral, tiveram condição de céu limpo e os valores da  $F_s$  foram superiores a  $100 \text{ g.h}^{-1}$ , conforme apresentado na Figura 16.

No mês de novembro, as plantas de cana-de-açúcar apresentaram menores restrições de água devido à maior ocorrência de chuvas no período, conforme apresentado na Tabela 2 e assim, apresentaram os maiores valores de  $F_s$ , conforme também ilustrado na Figura 16. Para *Salix psammophila*, planta originária do noroeste da China, durante os eventos de chuva, a  $F_s$  foi muito baixo, mas, imediatamente após a chuva, o valor do pico da  $F_s$  aumentou significativamente devido a uma melhor disponibilidade de água no solo e aumento da radiação e da temperatura do ar (HUANG et al., 2015). No trabalho de Li et al. (2016), na escala horária, a velocidade da  $F_s$  de *Populus euphratica* foi positivamente correlacionada com todas as variáveis ambientais estudadas (Temperatura, radiação solar, déficit de pressão de vapor e disponibilidade de água no solo), corroborando com os dados obtidos nesse trabalho. Segundo Lin (2010), a localização específica de cada planta promove uma heterogeneidade nas medidas realizadas e, conseqüentemente, uma resposta intrínseca no comportamento ecofisiológico da planta. Desse modo, algumas plantas, mesmo com maiores restrições de água, apresentaram  $F_s$  maior em relação à planta com menor restrição de água,

conforme apresentado na Figura 16 em que a planta com  $\Psi_{pd}$  de -0,05 apresentou o valor máximo igual a planta com  $\Psi_{pd}$  de -0,06.

Conforme o comportamento da  $F_s$  apresentado na Figura 16, a resposta da  $F_s$  da cana-de-açúcar seguiu o comportamento do DPV (Figura 14A), principalmente no período da tarde (Figura 20). No trabalho de Bosch et al. (2014) foi encontrado o mesmo comportamento do  $F_s$ , o qual seguiu os padrões observados do DPV. Nos resultados obtidos por Nadeshkina et al. (2015), a relação entre DPV e  $F_s$  foi observado como sendo bastante elevada, mas variando ao longo do dia. Dados obtidos por Tonello e Teixeira Filho (2011) mostraram que, para o eucalipto, a melhor interação entre a transpiração e o DPV ocorreu no período da manhã, podendo este comportamento estar relacionado ao fato do DPV acompanhar (nesse período) o aumento da  $R_g$ . Os autores concluíram que, nesta situação, as duas variáveis ambientais conjuntas irão impulsionar as trocas gasosas até às 12:00.

Para várias culturas, verificam-se que há redução da taxa de transpiração próximo às 12:00, devido ao mecanismo de fechamento dos estômatos para evitar a perda de água, e que volta a subir no fim da tarde, quanto a demanda evaporativa do ar é elevada (BASNAYAKE et al, 2015). Esse comportamento foi verificado por Pinto Jr. et al. (2013), no qual afirmam que, devido a esse controle estomático, a redução no  $F_s$  varia de estação para estação do ano. Ferraz et al. (2015) afirmam que vários trabalhos apresentaram resultados onde mesmo com alta disponibilidade de água no solo e um alto valor de DPV, as plantas mantiveram um significativo controle estomático, resultando em queda na condutância estomática e conseqüentemente, a redução da transpiração. Ainda, esses autores afirmam para o mamão (*Carica papaya*) no verão, devido ao déficit de pressão de vapor elevado (4 KPa), houve o fechamento dos estômatos. No entanto, não foi identificado esse comportamento nos resultados apresentados desta pesquisa. Um dos papéis mais bem entendidos dos estômatos é manter a condição hídrica da planta, limitando a perda de água durante períodos de baixa disponibilidade de água ou alta demanda da transpiração devido ao déficit de pressão de vapor (BASNAYAKE et al., 2015).

Condições climáticas extremas (temperatura, chuva e radiação) são os fatores chave para a produção de cana-de-açúcar em todo o mundo, por ser uma planta de metabolismo do tipo C4 (ZHAO; LI, 2015). Marin et al. (2008a) afirmam que a eficiência da cana-de-açúcar demonstra uma forte correlação com a radiação solar, precipitação anual e os déficits hídricos, fatores que corroboram os encontrados nesta pesquisa. A eficiência de crescimento da cultura

é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada e sua conversão em matéria seca (VAN HEERDEN et al., 2010). De acordo com Ellsworth e Cousins (2016), a eficiência de plantas C4, em maior produtividade, pode ser definida pela transpiração da planta. Segundo Boehringer et al. (2013), quando dados de transpiração e do  $F_s$  são analisados em escala diária, a transpiração da cana-de-açúcar foi subestimada em aproximadamente 7% da transpiração máxima.

Cabe ressaltar que, nessa pesquisa, foi descartado o comportamento noturno do fluxo de seiva nas plantas, na qual não justificaria uma possível ocorrência de transpiração nas folhas. Segundo Reyes-Acosta e Lubczynski (2014), o fluxo de seiva noturno pode ser explicado como um movimento noturno de água desde a raiz até a copa, impulsionado pelo potencial de água de baixa pressão remanescente, após esgotamento de água durante o dia.

Assim, medidas de fluxo de seiva são adequadas para a determinação da transpiração em cana-de-açúcar. Basnayake et al. (2015) relataram que a  $R_g$  e o DPV são os parâmetros ambientais dominantes no comportamento ecofisiológico da cana-de-açúcar. Dessa maneira, as variações no curso diário da transpiração líquida em cana-de-açúcar foram controladas pelas condições ambientais a que as plantas estavam submetidas.

Assim, medidas de fluxo de seiva são adequadas para a determinação da transpiração em cana-de-açúcar. Basnayake et al. (2015) relataram que a  $R_g$  e o DPV são os parâmetros ambientais dominantes no comportamento ecofisiológico da cana-de-açúcar. Dessa maneira, as variações no curso diário da transpiração líquida em cana-de-açúcar foram controladas pelas condições ambientais a que as plantas estavam submetidas.

Conforme a metodologia utilizada e os resultados obtidos, conclui-se que medida de fluxo de seiva, com método de balanço de energia permite, de forma adequada, a determinação da transpiração da cultura da cana-de-açúcar em escala horária e diária.

A transpiração líquida ( $F_s$ ) da cana-de-açúcar foi altamente correlacionada com as condições do clima e da disponibilidade de água.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA COMPARAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO FOLIAR E DO FLUXO DE SEIVA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO CLIMA E POTENCIAL HÍDRICO.

A demanda por fontes de energia alternativas, aliada ao alto preço e o impacto ambiental causado pelos combustíveis fósseis são os principais fatores que tornam os biocombustíveis, especialmente o etanol proveniente da cana-de-açúcar, um dos combustíveis mais competitivos no mercado global (RAMOS et al., 2016). O Brasil é o líder mundial na produção de cana-de-açúcar, com cerca de 634,8 milhões de toneladas por ano (Albuquerque et al., 2016).

Para o desenvolvimento da cultura em uma determinada região, é fundamental o conhecimento do comportamento ecofisiológico em cada ambiente de produção. Vários fatores meteorológicos podem interagir para influenciar as respostas ecofisiológicas das plantas, como precipitação, radiação solar, temperatura, umidade e vento (INMAN-BAMBER et al., 2012; HUANG; ZHANG, 2016; HUANG et al., 2015; ANTUNES et al., 2016).

A ecofisiologia vegetal é a ciência que trata os processos e as respostas vitais das plantas em função das mudanças nos fatores ambientais descrevendo as respostas dos organismos em relação às condições do ambiente e a análise das causas de seus correspondentes mecanismos fisiológicos (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2013).

Diversos pesquisadores avaliaram as trocas gasosas, especialmente a transpiração, a fim de determinar se as condições do clima poderiam influenciar as respostas ecofisiológicas das plantas. Baron et al. (2015) verificaram se as condições ambientais do Cerrado poderiam influenciar as trocas gasosas de assa-peixe (*Vernonia polyanthes*); Rasheed et al. (2015) verificaram o efeito do déficit de pressão de vapor sobre a eficiência da transpiração de álamo (*Populus nigra*); Gíron et al. (2015) verificaram quais os efeitos de uma seca moderada nas trocas gasosas foliares de oliveira (*Olea europaea*); Sun et al. (2015) analisaram as trocas gasosas entre a folha e atmosfera de luzerna-cortada (*Medicago truncatula*); Tonello e Teixeira Filho (2013) avaliaram a influência da radiação global e disponibilidade hídrica com a transpiração e condutância estomática de dois clones comerciais de *Eucalyptus* sp. na escala foliar; Anderson et al. (2015) determinaram a evapotranspiração de cana-de-açúcar irrigada sob influência das condições de vento; Jackson et al. (2016) compararam a variação genética de cinco genótipos de cana-de-açúcar em relação à eficiência da transpiração foliar. Para

realização desses trabalhos, os autores utilizaram o analisador de gás-infravermelho (IRGA), para mensurar as trocas gasosas diretamente nas folhas das plantas.

Para analisar a transpiração da planta inteira, comumente são utilizados sensores de fluxo de seiva, para quantificar o movimento de água pelo caule no sistema solo-planta-atmosfera. Conforme os trabalhos de Boehringer et al. (2013), cujo objetivo foi avaliar o desempenho do método do balanço de energia para a determinação da transpiração da cana-de-açúcar; Pinto Jr. et al. (2013) caracterizaram a dependência do fluxo de seiva em função do déficit de pressão de vapor da atmosfera em espécies da floresta de transição Amazônia e Cerrado; Chen et al. (2014) avaliaram a resposta do fluxo de seiva em relação a fatores meteorológicos sob diferentes condições de umidade do solo em jujuba (*Ziziphus jujuba*); Nassif et al. (2013) utilizaram os sensores para avaliar o consumo de água da cana-de-açúcar na escala de planta; Wieser et al. (2014) analisaram o impacto dos fatores ambientais na transpiração de pinheiro mugo (*Pinus cembra*); Bai et al. (2015) acompanharam o curso diário da transpiração e da condutância estomática do dossel de videira (*Vitis vinifera*); Marin et al. (2016a) utilizaram sensores de fluxo de seiva para determinar o coeficiente de cultura (kc) para café (*Coffea arabica*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e limoeiro (*Citrus limonum*); e Torres-Ruiz et al. (2016) utilizaram sensores de fluxo de seiva para investigar as relações hídricas de plantas de kiwi (*Actinidia deliciosa*).

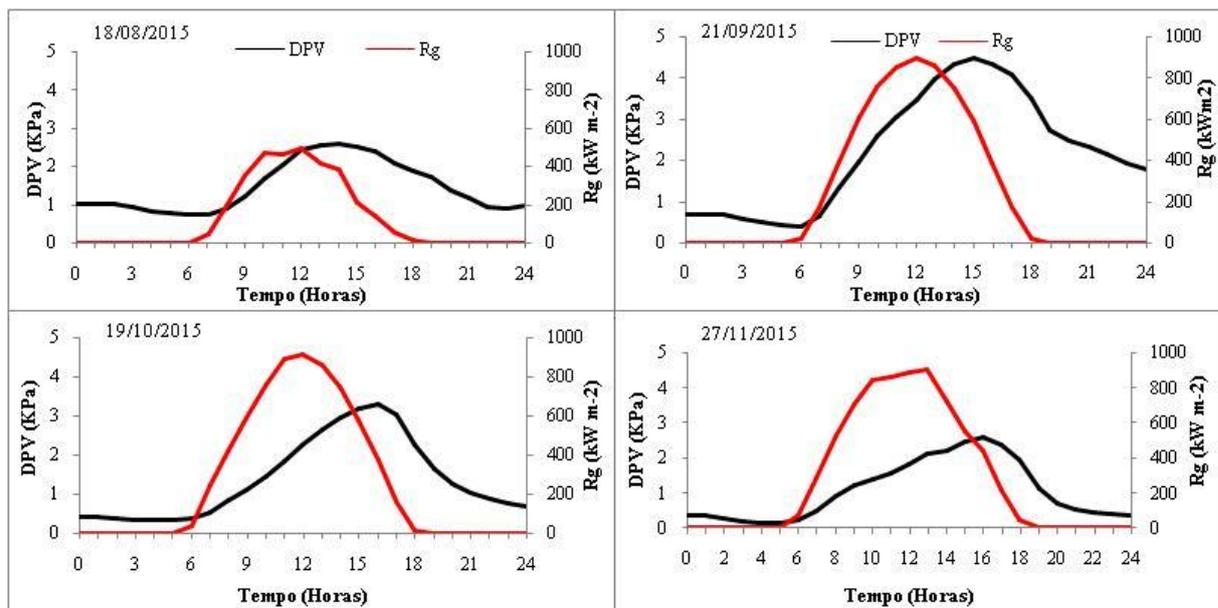
Em menor número de pesquisas, são utilizadas a associação de medidas nas folhas e fluxo de seiva. Marino et al. (2014) avaliaram a troca gasosa, o fluxo de seiva e as relações hídricas em oliveira (*Olea europaea*); dentre os objetivos do trabalho de Zhao e Zhao (2015) está a associação das medidas na folha e fluxo de seiva no caule, para determinar a transpiração da copa em plantas de milho (*Zea mays*), associando medidas de fluxo de seiva e transpiração na folha com porometria. Paudel et al. (2015) tiveram como objetivo simular a transpiração de pessegueiro (*Prunus persica*) em ambas condições de presença e ausência de estresse hídrico com auxílio das duas metodologias.

Como exposto acima, o objetivo do capítulo foi analisar em escala horária a transpiração na escala de folha e na escala de planta, com utilização da porometria e fluxo de seiva, respectivamente, em função das condições climáticas e do potencial hídrico foliar da planta.

Na Figura 21, está apresentado o curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) e da radiação global (Rg). Para os dias monitorados, observa-se que os valores máximos do

DPV ocorreram no período vespertino, quando a temperatura do ar é elevada e a umidade relativa do ar é baixa, principalmente após as 14:00, destacando-se o dia 21/09/2015 em que o valor extremo foi de 4,5 KPa que ocorreu às 15:00. No dia 18/07/2015, o valor máximo foi de 2,6 KPa ocorrendo às 14:00 h e, nos dias 19/10/2015 e 27/11/2015, as máximas ocorreram às 16:00 h, com valores de 2,6 e 3,3 KPa, respectivamente. Já a Rg, para os dias monitorados, atingiu seu ápice às 12:00, exceto no dia 27/11 em que a máxima ocorreu às 13:00 h, com o valor de 907 KW.m<sup>-2</sup>. No dia 18/07/2015, a radiação máxima foi de 495 KW.m<sup>-2</sup>, sendo a mais baixa (dos valores máximos) para o horário.

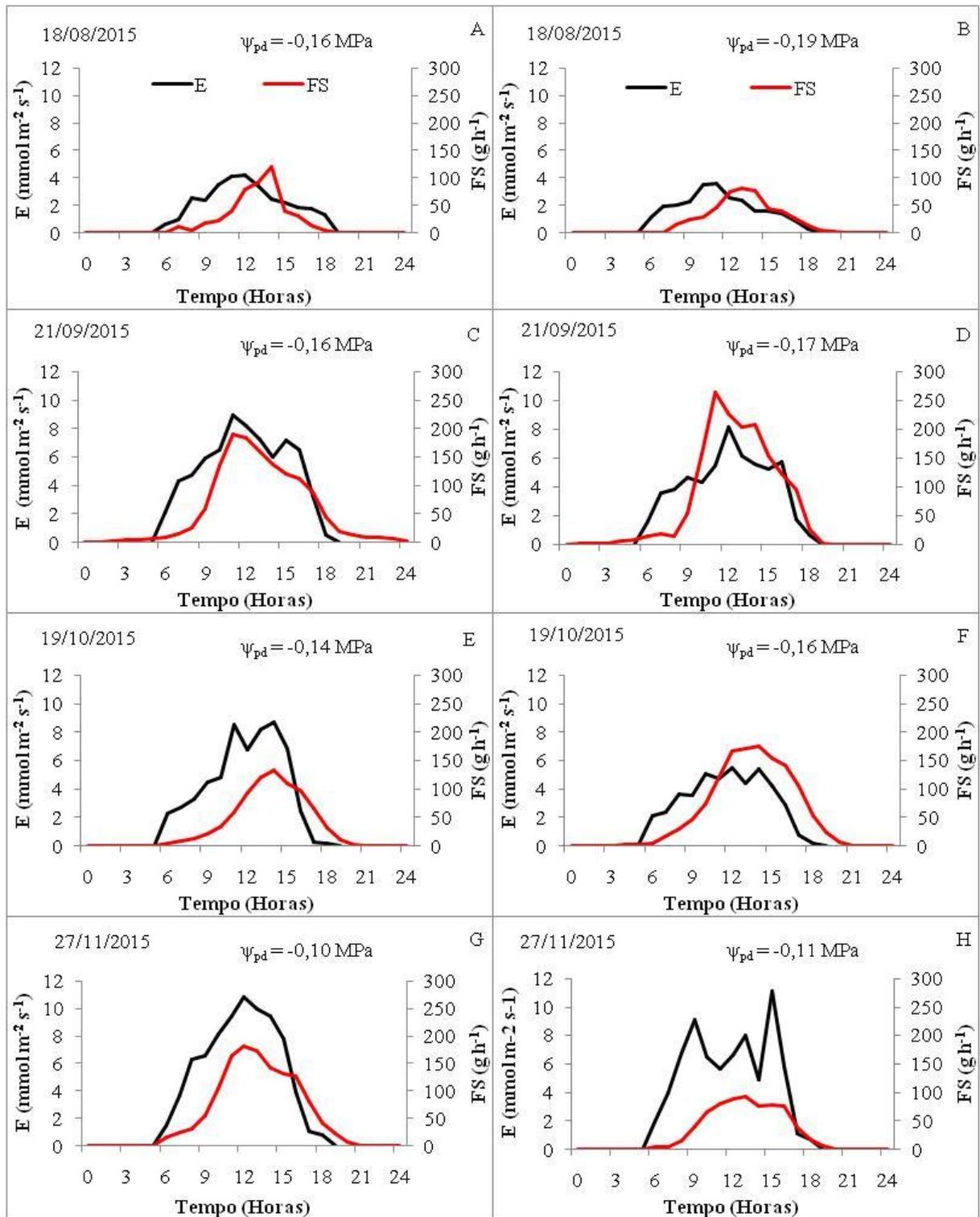
Figura 21 - Curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) e da radiação global (Rg) para os dias monitorados na Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP



A Figura 22 apresenta o valor do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) e o curso diário da transpiração foliar (E) e do fluxo de seiva caulinar (FS) da cana-de-açúcar. Observe-se que cada dia apresenta os valores de duas plantas com  $\Psi_{pd}$  diferentes. Sendo assim, para o dia 18/08/2015, a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,16 MPa (Figura 22A), cuja transpiração foliar máxima ( $E_{max}$ ) registrada foi de 4,2 mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> às 12:00 h, mesmo horário da Rg máxima (Figura 21), enquanto o fluxo de seiva máximo ( $F_{smax}$ ) foi de 120 g.h<sup>-1</sup> ocorreu às 14:00 h. Já para a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,19 MPa (Figura 22B), a  $E_{max}$  registrada às 11:00 h foi de 3,56 mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, enquanto o  $F_{smax}$  apresentou o valor de 81,33 g.h<sup>-1</sup> ocorrendo às 13:00 h.

Na Figura 22C, observa-se que tanto para E como para FS, os valores máximos coincidiram no mesmo horário (12:00 h) sendo  $90 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $190 \text{ g.h}^{-1}$  para E e FS respectivamente. Na Figura 22D, observa-se que o FS atingiu o máximo às 11:00 h, enquanto a E ocorreu às 12:00 h. Ainda nessa Figura, nota-se que após atingir o valor máximo, nas próximas horas, ocorreu uma redução tanto para E como para FS, mas, depois, às 15:00 h, ocorreu uma elevação no curso da E e às 16:00 h, para o FS. Esse mesmo comportamento ocorreu para a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a  $-0,16 \text{ MPa}$  (Figura 22C). Esse fato coincide com o valor elevado apresentado pelo DPV às 15:00 h, para o mesmo dia (Figura 21). Para o dia 19/10/2015, para a planta com  $\Psi_{pd}$   $-0,14 \text{ MPa}$ , os maiores valores de E e FS ocorreram às 14:00, com os valores de  $8,7 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $132 \text{ g.h}^{-1}$  (Figura 22E) e para planta com  $\Psi_{pd}$   $-0,16 \text{ MPa}$  o maior valor para E foi de  $5,5 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 12:00 h e do FS  $175 \text{ g.h}^{-1}$  às 14:00 h (Figura 22F). Para o dia 27/11/2015, para planta com  $\Psi_{pd}$   $-0,10 \text{ MPa}$ , tanto para E como para FS, os valores máximos ocorreram no mesmo horário, às 12:00 h, com valores de  $10,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $181 \text{ g h}^{-1}$ , respectivamente (Figura 22G). Para a planta com  $\Psi_{pd}$   $-0,11 \text{ MPa}$ , observa-se no período avaliado, que houveram três picos nos valores de E, sendo o primeiro às 9:00, 13:00 e 15:00 h, respectivamente, no qual esse último foi o valor máximo registrado da E atingido no dia, com valor de  $11,1 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Em relação ao FS, o valor máximo de  $93,1 \text{ g.h}^{-1}$  ocorreu às 13:00 h e, posteriormente, ocorreu uma queda na taxa de FS ( $76 \text{ g.h}^{-1}$ ), como observado para a taxa da E às 14:00 h e, novamente às 15:00 h, houve uma elevação na taxa de FS ( $78 \text{ g.h}^{-1}$ ) (Figura 22H), provavelmente pelo incremento do valor atingido pelo DPV, conforme a Figura 21.

Figura 22 - Valor do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) e curso diário da transpiração foliar (E) e do fluxo de seiva caulinar (FS) da cana-de-açúcar.



Ainda na Figura 22, observa-se que para os valores máximos de E, as plantas que apresentaram menores restrições de água, isto é, valores menos negativos de  $\Psi_{pd}$ , as taxas de transpiração na folha foram maiores do que as plantas com maiores restrições de água ( $\Psi_{pd}$

mais negativo). No entanto, esse comportamento para o FS foi apenas observado nas plantas A e G, que o FS máximo foi maior do que as plantas que apresentaram  $\Psi_{pd}$  menores do que essas plantas (plantas B e H).

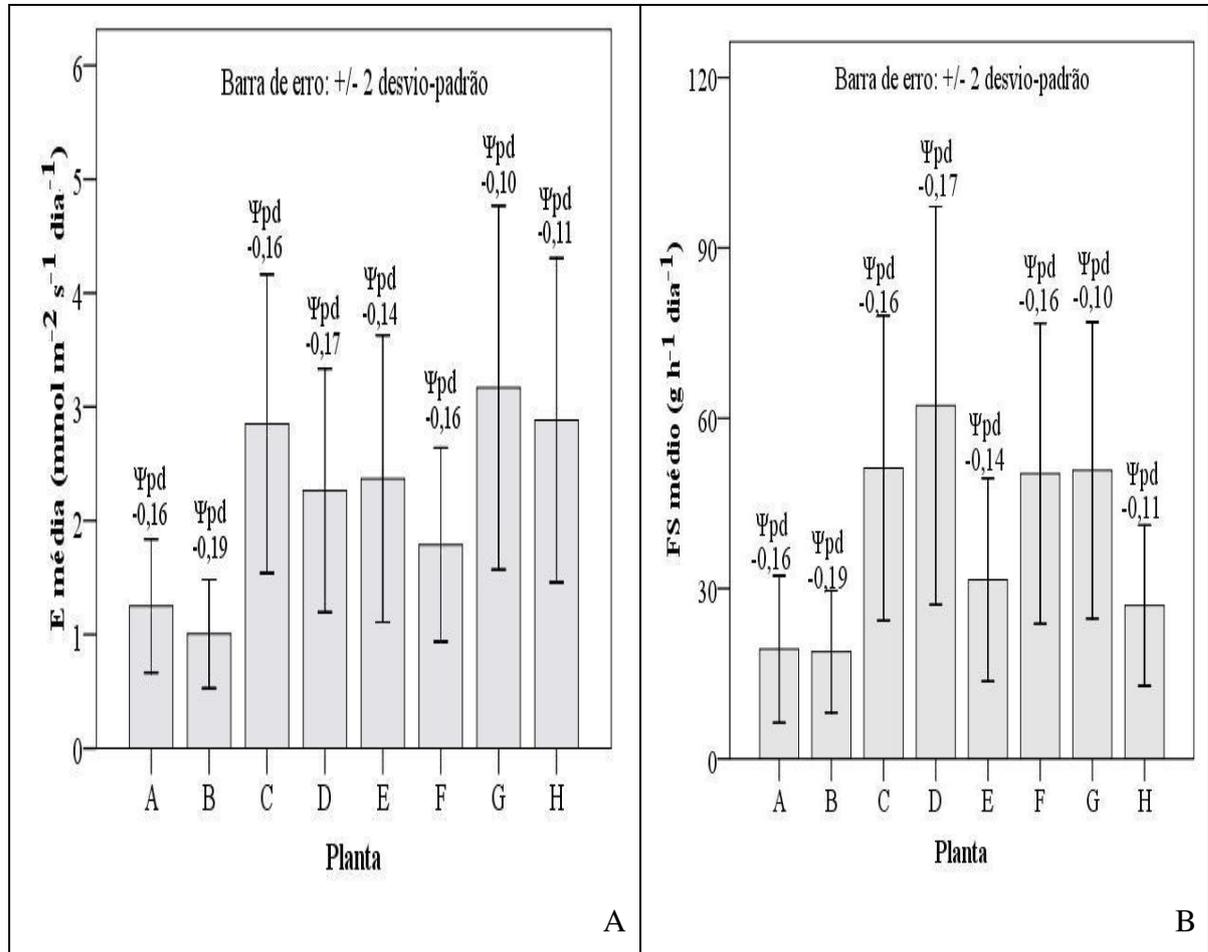
Na Tabela 3, estão os valores do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração total ( $E_{total}$ ) e do fluxo de seiva total ( $FS_{total}$ ) da cana-de-açúcar. Observa-se que, para o mesmo dia, as plantas que apresentaram menores restrições de água na folha, os valores de  $E_{total}$  foram maiores do que as plantas com maiores restrições. Exemplificando, no dia 18/08/2015, a planta (A), que apresentou o  $\Psi_{pd}$  -0,16 MPa, o valor do  $E_{total}$  foi superior em 19% em relação à planta (B) com  $\Psi_{pd}$  -0,19 MPa e o FS total da planta mais hidratada foi superior em 3% em relação à planta com maior restrição de água. Esse comportamento também foi observado nos resultados do dia 27/11/2015. Para o dia 21/09/2015, a planta C apresentou o  $\Psi_{pd}$  -0,16 MPa, o valor do  $E_{total}$  foi superior em 20% em relação à planta D com  $\Psi_{pd}$  -0,17 MPa, no entanto, em relação ao  $FS_{total}$ , a planta com maior restrição de água (planta D) apresentou um  $FS_{total}$  superior em 18% em relação à planta com menor restrição de água. Esse fato também foi observado nos dados obtidos no dia 19/10/2015 entre as plantas monitoradas, em que o valor da  $E_{total}$  da planta com menor restrição de água foi superior ao  $E_{total}$  da planta mais desidratada e, em relação ao  $FS_{total}$ , ouve o inverso: para a planta com maior restrição de água, o  $FS_{total}$  foi superior à planta com maior disponibilidade de água.

Tabela 3 - Valores diários do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ), da transpiração foliar total ( $E_{total}$ ) e do fluxo de seiva total ( $FS_{total}$ ) das plantas monitoradas (A-H), na Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, nos meses de agosto a novembro de 2015

Dias	Plantas	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$E_{total}$ ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ )	$FS_{total}$ ( $\text{g.h}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ )
18/08/2015	A	-0,16	31	483
	B	-0,19	25	472
21/09/2015	C	-0,16	71	1280
	D	-0,17	57	1556
19/10/2015	E	-0,14	59	789
	F	-0,16	45	1256
27/11/2015	G	-0,10	79	1270
	H	-0,11	72	675

Na Figura 23, estão apresentados os valores médios diários da transpiração foliar ( $E_{média}$ ) (A), fluxo de seiva caulinar ( $FS_{média}$ ) (B) e os respectivos potenciais hídricos foliares antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ). Observa-se que na  $E$  média (Figura 23A), as plantas com maiores  $\Psi_{pd}$  (mais hidratadas), o valor da  $E$  eram mais elevadas em comparação as plantas com menores  $\Psi_{pd}$  (menos hidratadas). A planta G, que apresentou, em 27/11/2015, o  $\Psi_{pd}$  igual a -0,10 MPa, a  $E_{média}$  foi de  $3,2 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , enquanto a planta B, em 18/08/2015, no qual apresentou o  $\Psi_{pd}$  de -0,19 MPa, a  $E_{média}$  foi de  $1 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , o que representa uma redução na  $E_{média}$  de, aproximadamente, 69% em função do aumento da restrição da quantidade de água na planta. Nota-se, ainda, que as plantas A e C apresentaram os mesmos  $\Psi_{pd}$  (-0,16 MPa). No entanto, as plantas diferiram estatisticamente, no qual a planta C apresentou uma  $E_{média}$  63% superior em relação à planta A. Esse comportamento, provavelmente, está relacionado ao aumento dos fatores ambientais,  $R_g$  e DPV do mês de setembro, conforme apresentado na Figura 1. Em relação ao  $FS_{médio}$  (Figura 23 B), as plantas não diferiram estatisticamente entre si. No entanto, destaca-se para o dia 21/09/2015 que a planta com  $\Psi_{pd}$  -0,17 MPa apresentou um  $FS_{médio}$  aproximadamente 18% maior do que a planta com maior disponibilidade de água ( $\Psi_{pd}$  -0,16 MPa). Esse mesmo comportamento foi observado no dia 19/10/2015, no qual a planta (F) com  $\Psi_{pd}$  de -0,16 MPa, teve o  $FS_{médio}$  superior em 36% em relação à planta (E) que apresentou o  $\Psi_{pd}$  -0,14 MPa. Porém, no dia 27/11/2015, a planta com  $\Psi_{pd}$  igual a -0,10 MPa apresentou um  $FS_{médio}$  47% superior em relação à planta com  $\Psi_{pd}$  -0,11 MPa, que apresentou o  $FS_{médio}$  de  $27 \text{ g.h}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ .

Figura 23 - Valores médios diários de transpiração foliar ( $E$  médio) (A), fluxo de seiva caulinar ( $FS$  médio) (B) e os respectivos potenciais hídricos foliares antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para cada planta de cana-de-açúcar.



De acordo com os resultados apresentados, a transpiração foliar ( $E$ ) e o fluxo de seiva caulinar ( $FS$ ) da cana-de-açúcar estão relacionados com as condições intrínsecas do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) e também das condições meteorológicas, principalmente o déficit de pressão de vapor ( $DPV$ ) e a radiação global ( $R_g$ ). O  $\Psi_{pd}$  reflete as condições da dinâmica do processo de transporte no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo o principal componente responsável pelo fluxo de água na planta (BERGONCI et al., 2000; TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2013). O efeito dos fatores ambientais sobre as folhas varia conforme a posição delas na copa. O ambiente luminoso heterogêneo, no qual a planta se desenvolve, proporciona diferentes estresses para as folhas, situadas nas várias posições da copa das plantas (ALMEIDA et al., 2015). Dessa forma, a disponibilidade de

água associada com as condições da atmosfera são os responsáveis pelos comportamentos de E e FS da cana-de-açúcar.

Observou-se que, em várias situações, tanto o curso da E quanto do FS, seguiram a trajetória da Rg e do DPV, em que a Emax de  $4,2 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Figura 22 A) foi registrada com a máxima da Rg de  $495 \text{ KW.m}^{-2}$  (Figura 21) às 12:00 h para o dia 18/08/2015 e o aumento do FS (Figura 22 D) em função do aumento do DPV às 15:00 h para o dia 21/09/2015 (Figura 21). Esse comportamento foi verificado por Boehringer et al. (2013) em que a transpiração da cana-de-açúcar acompanhou a variação da Rg. Para o algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), a E apresentou uma forte resposta ao DPV (DUURSMA et al., 2013). Resultados apresentados por Rejšková et al. (2010) mostraram que, para o capim-amarelo (*Phalaris arundinacea*), a E apresentou uma relação linear com o DPV, e consistindo no fator externo mais importante nos resultados da E. Para o café (Coffee sp.), a E da planta seguiu uma correlação linear com a Rg, DPV e temperatura (LIN, 2010). Semelhante aos dados obtidos por Zhang et al. (2011) para a videira (*Vitis vinifera*), em que o FS começou a ser registrado às 06:00 h em dias de sol, aumentou com a Rg e DPV, atingindo o Fsmáx cerca de 13:00 h. Esses autores encontraram uma relação linear significativa entre o FS e a Rg ( $R^2=0,7$ ) e uma relação exponencial entre FS e DPV ( $R^2=0,66$ ). No trabalho de Escalona et al. (2013), verificaram a E noturna também em *V. vinifera* e concluíram que, em plantas irrigadas, a perda de água era de  $20-30 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  no início da noite, diminuindo progressivamente à medida que a noite avançava, observando algum ganho em massa no final da noite. Esses autores alegaram que a E noturna era em função da variação do DPV no período da noite. Tonello e Teixeira Filho (2013) observaram que, para um determinado clone de eucalipto (*Eucalyptus*), a planta apresentou o valor da Emax de  $4,6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 12:00 horas e os valores da E seguiram tanto a Rg quanto o DPV. Para o bambu (*Moso bamboo*), no trabalho de Kume et al., (2010), os valores diurnos de FS apresentaram correlação com DPV sem atraso ( $R^2 = 0,90$ ) e com Rg com um intervalo de tempo de 0,5 h ( $R^2= 0,94$ ), mostrando que o lapso de tempo entre FS e o VPD foi menor do que entre FS e Rg. Para o pinheiro (*Pinus halepensis*), os valores de E são influenciados por uma relação entre a disponibilidade de água e os fatores meteorológicos (UNGAR et al., 2013). Desta maneira, observa-se que as respostas da E e do FS são dependentes das condições climáticas e da quantidade de água na planta.

Foi observado que os maiores valores de Etotal foram encontrados em plantas com maior disponibilidade de água. Dessa maneira, para plantas com restrição de água, os valores

de E foram menores (Tabela 3). No trabalho desenvolvido por Trentin et al. (2011), mostrou-se que sob valores máximos de radiação solar global e de déficit de saturação de pressão de vapor d'água no ar, a taxa de transpiração diária da cana-de-açúcar, em condições de estresse hídrico severo ( $-150 < \Psi < -110$  MPa), foi aproximadamente, 73% inferior em relação à das plantas cultivadas sob plena disponibilidade de água. Esse comportamento também foi observado nos trabalhos realizados por Tonello e Teixeira Filho (2011; 2012), cujo experimento foi realizado no mesmo campo experimental dessa pesquisa, sendo que as plantas de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) que possuíam maiores restrições hídricas, apresentavam as menores taxas de trocas gasosas. Nas plantas de mogno (*Khaya ivorensis*) não irrigadas, foram observadas reduções expressivas nos valores de E em 93% em relação a E de plantas irrigadas (ALBUQUERQUE et al., 2013). Resultados obtidos por Moreira et al. (2013) mostraram que cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*) responderam positivamente ao aumento da irrigação com maiores taxas de transpiração. No experimento de Silva et al. (2010), cujo objetivo foi determinar alterações fisiológicas em clones de café Conilon (*Coffea canephora*), quanto à sensibilidade ao déficit hídrico, observaram que plantas mantidas irrigadas ( $\Psi_{pd}$  igual a -0,05 MPa), os valores de E foram significativamente maiores do que as plantas mantidas sem irrigação ( $\Psi_{pd}$  igual a -3,0 MPa).

Para os valores de FS, era de se esperar que planta com menores restrições de água, também apresentasse maiores valores de FS. No entanto, foi observado o contrário, principalmente nos meses de setembro e outubro (Tabela 3 e Figura 23 B), pois para plantas que apresentaram menores valores do  $\Psi_{pd}$ , a quantidade de FS foi mais elevada do que ao outro grupo de plantas, com menores restrições. Graça et al. (2010) verificaram que em cana-de-açúcar, em condição de alta temperatura, 72 horas após o início do déficit de água, as plantas estressadas mostraram valores semelhantes ao teor relativo de água das plantas de controle, sugerindo que as plantas utilizam parte do seu teor de água para minimizar os danos devido à alta temperatura. Pinto Jr. et al. (2013) afirmam que, devido ao controle estomático, a redução no fluxo de seiva varia de estação para estação do ano. Nos resultados obtidos por Nadeshkina et al. (2015), a relação entre DPV e FS foi observado como sendo bastante elevada, variando ao longo do dia. Ferraz et al. (2015) afirmam que vários trabalhos elucidam que mesmo com alta disponibilidade de água no solo, um alto valor de DPV do ar contribui significativamente para a redução da condutância estomática, e conseqüentemente, para a redução da transpiração. Ainda, esses autores afirmam que para o mamão (*Carica papaya*) no verão, devido ao déficit de pressão de vapor elevado (4 KPa), houve fechamento dos

estômatos. Um dos papéis mais bem entendidos dos estômatos é manter a condição hídrica da planta, limitando a perda de água durante períodos de baixa disponibilidade de água ou alta demanda da transpiração devido ao déficit de pressão de vapor (BASNAYAKE et al., 2015). Quando dados de E e do FS são analisados em escala diária, a E da cana-de-açúcar foi subestimada em  $56,2 \text{ g.planta}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , representando aproximadamente 7% da transpiração máxima (BOEHRINGER et al., 2013). De acordo com Coelho et al. (2012), as principais fontes de erro em medidas de FS estão relacionadas com a determinação da seção condutora da seiva (que, para o método de balanço de calor, não se faz necessário a medida dessa seção), a distribuição espacial do fluxo no tronco e a presença de gradientes térmicos naturais presentes no tronco. Segundo esses mesmos autores, a maior distinção dos valores do FS, em relação aos de E, pode ser explicada pelo tempo de resposta do sistema planta-atmosfera diante do aumento ou da redução do DPV. Segundo Lin (2010), a localização específica de cada planta promove uma heterogeneidade nas medidas realizadas e, conseqüentemente, uma resposta intrínseca no comportamento ecofisiológico da planta.

A importância de acompanhar os comportamentos ecofisiológicos, especialmente a E das plantas, é a possibilidade de determinar em qual estágio fenológico a cultura possui maior demanda hídrica (Silva et al., 2013). Para a cultura do girassol (*Helianthus annuus*), esses autores verificaram que, em relação à transpiração, o maior valor encontrado foi verificado na avaliação aos 68 dias após a semeadura ( $17,6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) cujo valor foi superior estatisticamente àqueles obtidos aos 110 ( $15,9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e 52 ( $16,3 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) dias após a semeadura, evidenciando que neste estágio fenológico a cultura possui maior demanda hídrica.

Conforme os resultados apresentados nesse capítulo, conclui-se que o curso diário da E e do FS da cana-de-açúcar são dependentes das condições meteorológicas, principalmente  $R_g$  e DPV, e que, de certo modo, a disponibilidade de água da planta afetou os comportamentos da E e do FS. O curso diário do FS no caule seguiu o curso da E na folha, mostrando que ambas metodologias são adequadas para a medição da perda de água da cana-de-açúcar.

## 7. RESULTADO E DISCUSSÃO DO EFEITO DO TOMBAMENTO NO COMPORTAMENTO ECOFISILÓGICO EM CANA-DE-AÇÚCAR

As adversidades meteorológicas, principalmente a alta intensidade da chuva e ventos intensos, o manejo da cultura, seja pela adubação elevada, frequência da irrigação, redução no espaçamento entre linhas e plantas e o tipo da variedade selecionada, podem resultar em elevado desenvolvimento vegetativo em altura das plantas, podendo ocasionar o tombamento, denominado também de acamamento, de algumas espécies de plantas. Tombamento representa o deslocamento dos caules a partir da sua posição vertical. Esse efeito é um problema existente para muitas culturas vegetais em todo o mundo, especialmente, em regiões onde as culturas são submetidas a eventos extremos (BAKER et al., 2014).

Além de causar perdas de produtividade e qualidade dos grãos, o tombamento causa dificuldades na operação de colheita, em especial, em plantas de arroz (*Oryza sativa*) (ZHANG et al., 2014, OKUNO et al., 2014). A utilização de inibidores de crescimento em *O. sativa* com o bloqueio da giberilina promoveu a diminuição no comprimento dos vegetais e, assim, reduziu significativamente o tombamento das plantas (NA et al., 2011). Com a finalidade de reduzir o tamanho e o tombamento das plantas foi utilizado o inibidor de crescimento Paclobutrazol nas plantas teff (*Eragrostis tef*) e capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*). Esse inibidor de crescimento atua na giberilina, reduzindo o crescimento dessas espécies em 90% e aumentou a tolerância ao déficit hídrico das plantas tratadas; entretanto, não foi observada alteração na condutância estomática (PLAZA-WÜTHRICH et al., 2016). Em plantas de trigo (*Triticum aestivum*) tratadas com o Paclobutrazol, promoveu o acúmulo de lignina, gerando o incrementando do diâmetro das paredes do entrenó das plantas e aumentando a resistência ao tombamento (PENG et al., 2014). Desta maneira, a utilização de inibidores promove a redução em altura das plantas. No entanto, quantidades elevadas de nutrientes no solo contribuem para o elevado comprimento das plantas e, assim, podem acarretar tombamento frente a eventos meteorológicos extremos.

Quantidade elevada de nitrogênio presente no solo induz o crescimento rápido e elevado das plantas de linho (*Linum usitatissimum*) e, com a ocorrência de chuva de alta intensidade, associado com evento de ventos fortes, aumentam os riscos de tombamento das plantas. Por vezes, o *L. usitatissimum* é capaz de retornar à posição inicial, mas, caso isto não ocorra, a produtividade e a qualidade das fibras são prejudicadas pelo tombamento (GIBAUD

et al., 2015). O *L. usitatissimum* caracteriza-se pela pouca elasticidade, assim, o tombamento é altamente influenciado pelas condições ambientais, especialmente com o ganho de peso proporcionado pela interceptação da água de chuva. Deste modo, a interceptação da água de chuva e a hidratação aumentam o peso das plantas podendo elevar os riscos de tombamento (BOURMAUD et al., 2015). Além da quantidade elevada de adubação nitrogenada, o aumento na densidade das plantas altera o teor de lignina e suas atividades enzimáticas no entrenó de trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) favorecendo o tombamento das plantas (WANG et al., 2015). Para o trigo-mourisco (*F. tataricum*) o aumento na densidade do plantio ocasionou a redução na passagem da luz, originou redução no volume radicular, no número de entrenós e no diâmetro do primeiro internódio, e com isso promoveu o aumento das taxas de tombamento das plantas (XIANG et al., 2016).

Pesquisas mostram que a altura das plantas não foi considerado o principal fator da causa do tombamento, mas sim a espessura e o diâmetro do caule (ZHANG et al., 2014). Características morfológicas como largura da camada do tecido mecânico, peso baixo dos entrenós e densidade do caule foram os fatores encontrados por Kong et al. (2013) para caracterização da resistência ao tombamento de cultivares de trigo (*Triticum aestivum*). Uma nova cultivar de arroz (*Oryza sativa*), denominada “Tachiyaka”, utilizada na silagem para bovinos, apresenta como característica morfológica panículas curtas, possuindo menos grãos e, assim, resultando em menor centro de gravidade da planta que, devido a isso, proporciona maior resistência ao tombamento (MATSUSHITA et al., 2014).

Na cultura do milho (*Zea mays*), o tombamento pode causar a ruptura dos tecidos, provocando a interrupção da vascularização do colmo, afetando a estrutura anatômica essencial para o transporte de água e nutrientes, influenciando o rendimento e a qualidade dos grãos e, assim, impedindo a recuperação da planta (GOMES et al., 2010).

A redução da produtividade da cana-de-açúcar, em especial a produção de sacarose, está relacionada com o tombamento das plantas. Assim esse tema apresenta grande importância, sendo de interesse de produtores e de pesquisadores, em diversas regiões produtoras pelo mundo (CARLIN et al., 2008). O tombamento de cultivares da cana-de-açúcar pode, também, ser influenciado pelas condições hídricas do solo, pois, em condições de ausência de estresse hídrico, a cana-de-açúcar atinge maiores alturas, o que favorece o risco de tombamento das plantas (OLIVEIRA; BRAGA, 2011). O tombamento é comumente observado em plantações intensivas de cana-de-açúcar, principalmente durante o período

chuvoso e de ocorrência de vento forte, devido à baixa resistência da planta a esses eventos climáticos extremos (SINGH et al. 2002). No experimento desses autores, foi utilizado bambu como suporte para manter as plantas eretas e, assim, o rendimento foi 15% superior em relação às plantas que estavam sem os suportes.

A pesquisa com objetivo de avaliar os efeitos causados pelo tombamento em cana-de-açúcar, comparando os parâmetros biométricos (comprimento, diâmetro e número de colmos) entre plantas eretas e tombadas, indicou que o comprimento dos colmos no tratamento tombado foi significativamente superior ao do tratamento ereto (CARLIN et al., 2008). Os autores justificaram que, logo após o tombamento dos colmos, foi induzido o crescimento da cana-de-açúcar devido às mudanças hormonais promovidas pelas auxinas, com consequente alongamento dos colmos. Em relação ao diâmetro, não houve diferenças significativas entre as plantas eretas e tombadas. Para o número de colmos por metro, o tombamento foi significativamente maior do que para plantas eretas.

Na literatura, não foi encontrada nenhuma publicação a respeito do efeito do tombamento em cana-de-açúcar sobre as taxas de fluxo de seiva no tronco ou trocas gasosas foliares. No entanto, alguns trabalhos verificaram os efeitos da radiação incidente e do sombreamento na ecofisiologia das plantas. Plantas de crescimento mais rápido geralmente apresentam maiores taxas fotossintéticas do que as plantas que estão sombreadas (de crescimento mais lento), e esse menor crescimento afeta a eficiência de uso da radiação solar (TEIXEIRA et al., 2015).

Dalmolin et al. (2015) avaliaram o crescimento, desenvolvimento e trocas gasosas de mudas de lixeira (*Curatella americana*) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Os resultados e indicaram que plantas a pleno sol apresentaram melhor desenvolvimento, maior número de folhas e do diâmetro do caule, bem como, taxa fotossintética, condutância estomática e taxa transpiratória significativamente maior do que plantas sombreadas. Entretanto, o sombreamento pode ser vantajoso para algumas culturas, conforme observado no trabalho de Araújo et al. (2015), que verificaram um beneficiamento do sombreamento nos cafeeiros provenientes do plantio consorciado com bananeira, que proporcionou um microclima favorável ao cafeeiro.

Diante do exposto, o objetivo do capítulo foi comparar o efeito do tombamento na cana-de-açúcar em relação aos comportamentos ecofisiológicos (transpiração e condutância

estomática) na escala de folha e o fluxo de seiva caulinar na escala de planta e compará-las quanto à disposição entre plantas eretas e tombadas.

A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva da distribuição dos valores do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) das plantas de cana-de-açúcar tombadas e as eretas. Observa-se que os valores mínimo e máximo do  $\Psi_{pd}$  variaram pouco em relação à disposição das plantas quando se verifica o mesmo mês. Nota-se que as plantas tombadas apresentaram um pequeno decréscimo (mais negativo) no valor do  $\Psi_{pd}$  médio; sendo assim, essas plantas depararam com uma maior restrição de água nas folhas. As plantas nos meses de setembro e outubro apresentaram maiores restrições de água, cujo  $\Psi_{pd}$  máximo foi de -0,18 MPa, provavelmente, pelo menor volume de chuva, 144 mm de chuva acumulada no mês de setembro e 65 mm de chuva no mês de outubro. Enquanto que no mês de novembro, a chuva acumulada foi de 147 mm, promoveu a maior disponibilidade de água, tanto para plantas tombadas como para plantas eretas, no qual apresentaram o valor médio do  $\Psi_{pd}$  de -0,14 MPa para as duas condições de disposição.

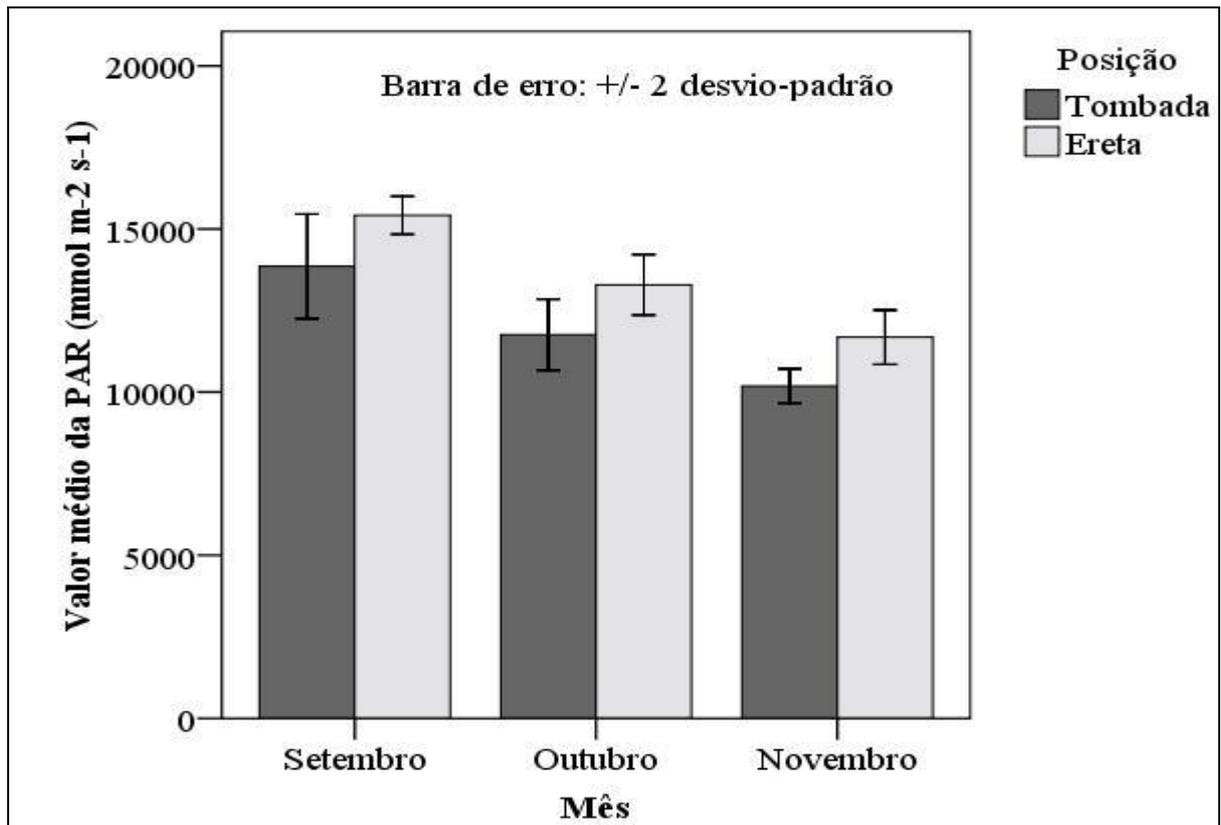
Tabela 4 - Distribuição dos valores do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) das plantas de cana-de-açúcar tombadas e eretas, período de setembro a novembro de 2015.

$\Psi_{pd}$	Disposição	Mínimo	Máximo	Médio
		MPa		
Setembro	Tombada	-0,16	-0,18	-0,17
	Ereta	-0,15	-0,18	-0,16
Outubro	Tombada	-0,16	-0,18	-0,17
	Ereta	-0,14	-0,17	-0,15
Novembro	Tombada	-0,13	-0,15	-0,14
	Ereta	-0,13	-0,15	-0,14

A Figura 24 apresenta os valores totais médios da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nas plantas de cana-de-açúcar que estão tombadas e as que permanecem eretas, nos meses de setembro a novembro. Verifica-se, mensalmente, que a quantidade de radiação solar em plantas eretas é superior as plantas tombadas. No mês de agosto a PAR da planta ereta foi 5% superior em relação à planta tombada, no mês de setembro a PAR das plantas eretas foram

11% superior às plantas tombadas. Já no mês de outubro e novembro, a PAR das plantas eretas foram 13 e 15% maior, respectivamente, em relação às plantas tombadas.

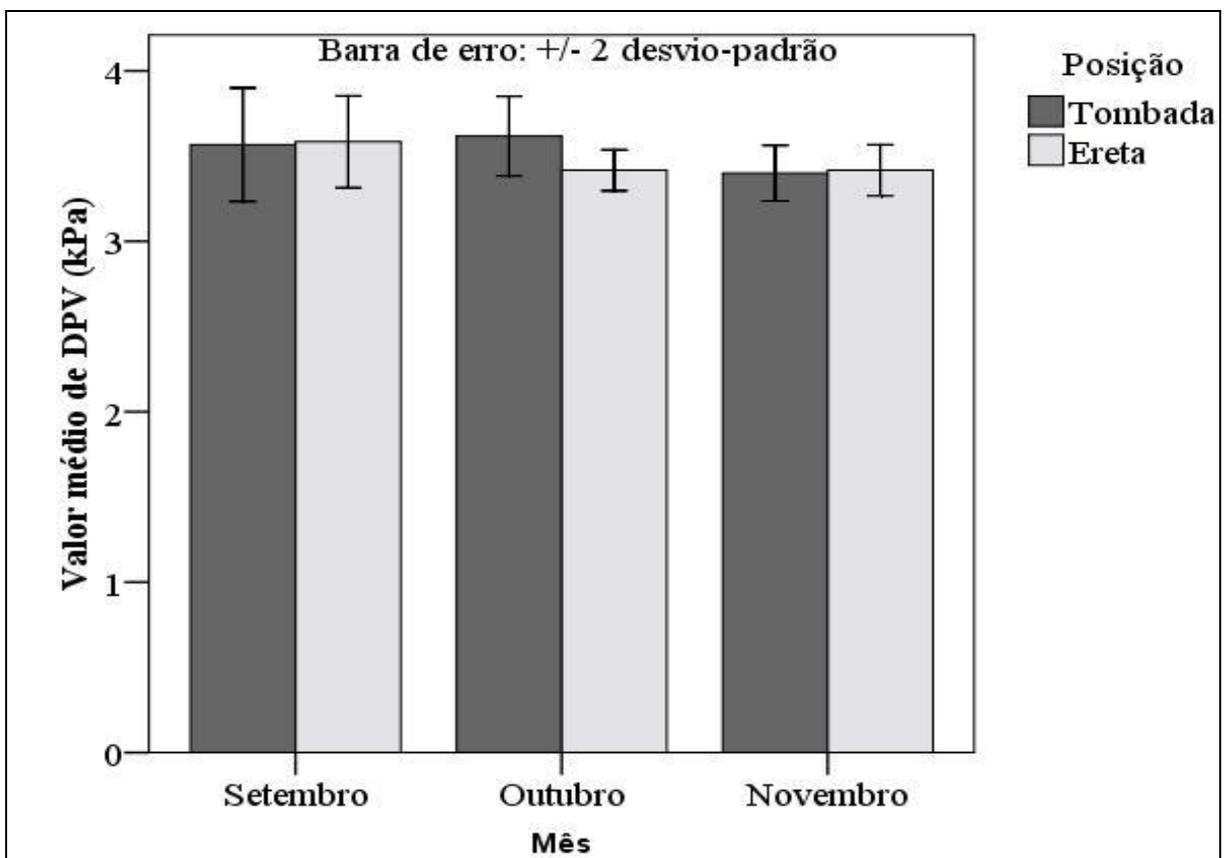
Figura 24 - Valores totais médios da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em plantas tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015.



Observa-se também pela Figura 24 que o mês de setembro apresentou a maior taxa de PAR comparada aos demais meses avaliados e, especificamente para as plantas eretas, o valor total médio diário registrado foi superior, tornando-se estatisticamente diferente dos demais meses para essa disposição das plantas. Em relação às plantas tombadas, a PAR do mês de setembro diferiu estatisticamente do mês de novembro, este último apresentando uma redução de 26,5% em relação ao mês de setembro. Esse resultado, provavelmente, pode ser explicado pela quantidade de chuvas no período de novembro, que reduziu o valor médio da PAR.

A Figura 25 ilustra os valores médios diários do déficit de pressão de vapor (DPV), atuando nas plantas tombadas e eretas. Esses meses são caracterizados pela primavera, no qual as temperaturas e a umidade se mantêm constantes. Sendo assim, nesse trimestre, os valores de DPV não diferiram estatisticamente entre si, tanto para a disposição das plantas tombadas quanto eretas.

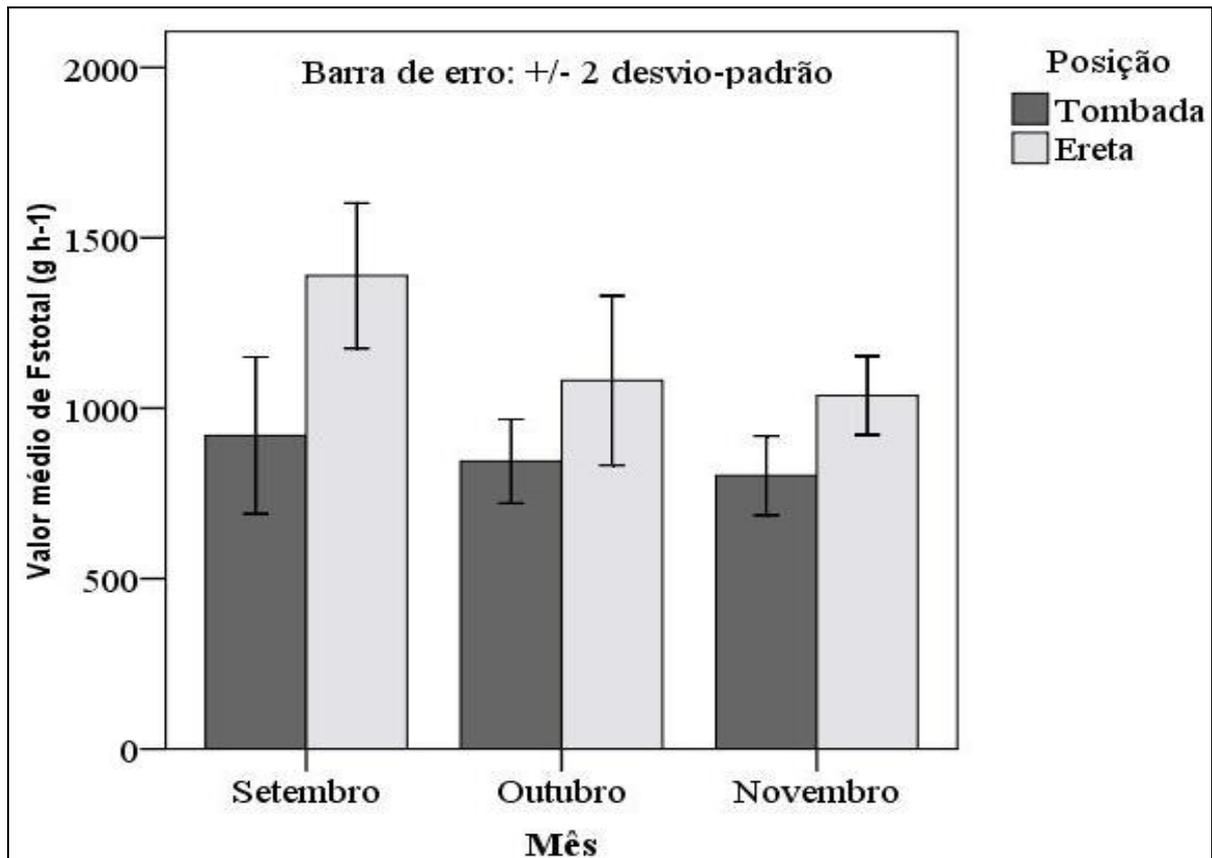
Figura 25 - Valores médios diários de déficit de pressão de vapor (DPV), atuando nas plantas tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015.



A Figura 26 apresenta os valores totais médios da transpiração líquida ( $F_{stotal}$ ) para plantas de cana-de-açúcar que estão tombadas e eretas. Observa-se que para os três meses de avaliação, a  $F_{stotal}$  das plantas eretas foi superior em comparação as plantas que estavam tombadas, sendo que para o mês de setembro, a  $F_{stotal}$  da planta ereta ( $1389 \text{ g.dia}^{-1}$ ) foi superior em 51%, aproximadamente da planta tombada ( $920 \text{ g.dia}^{-1}$ ). No mês de outubro a  $F_{stotal}$  para a planta ereta ( $1081 \text{ g.dia}^{-1}$ ) foi superior em 28% em relação à planta tombada

(844 g.dia<sup>-1</sup>) e, para o mês de novembro, a F<sub>total</sub> da planta ereta (1037 g.dia<sup>-1</sup>) foi superior em 29% em relação à planta tombada (802 g.dia<sup>-1</sup>).

Figura 26 - Valor médio de transpiração líquida total (F<sub>total</sub>) em cana-de-açúcar, cujas plantas estão tombadas e eretas, no período de setembro a novembro de 2015



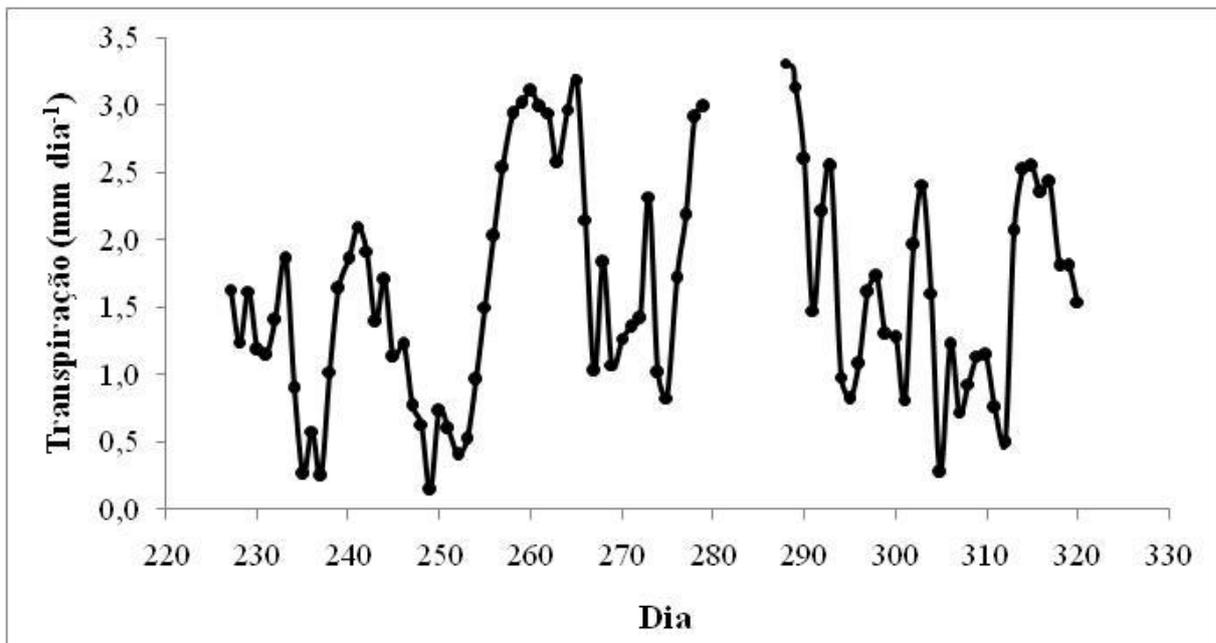
Nota-se também na Figura 26, que para o mês de setembro, tanto para plantas eretas como para tombadas, a F<sub>total</sub> foi superior em relação os demais meses e comparando novamente plantas tombadas e eretas, foi encontrada diferença estatística entre as duas disposições de plantas para o referido mês.

No mês de agosto, foram contadas 75 plantas na parcela, apresentando uma média superior de cinco toletes por planta. No dia 08 de setembro de 2015, rajadas de ventos atingiram o Campo Experimental, fazendo com que parte das plantas fossem acamadas (tombadas), conforme apresentado na metodologia. Assim, a partir dessa data, considerou-se a contagem separada de toletes não tombados e tombados. Nesse evento, 460 toletes tombaram

e 799 permaneceram eretos. Esses números permaneceram ao longo dos meses de setembro, outubro e novembro.

Para cálculo da transpiração da parcela, não considerando o evento de tombamento, assumiu-se que as cinco plantas não tombadas fossem representativas das condições da parcela. Assim, calculou-se o valor médio diário da  $F_s$  dos toletes a partir dos valores diários medidos de fluxo de seiva dessas plantas. Esse valor médio diário foi multiplicado pelo número de toletes na parcela e, dividindo pela área da parcela, obteve-se a transpiração diária da parcela, conforme observado na Figura 27.

Figura 27 - Transpiração da parcela sem tombamento ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados (NDA) - período 17/08/2015 a 16/11/2015.

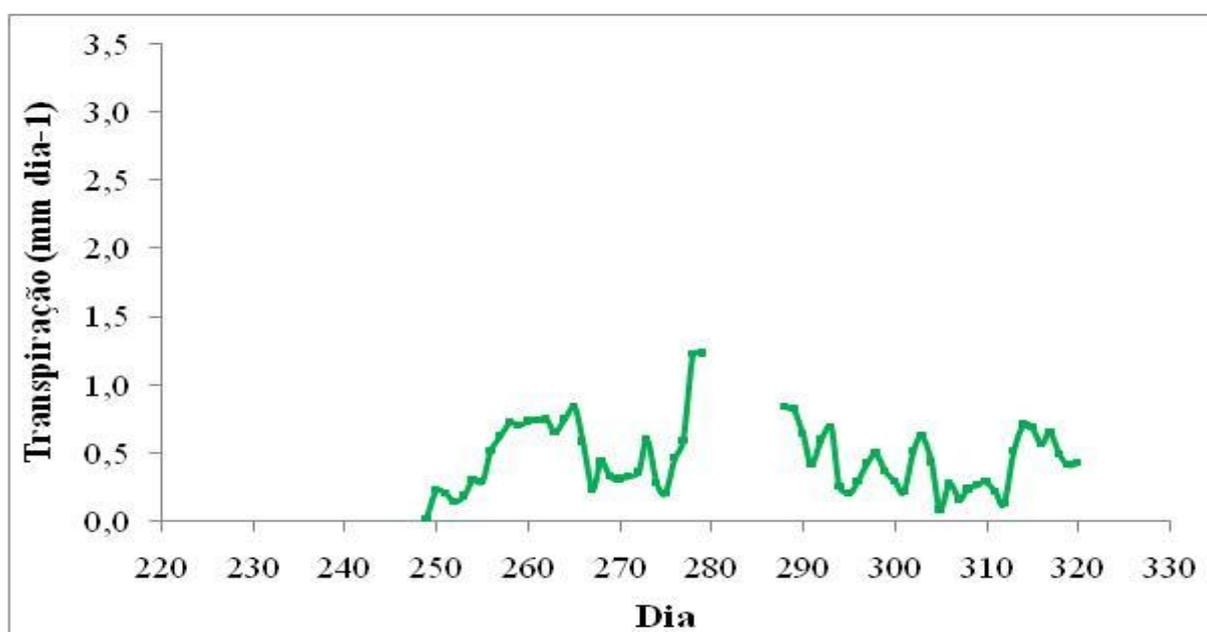


Na Figura 27, observa-se o curso diário da transpiração da parcela ao longo do tempo de monitoramento, sem considerar o evento de tombamento e verifica-se que o menor valor da transpiração ocorreu no dia 249 com o valor de 0,1 mm dia<sup>-1</sup> e o maior ocorreu no dia 288 com valor de 3,3 mm dia<sup>-1</sup>. Esses valores diários coincidem com a estação do ano, já que esse menor valor ocorreu no inverno (06 de setembro), quando a temperatura média foi de 19°C, enquanto o maior valor ocorreu na primavera (15 de outubro), quando a temperatura média foi de 28°C. Apesar de que o dia 305 (01 de novembro) também ser caracterizado pela primavera, o valor mínimo da transpiração foi de 0,3 mm dia<sup>-1</sup> no qual a temperatura média do dia foi de 21°C.

Integrando os valores diários de transpiração, da Figura 27, calculou-se que no período de 17/08/2015 a 08/09/2015 e de 15/09/2015 a 16/11/2015 a transpiração total da parcela foi de 139,3 mm, com uma transpiração média diária de 1,6 mm.dia<sup>-1</sup>.

Já para o cálculo de transpiração da parcela, considerando o evento de tombamento, assumiu-se que as cinco plantas monitoradas fossem representativas dos toletes não tombados e as três plantas tombadas monitoradas fossem representativas dos toletes tombados. Assim, calculou-se o valor médio diário da transpiração dos toletes a partir dos valores diários medidos de fluxo de seiva dessas plantas nas condições de não tombamento. Esses valores médios diários foram multiplicados pelo número de toletes, tombados e não tombados, na parcela e, dividindo pela área da parcela, obteve-se a transpiração diária da parcela. Esses valores podem ser observados na Figura 28.

Figura 28 - Transpiração da parcela com tombamento ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano- período 08/09/2015 a 16/11/2015.



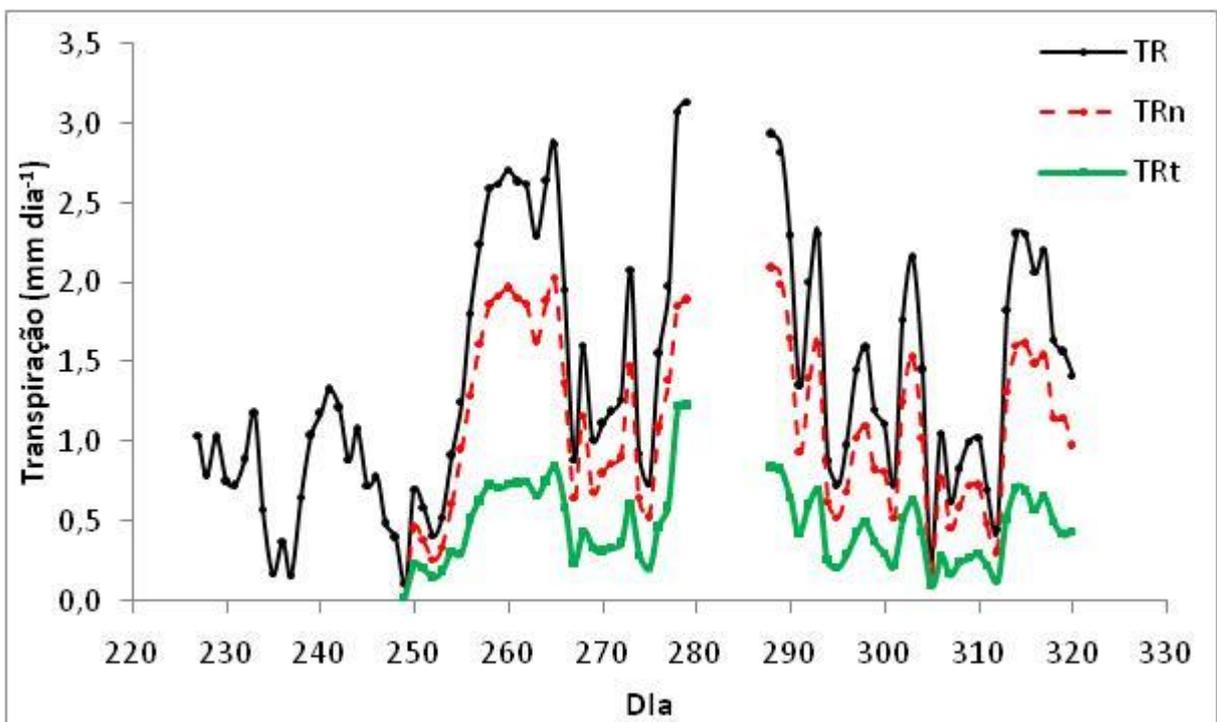
Observa-se na Figura 28 que o valor da transpiração no dia 249 foi 0 mm dia<sup>-1</sup>, provavelmente, ocorrido pelo tombamento das plantas, onde a perturbação fez com que a planta cessasse momentaneamente a transpiração e associado à temperatura média ocorrida no dia (19°C), posteriormente, retornasse o processo de fluxo de água no caule. O maior valor da transpiração das plantas tombadas ocorreu no dia 279 (06 de outubro) com valor de 1,3 mm.dia<sup>-1</sup>, onde a temperatura média do ar foi de 22°C.

Integrando os valores diários de transpiração considerando o evento de tombamento,

calculou-se que no período 17/08/2015 a 08/09/2015 e 15/09/2015 a 16/11/2015 a transpiração total da parcela foi de 118,4 mm com uma transpiração média diária de  $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ , resultando em uma redução total na parcela de 20,9 mm em relação às condições de não tombamento.

Dessa maneira, foi elaborada a Figura 29, que apresenta o curso da transpiração total da parcela (TR), da parcela sem o evento do tombamento (TRn) e da parcela com o evento do tombamento, destacando a contribuição da posição da planta nos valores de transpiração da parcela. Devido ao sombreamento em que as plantas tombadas se encontravam e consequentemente, a menor radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada, faz com que essas plantas apresentassem menores valores na transpiração, contribuindo assim para a menor transpiração da parcela.

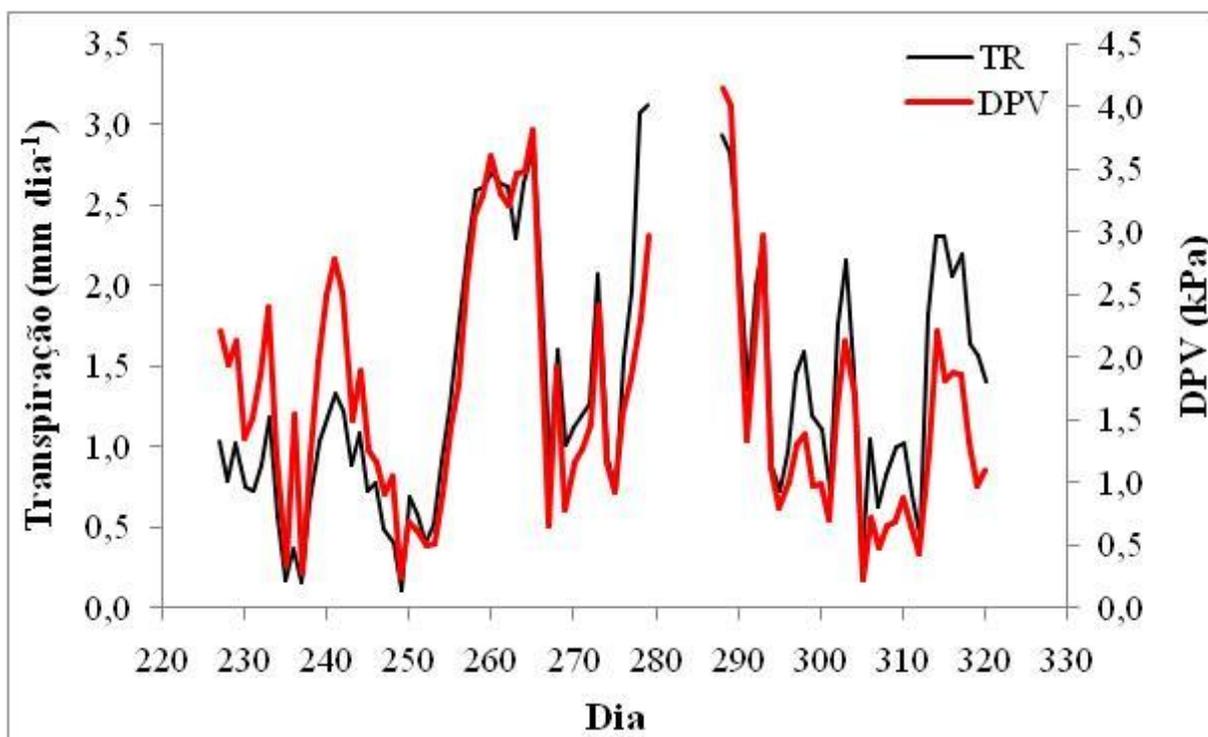
Figura 29 - Transpiração total (TR) da parcela com tombamento, transpiração dos toletes tombados (TRt) e transpiração dos toletes não tombados (TRn) ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano – período 17/08/2015 a 16/11/2015



Apesar das plantas tombadas apresentarem menores taxas de transpiração, devido à menor incidência da PAR em suas folhas, de uma forma geral, observou-se que o curso diário da transpiração total da parcela acompanhou o curso diário do déficit de pressão de vapor (DPV) e, assim, essa variável ambiental atuou para que as plantas sombreadas (tombadas) e as

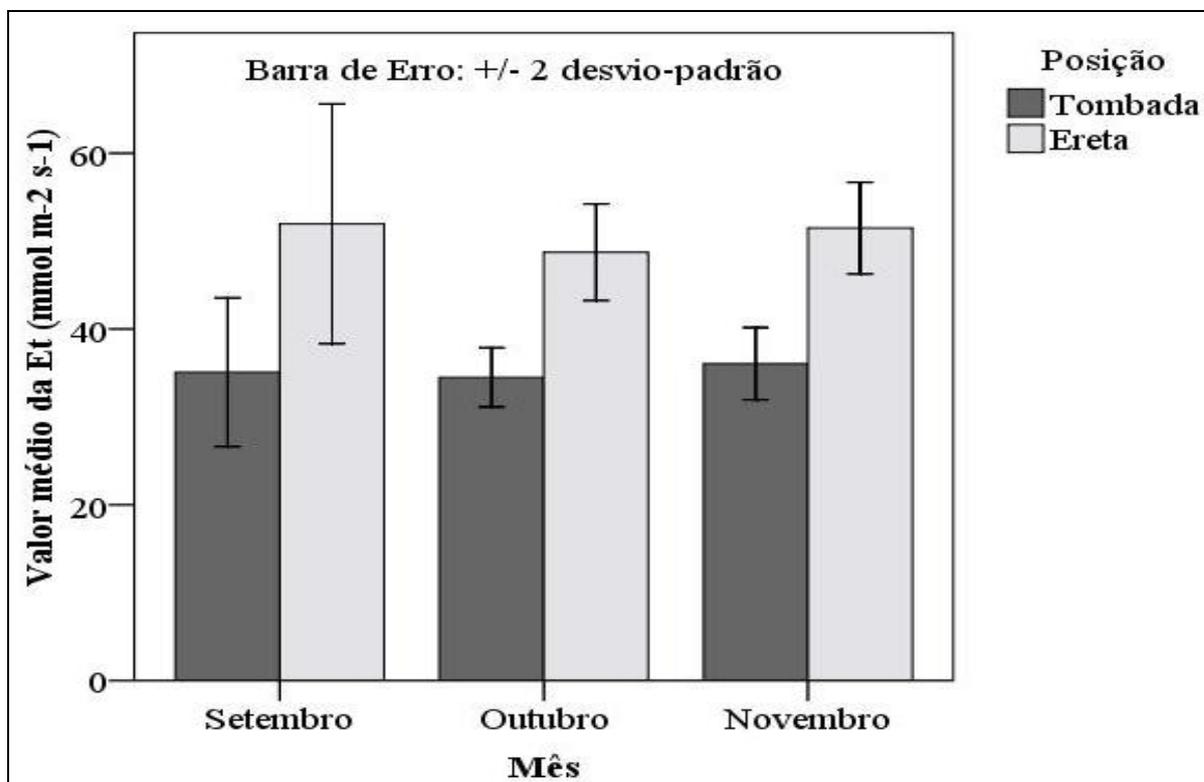
que permaneciam na posição ereta contribuísem para a transpiração total da parcela, conforme a Figura 30

Figura 30 - Transpiração total (TR) da parcela com e o deficit de pressão de vapor (DPV) ao longo do tempo, considerando o número de dias acumulados do ano - período 17/08/2015 a 16/11/2015.



A Figura 31 apresenta os valores totais médios da transpiração foliar ( $E_t$ ) entre cana-de-açúcar que estavam tombadas e as eretas. Verifica-se nos meses de setembro a novembro, que a transpiração foliar das plantas eretas foram superiores em relação às plantas tombadas. Para exemplificar, no mês de setembro, a  $E_t$  da planta ereta ( $52 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) foi 48% superior em relação a planta tombada ( $35 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ). No entanto, esses valores não são estatisticamente diferentes. No mês de outubro, a  $E_t$  da planta ereta ( $49 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) foi 41% superior em relação à planta tombada ( $35 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e, em relação à média, esses valores diferiram estatisticamente entre si. No mês de novembro, a  $E_t$  da planta ereta ( $51 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) foi 43% superior em relação à planta tombada ( $36 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e, em relação a média, esses valores diferiram estatisticamente entre si.

Figura 31 - Valores totais médios da transpiração foliar (Et) entre cana-de-açúcar que estavam tombadas e as eretas, no período de setembro a novembro de 2015



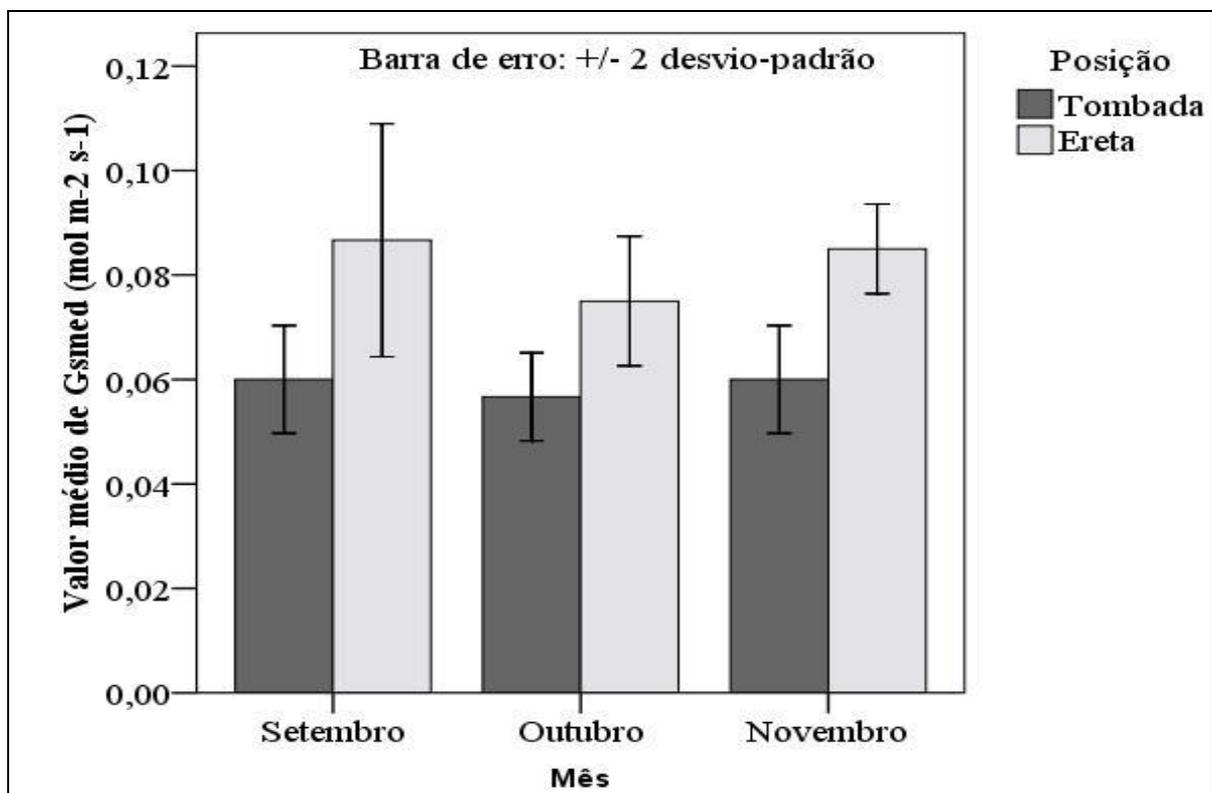
Nota-se ainda pela Figura 31, que as plantas tombadas no período de avaliação, apresentaram valores semelhantes entre si, o que estatisticamente mostra essa paridade entre os valores médios de Et.

Cabe ressaltar que devido à disposição de como o talhão foi instalado, permitiu que mesmo as plantas estando tombadas as folhas recebessem radiação solar, aproximadamente até 11:00 h e, a partir desse horário, até o final do dia, as folhas estavam sombreadas pelas outras plantas.

A Figura 32 apresenta a distribuição dos valores médios de condutância estomática (G<sub>sm</sub>) entre cana-de-açúcar na escala de folha, cujas plantas estavam tombadas e as eretas. O resultado apresentado pela G<sub>sm</sub> foi semelhante ao encontrado para a Et. Observa-se que, no período monitorado, a G<sub>sm</sub> para as plantas eretas não diferiram estatisticamente entre si, evento também observado para as plantas tombadas. Cabe ressaltar que, no mês de setembro, a G<sub>sm</sub> da planta ereta (0,085 mol.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) foi 38% superior em relação à planta tombada (0,061 mol.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>). No entanto, esses valores não são estatisticamente diferentes. No mês

de outubro, a Gsméd da planta ereta ( $0,076 \text{ mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) foi 36% superior em relação à planta tombada ( $0,056 \text{ mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e, em relação à média, esses valores não diferiram estatisticamente entre si. No mês de novembro, a Gsméd da planta ereta ( $0,084 \text{ mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) foi 39% superior em relação à planta tombada ( $0,061 \text{ mol m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e, em relação a média, esses valores diferiram estatisticamente entre si.

Figura 32 - Valores médios de condutância estomática (Gsméd) entre cana-de-açúcar que estavam tombadas e as eretas, no período de setembro a novembro de 2015



De acordo com os resultados apresentados neste capítulo, tem-se que os comportamentos da transpiração tanto na escala de folha como na escala de planta e da condutância estomática foram influenciadas pelas condições meteorológicas e ao  $\Psi_{pd}$  que as plantas apresentaram. Apesar das disposições das plantas (eretas e tombadas), não houve uma variação discrepante entre os valores do  $\Psi_{pd}$ , conforme apresentada na Tabela 4. De acordo com Argyrokastritis et al. (2015), o  $\Psi_{pd}$  é um indicador confiável das relações hídricas da planta. Resultados apresentados por Tonello e Teixeira Filho (2012) mostraram que, para diversas espécies vegetais, as trocas gasosas foram correlacionadas positivamente com o  $\Psi_{pd}$ .

Petit e Anfodillo (2013) afirmam que o potencial hídrico das células mesófilas está relacionado com a taxa de transpiração e que o grau de desidratação nas células determina o fechamento dos estômatos. Esse processo ocorre quando o potencial hídrico entre folhas e raízes já não é compatível para sustentar a transpiração. A abertura e fechamento das células-guarda envolvem uma mudança de fluxos de pressão osmótica e de íons entre as células epidérmicas e células-guarda (NIKINMAA et al., 2013). Segundo Bonan et al. (2014), o comportamento dos estômatos está relacionado com o transporte contínuo de água através do sistema solo-planta-atmosfera, com base no princípio de que as plantas reduzem a condutância estomática, conforme a necessidade de regular a transpiração e prevenir falha hidráulica.

Nassif et al. (2013), utilizando três metodologias para determinar a transpiração de cana-de-açúcar, em diferentes escalas, sendo que para a escala de folha foi utilizado o IRGA, fluxo de seiva para escala de planta e razão de Bowem para parcela a, verificaram que, na escala de folha, a transpiração média variou entre 3,4 a 4,2 mm dia<sup>-1</sup>; para escala de planta, a transpiração média foi entre 3,15 a 5,98 mm dia<sup>-1</sup> e, na escala de parcela, a transpiração média variou entre 3,7 a 4,4 mm dia<sup>-1</sup>. Nesta pesquisa a transpiração média da parcela, calculada por fluxo de seiva, variou de 1,6 a 1,4 mm dia<sup>-1</sup>, considerando o evento de tombamento e não tombamento, respectivamente.

Čermák et al. (2004) afirmam que a maneira mais simples de realizar a mudança de escala para calcular a transpiração total de uma floresta, por meio da utilização de medidas de fluxo de seiva, baseia-se em calcular a transpiração de indivíduos separados e, com base nas características biométricas (altura ou diâmetro do caule na altura do peito), separar em classes e contabilizar a densidade de plantas na área. Os autores ainda afirmam que essa simples mudança de escala pode ser realizada em padrões uniformes de plantas. Sendo assim, essa metodologia foi utilizada nesse trabalho.

Santos et al. (2012) realizaram medidas individuais de fluxo de seiva em uma amostra de Oliveira (*Olea europaea*) e, para o cálculo da área total do dossel, foram coletadas folhas de 11 plantas aleatórias e multiplicada pelo número total de plantas, obtendo assim, a transpiração total da área. Pernice et al. (2009) também realizaram medidas de fluxo de seiva para determinar a transpiração individual de *O. europaea* e estimar a transpiração em escala de parcela. Utilizaram medidas de índice de área foliar e da área transversal do tronco de 40 árvores para realizar a mudança de escala, através da contagem do número de plantas na parcela. Motisi et al. (2012) e Papa e Consoli (2013) realizaram a mudança de escala de planta

para parcela, com base na razão entre o índice de área foliar (IAF) e a área foliar da planta.

Considerando o evento de não tombamento, a transpiração da parcela foi maior em relação ao evento de tombamento em 15%. Essa menor transpiração das plantas tombadas refere-se à menor disponibilidade de radiação para as folhas das plantas, pois segundo Schurgers et al. (2015), a copa da planta intercepta a radiação e altera a circulação de ar e trocas de energia com a superfície da terra e, ainda, a extinção da luz dentro do dossel promove diversas alterações nos processos bioquímicos da planta.

Pelos resultados apresentados, a transpiração líquida planta ( $F_s$ ), apresentada na Figura 27 e da  $E_t$  e  $G_s$  na escala de folha (Figuras 31 e 32, respectivamente), estão correlacionadas com a PAR (Figura 24) que atinge as plantas. Dessa maneira, como as plantas tombadas estavam sombreadas, as taxas de transpiração foram reduzidas em comparação com as plantas eretas. Segundo Almeida et al. (2015), o efeito dos fatores ambientais sobre as folhas variam conforme a posição delas na copa. O ambiente luminoso heterogêneo, no qual a planta se desenvolve, proporciona diferentes estresses para as folhas situadas nas várias posições da copa das plantas. Desta maneira, as respostas fisiológicas das folhas à luz variam conforme a sua posição na copa, podendo haver a existência de dois tipos de folhas, folhas de sol e de sombra na mesma planta. Resultados observados por Fini et al. (2010) mostram que, para uma determinada espécie de arbusto, a transpiração e a condutância estomática reduziram 36 e 38%, respectivamente, quando o sombreamento aumentou 60% em relação às plantas a pleno sol. Segundo os autores, a redução na condutância estomática nas plantas sombreadas é, provavelmente, devido à densidade de estômatos mais baixa induzida por sombreamento. No experimento realizado por Nery et al. (2011), com aumento de 70% de sombreamento, a redução na transpiração e na condutância estomática foi de 21 e 8%, respectivamente em comparação as plantas cultivadas à pleno sol e concluíram que a melhor condição para o crescimento das mudas é em pleno sol. Resultado apresentado por Wang et al. (2014) mostra que as trocas gasosas das folhas de mamoeiro foram afetadas pelas interações entre a intensidade da luz, idade e posição da folha. Os menores valores de  $E$  e  $G_s$  em folhas subdesenvolvidas pode ser atribuída ao aparato fotossintético e estomático que ainda precisa se desenvolver plenamente. Zhang et al. (2016) concluíram em seu trabalho que a transpiração das folhas de sombra foram cerca de 50% em relação às folhas de sol.

Usando técnicas de “Edy Covariance”, Ouyang et al. (2013) descobriram que a variação diurna do uso eficiente da água em pêssgo na escala de parcela foi significativamente influenciada pelo curso do DPV, fato corroborando com o resultado

apresentado nessa pesquisa. Segundo Motisi et al. (2012), “eddy covariance” *versus* fluxo de seiva é considerado o método preferido na investigação de diferentes processos envolvidos na transpiração da parcela. Tonello e Teixeira Filho (2011) optaram pela avaliação do comportamento da transpiração separadamente no período da manhã e tarde em virtude da maior demanda evaporativa da atmosfera no período da tarde. Nassif et al. (2014) concluíram em seu trabalho que o consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar está altamente correlacionada com as condições atmosféricas, notavelmente o déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. Assim, essas informações corroboram com os dados apresentados na Figura 30, já que a transpiração da cana-de-açúcar seguiu ao curso do DPV.

A questão mais urgente é, talvez, como os processos de micro-escala podem ser representados na escala macroscópica (MANZONI et al., 2013). A ampliação para escala de parcela é possível por meio de medição do fluxo de seiva de uma amostragem de número limitado de plantas (PERNICE et al., 2009).

O mês de setembro apresentou os maiores valores de PAR (Figura 24), fazendo com que se registrassem os maiores valores de transpiração na escala de planta (FS), e folha (Et), além da Gsmed, tanto para planta ereta como para planta tombada. Isso demonstra a importância da radiação nos processos fisiológicos da planta. Segundo Dutra et al. (2012) a luz é um fator ecológico de fundamental importância, capaz de interferir sobre todos os estágios de desenvolvimento das plantas e em seus numerosos processos fisiológicos. Plantas expostas à luz solar intensa priorizam o crescimento radicular para compensar a perda de água por transpiração (CARON ET al., 2014). No entanto, a exposição direta ao sol pode elevar grandemente a temperatura das folhas intensificando a taxa respiratória, o que induziria ao fechamento dos estômatos (SCHOCK et al., 2014). Segundo Almeida et al. (2015), a interação entre o déficit hídrico e o mau aproveitamento da radiação luminosa pelas folhas pode ocasionar redução nas trocas gasosas e, conseqüentemente, diminuir o crescimento e a produção de frutos em diferentes culturas agrícolas.

Folhas expandidas ao sol são geralmente menores e mais grossas do que folhas expandidas na sombra. Possuem densidade estomática maior e taxas mais elevadas de transpiração (MURPHY et al., 2012). O’Carrigan et al. (2014) verificaram o efeito de diferentes ondas monocromáticas (azul, verde e vermelho) nas trocas gasosas em tomates (*Solanum lycopersicum*) e, pelos resultados apresentados, as plantas são menos afetadas sob tratamento com luz azul, que apresentou mais elevada taxa de condutância estomática e

transpiração em relação às cores verde e vermelho. Dessa maneira, observa-se a importância da radiação no processo transpiratório da planta.

Resultados obtidos por Carlin et al. (2008), que avaliaram o tombamento da cana-de-açúcar, verificaram que após o tombamento houve um aumento em comprimento do colmo, devido às mudanças hormonais promovidas pelas auxinas. E segundo os autores, com o tombamento também é induzido o aparecimento de brotões, que são brotos desenvolvidos após a estabilização dos colmos principais na cultura, e cujo comportamento é semelhante ao de uma cana jovem, mas que se diferencia pela presença de caules mais grossos e folhas mais largas e curtas do que os dos colmos principais. Foram observados nas plantas tombadas, o surgimento de novos brotos a partir das gemas laterais, devido à alteração na dominância apical, principalmente pela queda da auxina, hormônio que inibe o desenvolvimento de gemas laterais (INOUE et al., 2015) e que com essas novas folhas, contribuíram para incrementar a transpiração das plantas tombadas.

O tombamento causa a destruição da planta, devido ao esmagamento e quebra dos caules e os resultados obtidos por Ferreira Júnior et al. (2015) mostraram que devido ao tombamento, juntamente com as baixas temperaturas do ar durante estação chuvosa, provavelmente, causou uma diminuição no acúmulo de massa e, conseqüentemente, diminuiu a eficiência do uso da radiação.

Apesar dos nossos resultados não apresentarem a porcentagem de sombreamento que as plantas estavam submetidas, nota-se pelos resultados que houve a redução da transpiração tanto na escala de folha como na escala de planta, além da redução da condutância, nas plantas que estavam tombadas em comparação às plantas eretas, que se apresentavam à pleno sol. Desta maneira, os dados apresentados corroboram com os encontrados na literatura a respeito do efeito do sombreamento em relação à transpiração das plantas.

Nas condições que o trabalho foi desenvolvido, nota-se que o tombamento das plantas de cana-de-açúcar resultou em menores taxas de transpiração na escala de folha e na escala de planta em comparação às plantas que estavam eretas. Essa redução no comportamento ecofisiológico está mais relacionada à menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa que atinge as folhas das plantas.

Ainda, a utilização de medidas de fluxo de seiva de uma pequena amostra de cana-de-açúcar permite a extrapolação para uma parcela e está condicionada às condições climáticas, especialmente a demanda evaporativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa

## 8. DISCUSSÃO GERAL

A deficiência hídrica afeta vários processos fisiológicos, entre eles, o potencial hídrico foliar (OLIVEIRA et al, 2002; TRETIN et al., 2011; TONELLO e TEIXEIRA FILHO, 2013), o teor de água nos tecidos (TOPPA et a., 2010), a fotossíntese (GOLÇALVES et al. (2010; HÉROULT et al. 2013), a transpiração (YOO et al., 2010; TONELLO e TEIXEIRA FILHO, 2012; BODIN et al., 2013) a condutância estomática (SILVA et al., 2009; TONELLO e TEIXEIRA FILHO, 2011; RICHARDSON et al., 2013), o uso eficiente da água (NINOU et al., 2013; DRAKE et al., 2013), e a redução do metabolismo de carboidratos (LIU e BAIRD, 2003; MACHADO et al., 2013).

Quando a disponibilidade de água no solo reduz, a planta diminui a transpiração e a condutância estomática para manter seu balanço hídrico e a turgescência celular (MARTINS et al., 2008). A demanda hídrica das plantas é governada pelos balanços de radiação e de energia na superfície da folha (SILVA et al., 2012).

O curso diário da transpiração e a condutância estomática da cana-de-açúcar, em função do potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) e das variáveis ambientais, tais como a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e o déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV) foram caracterizados no Capítulo 4. Foi possível observar o curso diário da transpiração e da condutância estomática, no qual observou-se que plantas com menores restrições de água ( $\Psi_{pd}$  menos negativos) apresentaram valores mais elevados de transpiração e condutância estomática em relação às plantas que apresentavam maiores restrições de água ( $\Psi_{pd}$  mais negativos). Tonello e Teixeira Filho (2012) observaram o mesmo comportamento para o eucalipto, no qual houve o declínio das respostas de transpiração e condutância estomática com a redução do  $\Psi_{pd}$ . Segundo Albuquerque et al. (2013), a própria redução na condutância estomática em plantas desidratadas é uma estratégia para reduzir a perda excessiva de água via transpiração. Tonello e Teixeira Filho (2013) verificaram um padrão diurno do comportamento da transpiração e condutância estomática para o eucalipto, sendo este padrão caracterizado pela ocorrência de valores máximos da condutância no período da manhã e ao final da tarde, com uma diminuição ao redor do meio-dia. No dia 17/08/2015, a cana-de-açúcar apresentou esse padrão diurno da transpiração e condutância estomática, conforme apresentado na Figura 11. Foi observado que no dia 21/09/2015, no período da manhã, plantas de cana-de-açúcar com maiores restrições de água ( $\Psi_{pd}$  -0,16 e -0,17 MPa) apresentaram valores mais elevados de transpiração e condutância estomática do que as plantas com menores restrição de água ( $\Psi_{pd}$  -0,14 MPa). Plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam

maiores taxas de transpiração no início da manhã ao contrário de plantas irrigadas que atingiram os maiores picos ao meio dia quando a radiação apresenta seus maiores valores (SANTOS et al., 2014). De acordo com Tonello e Teixeira Filho (2013), é evidente a correlação entre o mecanismo de transpiração e condutância estomática do eucalipto com os fatores climáticos e potencial hídrico das plantas.

No Capítulo 5, foi apresentada a transpiração da cana-de-açúcar na escala de planta, por meio de medidas de fluxo de seiva no caule. Foi observado que os valores de fluxo de seiva das plantas avaliadas mostraram uma aderência às condições do clima, especialmente a radiação global, principalmente no período da tarde e, do déficit de pressão de vapor, notadamente no período da manhã. Segundo Nassif et al. (2013), o consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar está altamente correlacionado com as condições atmosféricas, notavelmente o deficit de pressão de vapor e a velocidade do vento. Os resultados apresentaram que as plantas com maiores restrições de água tiveram menores valores do  $F_s$  em relação às plantas com situações de menor restrição de água. De acordo com Sperling et al. (2015), a medição do fluxo de seiva pode desvendar o deslocamento de água interna das plantas, servindo como uma comparação entre as taxas de fluxo em locais diferentes, por exemplo, caule e ramos.

O objetivo do Capítulo 6 foi comparar a transpiração da cana-de-açúcar na escala de folha com porometria e na escala de planta com medidas de fluxo de seiva. Observou-se que tanto para escala de planta como para escala de planta, os valores máximos coincidiram no mesmo horário (12:00 h) sendo  $90 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $190 \text{ g.h}^{-1}$ , respectivamente. Segundo Rasheed et al. (2015), a variação da transpiração na escala de planta pode ser originária da variação da transpiração foliar. Nassif et al. (2013) encontraram variação entre 8 e 30% da transpiração de cana-de-açúcar na escala de folha e na escala de planta. E a transpiração da cana-de-açúcar, tanto na escala de folha como na escala de planta, foi influenciada pelas condições ambientais que as plantas estavam submetidas. Segundo Xu et al. (2011), os fatores meteorológicos que influenciam o fluxo de seiva incluem a radiação solar, a temperatura do ar, o déficit de pressão de vapor, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento, no qual alguns trabalhos apresentaram regressão linear de medidas do fluxo de seiva com os principais fatores meteorológicos. Resultado apresentado por Wang et al. (2014) mostram que as trocas gasosas na escala de folha foram afetadas pelas interações entre a intensidade da radiação, a idade e a posição da folha do mamoeiro e, segundo Almeida et al. (2015), o efeito dos fatores do ambiente sobre as folhas varia conforme a posição delas na copa.

O Capítulo 7 teve como objetivo verificar o efeito do tombamento da cana-de-açúcar devido à ocorrência de um evento meteorológico extremo, no campo experimental. Devido ao sombreamento das plantas, a transpiração delas foi menor que as plantas eretas, principalmente pela menor incidência da PAR (Figura 24) que atingiam essas plantas. A transpiração e a condutância estomática na escala de folha das plantas eretas foram superiores em 43 e 39% respectivamente, em relação às plantas tombadas no mês de novembro de 2015. Com medidas de fluxo de seiva propôs-se a determinação da transpiração da parcela, pela contagem do número de plantas e, dessa forma, considerando apenas as informações das plantas sem considerar o evento de tombamento, a transpiração média diária da parcela foi de  $1,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Posteriormente, foi considerado o evento de tombamento de parte das plantas na parcela e, assim, a transpiração média diária da parcela foi de  $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ . Resultados observados por Fini et al. (2010) mostram que, para uma determinada espécie de arbusto, a transpiração e a condutância estomática reduziram 36 e 38%, respectivamente, quando o sombreamento aumentou em 60% em relação às plantas a pleno sol. Segundo os autores, a redução na condutância estomática nas plantas sombreadas é provavelmente devido à densidade de estômatos mais baixa induzida por sombreamento. No experimento realizado por Nery et al. (2011), com aumento de 70% de sombreamento, a redução na transpiração e na condutância estomática foi de 21 e 8%, respectivamente em comparação às plantas cultivadas a pleno sol, e concluíram que a melhor condição para o crescimento das mudas é em pleno sol.

## 9. CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados nessa pesquisa, conclui-se:

- ✓ As variações da  $E$  e da  $G_s$  da cana-de-açúcar, na escala de folha, estiveram condicionadas às variáveis ambientais, especificamente, a PAR, o DPV e ao  $\Psi_{pd}$ . De modo geral, para plantas que apresentaram maiores restrições de água, os resultados dos comportamentos ecofisiológicos foram menores do que para as plantas mais hidratadas.
- ✓ A utilização da metodologia de fluxo de seiva possibilitou a avaliação da transpiração líquida na escala da planta. Observou-se que os maiores valores da transpiração da planta ocorreram com os altos valores de  $R_g$ , DPV e ao  $\Psi_{pd}$ .
- ✓ Os dados forneceram um modelo simplificado de mudança de escala para os valores de transpiração, tanto na escala de folha como para a escala de planta.
- ✓ Comparando o fluxo de seiva com a porometria, foi possível verificar a similaridade entre as variações horárias das diferentes escalas, apontando que ambas as metodologias são adequadas para a quantificação da transferência de água da planta para a atmosfera.
- ✓ Devido ao episódio do tombamento de parte da cana-de-açúcar, a transpiração das plantas e, conseqüentemente, da parcela foi reduzida, sobretudo pela ocorrência de menor disponibilidade de radiação que atingia as plantas nessa posição.
- ✓ Na tentativa de compreender os mecanismos de transferência de água, tanto na escala de folha como na escala de planta da cana-de-açúcar, em resposta às variáveis climáticas locais e disponibilidade de água, e a partir das metodologias empregadas, possibilitou confirmação da hipótese desse trabalho, compreendendo o mecanismo de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera da cana-de-açúcar.
- ✓ Deste modo, as informações geradas pelo trabalho são subsídios para futuros trabalhos visando desenvolver um modelo hidrológico para a cana-de-açúcar, o qual poderá simular os fluxos de água em bacias hidrográficas das regiões, que apresente a cana-de-açúcar como a principal atividade econômica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; SÁ, L. A.; RODRIGUES, W. A R.; MOURA, A. B.; OLIVEIRA FILHO, M. S. Growth and yield of sugarcane as a function of phosphorus doses and forms of application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.1, p.29-35, mar., 2016.

ALINIAEIFARD, S.; MEETEREN, U. V. Can prolonged exposure to low VPD disturb the ABA signalling in stomatal guard cells? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.64, n.12, p.3551-3566, mai, 2013.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.5, p.1441-1448, 2008.

ALMEIDA, E. I. B.; CELIN, E. F.; FREIRE, A. G.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A.; MESQUITA, R. O. Ecofisiologia de mangueiras “Tommy Atkins” submetidas a diferentes regimes hídricos e disponibilidade de luz. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.9, n.3, p.251-260, jul.-set., 2015.

ALVARADO-BARRIENTOS, M. S.; HERNÁNDEZ-SANTANA, V.; ASBJORNSEN, H. Variability of the radial profile of sap velocity in *Pinus patula* from contrasting stands within the seasonal cloud forest zone of Veracruz, Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.168, p.108-119, mar., 2013.

ALVES, E. L. **Desenvolvimento de um sistema de medição dos fluxos de transpiração líquida para a cultura de cana-de-açúcar a partir do fluxo de seiva**. 1999. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

ANDERSON, R. G.; WANG, D.; TIRADO-CORBALÁ, R.; ZHANG, H.; AYARS, J. E. Divergence of actual and reference evapotranspiration observations for irrigated sugarcane with windy tropical conditions. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munique, v.19, n.1, p.583-599, jan., 2015.

ANDRÉ, R. G. B.; MENDONÇA, J. C. MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.25, n.3, p.375-382, 2010.

ANTUNES, W. R.; SCHÖFFEL, E. R.; SILVA, S. D. A.; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.2, p.142-148, fev. 2016.

ARAÚJO, A. V.; PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; PEZZOPANE, J. R. M.; FALQUETO, A. R.; CAVATTE, P. C. Microclima e crescimento vegetativo do café Conilon consorciado com bananeiras. **Coffee Science**, Lavras, v.10, n.2, p.214-222, abr./jun. 2015.

ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. D. S.; SOUSA, E. F. de. Método de dissipação térmica para determinação do fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p.558-562, nov., 2012.

ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Amsterdam, v.4, p.463-470, 2015.

ARVE, L. E.; TERFA, M. T.; GISLERØD, H. R.; OLSEN, J. E.; TORRE, S. High relative air humidity and continuous light reduce stomata functionality by affecting the ABA regulation in rose leaves. *Plant, Cell and Environment*, Hoboken, v.36, p.382-392, mar., 2013

ASHRAF, M.; HARRIS, P. C. J. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, New York, v.51, n.2, p.163-190, ago., 2013.

BAI, Y.; ZHU, G.; SU, Y.; ZHANG, K.; HAN, T.; MA, J.; WANG, W.; MA, T.; FENG, L. Hysteresis loops between canopy conductance of grapevines and meteorological variables in an oasis ecosystem. **Agricultural and Forest Meteorology**, Saint Paul, 214-215, p. 319-327, set., 2015.

BAKER, C. J.; STERLING, M.; BERRY, P. A generalised model of crop lodging. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v.363, p.1-12, ago., 2014.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I.; OLIVEIRA, M. W.; SOUZA, V. F. M.; RIBEIRO, S. N. N. RB867515 Sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.1, n.4, p.437-438, set., 2001.

BARON, D.; GRACIANO, D. D. S.; PORTELLA, R. D. O.; MANTOAN, L. P. B.; ALMEIDA, L. F. R.; BOARO, C. S. F. The ecophysiological performance of *Vernonia polyanthes* Less. (Asteraceae) in conserved and degraded forests in the Brazilian Cerrado. **Acta Physiologiae Plantarum**, Cracóvia, v.37, n. 1, p.1-8, out., 2014.

BASNAYAKE J.; JACKSON, P. A.; INMAN-BAMBER, N. G.; LAKSHMANAN, P. Sugarcane for water-limited environments. Variation in stomatal conductance and its genetic correlation with crop productivity. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.66, n.13, p.3945-3958, mai., 2015.

BATISTA, E. L. S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. G. F.; BOEHRINGER, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1080-1087, jul., 2013.

BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; ISLAM, M. S.; AREFIN, M. S. Effect of water stress on physiological characters and juice quality of sugarcane. **Sugar Tech**, New York, v.14, n.2, p.161-167, jun., 2012.

BEIS, A.; PATAKAS, A. Differential physiological and biochemical responses to drought in grapevines subjected to partial root drying and deficit irrigation. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.62, p.90-97, out., 2015

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1531-1540, ago., 2000

BODIN, P. E.; GAGEN, M.; MCCARROLL, D.; LOADER, N. J.; JALKANEN, R.; ROBERTSON, I.; SWITSUR, V. R.; WATERHOUSE, J. S.; WOODLEY, E. J.; YOUNG, G. H. F.; ALTON, P. B. Comparing the performance of different stomatal conductance models using modelled and measured plant carbon isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ): implications for assessing physiological forcing. **Global Change Biology**, Hoboken, v.19, p.1709-1719, 2013.

BOEHRINGER, D.; ZOLNIER, S. RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Determinação do fluxo de seiva na cana-de-açúcar pelo método do balanço de energia caulinar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.237-248, mar./abr., 2013.

BONAN, G. B.; WILLIAMS, M.; FISHER, R. A.; OLESON, K. W. Modeling stomatal conductance in the earth system: Linking leaf water-use efficiency and water transport along the soil-plant-atmosphere continuum. **Geoscientific Model Development**, Gottingen, v.7, n.5, p.2193-2222, set., 2014.

BONNETT, G. D. Rate of leaf appearance in sugarcane, including a comparison of a range of varieties. **Australian Journal Plant Physiology**, Collingwood, v.25, n.07, p.829-834, jan., 1998.

BOURMAUD, A.; GIBAUD, M.; LEFEUVRE, A.; MORVAN, C.; BALEY, C. Influence of the morphology characters of the stem on the lodging resistance of Marilyn flax. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.66, n.1, p.27-37, jan., 2015.

BOYLE, R. K. A.; MCAINSH, M.; DODD, I. C. Stomatal closure of *Pelargonium hortorum* response to soil water deficit is associated with decreased leaf water potential only under rapid soil drying. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v.156, p.84-96, mar., 2016.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; KLEIN, V. A. Variação diurno-noturna do potencial mátrico e gradiente de potencial total da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.128-134, fev., 2014.

BRUNINI, O. **Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar.** In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.205-218.

BURKHARDT, J.; PARIYAR, S. How does the VPD response of isohydric and anisohydric plants depend on leaf surface particles?. **Plant Biology**, New York, v.18, n.1, Netherlands, p.91-100, fev., 2016.

BUSCH, J. Canopy transpiration rates in eutrophic wetlands dominated by sedges (*Carex* spp.) differ in a species specific way. **Physics and Chemistry of the Earth - Part B**, Amsterdam, v.25, n.7-8, p.605-610, 2000.

CAMPBELL, D. N.; NA, C.; ROWLAND, D. L.; SCHNELL, R. W.; FERRELL, J. A., WILKIE, A. C. Development of a regional specific crop coefficient (Kc) for castor (*Ricinus communis* L.) in Florida, USA by using the sap flow method. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.74, p.465-471, jun., 2015.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1106-1113, 2009.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.845-853, 2008.

CARLUCCI, M. V.; RAMOS, M. T. B. Influência da deficiência hídrica no florescimento e características tecnológicas da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.461-466, 1989.

CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BUSANELLO, C. Efficiency of the use of solar radiation for plants *Ilex paraguariensis* A.ST. HIL. cultivated under shadow and full sun. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.2, p.257-265, abr./jun., 2014.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n.1, p.1-25, fev., 2011.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS A. C. M.; **Fisiologia da parte aérea.** In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. Cana-de-Açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, v.1, p.57-78, 2008.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA**, Porto Alegre, v.14, n.2, p. 102-120, 2007.

CERMÁK, J.; KUCERA, J.; NADEZHDINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. **Trees - Structure and Function**, New York, v.18, p.529-546, 2004.

CHABOT, R.; BOUARFA, S.; ZIMMER, D.; CHAUMONT, C.; DUPREZ, C. Sugarcane transpiration with shallow water-table: sap flow measurements and modeling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.54, p.17-36, 2002.

CHABOT, R.; BOUARFA, S.; ZIMMER, D.; CHAUMONT, C.; MOREAU, S. Evaluation of the sap flow determined with a heat balance method to measure the transpiration of a sugarcane canopy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.75, p.10-24, 2005.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v.103, p.551-560, jul., 2009.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C. de; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; BURNQUIST, W. L.; CRESTE, S.; CIERO, L. di; FERRO, J. A.; FIGUEIRA, A. V. O.; FILGUEIRAS, T. S.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; GUZZO, E. C.; HOFFMANN, H. P.; LANDELL, M. G. A.; MACEDO, N.; MATSUOKA, S.; REINACH, F. C.; ROMANO, E.; SILVA, W. J. da; SILVA FILHO, M. C.; ULIAN, E. C. Sugarcane (*Saccharum officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, New York, v.4, p.62-89, set., 2011.

CHEN D.; WANG, Y.; LIU, S.; WEI, X.; WANG, X. Response of relative sap flow to meteorological factors under different soil moisture conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) plantations in semiarid Northwest China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.136, p.223-233, fev., 2014.

CHEN, Y. J.; CAO, K. F.; SCHNITZER, S. A.; FAN, Z. X.; ZHANG, J. L.; BONGERS, F. Water-use advantage for lianas over trees in tropical seasonal forests. **New Phytologist**, Hoboken, v.205, n.1, p.128-136, ago., 2015.

COELHO, R. D.; VELLAME, L. M.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the 'valencia' orange young plant using thermal dissipation probe method. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.573-581, mai./jun., 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2016.

CONFALONE, A. E.; COSTA, L. C.; PEREIRA, C. R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São Paulo, v.6, n.2, p.165-169, 1998.

COSTA, C. T. **Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*), no quarto ciclo de cultivo**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2009.

COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of the weather on growth and radiation intercepted by faba bean. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.32, n.3. p.277-281, 1997.

COSTA, M. C. G.; MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; JORGE, L. A. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1503-1514, 2007.

DALMOLIN, Â. C.; THOMAS, S. E. D. O.; CRISTINA, B.; EUGENIA, C.; ORTÍZ, R. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento, **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.13, n.1, p.41-48, jan./mar. 2015.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.283-288, jul., 2006.

DELGADO-ROJAS, J. S.; RIGHI, C. A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L. R.; BERNARDES, M. S.; FOLEGATTI, M. V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.722-729, 2006.

DIAS, E. F.; SCHLINDWEIN, M. M.; SILVA, L. F.; RUVIARO, C. F. A situação da cadeia produtiva do etanol no Brasil e em Mato Grosso do Sul a partir da crise mundial de 2008. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em debate**, Criciúma, v.1 n.1, p. 112-129, 2015.

DING, R.; KANG, S.; DU, T.; HAO, X.; Zhang, Y. Scaling up stomatal conductance from leaf to canopy using a dual-leaf model for estimating crop evapotranspiration. **Plos One**, San Francisco, v.9, n.4, p.1-12, abr., 2014.

DRAKE, P. L.; FROEND, R. H.; FRANKS, P. J. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.64, n.2, p.495-505, 2013.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SANTANA, R. C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.7, p.1212-1218, mai., 2012.

DUURSMA, R. A.; PAYTON, P.; BANGE, M. P.; BROUGHTON, K. J.; SMITHA, R. A.; MEDLYNE, B. E.; TISSUEA, D. T. Near-optimal response of instantaneous transpiration

efficiency to vapour pressure deficit, temperature and [CO<sub>2</sub>] in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.168, p.168-176, 2013.

ELLER, C. B.; BURGESS, S. S. O.; OLIVEIRA, R. S. Environmental controls in the water use patterns of a tropical cloud forest tree species, *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). **Tree Physiology**, Oxford, v.35, n.4, p. 387-399, fev., 2015.

ELLSWORTH, P. Z.; COUSINS, A. B. Carbon isotopes and water use efficiency in C4 plants. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v.31, n.6, p.155-161, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and Water Relations in Brazilian Sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, Sharjah, v.4, p.31-37, ago., 2010.

ESCALONA, J. M.; FUENTES, S.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Responses of leaf night transpiration to drought stress in *Vitis vinifera* L. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.118, p.50-58, jan., 2013.

ESPADAFOR, M.; ORGAZ, F.; TESTI, L.; LORITE, I. J.; VILLALOBOS, F. J. Transpiration of young almond trees in relation to intercepted radiation. **Irrigation Science**, Berlin Heidelberg, v.33, n.4, p.265-275, fev., 2015.

EWERS, B. E. Understanding stomatal conductance responses to long-term environmental changes: a Bayesian framework that combines patterns and processes. **Tree Physiology**, Oxford, v.33, p.119-122, 2013.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.356-362, 2008.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1007-1013, jun., 2006.

FERNANDES, T. J. G.; CAMPO, A. D. D.; HERRERA, R.; MOLINA, A. J. Simultaneous assessment, through sap flow and stable isotopes, of water use efficiency (WUE) in thinned pines shows improvement in growth, tree-climate sensitivity and WUE, but not in WUEi. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.361, p.298-308, jan., 2016.

FERRAZ, T. M.; NETTO, A. T.; REIS, F. O.; PEÇANHA, A. L.; SOUSA, E. F.; MACHADO FILHO, J. A.; RODRIGUES, W. P.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Relationships between sap-flow measurements, whole-canopy transpiration and reference

evapotranspiration in field-grown papaya (*Carica papaya* L.). **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Rio Claro, v.27, n. 3-4, p.251-262, dez., 2015.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A. dos; PORFIRIO, A. C. S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1229-1236, mai., 2012.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, M. V. C. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacings in northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.8, p.741-747, jul., 2015.

FINI, A.; FERRINI, F.; FRANGI, P.; PIATTI, R.; AMOROSO, G. Effects of shading on growth, leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of three container-grown shrubs, In: International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone, 1, 2010, Pruhonice. **Anais...** Bélgica: Acta Horticulture, 2010, v.1, p.109-118.

FONTANA, D. C.; ALVES, G. M.; ROBERTI, D.; MORAES, O. L. L. de; GERHARDT, A. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados do sensor Modis. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p.563-571, 2012.

FORD, C. R.; HUBBARD, R. M.; KLOEPPEL, B. D.; VOSE, J. M. A comparison of sap flux-based evapotranspiration estimates with catchment-scale water balance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.145, p.176-185, 2007.

FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; MORRIS, J. D. Transpiration along an age series of Eucalyptus globulus plantations in southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, p.1754-1760, 2010.

FRAGA, C. I. M.; SANCHES, L.; PINTO JUNIOR, O. B.; CURADO, L. F. A.; GAIO, D. C. Condutância do dossel, condutância aerodinâmica e fator de Desacoplamento em floresta de *Vochysia divergens* pohl (vochysiaceae) no pantanal brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.30, n.3, p.275-284, set., 2015.

FRAITURE, C. de; WICHELNS, D. Satisfying future water demands for agriculture. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.502-511, mai, 2010.

FRIZZONE, J. A.; MATIOLI, C. S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1131-1137, 2001.

GAO, J.; ZHAO, P.; SHEN, W.; NIU, J.; ZHU, L.; NI, G. Agricultural and Forest meteorology biophysical limits to responses of water flux to vapor pressure deficit in seven tree species with contrasting land use regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.200, p.258-269, out., 2015

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C. da; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p.250-255, nov., 2011

GEBAUER, T.; HORNA, V.; LEUSCHNER, C. Canopy transpiration of pure and mixed forest stands with variable abundance of European beech. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.442-443, p.2-14, 2012.

GHARUN, M.; TURNBULL, T. L.; ADAMS, M. A. Stand water use status in relation to fire in a mixed species eucalypt forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.304, p.162-170, 2013a.

GHARUN, M.; TURNBULL, T. L.; ADAMS, M. A. Validation of canopy transpiration in a mixed-species foothill eucalypt forest using a soil-plant-atmosphere model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.492, p.219-227, 2013.b

GIBAUD, M.; BOURMAUD, A.; BALEY, C. Understanding the lodging stability of green flax stems; The importance of morphology and fibre stiffness. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.137, p.9-21, jul., 2015.

GIMENEZ, C.; CONNOR, D. J.; RUEDA, F. Canopy development, photosynthesis and radiation-use efficiency in sunflower in response to nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.38, n.1, p.15-27, 1994.

GIRÓN, I. F.; CORELL, M.; GALINDO, A.; TORRECILLAS, E.; MORALES, D.; DELL'AMICO, J.; MORIANA, A. Changes in the physiological response between leaves and fruits during a moderate water stress in table olive trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.148, p.280-286, nov., 2015.

GOMES, L. S.; BRANDÃO, A. M.; BRITO, C. H.; MORAES, D. F.; LOPES, M. T. G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.140-145, fev., 2010.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. D. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila A em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.378-386, 2010.

GONÇALVES, I. Z. **Aspectos nutricionais, fisiológicos e vegetativos da cultura da cana-de-açúcar irrigada via gotejamento subsuperficial com aplicação de esgoto doméstico tratado**. 2015. 137f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2015.

GOUVÊA, J. R. F.; SENTELHAS, P. C.; GAZZOLA, S. T.; SANTOS, M. C. Climate changes and technological advances: Impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.5, p.593-605, 2009.

GRAÇA, J. P.; RODRIGUES, F. A.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; ZINGARETTI, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Society of Plant Physiology**, Rio Claro, v.22, n.3, p.189-197, 2010.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Les Ulis, v.42, n.2, p.193-200, 1985.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, n.1, p.1-10, jan.-fev., 2013.

HÉROULT, A.; LIN, Y. S.; BOURNE, A.; MEDLYN, B. E.; ELLSWORTH, D. S. Optimal stomatal conductance in relation to photosynthesis in climatically contrasting *Eucalyptus* species under drought. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.36, p.262-274, 2013.

HOFFMANN, H. P.; SANTOS, E. G. D.; BASSINELLO, A. I.; VIEIRA, M. A. S. **Variedades RB de Cana-de-açúcar**. Araras-SP: Departamento de Biotecnologia Vegetal da UFSCar, 2008, 30p.

HUANG, C.; CHU, C.; HSIEH, C.; PALMROTH, S.; KATUL, G. G. Wind-induced leaf transpiration. **Advances in Water Resources**, Amsterdam, v.86, p.240-255, out., 2015.

HUANG, J.; ZHOU, Y.; YIN, L.; WENNINGER, J.; ZHANG, J.; HOU, G.; ZHANG, E.; UHLENBROOK, S. Climatic controls on sap flow dynamics and used water sources of *Salix psammophila* in a semi-arid environment in northwest China. **Environmental Earth Sciences**, Berlin Heidelberg, v.73, n.1, p.289-301, jul., 2014.

HUANG, L.; ZHANG, Z. Effect of rainfall pulses on plant growth and transpiration of two xerophytic shrubs in a revegetated desert area: Tengger Desert, China. **Catena**, Amsterdam, v.137, p.269-276, 2016.

INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.36, p.41-51, 1994.

INMAN-BAMBER, N. G.; LAKSHMANAN, P.; PARK, S. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.134, p.95-104, mai., 2012.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.185-202, 2005.

INOUE, M. H.; CAPPELLESSO, E. J. S.; MENDES, K. F.; BEM, R.; CONCIANI, P. A. Eficiência do bispyribac-sodium como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.1, p.80-88 jan./mar., 2015.

IRMAK, S.; KABENGE, I.; RUDNICK, D.; KNEZEVIC, S.; WOODWARD, D.; MORAVEK, M. Evapotranspiration crop coefficients for mixed riparian plant community and transpiration crop coefficients for Common reed, Cottonwood and Peach-leaf willow in the Platte River Basin, Nebraska-USA. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.481, p.177-190, 2013.

IRVIN, J. E. Photosynthesis and Stomatal Behavior in Sugarcane Leaves as Affected by Light Intensity and Low Air Flow Rates. **Plant Physiology**, Oxford, v.24, p.436-440, 1971.

JACKSON, P.; BASNAYAKE, J.; INMAN-BAMBER, G.; LAKSHMANAN, P.; NATARAJAN, S.; STOKES, C. Genetic variation in transpiration efficiency and relationships between whole plant and leaf gas exchange measurements in *Saccharum* spp. and related germplasm. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.67, n.3, p.861-871, nov. 2015.

KALLARACKAL, J.; OTIENO, D. O.; REINEKING, B.; JUNG, E. Y.; SCHMIDT, M. W. T.; GRANIER, A.; TENHUNEN, J. D. Functional convergence in water use of trees from different geographical regions: a meta-analysis. **Trees**, New York, v.27, p.787-799, 2013.

KENZO, T.; INOUE, Y.; YOSHIMURA, M.; YAMASHITA, M.; TANAKA-ODA, A.; ICHIE, T. Height-related changes in leaf photosynthetic traits in diverse Bornean tropical rain forest trees. **Oecologia**, Berlin Heidelberg, v.177, n.1, p.191-202, nov., 2015.

KLEIN, T.; SHPRINGER, I.; FIKLER, B.; ELBAZ, G.; COHEN, S.; YAKIR, D. Relationships between stomatal regulation, water-use, and water-use efficiency of two coexisting key Mediterranean tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.302, p.34-42, abr., 2013.

KONG, E.; LIU, D.; GUO, X.; YANG, W.; SUN, J.; LI, X., ZHAN, K.; CUI, D.; LIN, J.; ZHANG, A. Anatomical and chemical characteristics associated with lodging resistance in wheat. **The Crop Journal**, Amsterdam, v.1, n.1, p.43-49, jul., 2013.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 184, p.56-70, out., 2014.

KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; UHEYAMA, M.; OHKUBO, S.; TANAKA, H.; MATSUMOTO, K.; SAKABE, A. Determination of the gas exchange phenology in an evergreen coniferous forest from 7 years of eddy covariance flux data using an extended big-leaf analysis. **Ecological Research**, New York, v.28, n.3, p.373-385, mar., 2013.

KUWAGATA, T.; ISHIKAWA-SAKURAI, J.; HAYASHI, H.; NAGASUGA, K.; FUKUSHI, K.; AHAMED, A.; TAKASUGI, K.; KATSUHARA, M.; MURAI-HATANO, M. Influence of low air humidity and low root temperature on water uptake, growth and Aquaporin expression in rice plants. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.53, n.8, p.1418-1431, mai., 2012.

LANDELL, M. G. A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDOIA, M. A. P.; SILVA, M. A.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.4, p.741-745, abr., 2003.

LI, W.; SI, J.; YU, T.; LI X. Response of *Populus euphratica* Oliv. sap flow to environmental variables for a desert riparian forest in the Heihe River Basin, Northwest China. **Journal of Arid Land**, Xinjiang, v.8, n.4, p.591-603, fev., 2016.

LINDERSON, M. L.; MIKKELSEN, T. N.; IBROM, A.; LINDROTH, A.; RO-POULSEN, H.; PILEGAARD, K. Up-scaling of water use efficiency from leaf to canopy as based on leaf gas exchange relationships and the modeled in-canopy light distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.152, n.1, p.201-211, set., 2012.

LIU, C.; DUA, T.; LI, F.; KANG, S.; LI, S.; TONG, L. Trunk sap flow characteristics during two growth stages of apple tree and its relationships with affecting factors in an arid region of northwest China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.104, p193-202, 2012.

LIU, X; BAIRD, W. V. Differential Expression of Genes Regulated in Response to Drought or Salinity Stress in Sunflower. **Crop Science**, New York, v.43, n.2, p.678-687, 2003.

LOOKER, N.; MARTIN, J.; JENCOSO, K.; HU, J. Contribution of sapwood traits to uncertainty in conifer sap flow as estimated with the heat-ratio method. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.223, p.60-71, abr., 2016.

MACHADO, D. F. S. P.; LAGÔA, A. M. M. A.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, R. S.; MACHADO, E. C. Baixa temperatura noturna e deficiência hídrica na fotossíntese de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.5, p.487-495, 2013.

MACRELLI, S.; MOGENSEN, J.; ZACCHI, G. Techno-economic evaluation of 2nd generation bioethanol production from sugar cane bagasse and leaves integrated with the sugar-based ethanol process. **Biotechnology for Biofuels**, Londres, v.5, n.22, p.1-18, nov., 2012.

MANZONI, S.; VICO, G.; PORPORATO, A.; KATUL, G. Biological constraints on water transport in the soil-plant-atmosphere system. **Advances in Water Resources**, Amsterdam, v.51, p.292-304, mar., 2013.

MARIANO, A. P.; DIAS, M. O. S.; JUNQUEIRA, T. L.; CUNHA, M. P.; BONOMI, A.; MACIEL FILHO, R. Butanol production in a first-generation Brazilian sugarcane biorefinery: Technical aspects and economics of greenfield projects. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.135, p.316-323, out., 2013.

MARIN, F. R.; LOPES-ASSAD, M. L.; ASSAD, E. D.; VIAN, C. E.; SANTOS, M. C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.11, p.1449-1455, nov. 2008.a

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, n.1, p.1-14, 2008.b

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G.; VIANNA, M. S.; CARVALHO, K. S. Crop coefficient changes with reference evapotranspiration for highly canopy-atmosphere coupled crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.163, p.139-145, set., 2016a.

MARIN, F. R.; MARTHA JR., G. B.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P. Prospects for increasing sugarcane and bioethanol production on existing crop area in Brazil. **BioScience Advance Access**, Oxford, v.1, n.1, p.1-10, fev., 2016b.

MARQUES, T. A.; MARQUES, P. A. A.; SURIANI, M. W.; SANTOS, A. T.; MENDONÇA, F. C. Water absorbent polymer in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.99-108, jan.-fev., 2013.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRIGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M. R.; IGLESIAS, D. J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M. A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. monstruosa). **Trees**, New York, v.27, n.3, p.629-638, 2013.

MATIMATI, I.; VERBOOM, G. A.; CRAMER, M. D. Nitrogen regulation of transpiration controls mass-flow acquisition of nutrients. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.65, n.1, p.159-168, nov., 2014.

MATSUSHITA, K.; ISHII, T.; IDETA, O.; IIDA, S.; SUNOHARA, Y.; MAEDA, H.; WATANABE, H. Yield and lodging resistance of “Tachiayaka”, a novel rice cultivar with short panicles for whole-crop silage. **Plant Production Science**, Tokyo, v.17, n.2, p.202-206, abr., 2014.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munique, v.17, p.1331-1363, 2013.

MEDRANO, H.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; FLEXAS, J.; HERNÁNDEZ, E.; ROSSELLÓ, J.; POU, A.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. **The Crop Journal**, Amsterdam, v.3, n.3, p.220-228. 2015.

MEGDA, M. X. V.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C. Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.12, p.1681-1690, jan., 2012.

MIYAZAWA, Y.; TATEISHI, M.; KOMATSU, H.; IWANAGA, F.; MIZOUE, N.; MA, V.; SOKH, H.; KUMAGAI, T. Implications of leaf-scale physiology for whole tree transpiration under seasonal flooding and drought in central Cambodia. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.198, p.221-231, set., 2014.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, Londres, v.281, n.980, p.277-294, 1977.

MOTISI, A.; ROSSI, F.; CONSOLI, S.; PAPA, R.; MINACAPILLI, M.; RALLO, G.; CAMMALLERI, C.; D'URSO, G. Eddy Covariance and Sap Flow Measurement of Energy and Mass Exchanges of Woody Crops in a Mediterranean Environment. **Acta Horticulturae**, Bélgica, v.951, p.121-127, jun., 2012.

MURPHY, M. R. C.; JORDAN, G. J., BRODRIBB, T. J. Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.35, n.8, p.1407-1418, 2012.

NA, C.-I.; HAMAYUN, M.; KHAN, A. L.; KIM, Y.-H.; CHOI, K.-I.; KANG, S.-M.; KIM, S.-I.; KIM, J.-T.; WON, J.-G.; LEE, I.-J. Influence of prohexadione-calcium, trinexapac-ethyl and hexaconazole on lodging characteristic and gibberellin biosynthesis of rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Biotechnology**, Ebene, v.10, n.61, p.13097-13106, out., 2011.

NADEZHDINA, N.; ČERMÁK, J.; DOWNEY, A.; NADEZHDIN, V.; PERÄMÄKI, M.; DAVID, J. S.; PINTO, C. A.; DAVID, T. S. Sap flow index as an indicator of water storage use. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, Bratislava, v.63, n.2, p.124-133, jun., 2015.

NASSIF, D. S. P.; MARIN F. R.; COSTA, L. G. Evapotranspiration and transpiration coupling to the atmosphere of sugarcane in southern Brazil: Scaling up from leaf to field. **Sugar Tech**, New York, v.16, n.3, p.250-254, set., 2013.

NERY, F. C.; OLIVEIRA, H. M.; ALVARENGA, A. A.; SARA DOUSSEAU, S.; CASTRO, E. M.; CAMPOS, A. C. A. L. Initial development and gas exchange of *Talisia subalbans* (mart.) Radlk. under different shading conditions. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.1, p.61-67, 2011

NICOLÁS, E.; BARRADAS, V. L.; ORTUÑO, M. F.; NAVARRO, A.; TORRECILLAS, A.; ALARCÓN, J. J. Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.63, n.1, p.200-206, nov., 2008.

NIINEMETS, U.; CICCIOLO, P.; NOE, S. M.; REICHSTEIN, M. Scaling BVOC emissions from leaf to canopy and landscape: how different are predictions based on contrasting emission algorithms?. **Tree Physiology**, oxford, v.5, p.357-390, 2013.

NIKINMAA, E.; HÖLTTÄ, T.; HARI, P.; KOLARI, P.; MÄKELÄ, A.; SEVANTO, S.; VESALA, T. Assimilate transport in phloem sets conditions for leaf gas exchange. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.36, n.3, p.655-669, 2013.

NINO, E.; TSIALTAS, J. T.; DORDAS, C. A.; PAPAKOSTA, D. K. Effect of irrigation on the relationships between leaf gas exchange related traits and yield in dwarf dry bean grown under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.116, p.235-241, 2013.

NOGUEIRA, H. M. C. M.; NOGUEIRA, C. U.; FANTINEL, A. L.; MÜLLER, I.; HOFFMANN, R.; RODRÍGUEZ PADRÓN, R. A. Avaliação da produção e resistência à geadas de cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Espacios**, Caracas, v.36, n.24, p. 1-9, out., 2015.

O'CARRIGAN, A.; BABLA, M.; WANG, F.; LIU, X.; MAK, M.; THOMAS, R.; BELLOTTI, B.; CHEN, Z.-H. Analysis of gas exchange, stomatal behaviour and micronutrients uncovers dynamic response and adaptation of tomato plants to monochromatic light treatments. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v.82, p.105-115, jun., 2014.

OKUNO, A.; HIRANO, K.; ASANO, K.; TAKASE, W.; MASUDA, R.; MORINAKA, Y.; TANAKA-UEGUCHI, M.; KITANO, H.; MATSUOKA, M. New approach to increasing rice lodging resistance and biomass yield through the use of high gibberellin producing varieties. **Plos One**, San Francisco, v.9, n.2, p.1-12, fev., 2014.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B. **Florescimento e acamamento de cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação**. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. da; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, H. F. de; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Avaliação de modelos de estimativa de produtividade da cana-de-açúcar irrigada em Jaíba-MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.7, n. 2, p.112-127, abr., 2013.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.59-63, 2002.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1-10, out.-dez., 1999.

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, R. S. dos; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.549-557, mar., 2012.

OUYANG, Z. P.; MEI, X. R.; LI, Y. Z. Measurements of water dissipation and water use efficiency at the canopy level in a peach orchard. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.129, p.80-86, ago., 2013.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S. de; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacauzeiro a pleno sol. **Irriga**, Botucatu, p.120-132, 2012.

PAPA, R.; CONSOLI, S. Micrometeorological methods to measure and model surface energy fluxes of irrigated citrus orchards in a semi-arid environment. **Italian Journal of Agrometeorology**, v.3, p.39-46, set., 2013.

PAUDEL, I.; NAOR, A.; GAL, Y.; COHEN, S. Simulating nectarine tree transpiration and dynamic water storage from responses of leaf conductance to light and sap flow to stem water potential and vapor pressure deficit. **Tree Physiology**, Oxford, v.35, n.4, p.425-438, jan., 2015.

PENG, D.; CHEN, X.; YIN, Y.; LU, K.; YANG, W.; TANG, Y.; WANG, Z. Lodging resistance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.): Lignin accumulation and its related enzymes activities due to the application of paclobutrazol or gibberellin acid. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.157, p.1-7 fev., 2014.

PERNICE, F.; MOTISI, A.; ROSSI, F.; GEORGIADIS, T.; NARDINO, M.; FONTANA, G. Micrometeorological and Sap Flow Measurement of Water Vapour Exchanges in Olive: Scaling Up from Canopy to Orchard. In: International Workshop on Sap Flow, 7, 2009, Sevilla. **Anais...** Bélgica: Acta Horticulture, 2009, v.1, p.159-166.

PETIT, G.; ANFODILLO, T. Widening of xylem conduits and its effect on the diurnal course of water potential gradients along leaf venations. In: International Workshop on Sap Flow, 9, 2013 Gent. **Anais...** Bélgica: Acta Horticulture, 2013, v.1, p.239-244.

PFAUTSCH, S.; ADAMS, M. A. Water flux of *Eucalyptus regnans*: defying summer drought and a record heatwave in 2009. **Oecologia**, Berlin Heidelberg, v.172, n.2, p.317-326, 2013.

PILAU, F. G.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; DOURADO NETO, D., FANCELLI, A. L.; MARTIN, T. N., PEREIRA, C. R.; MANFRON, P. A. Transpiração e condutância foliar à difusão de vapor de feijoeiro irrigado em função da temperatura da folhagem e variáveis ambientais, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.1, p.127-131, 2007.

PIMENTEL, J. S.; SILVA, T. J.; JÚNIOR, J. C. F. B.; FOLEGATTI, M. V.; MONTENEGRO, A. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2. p.187-195, set., 2010.

PINTO JÚNIOR, O. B.; VOURLITIS, G. L.; SANCHES, L.; DALMAGRO, H. J.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Transpiração pelo método da sonda de dissipação térmica em floresta de transição Amazônica-Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.3, p.268-274, mar., 2013.

PIRES, M. V.; ALMEIDA, A. A. F.; SANTOS, E. A.; BERTOLDE, F. Z. Gas exchange of terrestrial and epiphytic orchids from Brazilian Atlantic Rainforest. **Photosynthetica**, New York, v.51, n.2, p317-320, 2013.

PLAZA-WÜTHRICH, S.; BLÖSCH, R.; RINDISBACHER, A.; CANNAROZZI, G.; TADELE, Z. Gibberellin deficiency confers both lodging and drought tolerance in small cereals. **Frontiers in Plant Science**, Lausana, v.7, p.1-14, mai., 2016.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1017-1023, 2003.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, J. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.6, p.588-592, abr., 2016.

RASHEED, F.; DREYER, E.; RICHARD, B.; BRIGNOLAS, F.; BRENDEL, O.; THIEC, D. LE. Vapour pressure deficit during growth has little impact on genotypic differences of transpiration efficiency at leaf and whole-plant level: An example from *Populus nigra* L. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.38, n.4 p.670-684, 2015.

REJŠKOVÁ, A.; ČÍŽKOVÁ, H.; BROM, J.; POKORNÝ, J. Transpiration, evapotranspiration and energy fluxes in a temperate wetland dominated by *Phalaris arundinacea* under hot summer conditions. **Ecohydrology**, Hoboken, v.5, n.1 p19-27, nov. 2012.

RICHARDSON, A. D.; KEENANA, T. F.; MIGLIAVACCAB, M.; RYUA, Y.; SONNENTAGA, O.; TOOMEYA, M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.169, p.156-173, 2013.

RIIKONEN, A.; JÄRVI, L.; NIKINMAA, E. Environmental and crown related factors affecting street tree transpiration in Helsinki, Finland. **Urban Ecosystems**, New York, v.1, p.1-23, mai., 2016.

RODRIGUES, H. J.; COSTA, R. F.; RIBEIRO, J. B. M.; SOUZA FILHO, J D. C.; RUIVO, M. L. P.; SILVA JÚNIOR, J. A. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um

ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.26, n.2, p.189-196, 2011.

ROMERO, E. R.; TONATTO, J.; SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P.; NEME, M. F. L. Efectos de la temperatura en la emergencia y el crecimiento inicial de caña planta y primera soca, variedad TUCCP 77-42. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán**, v.87, n.1, p.7-14, 2010.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.37, n.1, p.9-17, 1981.

SALES, C. R. G.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, R. S.; FONTENELE, A. V.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V. Photosynthetic and antioxidant responses to drought during sugarcane ripening. **Photosynthetica**, New York, v.53, n.4, p.547-554, 2015.

SALES, C. R. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, R. S.; DOVIS, V. L.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, p.319-327, set., 2012.

SÁNCHEZ-COSTA, E.; POYATOS, R.; SABATÉ, S. Contrasting growth and water use strategies in four co-occurring Mediterranean tree species revealed by concurrent measurements of sap flow and stem diameter variations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.207, p.24-37, abr., 2015.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SANTILLÁN-FERNÁNDEZ, A.; SANTOYO-CORTÉS, V. H.; GARCÍA-CHÁVEZ, L. R.; COVARRUBIAS-GUTIÉRREZ, I.; MERINO, A. Influence of drought and irrigation on sugarcane yields in different agroecoregions in Mexico. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.143, p.126-135, jan., 2016.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina, Grande, v.15, n.5, p.443-449, jul., 2011.

SANTOS, F. L.; VALVERDE, P. C.; REIS, J. L.; RAMOS, A. F.; CASTANHEIRA, N. L. Sap flow scaling and crop coefficient of dry-farmed olive orchards converted to irrigation. In: International Symposium on Olive Growing, 6, 2012, Évora, **Anais...** Bélgica: Acta Horticulture, 2012, v.1, p. 231-236.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n. 3, p.142-149, set., 2010.

SANTOS, G. O.; LIMA, F. B. de; VANZELA, L. S. Balanço hídrico espacial das culturas inseridas na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.7, n.1, p.03-16, jan., 2013.

SANTOS, L. M. J.; SILVA, E. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência da clorofila e potencial hídrico de plantas de juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, Aracaju, v.10, n.2, p.022401-10, 2014.

SCHOCK, A. A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E. G.; SILVA, D. M.; BACARIN, M. A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.1, p.3-9, jan., 2014.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Amsterdam, v.148, p.339-346, 1965.

SCHURGERS, G.; LAGERGREN, F.; MÖLDER, M.; LINDROTH, A. The importance of micrometeorological variations for photosynthesis and transpiration in a boreal coniferous forest. **Biogeosciences**, Gottingen, v.12, n.1, p.237-256, 2015.

SCOTT, R. L.; HUXMAN, T. E.; CABLE, W. L.; EMMERICH, W. E. Partitioning of evapotranspiration and its relation to carbon dioxide exchange in a Chihuahuan Desert Shrubland. **Hydrological Processes**, Hoboken, v.20, p.3227-3243, 2006.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fonológicos da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, M. H.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. Cap. 2, p.19-36.

SHE, D.; XIA, Y.; SHAO, M.; PENG, S.; YU, S. Transpiration and canopy conductance of *Caragana korshinskii* trees in response to soil moisture in sand land of China. **Agroforest System**, Amsterdam, v.87, p.667-678, 2013.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A. L. C. de; COSTA, W. A. J. M. de. Varietal variation in stomatal conductance, transpiration and photosynthesis of commercial sugarcane varieties under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research & Extension**, Matara, v.12, n.2, p. 97-102, 2009.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.1, p.86-93, 2013.

SILVA, C. T. S. da; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M. de; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação Complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.1, p.3-12, mai., 2009a.

SILVA, L. L. da; COSTA, R. F. da; CAMPOS, J. H. B. C.; DANTAS, R. T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.454-461, ago., abr., 2009b.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. DA; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Rio Claro, v.19, n.3, p.193-201, 2007.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.64-71, set., 2012.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta- enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.457-464, 2010.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; COELHO, D. S.; SOUZA, M. A.; LIMA, J. A. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.1, p 11-20, jan-mar, 2015.

SIMONIN, K. A.; BURNS, E.; CHOAT, B.; BARBOUR, M. M.; DAWSON, T. E.; FRANKS, P. J. Increasing leaf hydraulic conductance with transpiration rate minimizes the water potential drawdown from stem to leaf. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.66, n.5, p.1303-1315, jan., 2015.

SINGH, G.; CHAPMAN, S. C.; JACKSON, P. A.; LAWN, R. J. Lodging reduces sucrose accumulation of sugarcane in the wet and dry tropics. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.53, p.1183-1195, 2002.

SINGH, S. K.; BADGUJAR, G.; REDDY, V. R.; FLEISHER, D. H.; BUNCE, J. A. Carbon dioxide diffusion across stomata and mesophyll and photo-biochemical processes as affected by growth CO<sub>2</sub> and phosphorus nutrition in cotton. **Journal of Plant Physiology**, Rio Claro, v.170, p.80-813, 2013.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.98, p91-97, 2006.

SOUZA, G. M.; BERGES, H.; BOCS, S.; CASU, R.; D'HONT, A.; FERREIRA, J. E.; HENRY, R.; MING, R.; POTIER, B.; SLUYS, M. V.; VINCENTZ, M.; PATERSON, A. H. The sugarcane genome challenge: strategies for sequencing a highly complex genome. **Tropical Plant Biology**, New York, v.4, p.145-156, abr., 2011.

SOUZA, C. de; ANDRADE, A. P. de; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S. de; SILVA, I. F. da. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.3-10, jun., 2013.

SOUZA, J. K. C.; MESQUITA F. D. O.; NETO, J. D.; BETÂNIA, M.; SILVA, R.; FARIAS, C. H. D. A.; LIMA, Y. B. Crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco. **Agropecuária científica no semi-árido**, Campina Grande, v.11, n.1, p.114-119, abr - jun, 2015.

SPERLING, O.; SHAPIRA, O.; SCHWARTZ, A.; LAZAROVITCH, N. Direct *in vivo* evidence of immense stem water exploitation in irrigated date palms. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.66, n.1 p.333-338, jan., 2015

SRIVASTAVA, A. K.; RAI, M. K. Sugarcane production: Impact of climate change and its mitigation. **Biodiversitas**, Surakarta, v.13, v.4, p.214-227, 2012

STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES. **SPSS for windows versions 16.0**. Disponível em: <<http://www.spss.com>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SUN, Y.; GUO, H.; YUAN, L.; WEI, J., ZHANG, W.; GE, F. Plant stomatal closure improves aphid feeding under elevated CO<sub>2</sub>. **Global Change Biology**, Hoboken, v.21, n.7, p.2739-2748, 2015.

SWAEF, T. D.; VERBIST, K.; CORNELIS, W.; STEPPE, K. Tomato sap flow, stem and fruit growth in relation to water availability in rockwool growing medium. **Plant and Soil**, New York, v.350, n.1, p.237-252, jul., 2012.

SZWED, M.; KARG, G.; PINSKWAR, I; RADZIEJEWSKI, M.; GRACZYK, D.; KEDZIORA, A.; KUNDZEWICZ, Z. W. Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Durham, v.10, p.1725-1737, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820p.

TANG, J.; BOLSTAD, P. V.; EWERS, B. E.; DESAI, A. R.; DAVIS, K. J.; CAREY, E. V. Sap flux - upscaled canopy transpiration, stomatal conductance, and water use efficiency in an old growth forest in the Great Lakes region of the United States. **Journal of Geophysical Research**, New Jersey, v.111, n.1, p.1-12, 2006.

TANNY, J. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.114, p.26-46, 2013.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.925-933, 2010.

TEIXEIRA FILHO, J.; DAMESIN, C.; RAMBAL, S.; JOFFRE, R. Retrieving leaf conductances from sap flows in a mixed mediterranean woodland. **Annals of Forest Science**, New York, v.55, p.173-190, 1998.

TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.45, n.1, p.9-17, jan./mar. 2015.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.102, p.64-72, abr., 2007.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Mudança de escala da transpiração foliar e condutância estomática de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em função de variáveis ambientais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.90, p.253-264, jun., 2011.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Efeito das variáveis ambientais no comportamento ecofisiológico de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*: Condições de campo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.92, p.419-431, dez., 2011.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Ecophysiology of Three Native Species From a Brazilianatlantic Forest With Different Water Regimes. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.1, p.85-101, jan.-mar., 2012.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração e condutância estomática de *Eucalyptus* sp em resposta à radiação global e diferentes condições hídricas. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.4, p.607-623 out./dez., 2013

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C.J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3, n.3, p.215-221, 2010.

TORRES-RUIZ, J. M.; PERULLI, G. D.; MANFRINI, L.; ZIBORDI, M.; VELASCO, G. L.; ANCONELLI, S.; PIERPAOLI, E.; CORELLI-GRAPPADELLI, L.; MORANDIA, B. Time of irrigation affects vine water relations and the daily patterns of leaf gas exchanges and vascular flows to kiwifruit (*Actinidia deliciosa* Chev.). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.166, p.101-110, dez., 2016.

TRCALA, M.; ČERMÁK, J. Improvement of the trunk heat balance method including measurement of zero and reverse sap flows. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.166-167, p.120-126, 2012.

TRCALA, M.; ČERMÁK, J. A new heat balance equation for sap flow calculation during continuous linear heating in tree sapwood. **Applied Thermal Engineering**, Amsterdam, v.102, p.532-538, mar., 2016.

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 Agricola**, Piracicaba, v.54, n.3, p.1-10, set-dez., 1997.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, nov./dez., 2011.

UDDIN, J.; SMITH, R. J.; HANCOCK, N. H.; FOLEY, J. P. Evaporation and sapflow dynamics during sprinkler irrigation of cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.125, p.35-45, mai., 2014.

UNGAR, E. D.; ROTENBERG, E.; RAZ-YASEEF, N.; COHEN, S.; YAKIR, D.; SCHILLER, G. Transpiration and annual water balance of Aleppo pine in a semiarid region: Implications for forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.298, p.39-51, abr., 2013

VALENTINE, A. J.; RUZVIDZO, O.; KLEINERT, A.; BENEDITO, V. A. Infrared Gas Analysis Technique for the Study of the Regulation of Photosynthetic Responses. **Methods in Molecular Biology**, Clifton, v.1016, p.261-269, mai., 2013.

VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H. T. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Plant Biology**, New Jersey, v.9, p.1-7, 2006.

VAN HEERDEN, P. D. R.; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: Unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.61, n.11, p.2877-2887, jun., 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Stem heat balance method to estimate transpiration of young orange and mango plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.594-599, 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranja 'valência' sob porta-enxerto limão 'cravo' e citrumelo 'swingle' em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.024-032, mar., 2012.

VILLALOBOS, F. J.; TESTI, L.; ORGAZB, F.; GARCÍA-TEJERAB, O.; LOPEZ-BERNAL, A.; GONZÁLEZ-DUGOB, M. V.; BALLESTER-LURBE, C.; CASTEL, J. R.; ALARCÓN-CABAÑERO, J. J.; NICOLÁS-NICOLÁS, E.; GIRONA, J.; MARSAL, J.; FERERES, E. Modelling canopy conductance and transpiration of fruit trees in Mediterranean areas: A simplified approach. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.171-172, p.93-103, 2013.

WANG, C.; RUAN, R. W.; YUAN, X. H.; HU, D.; YANG, H.; LI, Y.; YI, Z. L. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the lignin synthesis in the culm in relation to lodging resistance of buckwheat. **Plant Production Science**, Tóquio, v.18, n.2, p.218-227, mai., 2015.

WANG, R. H.; CHANG, J. C.; LI, K. T.; LIN, T. S.; CHANG, L. S. Leaf age and light intensity affect gas exchange parameters and photosynthesis within the developing canopy of field net-house-grown papaya trees. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.165, p.365-373, jan., 2014,

WEI, Z.; LIU, Y.; XU, D.; CAI, J. B.; ZHANG, B. Z. Application and comparison of winter wheat canopy resistance estimation models based on the scaling-up of leaf stomatal conductance. **Chinese Science Bulletin**, Pequim, v.58, n.23, p.2909-2916, ago., 2013.

WIESER, G.; GRUBER, A.; OBERHUBER, W. Sapflow characteristics and whole-tree water use of *Pinus cembra* across the treeline ecotone of the central Tyrolean Alps. **European Journal of Forest Research**, New York, v.133, p.287-295, jan., 2014.

WOHLFAHRT, G.; BRILLI, F.; HÖRTNAGL, L.; XU, X.; BINGEMER, H.; HANSEL, A.; LORETO, F. Carbonyl sulfide (COS) as a tracer for canopy photosynthesis, transpiration and stomatal conductance: potential and limitations. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.35, p.657-667, 2012.

WU, H. X.; MA, Y. Z.; XIAO, J. P.; ZHANG, Z. H.; SHI, Z. H. Photosynthesis and root characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) in floating culture. **Photosynthetica**, New York, v.51, n.2, p.231-237, 2013.

WULLSCHLEGER, S. D.; CHILDS, K. W.; KING, A. W.; HANSON, P. J. A model of heat transfer in sapwood and implications for sap flux density measurements using thermal dissipation probes. **Tree Physiology**, Oxford, v.31, p.669-679, 2011.

XIANG, D. B.; ZHAO, G.; WAN, Y.; TAN, M. L.; SONG, C.; SONG, Y. Effect of planting density on lodging-related morphology, lodging rate, and yield of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*), **Plant Production Science**, Tóquio, v.19, n.3, p. 2016.

XU, X.; TONG, L.; LI, F.; KANG, S.; QU, Y. Sap flow of irrigated *Populus alba* var. *pyramidalis* and its relationship with environmental factors and leaf area index in an arid region of Northwest China. **Journal of Forest Research**, Tóquio, v.16, p.144-152, 2011.

YAN, N.; XU, X. -F.; WANG, Z. -D.; HUANG, J.-Z.; GUO, D.-P. Interactive effects of temperature and light intensity on photosynthesis and antioxidant enzyme activity in *Zizania latifolia* Turcz. plants. **Photosynthetica**, New York, v. 51, n.1, p.127-138, 2013.

YOO, C. Y.; PENCE, H. E.; JIN, J. B.; MIURA, K.; GOSNEY, M. J.; HASEGAWA, P. M.; MICKELBARTA, M. V. The *Arabidopsis* GTL1 Transcription Factor Regulates Water Use Efficiency and Drought Tolerance by Modulating Stomatal Density via Transrepression of SDD1. **The Plant Cell**, Waterbury, v. 22, p.4128-4141, 2010.

ZHANG, B.; XU, D.; LIU, Y.; LI, F.; CAI, J.; DU, L. Multi-scale evapotranspiration of summer maize and the controlling meteorological factors in north China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.216, p.1-12. jan., 2016.

ZHANG, J. G.; GUAN, J. H.; SHI, W.Y.; YAMANAKA, N.; DU, S. Interannual variation in stand transpiration estimated by sap flow measurement in a semi-arid black locust plantation, loess plateau, china. **Ecohydrology**, Hoboken, v.8, n.1, p.137-147, abr.,2015.

ZHANG, J.; LI, G.; SONG, Y.; LIU, Z.; YANG, C.; TANG, S.; ZHENG, C.; WANG, S.; DING, Y. Lodging resistance characteristics of high-yielding rice populations. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.161, p.64-74, mar., 2014.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, p.1207-1214, 2011.

ZHAO, D.; LI, Y. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and mitigation strategies. **International Journal of Agronomy**, Cairo, v.2015, p. 1-10, out. 2015.

ZHAO, L.; ZHAO, W. Canopy transpiration obtained from leaf transpiration, sap flow and FAO-56 dual crop coefficient method. **Hydrological Processes**, Hoboken, v.29, n.13, p.2983-2993, jan., 2015.