AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM "SCHEDULER" NA DETECÇÃO DO ESTRESSE
HÍDRICO EM CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L) IRRIGADA
COM DIFERENTES LÂMINAS

MARCOS VINICIUS FOLEGATTI
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz" ,
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro - 1988

F663a Folegatti, Marcos Vinicius
Avaliação do desempenho de um "Scheduler" na detecção
do estresse hídrico em cultura do feijoeiro (Phaseolus
vulgaris, L) irrigada com diferentes lâminas. Piratí-
ca, 1988.
188p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Feijão - Deficiência hídrica 2. Feijão - Irrigação
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piraci-
caba

CDD 635.652

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM "SCHEDULER" NA DETECÇÃO DO ESTRESSE
HÍDRICO EM CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L) IRRIGADA
COM DIFERENTES LÂMINAS

MARCOS VINICIUS FOLEGATTI

Aprovada em: 11.11.1988

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta	ESALQ/USP
Prof. Dr. Antonio Sanchez de Oliveira	ESALQ/USP
Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova	ESALQ/USP
Prof. Dr. Décio Eugenio Cruciani	ESALQ/USP
Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi	ESALQ/USP

Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA
Orientador

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução desse trabalho.

A Empresa Carborundum S/A, pela cessão do aparelho "Scheduler" e pelo apoio recebido para a realização desse trabalho.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xxv
SUMMARY	xxvii
 1. INTRODUCAO	 1
 2. REVISAO DE LITERATURA	 6
2.1. Considerações gerais	6
2.2. Temperatura das folhas	7
2.3. Termômetro de radiação infra-vermelho (I.V).	14
2.4. Estudos com a temperatura da copa da cultura	17
2.4.1. Indices de estresse hidrico com base nas temperaturas da copa e do ar ...	19
2.4.2. Potencial da água na planta	23
2.4.3. Fatores ambientais	25
2.5. Indice de estresse hidrico com base no ba- lanço energético	26
2.5.1. Desenvolvimento teórico	27

2.5.1.1. Considerações sobre o balanço energético	27
2.5.1.2. Resistências aerodinâmica e da copa da cultura	29
2.5.1.3. Evapotranspiração potencial.	32
2.5.1.4. Índice de estresse hídrico da cultura (CWSI)	33
2.5.1.5. Determinação do declive da curva de pressão de saturação de vapor d'água (Δ). ..	37
2.5.1.6. Efeito do vento.	37
2.5.2. Experimentos em que foram determinados CWSI.	38
3. MATERIAL E METODOS	45
3.1. Descrição geral da área	45
3.1.1. Local	45
3.1.2. Clima	45
3.1.3. Solo	46
3.2. Variedade e Semeadura	49
3.3. Sistema de aplicação de água	50
3.4. Delineamento experimental	52
3.5. Controle da irrigação	55
3.6. Balanço de água no solo e determinação dos "Dias Secos"	59

	Página
3.6.1. Determinação dos "Dias Secos"	61
3.6.2. Balanço hídrico modificado (BHM) ...	61
3.7. Análises dos parâmetros do crescimento	73
3.8. Medidas das temperaturas da copa e do ambiente, umidade relativa e radiação global.	74
3.8.1. Estimativa da radiação líquida (R_n).	80
3.9. Índices de estresse	81
3.9.1. Variabilidade da temperatura da copa da cultura (CTV)	81
3.9.2. Temperatura de estresse diário (TSD)	81
3.9.3. Graus dias de estresse (SDD)	81
3.9.4. Índice de estresse hídrico (CWSI)1	82
3.9.5. Índice de estresse hídrico (CWSI)2	83
3.9.6. Índice de estresse hídrico (CWSI)3	84
3.9.6.1. Resistência aerodinâmica (ra)	84
3.9.6.2. Cálculo de (CWSI)3	87
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.1. Temperatura da copa	88
4.2. Desvio padrão (DP) das temperaturas da copa (T_c)	116
4.3. Diferença da temperatura da copa em relação a temperatura do ar ($T_c - T_a$)	118
4.4. Correlação linear múltipla	125

	Página
4.5. Diferenças das temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$) versus déficit de pressão de vapor (DPV) ...	132
4.6. Índice de estresse hídrico (CWSI) ³	136
4.7. Parâmetros de crescimento da planta	165
5. CONCLUSÕES	171
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	174

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representação gráfica do cálculo de CWSI. Valores de $r_a = 10 \text{ s/m}$, $R_n = 600 \text{ W/m}$, $r_s = 5 \text{ s/m}$, $T_a = 30 \text{ C}$ e $T_c = 27 \text{ C}$	36
Figura 2. Diagrama esquemático da área experimental	51
Figura 3. Perfil de distribuição da precipitação dos aspersores, em função da distância da linha de aspersores.	53
Figura 4. "Line Source" utilizado para distribuição das diferentes lâminas de irrigação.	54
Figura 5. Relação entre o armazenamento de água no solo e o negativo acumulado (N), pelo método THORNTHWAITE e MATHER (1955) e o mo- dificado utilizado neste trabalho, para uma ADt de 36 mm.	63

	Página
Figura 6. Aparelho portátil denominado "Scheduler", utilizado para medir a temperatura da copa, temperatura ambiente, umidade relativa e radiação solar.	75
Figura 7. Diagrama do aparelho portátil (Scheduler)	77
Figura 8. Utilização do aparelho "Scheduler" no campo para determinação da temperatura da copa, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar	79
Figura 9. Temperatura da copa do feijoeiro às 10h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (†) indicam as irrigações e (*) precipitações pluviais.	101
Figura 10. Temperatura da copa do feijoeiro às 12h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (†) indicam as irrigações e (*) precipitações pluviais.	102
Figura 11. Temperatura da copa do feijoeiro às 14h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (†) indicam as irrigações e (*) precipitações pluviais.	103

Figura 12. Variação do armazenamento de água no solo. As linhas horizontais delimitam o armazenamento crítico (A_c). As setas ($\uparrow$) indicam as irrigações e as setas ($\uparrow^*$) as precipitações pluviiais.	105
Figura 13. Temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10 horas.	111
Figura 14. Temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12 horas.	112
Figura 15. Temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14 horas.	113
Figura 16. Temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12 e 14 horas, em dias secos.	115
Figura 17. Somatória das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $(T_c - T_a) = SDD+-$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10 horas.	122

Figura 18. Somatória das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $(T_c - T_a) = SDD_{+-}$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12 horas.	123
Figura 19. Somatória das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $(T_c - T_a) = SDD_{+-}$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14 horas.	124
Figura 20. Representação gráfica da diferença de temperatura $(T_c - T_a)$, em função da umidade relativa (UR), radiação líquida (R_n) e água disponível (AD).	131
Figura 21. Diferenças de temperatura $(T_c - T_a)$ e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), em três faixas de radiação solar.	133
Figura 22. Diferenças de temperatura $(T_c - T_a)$ e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), em relação à radiação líquida (R_n).	135
Figura 23. Representação gráfica da água disponível (AD), radiação líquida (R_n), diferenças de temperaturas copa-ar $(T_c - T_a)$, déficit de pressão de vapor (DPV), resistência da	

copa a difusão de vapor (r_s), relação (r_s/r_a) e índice (CWSI)³ para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10:00 horas, no período de 30/08 a 09/10. 154

Figura 24. Representação gráfica da água disponível (AD), radiação líquida (R_n), diferenças de temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$), déficit de pressão de vapor (DPV), resistência da copa a difusão de vapor (r_s), relação (r_s/r_a) e índice (CWSI)³ para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12:00 horas, no período de 30/08 a 09/10. 155

Figura 25. Representação gráfica da água disponível (AD), radiação líquida (R_n), diferenças de temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$), déficit de pressão de vapor (DPV), resistência da copa a difusão de vapor (r_s), relação (r_s/r_a) e índice (CWSI)³ para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14:00 horas, no período de 30/08 a 09/10. 156

Figura 26. Resistência da copa da cultura à difusão de vapor em função da água disponível no solo.	164
Figura 27. Produção de grãos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4.	166
Figura 28. Matéria seca total produzida nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, no período de 28/08 a 17/10.	167
Figura 29. Índice de área foliar (IAF) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4, no período de 28/08 a 17/10.	168
Figura 30. Número de plantas por metro linear (PM), número de vagens por planta (VP), número de vagens chochas por planta (VCP), número de nós por planta (NP) e número de grãos por vagem (GV) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4.	169

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características físicas do solo na área experimental.	48
Tabela 2. Umidade volumétrica (θ , $\text{cm}^3 / \text{cm}^3$) nas diversas tensões ($-\psi_m$, KPa) nas profundidades de 15 e 30 cm, do solo Terra Roxa Estruturada.	48
Tabela 3. Características químicas do solo Terra Roxa Estruturada.	49
Tabela 4. Lâminas aplicadas através da irrigação e precipitação pluvial (mm) nos tratamentos 1, 2, 3 e 4.	56
Tabela 5. Coeficientes de Cultura (K_c), Evapotranspiração máxima média (ETM) e fator P para	

	Página
os diversos estágios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.	60
Tabela 6. Balanço hídrico modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 1.	68
Tabela 7. Balanço hídrico modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 2.	69
Tabela 8. Balanço hídrico modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 3.	70
Tabela 9. Balanço hídrico modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 4.	71
Tabela 10. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$, (SDD) umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (1) às 10 h.	89

Tabela 11. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (2) às 10 h. 90

Tabela 12. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (3) às 10 h. 91

Tabela 13. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (4) às 10 h. 92

Tabela 14. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa

(UR), déficit de pressão de vapor do ar
(DPV), radiação líquida (R_n), % de água
disponível (AD). Tratamento (1) às 12 h. 93

Tabela 15. Dados de temperatura da copa (T_c) e des-
vio padrão (DP), temperatura do ar (T_a),
soma $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa
(UR), déficit de pressão de vapor do ar
(DPV), radiação líquida (R_n), % de água
disponível (AD). Tratamento (2) às 12 h. 94

Tabela 16. Dados de temperatura da copa (T_c) e des-
vio padrão (DP), temperatura do ar (T_a),
soma $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa
(UR), déficit de pressão de vapor do ar
(DPV), radiação líquida (R_n), % de água
disponível (AD). Tratamento (3) às 12 h. 95

Tabela 17. Dados de temperatura da copa (T_c) e des-
vio padrão (DP), temperatura do ar (T_a),
soma $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa
(UR), déficit de pressão de vapor do ar
(DPV), radiação líquida (R_n), % de água
disponível (AD). Tratamento (4) às 12 h. 96

Tabela 18. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (1) às 14 h.	97
Tabela 19. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (2) às 14 h.	98
Tabela 20. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (3) às 14 h.	99
Tabela 21. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória T_c-T_a (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar	

(DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (4) às 14 h. 100

Tabela 22. Dias secos observados nos tratamentos 1, 2, 3 e 4. 106

Tabela 23. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10:00 horas. 108

Tabela 24. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12:00 horas. 109

Tabela 25. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14:00 horas. 110

Tabela 26. Médias e diferenças médias de temperatura da copa do feijoeiro entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14:00 horas em "dias secos". 114

Tabela 27. Dados de produção relativa de grãos e diferenças médias de temperatura da copa (Tc) dos tratamentos 2, 3 e 4 em relação ao tratamento 1 às 12 horas, para os dias "secos" (DS) e dias contínuos (DC).	117
Tabela 28. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e produção relativa de grãos. Dias contínuos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas	120
Tabela 29. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e produção relativa de grãos. Dias "secos" aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas.	120
Tabela 30. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e produção relativa de grãos. Dias "secos" comuns aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas.	126
Tabela 31. Índice (CWSI) ¹ dos dias "secos" às 10h. .	128

Pagina

Tabela 32. Índice (CWSI)1 dos dias "secos" às 12h. .	129
Tabela 33. Índice (CWSI)1 dos dias "secos" às 14h. .	130
Tabela 34. Equações de regressão linear entre a diferença de temperatura ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), observados no tratamento 1 às 10, 12 e 14 horas.	134
Tabela 35. Índice (CWSI)2 dos dias "secos" às 10h. .	137
Tabela 36. Índice (CWSI)2 dos dias "secos" às 12h. .	138
Tabela 37. Índice (CWSI)2 dos dias "secos" às 14h. .	139
Tabela 38. Velocidades instantâneas do vento e resistências aerodinâmicas (r_a) às 10, 12 e 14 horas.	140
Tabela 39. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_{sp}) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (1) às 10:00 horas.	142

Tabela 40. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (2) às 10:00 horas.	143
Tabela 41. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (3) às 10:00 horas.	144
Tabela 42. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (4) às 10:00 horas.	145
Tabela 43. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rsp) e aerodinâmica (ra). Tratamento (1) às 12:00 horas.	146
Tabela 44. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (2) às 12:00 horas.	147

Tabela 45. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (3) às 12:00 horas.	148
Tabela 46. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (4) às 12:00 horas.	149
Tabela 47. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rsp) e aerodinâmica (ra). Tratamento (1) às 14:00 horas.	150
Tabela 48. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (2) às 14:00 horas.	151
Tabela 49. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (3) às 14:00 horas.	152

Página

Tabela 50. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rs) e aerodinâmica (ra). Tratamento (4) às 14:00 horas.	153
Tabela 51. Índice (CWSI)3 dos dias "secos" às 10h. .	161
Tabela 52. Índice (CWSI)3 dos dias "secos" às 12h. .	162
Tabela 53. Índice (CWSI)3 dos dias "secos" às 14h. .	163

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM "SCHEDULER" NA DETECÇÃO DO
ESTRESSE HÍDRICO EM CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus
vulgaris* L.) IRRIGADA COM DIFERENTES LÂMINAS.

Autor: MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

Orientador: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi o de determinar índices de estresse hídrico (CWSI) para a cultura do feijoeiro, sob diferentes lâminas de irrigação, com aparelho portátil denominado "Scheduler", que possui sensores para determinações instantâneas da temperatura da copa da cultura (radiômetro I.V.), temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar. Foram realizadas 15 leituras diárias nos quatro tratamentos às 10, 12 e 14 horas; no período de 28/08 a 14/10.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com duas repetições. Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 receberam 377,1; 329,7; 272,1 e 219,1 mm de lâminas de água. As irrigações foram realizadas por um sistema de aspersão em linha ("Line Source"), sempre que a evaporação acumulada medida por tanque Classe A atingiu 21,00 mm.

Os índices (CWSI)1 e (CWSI)2 mostraram uma alta correlação entre as diferenças de temperatura copa-ar ($T_c - T_a$), déficit de pressão de vapor (DPV) e a radiação líquida (R_n). O índice (CWSI)3, calculado com base no balanço energético, além desses fatores, considerou a resistência aerodinâmica (r_a) e a resistência da copa da cultura a difusão de vapor (r_s), mostrando-se mais preciso.

No estágio de florescimento e formação de vagens do feijoeiro, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, observou-se em média temperaturas da copa de 27,8; 29,1; 31,0 e 33,1 C, e índices de estresse hídrico (CWSI)1 e (CWSI)2 de -0,1; 0,0; 0,5 e 0,9 determinados às 12 horas, que corresponderam à produção de grãos de 2645; 2782; 2143 e 1632 Kg/ha.

Os índices (CWSI)3 calculados às 12 horas permitiram dizer que déficits médios de evapotranspiração de 0; 4; 22 e 32%, corresponderam a produção de grãos de 2645; 2782; 2143 e 1632 Kg/ha.

A maior dificuldade encontrada para a estimativa dos índices de estresse hídrico, foram nos dias em que as condições climáticas foram muito variáveis, uma vez que se trata de leituras instantâneas.

DETERMINING WATER STRESS IN BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)
WITH A SCHEDULER INDEX SYSTEM AT DIFFERENT IRRIGATION
DEPTHS.

Author: MARCOS VINICIUS FOLEGATTI

Adviser: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

SUMMARY

The purpose of this experiment was the assessment of water stress indexes (crop water stress index, CWSI) for a bean crop, under different irrigation depths, using a portable scheduler device. The instrument was provided with sensors that allowed instantaneous measurements of canopy temperature, air temperature, relative air humidity and solar radiation.

Fifteen daily determination were carried out in four treatments, at 10, 12 and 14 hr., from august 28 till october 10, 1988.

The experiment had a statistical arrangement in randomized blocks with two replications. Treatments 1, 2, 3 and 4 received respectively 337,1; 329,7; 272,1 and 219,1 mm of water from a "line source" sprinkler system,

when the accumulated evapotranspiration reached 21 mm measured with a class A pan evaporimeter.

(CWSI)1 and (CWSI)2 indexes showed a high correlation between canopy-air temperature difference ($T_c - T_a$), vapor pressure deficit (DPV) and net radiation (R_n).

(CWSI)3 index, calculated by energy budget, was more accurated in measuring because it considers further information like aerodynamics resistance (r_a) and canopy resistance to the vapor diffusion (r_s).

At flowering and husk stages, the canopy temperature was 27,8; 29,1; 31,0 and 33,1 centigrade degrees respectively for treatments 1, 2, 3 and 4. For the same treatments (CWSI)1 and (CWSI)2 indexes, measured at noon, were -0,1; 0,0; 0,5 and 0,9 and respectively and the correspondent grain yields 2645; 2782; 2143 and 1632 Kg/ha

(CWSI)3 index, measured at noon, indicated an average evapotranspiration deficits of 0; 4; 25 e 39 respectively with the same grain yields as above.

The major difficulty in the estimation of those water stress indexes occurred during days with variable wheather conditions due to instantaneous readings of the scheduler.

1. INTRODUCAO

O sucesso da agricultura irrigada envolve muito mais fatores do que a instalação e operação de um equipamento de irrigação. Para a maximização da produtividade é necessário aplicar a quantidade requerida de água no momento oportuno.

A água deve ser aplicada ao solo com a finalidade de manter o seu teor em níveis adequados, sem expor a planta a um déficit hídrico que afete o seu desenvolvimento, e manter a condutividade hidráulica do solo suficientemente grande para atender a demanda evapotranspirativa da atmosfera. A quantidade fornecida não deve provocar perdas por drenagem superficial, nem por percolação profunda. Na prática esse critério é geralmente simplificado, atendendo às condições de cada caso em particular. No caso extremo, o agricultor irriga quando julga necessário, usando um critério subjetivo que adquiriu na prática. No caso de um manejo racional, no qual se visa otimizar a quantidade de água fornecida, a adição deve obedecer um critério mais científico.

Em geral as técnicas de manejo de irrigação se enquadram em três categorias: aquelas que se baseiam no solo, que se baseiam em dados meteorológicos e que se baseiam em dados de plantas; às vezes, são utilizadas combinações de uma ou mais dessas categorias.

A técnica que considera os parâmetros físicos do solo, considera-o como um reservatório, manejando a água no intervalo limitado pela capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente. Informações sobre o conteúdo de água no solo fornecem uma estimativa das perdas de água por evapotranspiração e por drenagem abaixo da profundidade do sistema radicular. Esta técnica assume uniformidade das propriedades físicas do solo ao longo de toda área, com poucas amostragens feitas no campo, além do que, o único parâmetro da planta utilizado é o ponto de murchamento permanente que é estimado indiretamente.

Métodos meteorológicos têm sido desenvolvidos por vários pesquisadores e baseiam-se em dados de temperatura do ar, radiação solar, pressão de vapor do ar e velocidade do vento, que aplicados a modelos matemáticos estimam a quantidade de água evapotranspirada durante um determinado período. Estes métodos não levam em conta a quantidade de água perdida abaixo do sistema radicular, e nenhum dado da planta é levado em consideração além do coeficiente de cultura.

Medidas diretas de alguns parâmetros da planta indicando um reflexo das condições climáticas e do solo parecem mais adequados. Estes métodos geralmente limitados a medidas de plantas individuais ou partes dessas plantas como folhas e pecíolos; são demorados e requerem numerosas medidas para caracterizar o estresse hídrico em uma determinada cultura em condições de campo.

HILER e CLARK (1971) e HILER et alii (1974) desenvolveram um índice de estresse (SDI) baseado em parâmetros de plantas. O (SDI) é o produto de dois fatores: o primeiro, o grau de estresse a que esta submetida a planta e o segundo, a susceptibilidade da cultura em função da espécie e estado de desenvolvimento. Após testar várias medidas de plantas (inclusive temperatura foliar), os autores selecionaram o potencial da água na planta como um indicador de estresse. Seus conceitos de quantificação de estresse foram expandidos por STEGMAN et alii (1976), que relacionaram o potencial da água das folhas com a temperatura do ar e a água disponível do solo. Seus resultados indicaram uma sensível diminuição na quantidade de água utilizada sem redução na produtividade para culturas irrigadas.

Para EHRLER (1973), a temperatura da folha foi um bom indicador de estresse desde que levado em conta

a pressão de vapor do ar. HILER et alii (1974) não observaram suficiente sensibilidade neste parâmetro. A literatura apresenta pontos de vista diferentes sobre a utilidade da temperatura da planta como índice de estresse.

Partindo-se do princípio que a medida da temperatura das plantas pode ser um indicador de estresse, medidas individuais de folhas tem a mesma desvantagem de outros métodos, uma vez que são necessárias inúmeras amostragens para caracterizar a cultura no campo. O aperfeiçoamento de termômetros infra-vermelhos possibilitam rápida amostragem de um grande número de plantas integrando a temperatura da copa da cultura em todo campo.

Na literatura encontram-se vários trabalhos sobre a utilização de termômetros infra-vermelho para medição da temperatura da copa da cultura com considerações sobre o balanço energético. Com base nos valores de temperatura da copa, pressão de vapor do ar e radiação líquida, foi desenvolvido o índice de estresse hídrico da cultura (CWSI). Este índice foi derivado de considerações teóricas e dados empíricos. O CWSI é semelhante em muitos aspectos ao SDI de HILER et alii (1976), e pode ser rapidamente determinado. Mostra-se, assim, que o potencial de utilização de equipamentos que agregam todas essas informações, é bastante elevado no manejo da irrigação.

O objetivo do presente trabalho é determinar índices de estresse hídrico para cultura do feijoeiro, sob diferentes lâminas de irrigação, com um aparelho portátil, denominado "Scheduler", que possui sensores para determinação da temperatura da copa da cultura, temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar.

2. REVISAO DE LITERATURA

2.1. Considerações Gerais

A utilização da temperatura da copa das plantas para detectar estresse hídrico baseia-se no fato de que a água transpirada resfria a folha. A medida que o teor de água no solo diminui, a transpiração reduz e a temperatura da folha eleva-se. Se pouca água é transpirada, as folhas ficarão mais quentes que a temperatura do ar devido a absorção da radiação.

Na literatura vários autores argumentam que a temperatura das folhas é sempre maior que a do ar circundante. Outros argumentam que as folhas podem tornar-se muito mais frias que o ar. O primeiro argumento prevaleceu por vários anos e numerosas citações deste ponto de vista, são apresentados, como evidência de que a temperatura das folhas não é um sensível indicador de estresse hídrico. O oposto também é observado analisando a perspectiva histórica.

2.2. Temperatura das folhas

Existem referências sobre este assunto na literatura desde as primeiras décadas do século passado. EHLERS (1915) citou um paper de Remeaux (1843) que relata a colocação de termômetro de mercúrio na superfície das folhas. Askenasy (1875), também citado por EHLERS (1915), e por ASSARI e LOOMIS (1959) mediu a temperatura de plantas xerófitas colocando termômetros na parte superior das folhas, insertando-os através da cutícula. Ele observou que folhas delgadas expostas ao sol eram 4 a 5 °C mais quentes que o ar, e que folhas espessas chegavam a exceder 20 °C a temperatura do ar. O autor reconheceu o efeito da irradiação, movimento do ar e transpiração na refrigeração das folhas.

MILLER e SAUNDERS (1923) mediram a temperatura de folhas de uma cultura com auxílio de um grampo modificado e termômetros embutidos em cortiça. Cerca de 15 segundos eram necessários para obter uma leitura. Eles concluíram que folhas turgidas da maioria das culturas estavam à temperatura ambiente, exceto folhas de alfafa que mostraram-se constantemente cerca de 1 °C abaixo da temperatura do ar. Estes resultados foram os primeiros a mostrarem que a temperatura das folhas pode ser menor que a ambiente em condições de campo. Eles foram mais tarde criticados por CLUM (1926) e por CURTIS

(1936), que disseram ter havido interferência do grampo utilizado que provocou um sombreamento.

CLUM (1926) tentou correlacionar temperatura das folhas e transpiração. Ele mediu temperatura das folhas inserindo pares finos de termômetros através do mesófilo. As temperaturas do ar foram medidas com termômetros pendurados livremente no ar e à sombra. As medidas foram feitas em vasos colocados em estufa e diretamente ao sol. Alguns vasos eram molhados mais do que outros para se encontrar diferentes taxas de transpiração. Ele observou que as folhas estavam sempre 5 a 10° C mais quentes que o ar, e não encontrou nenhuma correlação definitiva entre transpiração e diferença de temperatura entre folha e ar.

EATON e BELDEN (1929) mediram a temperatura de folhas de algodão no Arizona e observaram temperaturas de 2 a 4 °C abaixo da temperatura do ar. CURTIS (1936) explicou os resultados desses autores baseado na baixa umidade relativa que permitiu que ondas longas fossem irradiadas para o céu claro e frio, esfriando as folhas. WATSON (1934) relatou que a irradiação e transpiração foram igualmente importantes no controle da temperatura das plantas. CURTIS (1936) descontou o efeito da transpiração no resfriamento das plantas, e mostrou que a temperatura das folhas pode ser mudada vários graus permitindo-se ou evitando-se radiação para objetos frios ou para o espaço.

WALLACE e CLUM (1938) registraram continuamente dados de temperatura do ar e da folha de plantas de jardim. Eles encontraram temperatura de folhas com 7°C abaixo da temperatura do ar, medidas com termômetros suspensos no ar e termômetros colocados na sombra das plantas. Eles mostraram que a orientação das folhas desempenha o principal papel na temperatura das mesmas. Quando estavam mais quentes que o ar, estavam orientadas para o sol, e mais frias quando estavam em posição oblíqua. Os autores concluíram que a perda de energia para o espaço não explica o fato de estarem com temperatura abaixo da temperatura do ar.

CURTIS (1938) refutou fortemente as conclusões de WALLACE e CLUM. Ele defendeu a idéia de que da maneira como foi medida a temperatura do ar, esta provavelmente deveria ser de 2 a 7°C acima da real temperatura, pelo menos parte do tempo. Concluiu declarando que taxas impossivelmente altas de transpiração seriam requeridas para diminuir a temperatura da folha abaixo da temperatura do ar quando o sol estivesse incidindo de maneira direta.

WAGGONER e SHAW (1952) mediram temperatura de folhas de batata e tomate em Iowa. Observaram que em dias claros, a parte superior das folhas expostas eram $3,3$ a $8,0^{\circ}\text{C}$ mais quentes do que a temperatura do ar. Folhas mais baixas eram $0,5$ a $0,8^{\circ}\text{C}$ mais frias que o ar.

Não encontraram nenhuma diferença entre folhas semelhantes de batata e tomate.

WIEGAND e NANKEN (1966) mediram temperatura do ar à altura da planta com termômetros protegidos e temperatura das folhas com termômetros infra-vermelho (I.V.). Observaram que 30 a 45 segundos eram necessários para a temperatura readquirir o equilíbrio quando a insolação mudasse devido a presença de nuvens. Mostraram que a temperatura da folha aumenta linearmente com o aumento da insolação e decresce linearmente com o aumento da turgidez relativa das folhas. A diferença de temperatura da folha-ar aumentou com o aumento da insolação de $-3,5^{\circ}\text{C}$ a $+6^{\circ}\text{C}$ para os tratamentos irrigados. Concluíram que a medida da temperatura da folha requer medidas simultâneas da radiação, e que o início da tarde é uma boa hora do dia para se fazer essas determinações.

STEVENSON e SHAW (1971) mostraram que folhas verticais eram mais frias do que as folhas horizontais de soja. Para as duas orientações a temperatura da folha alcançou 4°C abaixo da temperatura do ar. CARLSON et alii (1972) observaram que a temperatura da folha aumentou com o decréscimo dos valores relativos de conteúdo de água e déficit de pressão de vapor. Relatam também que a temperatura das folhas de duas variedades de soja foram significativamente diferentes.

CLARK e HILER (1973) determinaram o potencial da água na folha, a resistência a difusão de vapor da folha e a diferença de temperatura folha-ar (medida com termômetro Infra-vermelho), de ervilhas irrigadas e não irrigadas. As temperaturas das folhas de plantas irrigadas eram quase sempre menores que a do ar e as folhas de plantas com déficit hídrico estiveram 2 a 3 °C mais quentes. Concluíram que o potencial de água da folha tinha maior importância do que a resistência a difusão de vapor da folha e a diferença de temperatura folha-ar. Estes resultados foram utilizados por HILER et alii (1974) no aprimoramento do índice de estresse (SDI).

EHRLER (1973) visualizou a possibilidade direta do uso da diferença de temperatura folha-ar como guia para a programação da irrigação. Em um experimento de campo com algodão mediu a temperatura das folhas com finos termômetros, a temperatura do ar e a pressão de vapor a um metro acima da cultura. Os resultados mostraram que as diferenças de temperatura folha-ar variaram de -3 a 2 °C dependendo do esgotamento de água no solo. Um resultado significativo deste estudo foi a demonstração de uma relação linear entre a diferença de temperatura folha-ar e o déficit de pressão de vapor: $T_f - T_a = 1,87 - 1,29 \text{ DPV}$, ($r^2 = 0,87$) com DPV em KPa. Sendo que a diferença de temperatura ($T_f - T_a$) diminuiu cerca de 1,3 °C para cada KPa acrescido no DPV. Os dados de EHRLER

mostraram que o uso da temperatura das folhas para programar a irrigação era possível. Porém, as medidas de temperatura de folhas individuais com termômetros eram incômodas e tediosas, sendo necessárias amostragens de várias folhas para uma média razoável de todo o campo.

SANDHU e HORTON (1978) encontraram temperaturas de folhas de aveia com estresse hídrico de 2,5 a 4,0^o C mais quentes que as irrigadas. Eles atribuíram esta diferença principalmente à transpiração. SUMAYAO et alii (1980) observaram que folhas de milho e sorgo, quando irrigados eram mais quentes do que a temperatura do ar quando esta era menor do que 33^o C e mais frias quando maiores. Estes resultados estão de acordo com LINACRE (1964, 1967) que foi o primeiro a propor 33^o C como a temperatura limite. Esta constante foi disputada por BLAD e ROSENBERG (1976) que acharam que a temperatura limite para a alfafa ocorria entre 23 e 30^o C. IDSO et alii (1981b) argumentaram que esta constante de temperatura não existe; mas ao contrário é um ponto dinâmico e depende do déficit de pressão de vapor.

Com exceção de IDSO et alii (1981b) os trabalhos citados preocuparam-se com folhas individuais. Não sendo uma surpresa que a maioria dos autores observaram dados de temperatura de folhas mais elevados que a temperatura do ar. Além do mais, muitas dessas folhas estavam no topo da planta e recebendo luz solar diretamente,

e as temperaturas do ar foram medidas em várias posições desde folhas sombreadas até a altura de um metro ou mais acima da planta. Muitos resultados foram observados para vasos isolados, sem o efeito da copa criado pelas plantas ao redor. Vários experimentos foram conduzidos em casas de vegetação onde a umidade relativa era elevada e a maioria das investigações no campo foram conduzidas em áreas úmidas.

A irradiação, convecção e transpiração foram citadas como o maior meio de arrefecimento das folhas expostas à radiação. Para folhas isoladas a transpiração raramente foi indicada como causa do arrefecimento e em muitos casos foi até eliminada dentre os importantes mecanismos de arrefecimento. Talvez, parte da confusão sobre o uso de temperatura de folhas como indicador de estresse hídrico, surge dos vários trabalhos que estudam folhas isoladas de plantas isoladas; ao passo que no manejo da irrigação, a copa da cultura de uma maneira global deve ser considerada. GATES (1964) estudando diferenças entre folhas de plantas isoladas e toda copa da cultura, observou que uma planta isolada perde mais calor por convecção do que através da transpiração, aumentando a temperatura da folha. Estes resultados estão suportados por detalhado cálculo de IDSO e BAKER (1967), que demonstram que para folhas individuais a irradiação foi o fator de maior importância de transferência de calor, mas para a

copa e a planta inteira a transpiração foi o mecanismo dominante. A temperatura da copa da planta relacionando-se com a transpiração, pode servir, portanto, como um indicador de estresse hídrico.

BLAD et alii (1982) relatam que o problema na medição de temperatura de folhas no campo é a variabilidade. Observaram variações de $5,9^{\circ}\text{C}$ entre plantas separadas por 2,0 m em parcelas com déficit hídrico, em contraste com a relativa uniformidade da temperatura de folhas de plantas em parcelas irrigadas.

2.3. Termômetro de radiação infra-vermelho (I.V)

Com auxílio de termômetro de radiação I.V é possível estimar a temperatura das superfícies, não havendo necessidade de contato com o alvo. O instrumento mede a radiação emitida do alvo, e relaciona esta radiação (R) com a temperatura da superfície (T_s), pela lei de STEFAN - BOLTZMANN, $R = E \sigma T_s^4$, onde E é a emissividade, e σ a constante de STEFAN-BOLTZMANN. Muitos termômetros I.V tem filtros que admitem energia entre 8 e 14 μm de comprimento de onda para alcançar o sensor. Este comprimento de onda compreende o máximo de emissão dos corpos negros à temperaturas normais e tem baixa absorção pelo vapor de água. A emissividade de superfícies naturais entre estes comprimentos de ondas é usualmente alta, porém, a absorção pelo

vapor de água não pode ser sempre negligenciada e para medidas precisas de emissividade devem ser conhecidas. Outra complicação é que parte da irradiação emitida pelas redondezas e refletida pela superfície neste comprimento de onda, também poderá interferir no sensor, somando-se a radiação recebida do alvo, JACKSON (1982). LORENZ (1968) declarou que a influência do vapor de água, na medida de temperatura é negligível se a distância do alvo for menor que 154 m, para comprimentos de onda de 8 a 14 μm .

Nos anos 60 a tecnologia que utiliza termômetros I.V avançou rapidamente, e instrumentos que puderam ser utilizados no campo tornaram-se disponíveis. Os instrumentos evoluíram desde os que exigiam energia externa fornecida por cabos até os portáteis com baterias.

GATES (1968) descreveu um pequeno e leve termômetro I.V projetado especificamente para uso manual, que foi considerado esplendido, porém, requeria frequentes calibrações e era sensível à mudanças de temperatura ambiente.

Jackson et alii (1980) citado por JACKSON (1982) relataram que estes equipamentos no campo requerem calibrações e certas precauções no seu uso. Ângulo azimute do sol e direção da fileira de plantas podem causar pequenas diferenças na temperatura da copa da cultura (FUCHS et alii, 1967). CLAWSON e BLAD (1982) estudando a influência da direção das fileiras encontraram diferenças insi-

gnificantes na temperatura da copa do milho. GARDNER (1981b) relatou uma leve tendência da parte sul ser mais quente que a exposta ao norte. Este efeito pode ser minimizado tomando-se leituras com uma variação de 180° e fazendo uma média delas (JACKSON, 1982).

Observações térmicas aéreas tem sido realizadas para detectar culturas com estresse hídrico. BARTHOLIC et alii (1972) estão entre os primeiros pesquisadores a utilizar esta técnica. Observaram diferenças de temperatura da copa de $6,0^{\circ}\text{C}$ entre parcelas de algodão sob diferentes déficits hídricos. HEILMAN et alii (1976) observaram que a soja foi $2,6^{\circ}\text{C}$ mais fria que o sorgo. BLAD e ROSEMBERG (1976) observaram que o trigo e alfafa eram mais frios que pastagens. Medidas com termômetros portáteis indicaram que a temperatura da copa da alfafa foi 5 a 7°C mais fria que o ar (medidas a 2m de altura) com leituras feitas ao meio dia e à tarde. O milho irrigado, por outro lado, esteve sempre mais quente que a alfafa e mais quente que o ar, exceto em períodos curtos do fim da tarde.

MILLARD et alii (1978) apresentaram imagens térmicas para 6 diferentes parcelas de trigo irrigado. A parcela com déficit hídrico estava 8°C acima da temperatura do ar medida a 1,5 m de altura, ao passo que as parcelas mais irrigadas estavam 6°C abaixo da temperatura do ar. Estes dados mostraram que quando uma boa cobertura é

conseguida, imagens térmicas aéreas poderiam ser uma ferramenta para programar a irrigação.

Solos não cobertos totalmente pela cultura representam um problema na determinação da temperatura da copa da cultura, uma vez que o sensor remoto pode determinar tanto a temperatura de solo sombreado como a de solo exposto ao sol. O problema é mais sério para culturas com espaçamentos largos, David (1969) citado por JACKSON (1982). HATIFIELD (1979) mediu temperaturas de vários ângulos em trigo semeados com 0,18 m de espaçamento, usando um termômetro portátil. A diferença entre as determinações angulares e verticais foram praticamente zero para condição de cobertura completa, e alcançou um mínimo de -2°C para 40% de cobertura. HEILMAN et alii (1981) medindo temperatura em posições angulares e verticais em cevada, observaram que as temperaturas obtidas verticalmente eram de 0,5 a $11,5^{\circ}\text{C}$ mais elevadas que as obtidas angularmente.

2.4. Estudos com a temperatura da copa da cultura

Durante os últimos 25 anos, a tecnologia de termômetros infra-vermelho, desenvolveu-se ao ponto de temperatura das folhas e outras partes da planta poderem ser facilmente determinadas. Com esse desenvolvimento a utilidade da determinação de temperatura de plantas para quantificar o estresse hídrico aumentou sensivelmente.

Os primeiros pesquisadores que utilizaram termômetros infra-vermelho (I.V) para medir temperatura das plantas foram MONTEITH e SZEICZ (1962), que apresentaram um desenvolvimento teórico relacionando temperatura da copa e resistência estomatal. Através de um balanço energético, derivaram uma expressão que relaciona a diferença de temperatura copa-ar, radiação líquida, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e as resistências aerodinâmica e da copa da cultura. Este trabalho formou a base para o desenvolvimento teórico do índice de estresse hídrico (CWSI) que será discutido posteriormente.

TANNER (1963) usou termômetros I.V. em plantas submetidas a diferentes lâminas de água para caracterizar vários níveis de estresse hídrico, e reconheceu que medições de temperatura da copa da cultura, pode ser um valioso índice qualitativo, e uma vez que, bem conhecidos os processos de transferência nas superfícies das plantas, um índice quantitativo poderá ser determinado.

ASTON e VAN BAVEL (1972) propuseram que o estresse hídrico poderia ser determinado pelo aumento da temperatura de plantas sob solos secos. Ressaltam que as diferenças de temperatura envolvidas seriam pequenas e variáveis, e que a medida que a cobertura das plantas aumentasse, as diferenças seriam menores. Observaram ainda, que devido à inerente heterogeneidade dos solos, vários locais no campo poderiam mostrar déficits hídricos antes que

outros e as temperaturas da copa mostrariam uma variabilidade maior do que os locais irrigados. A partir deste ponto de vista, propuseram que a variabilidade das temperaturas fosse utilizada como indicador do déficit hídrico.

2.4.1. Índices de estresse hídrico com base nas temperaturas da copa e do ar

IDSO et alii (1977) mediram a temperatura da copa da cultura do trigo todos os dias durante o ciclo vegetativo. O objetivo era desenvolver uma técnica para avaliar o déficit hídrico com um número mínimo de medidas, e assumiram que os fatores ambientais tais como: pressão de vapor do ar, radiação líquida e vento poderiam ser expressados na temperatura da copa. Estes autores definiram graus dias de estresse (SDD) como a diferença de temperatura da copa (T_c) e a temperatura ambiente (T_a). Argumentaram ainda que o SDD aumenta com o aumento do déficit hídrico, ou seja, para a menor disponibilidade de água para transpiração corresponde o maior valor de SDD.

JACKSON et alii (1977) avaliaram a possibilidade de usar SDD como ferramenta para programar a irrigação. Mediram o esgotamento hídrico com sonda de neutrons, e acumularam todos os valores positivos de SDD, sendo que todas as vezes que SDD era negativo foi atribuído o valor zero. Concluíram que as irrigações

deveriam ser iniciadas quando ou antes que a somatória dos SDD positivos atingisse o valor 10, e após cada irrigação a somatória deveria ser considerada zero. Os mesmos autores encontraram uma relação empírica $ET = R_n - 0,064 (T_c - T_a)$, onde R_n é a radiação líquida; ET a evapotranspiração. A ET determinada por esta relação é verdadeira para períodos de uma semana ou mais. As medidas de temperatura foram obtidas ao redor do meio dia, apesar da ET ser dada em cm/dia. A evapotranspiração foi medida através de lisímetro de pesagem.

HEERMANN e DUKE (1978) usaram a média das diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) como indicador de estresse hídrico em culturas irrigadas deficientemente. Observaram que a elevação da temperatura está relacionada linearmente (inclinação negativa) com a lâmina aplicada e com a produção de matéria seca. Consideraram que uma média de diferença de temperatura maior que $1,5^{\circ} C$ estava significativamente relacionada com a redução da produção.

BLAD et alii (1981), CLAWSON e BLAD (1982) e GARDNER et alii (1981 a) seguindo a sugestão de ASTON e VAN BAVEL (1972), testaram a viabilidade do uso do desvio padrão das temperaturas da copa medidas ao meio dia como programador da irrigação. Encontraram um desvio padrão de $0,3^{\circ} C$ em parcelas irrigadas de milho; e de $4,2^{\circ} C$ em parcelas não irrigadas. Concluíram que parcelas com desvio padrão (DP) acima de $0,3^{\circ} C$ necessitavam irrigação.

GARDNER et alii (1981a) mostraram que plantas de milho sob estresse ficaram com temperatura menor que a temperatura do ar durante um tempo prolongado e sugeriram que o milho deve ser mais sensível ao estresse hídrico do que o trigo, propuseram também que a diferença de temperatura copa-ar deveria ser específica para um determinado solo, clima e cultura.

A partir dos dados de CLAWSON e BLAD (1982), JACKSON (1982) determinou a variabilidade da temperatura da copa da cultura (CTV), definida como a diferença entre a máxima e a mínima de todas as temperaturas determinadas com termômetros I.V. Concluiu que para esta parcela as irrigações foram feitas quando CTV atingiu o valor de $0,8^{\circ}\text{C}$. A partir dos mesmos dados determinou também a diferença de temperatura entre parcelas irrigada e sob estresse; este índice foi chamado por GARDNER (1981b) de temperatura de estresse diário (TSD). JACKSON explica que o uso de parcelas bem irrigadas como referência compensa efeitos do meio tais como temperatura do ar e déficit de pressão de vapor. Observou que as irrigações ocorreram quando a temperatura da copa de parcelas sob estresse eram 1°C mais quentes que as irrigadas. Estes resultados mostraram que os dois índices CTV e o TSD poderiam ser utilizados como técnica de programação da irrigação.

GEISER et alii (1982) desenvolveram um modelo para programação da irrigação estabelecendo uma correlação múltipla, usando a diferença Tc-Ta como variável dependente e a radiação líquida, umidade relativa e porcentagem de água disponível no solo como variável independente. Este modelo foi utilizado para programar a irrigação da cultura de milho. A produção e a quantidade de água utilizada foi comparada com os métodos de controle da irrigação: blocos de resistência e balanço hídrico. A produção obtida no tratamento em que a irrigação foi controlada pela diferença Tc-Ta não foi significativamente diferente dos tratamentos que utilizaram os outros métodos de controle. Entretanto, nos tratamentos que utilizaram os métodos do balanço hídrico e blocos de resistência foram aplicados 39 e 18 por cento a mais de água, respectivamente, quando comparado com o método Tc-Ta. A equação para controle por este método foi obtida em 1979 e utilizada em 1980; onde as irrigações eram feitas quando a diferença Tc-Ta determinada fosse maior que Tc-Ta calculada através da equação:

$$Tc-Ta = -1,065 + 4,71 \times 10^{-3} \cdot R_n + 0,0247 \cdot UR - 0,0535 \cdot AD + 4,01 \times 10^{-10} \cdot AD^5$$

($r^2 = 0,59$), onde R_n é radiação líquida (W/m^2), UR a umidade relativa e AD a água disponível em porcentagem.

2.4.2. Potencial da água na planta

A suposição de que a temperatura da copa é uma medida do estresse hídrico da planta está fortemente baseada em observações qualitativas, como a murcha. Processos fisiológicos são frequentemente afetados antes da murcha tornar-se aparente, e diferentes espécies podem murchar à diferentes níveis de estresse (HSIAO, 1973). Desde que o potencial de água na planta é aceito como medida do estatus da água na planta, é interessante comparar aquelas medidas com dados de medidas da temperatura da copa.

O potencial de água em plantas de trigo foi medido durante 19 dias claros às 14:00 horas em Phoenix, Arizona por EHRLER et alii (1978b), juntamente com a temperatura da copa com termômetros I.V em parcelas que receberam diferentes lâminas de irrigação. Observaram os autores que apesar de um grande número de observações por parcela, houve uma considerável dispersão nos dados, que plotados em um gráfico, mostram que, com a diminuição do potencial da água na planta houve um aumento na diferença de temperatura copa-ar, alcançando um valor máximo de 5°C , a partir do qual grandes aumentos no potencial da água na planta eram necessários para aumentar um pouco a diferença de temperatura. SUMAYO et alii (1980) trabalhando da mesma maneira conclui que a correlação entre poten-

cial da água na planta e diferença de temperatura existe, mas não é linear; e que devido a variabilidade dos dados não foi possível maiores comparações quantitativas.

EHRLER et alii (1978a) observaram em plantas de trigo variações consideráveis no potencial da água na planta determinados durante o dia, de -0,1 a -1,6 MPa em parcelas com déficit hídrico. Concluíram que a melhor hora do dia para medir a temperatura da copa era às 14 horas, o que está de acordo com BLAD et alii (1981).

GARDNER et alii (1981b) analisaram as diferenças do potencial da água na planta e de temperatura da copa entre parcelas com estresse e sem estresse, e observaram uma relação parabólica entre elas; i. e., a diferença de potencial aumentou, com a diferença de temperatura até 4 °C; quando então diminuiu. Eles reconheceram a variabilidade das medidas e indicaram que a abertura e fechamento dos estômatos afetaram a relação entre a temperatura da copa e o potencial de água na planta.

JACKSON (1982) concluiu que medidas da temperatura da copa poderiam ser o melhor indicador de estresse pelo menos durante a fase inicial do estresse; e que em estágios mais avançados de estresse a diferença $T_c - T_a$ torna-se maior e insensível a variações no potencial da água na planta.

2.4.3. Fatores ambientais

As variações de insolação devido à presença de nuvens podem afetar intensamente a temperatura da copa, levando a uma grande variabilidade nas medidas. WIEGAND e NANKEN (1966) observaram variações de 6°C com mudanças na insolação, e que as folhas requeriam de 30 a 45 segundos para alcançar um equilíbrio após um sombreamento devido a presença de nuvens. BLAD et alii (1981) observaram variações de $5,2^{\circ}\text{C}$ em plantas estressadas e $3,6^{\circ}\text{C}$ em plantas irrigadas, e concluem que nestas condições é muito difícil quantificar o estresse.

Barthakur (1975) citado por JACKSON (1982), observou que a temperatura da folha diminui com aumento da velocidade do vento, e a maior influência ocorreu para velocidades de 0 a $2,0\text{ m/s}$. Velocidades do vento maiores que $2,0\text{ m/s}$ não afetaram significativamente a temperatura da copa. CARLSON et alii (1972) não encontraram influência significativa do vento sobre a temperatura de folhas de soja em condições de campo. OKUYAMA (1975), estudando temperatura da copa de arroz não observou influência na diferença $T_c - T_a$ para velocidades do vento variando de $0,2$ a $1,0\text{ m/s}$.

2.5. Índice de estresse hídrico com base no balanço energético

Três índices baseados na temperatura foram propostos: O SDD que é a diferença de temperatura copa-ar medidas ao redor do meio dia, (na hora mais quente); o TSD que é a diferença de temperatura entre a copa da cultura com estresse e a sem estresse (referência) e o CTV, que é a variação das temperaturas da copa em uma parcela durante um determinado período.

No índice SDD as plantas são consideradas estressadas quando a diferença de temperatura $T_c - T_a$ é positiva; mas evidências experimentais tem mostrado que é arbitrária a divisão a partir de $SDD=0$, como sendo o limite que separa plantas estressadas e não estressadas em qualquer condição ambiental. TSD requer uma parcela de referência próxima à área em questão, e o valor crítico de CTV pode ser influenciado pela variabilidade das propriedades do solo inerente a cada parcela.

A combinação do balanço de energia e a fórmula aerodinâmica usados para estimar a evaporação de superfícies naturais (PENMAN, 1948), pode descrever a temperatura da superfície, como uma função da radiação líquida e do déficit de pressão de vapor (MONTEITH e SZEICZ, 1962). Esta aproximação conduz a um índice de estresse hídrico baseado na temperatura que pode ser mais preciso

para quantificar o déficit hídrico em culturas. O desenvolvimento que segue está baseado em JACKSON et alii (1981).

2.5.1. Desenvolvimento teórico

2.5.1.1. Considerações sobre o balanço energético

O balanço de energia para a copa de uma cultura pode ser escrito da seguinte forma:

$$R_n = G + H + \lambda E \quad (1)$$

onde R_n é a radiação líquida ($W.m^2$), G é o fluxo de calor abaixo da copa ($W.m^2$), H é o fluxo de calor sensível ($W.m^2$) da copa para o ar, λE é o fluxo de calor latente para o ar ($W.m^2$) e λ é o calor de vaporização. Numa forma simples, H e λE podem ser expressos assim:

$$H = \rho C_p (T_c - T_a) / r_a \quad (2)$$

$$\lambda E = \rho C_p (e_c^* - e_a) / [\gamma (r_a + r_s)] \quad (3)$$

onde ρ é a densidade do ar ($kg.m^{-3}$), C_p é o poder calorífico do ar ($J/Kg.^{\circ}C$); T_c a temperatura da superfície ($^{\circ}C$), e_c^* a pressão de vapor saturada (Pa) à T_c , e_a a pressão parcial de vapor do ar, γ é a constante psicométrica (Pa/C), r_a é a resistência aerodinâmica (s/m) e r_s é a resistência da copa da cultura à difusão de vapor (s/m). Uma

discussão detalhada dos procedimentos e das suposições que conduziram às equações (2) e (3) é dada por MONTEITH (1973).

A combinação das equações (1) a (3), assumindo G desprezível e definindo Δ como sendo a inclinação da relação entre a diferença de pressão de vapor saturado ($e_a^* - e_c$) e a diferença de temperatura ($T_c - T_a$) em unidades de Pa/ $^{\circ}$ C, onde e_a^* é a pressão de vapor saturado do ar, obtemos:

$$e_c = e_a - \Delta(T_c - T_a)$$

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{\rho C_p} \cdot \frac{\gamma (1 + r_s/r_a)}{\gamma (1 + r_s/r_a) + \Delta} - \frac{e_a^* - e_a}{\gamma (1 + r_s/r_a) + \Delta} \quad (4)$$

a qual relaciona a diferença de temperaturas copa-ar ao déficit de pressão de vapor do ar, radiação líquida e as resistências aerodinâmicas e da cultura. O limite superior de $T_c - T_a$ pode ser encontrado pela equação (4) admitindo que a resistência da cultura r_s aumente sem limite; i.é, $r_s \rightarrow \infty$ temos:

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{\rho C_p} \quad (5)$$

O limite inferior encontra-se adotando $r_s = 0$ na equação (4); que seria o caso de plantas sem estresse hídrico; obtendo-se:

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{\rho C_p} \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} - \frac{e_a^* - e_a}{\Delta + \gamma} \quad (6)$$

As equações (4) e (6) descrevem uma relação linear entre $T_c - T_a$ e o déficit de pressão de vapor $e_a^* - e_a$ (DPV). Assim, para uma determinada temperatura, o limite

inferior é uma reta que se estende da intercepção $e_a - e_a^* = 0$ (ar saturado) até o valor $e_a - e_a^* = e_a^*$ (ar completamente seco). Sendo o limite superior independente da pressão de vapor e dependente da resistência aerodinâmica (r_a) e da radiação líquida (R_n). Ficando claro que existem infinitas retas intermediárias para os vários valores de resistência da copa (r_s).

2.5.1.2. Resistências aerodinâmica e da copa da cultura

Para utilização das equações (4) a (6) o valor de r_a deve ser conhecido. Vários autores usando métodos aerodinâmicos observaram que r_a normalmente excede a 20 s/m (VAN BAVEL e EHRLER, 1968; SZEICZ e LONG, 1969; SZEICZ et alii, 1969). Utilizando $r_a=20$ s/m e $R_n=600 \text{ W/m}^2$ na equação (5) resulta em $T_c - T_a = 10^\circ \text{C}$, que é considerada uma elevada diferença de temperatura, mesmo quando a transpiração é zero, levando a concluir que será necessário estabelecer um valor razoável de r_a .

JACKSON et alii (1981) avaliaram r_a para trigo na fase de maturação, com praticamente nenhuma água disponível no solo aplicando a equação (5). As medidas de temperatura da copa foram determinadas com termômetro I.V portátil, com 6 a 8 repetições em diferentes locais do campo. As diferenças $T_c - T_a$ variaram de 2 a 9°C , com uma

média de 5°C . Durante as medidas a velocidade do vento estava abaixo de $1,0\text{ m/s}$, uma elevada radiação de 800 W/m^2 e temperatura do ar maior que 35°C , portanto, condições para uma elevada temperatura da copa. Com estes dados o valor de r_a calculado foi de 10 s/m .

IDSO et alii (1981a) obtiveram dados de $T_c - T_a$ versus $e_a^* - e_a$ em vários locais (Arizona, Kansas, Minnesota e Nebraska) para cultura da alfafa irrigada e sob estresse hídrico no Arizona. Observaram que a interceptação de $T_c - T_a$ versus $e_a^* - e_a$ foi ao redor de 1°C para a alfafa irrigada. Uma vez que r_s é um fator finito, a equação (5) não pode ser aplicada para estimar r_a ; mas através da equação (6) determinaram o valor $r_a = 6,0\text{ s/m}$. Concluíram que o valor de r_a deveria estar entre 6 e 10 s/m , e que este deveria ser relativamente constante.

A partir desta discussão, pode-se observar que os valores de r_a foram estabelecidos para diferenças $T_c - T_a$ maior que zero, e quando T_c for menor que T_a , r_a deverá ser maior. Analisando mais detalhadamente a equação (4) nota-se que $T_c - T_a$ é mais afetado por variações na r_a a baixos valores de DPV; e para valores de DPV de 3 a 5 KPa, aumentos na r_a de três vezes tem pouco efeito na diferença $T_c - T_a$.

JACKSON (1982) calculou relações teóricas entre a diferença de temperatura $T_c - T_a$ e o DPV para valores de r_s iguais a 0, 5, 50, 500 e ∞ (s/m), $T_a = 30^{\circ}\text{C}$,

$R_n=600 \text{ W/m}^2$ e $r_a=10 \text{ s/m}$ aplicando a equação (4), simulando condições de atmosfera saturada até atmosfera completamente seca. Podendo-se observar que com o aumento de r_s de 0 a ∞ ; as diferenças de temperatura T_c-T_a foram -12,0; -9,2; -1,7; 3,8 e $5,0^\circ \text{C}$, respectivamente para um $DPV=3 \text{ KPa}$. Estes dados mostram que para um meio relativamente seco diferenças de $10-15^\circ \text{C}$ podem ser esperadas, dependendo do grau de estresse da cultura. Em ambientes úmidos as diferenças devem ser menores, e tornarem positivas para muitas situações. Sendo assim a equação (4) pode explicar a controvérsia que permaneceu durante vários anos de que a temperatura da copa deveria ser sempre maior que a temperatura ambiente.

Resultados experimentais de IDSO et alii (1981a) obtidos em cinco localidades durante o verão de 1980, em cultura de alfafa irrigada mostraram uma regressão linear entre T_c-T_a e DPV que resultou na seguinte equação $T_c-T_a = 0,59-1,95 \text{ DPV}$. Relatam ainda que a variação dos dados foi devido a mudanças na radiação líquida, velocidade do vento, erros experimentais nas medidas das temperaturas da copa e dos termômetros de bulbo seco e úmido. A correlação dos dados reforçam a validade da equação (4) onde se assume o valor de r_a constante. A equação obtida quando comparada com as obtidas teoricamente por JACKSON (1982) mostram que o valor de r_s deve estar entre 10 e 20 s/m, valor que é necessário para pre-

dizer a diferença $T_c - T_a$ para um dado DPV a partir da equação (4). Entretanto o valor do coeficiente linear (0,59) obtido experimentalmente é menor do que o obtido por JACKSON. Uma explicação para esta aparente discrepância é que as retas calculadas por JACKSON foram obtidas para uma temperatura do ar constante (30°C) e o valor Δ é uma função da temperatura. Desde que Δ está presente em ambos coeficientes linear e angular, os dois termos da equação são dependentes da temperatura. Sendo assim seria possível determinar uma família de retas, uma para cada temperatura do ar.

2.5.1.3. Evapotranspiração potencial

Na equação (6) quando se considera $r_s=0$, está se admitindo a evaporação de uma superfície livre de água, mas mesmo para culturas bem supridas de água o valor de r_s deve ser diferente de zero (VAN BAVEL e EHRLER, 1968); mas deve possuir um valor r_{sp} que corresponde a resistência da copa na evapotranspiração potencial. O valor de r_{sp} deve ser diferente para as várias culturas, e deve mudar com as condições ambientais durante o dia. Substituindo-se $r_s = r_{sp}$ na equação (4) temos:

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{\rho C_p} \cdot \frac{\gamma^*}{\Delta + \gamma^*} - \frac{(e_a - e_a^*)}{\Delta + \gamma^*} \quad (7)$$

$$\text{onde} \quad \gamma^* = \gamma (1 + r_{sp}/r_a) \quad (8)$$

2.5.1.4. Índice de Estresse hídrico da Cultura (CWSI)

A evapotranspiração potencial de uma determinada cultura deverá ocorrer quando estiver bem suprida de água, e a medida que a água disponível for tornando-se limitante a evapotranspiração atual deve ficar abaixo da evapotranspiração potencial. A relação entre a evapotranspiração atual e a potencial pode determinar um índice de estresse. A equação de PENMAN,

$$E = (\Delta \cdot R_n + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma) \text{ (mm/dia)} \quad (9)$$

onde E_a é o poder evaporante do ar à sombra, foi modificada por MONTEITH (1965); que substituiu o valor de E_a por

$$E_a = \frac{\rho C_p (\bar{e}_a^* - e_a)}{\gamma r_a} \quad (10)$$

que só é válido para superfícies de água livre, resultando a seguinte equação:

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n + \rho C_p (\bar{e}_a^* - e_a)/r_a}{\Delta + \gamma} \quad (11)$$

Para superfícies como plantas e solos onde a superfície evaporante esta localizada dentro das superfícies naturais, um componente de resistência interno se inclui na relação:

$$\frac{\gamma \lambda E}{\rho C_p} = \frac{(\bar{e}_c^* - \bar{e}_a^*)}{r_s} = \frac{(\bar{e}_a^* - e_a)}{r_a} \quad (12)$$

Passando a fórmula a ser:

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n + \rho C_p (e_a^* - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)} \quad (13)$$

que é a equação de PENMAN - MONTEITH em função das resistências aerodinâmicas e da copa. Fazendo-se a relação evapotranspiração atual (λE para qualquer r_s) com evapotranspiração potencial (λE_p para $r_s = r_{sp}$) temos:

$$\frac{E}{E_p} = \frac{\Delta + \gamma^*}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)} \quad (14)$$

onde γ^* é definido pela equação (8). JENSEN (1974) e HOWELL et alii (1979) analisando a equação (14) para a situação em que $r_{sp} = 0$; i.é, $\gamma^* = \gamma$; admitem a possibilidade de determinar r_s em função de E/E_p .

A relação E/E_p varia de 1 (com água disponível, $r_s = r_{sp}$) a 0 (sem água disponível, $r_s \rightarrow \infty$). Normalmente nos estudos das relações água-planta, a planta passa de uma condição de ausência de estresse a uma condição de estresse, portanto, por uma questão de coerência é melhor mencionar o índice de esgotamento hídrico (CWSI) variando de 0 a 1. CWSI será definido como:

$$CWSI = 1 - \frac{E}{E_p} = \frac{\gamma (1 + r_s / r_a) - \gamma^*}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)} \quad (15)$$

Para o cálculo de E/E_p ou CWSI usando as equações (14) ou (15) é necessário a relação r_s / r_a , que pode ser obtida rearranjando a equação (4):

$$\frac{rs}{ra} = \frac{\gamma ra Rn / \rho Cp - (Tc-Ta) (\Delta + \gamma) - (e_a^* - e_a)}{\gamma [(Tc-Ta) - ra Rn / (\rho Cp)]} \quad (16)$$

Na prática a relação rs/ra é determinada através da equação (16) e substituída na equação (15) para obter-se o valor de CWSI.

Uma representação gráfica do índice CWSI é dado na figura (1). Para determinação da linha básica $Tc-Ta$ versus DPV que representa a ausência de estresse foram utilizados os seguintes dados $ra = 10$ s/m, $Rn=600$ W/m², $Ta=30^{\circ}$ C e $rs = 5$ s/m. A linha superior $Tc-Ta = 5^{\circ}$ C foi calculada e representa a diferença máxima em condições de estresse. Se experimentalmente determinamos $Tc = 27^{\circ}$ C temos $Tc-Ta = -3^{\circ}$ C, que está plotado no ponto B. Uma linha vertical é estendida do ponto B até a linha superior (ponto A) e até a linha inferior (ponto C).

O cálculo de CWSI é dado por:

$$CWSI = \frac{BC}{AC} = \frac{[-3 - (-9,3)]}{[5 - (-9,3)]} = 0,44$$

que representa uma relação $E/E_p = 0,56$ (AB/AC).

Figura 1. Representação gráfica do cálculo de CWSI. Valores de $r_a = 10 \text{ s/m}$, $R_n = 600 \text{ W/m}^2$, $r_s = 5 \text{ s/m}$, $T_a = 30^\circ\text{C}$ e $T_c = 27^\circ\text{C}$.

IDSO et alii (1981b) propuseram a determinação da linha inferior (linha básica) $T_c - T_a$ versus DPV , experimentalmente para várias culturas sem estresse. Resaltam ainda que este procedimento seria muito mais simples, que os cálculos com as equações (15) e (16), mas observaram que a linha básica determinada empiricamente não leva em conta variações na radiação líquida e velocidade do vento.

2.5.1.5. Determinação do declive da curva de pressão de saturação de vapor d'água (Δ)

O declive da curva de pressão de saturação de vapor para a água, à temperatura média do ar, esta presente em várias equações mencionadas. Uma primeira aproximação de Δ pode ser obtida à temperatura do ar T_a . Quando a diferença de temperatura $T_c - T_a$ for grande, como no caso de plantas bem supridas de água e um elevado déficit de pressão de vapor; uma melhor aproximação será calcular Δ à $(T_c + T_a)/2$, (JACKSON, 1982).

2.5.1.6. Efeito do vento

O vento é um dos fatores do meio ambiente que não está incluído na equação (15) apesar de afetar o

valor de r_a de uma maneira linear e inversa (VAN BAVEL e EHRLER, 1968). JACKSON (1982), fez algumas observações qualitativas da influência do vento na diferença $T_c - T_a$. No caso de superfícies livres de água ($r_s = 0$), analisando a equação (6) onde r_a aparece no primeiro termo, observa-se uma diminuição na diferença ($T_c - T_a$) com o aumento da velocidade do vento, e quando $r_s \rightarrow \infty$ a influência será ainda maior, equação (5), com a diferença $T_c - T_a$ tendendo a zero. Para valores intermediários ($r_s > 0$), $T_c - T_a$ pode aumentar ou diminuir com o aumento da velocidade do vento, dependendo dos valores de r_s e r_a , desde que os valores de R_n e DPV sejam constantes. Conclui o autor que as interações com o vento são complexas, e que a velocidade do vento não afeta somente r_a ; mas também r_s , T_a e possivelmente o DPV de uma maneira difícil de calcular.

2.5.2. Experimentos em que foram determinados CWSI

JACKSON et alii (1981) estudaram a variação do CWSI determinado para a cultura do trigo em função da porcentagem de água extraída. Os tratamentos consistiram em diferentes frequências de irrigação. Observaram que os valores CWSI aumentaram linearmente com a porcentagem de água extraída, o que indicou uma boa correlação. Porém, observaram que CWSI não diminuiu para o seu valor mais baixo imediatamente após as irrigações, requerendo até 5

dias para chegar ao valor mínimo. O tempo para recuperação do estresse hídrico dependeu do grau a que foi submetido. Uma das explicações para este fato é que as raízes quando em solo seco necessitam de tempo para emitir novas radículas para rehidratação completa das plantas; o que também está relacionada com a espécie e idade das plantas. Este período de reabilitação também foi observado em algodão por Ehrler (1973) e para sorgo por Idso e Ehrler (1976) citados por JACKSON (1982). Observaram ainda os autores que as formas das curvas de CWSI versus porcentagem de água extraída, não foram as mesmas nos intervalos de irrigação, provavelmente devido a mudanças no volume de raízes durante o desenvolvimento da cultura. O outro fator observado é o efeito da fase de senescência do trigo na relação CWSI versus porcentagem de água extraída, onde as folhas começam a morrer causando diminuição na transpiração; e mesmo após uma irrigação, a temperatura das plantas estão elevadas apesar de existir água facilmente disponível no solo.

IDSO et alii (1981) determinaram as relações $T_c - T_a$ versus DPV para a cultura de alfafa sob condições ideais de água e em condições de estresse; estabelecendo as linhas inferior e superior. A linha inferior resultou em $T_c - T_a = 0,506 - 0,192 \text{ DPV}$ ($r=0,953$) e para linha superior observaram uma diferença máxima $T_c - T_a$ de $0,6^\circ \text{ C}$ para $T_a=10^\circ \text{ C}$ e $1,1^\circ \text{ C}$ para $T_a=50^\circ \text{ C}$; mas como a tempera-

tura do ar em média variou de 20 a 40 °C, o limite superior de Tc-Ta foi considerado 1 °C. Demonstraram os autores neste trabalho que o índice CWSI determinado a partir da Tc-Ta, DPV e UR; pode detectar rapidamente reduções do potencial da água na planta devido a escassez de água no solo.

KEENER e KIRCHER (1982) testaram os índices SDD, CWSI. Determinando (CWSI)¹ empiricamente através da relação Tc-Ta versus DPV e (CWSI)² teoricamente em função de Tc-Ta, DPV, Rn, ra e rs. Os três índices foram testados em condições de diferentes umidades do solo, durante dois anos secos e um ano úmido. Quando os dados dos anos secos foram analisados isoladamente, todos os índices relacionaram-se com a produção igualmente. Para o ano úmido o segundo e terceiro índice relacionaram-se melhor que o primeiro. Concluem os autores que para regiões úmidas é necessário incluir o DPV e Rn para quantificar o estresse hídrico.

MORESHET et alii (1983) não encontraram precisão na utilização da diferença Tc-Ta determinada a partir da correlação Tc-Ta versus DPV, para programação da irrigação da cultura de cowpeas.

HATIFIELD (1983) avaliou o uso de termômetros I.V para determinação do estresse hídrico na cultura de sorgo irrigado, por três anos. Os dados mostraram que a determinação do índice de estresse (SDD), (Tc-Ta obtidas

das 13 às 14h), mostrou-se um seguro indicador de estresse, e que as diferenças T_c-T_a aumentaram rapidamente acima de zero quando a porcentagem de água disponível reduzia-se a 65%. Observou também uma alta correlação das diferenças T_c-T_a maiores que zero e potenciais da água nas folhas menores que $-1,1$ MPa.

WANJURA et alii (1984) determinaram CWSI teórica e empiricamente para cultura de algodão com cobertura parcial e completa do solo. Observaram os autores que para 50% de cobertura a inclinação da reta T_c-T_a versus DPV foi aproximadamente metade daquela observada para cobertura completa. Na determinação de CWSI teoricamente foram estimados valores de r_a variando de 10 a 15 s/m e r_{sp} de 50 a 60 s/m. Concluem os autores que os procedimentos de cálculo de CWSI teórico e empírico são promissores, porém maiores detalhes na determinação de r_a e r_{sp} em diferentes condições ambientais são necessárias.

HIPPS et alii (1985) fizeram várias observações sobre os trabalhos que tentam considerar os fatores do meio ambiente que afetam a diferença T_c-T_a , relacionando-a com DPV para culturas bem supridas de água. Relatam os autores que a diferença T_c-T_a é afetada também pela R_n e velocidade do vento, e que as considerações teóricas da relação linear T_c-T_a versus DPV só é verdadeira quando R_n e o transporte turbulento são invariáveis, e que utilização desta relação onde as características do meio ambiente

são muito variáveis levará a uma correlação não significativa de $T_c - T_a$ versus DPV. Propõem os autores uma correção da diferença $T_c - T_a$ e DPV dividindo-os por T^* e E^* , respectivamente, que são fatores que levam em conta a velocidade do vento.

SMITH et alii (1986) testaram três modelos para estimar a diferença $T_c - T_a$; a partir de dados obtidos na cultura de trigo sob condições ideais de água, durante dois anos. O modelo mais complexo baseado no balanço energético correlacionou a diferença $T_c - T_a$ com DPV, R_n , r_a e r_{sp} . O segundo modelo correlacionou a diferença $T_c - T_a$ com DPV e R_n e o último somente com DPV. Os coeficientes de variação obtidos nesta etapa foram 70, 74 e 64% respectivamente. Um novo teste foi aplicado no ano seguinte e os coeficientes de variação foram de 65, 47 e 17%, respectivamente.

SIVAKUMAR (1986) calculou SDD e CWSI, com a finalidade de quantificar a resposta da cultura de *chickpea* (Cicer arietinum L.) à água disponível no solo e à demanda atmosférica sob diferentes lâminas de irrigação. As temperaturas da copa foram obtidas entre 13h e 14h nos diferentes tratamentos. O autor observou um decréscimo no consumo de água à medida que SDD aumentou; notou ainda uma correlação significativa de SDD e CWSI com a produção. O CWSI foi obtido através da correlação $T_c - T_a$ versus DPV.

TUBAILEH et alii (1986) conduziram um experimento onde a distribuição de água foi feita através do sistema de irrigação por aspersão "Line Source". Foram medidas as temperaturas da copa, do ar, o DPV, e o potencial da água das folhas de cevada, durante os estágios de pré e pós florescimento, submetidas a três níveis de lâminas de água. Para os dois estágios de desenvolvimento foram estabelecidas relações $T_c - T_a$ versus DPV, e calculado os valores de CWSI. As correlações obtidas ao nível de 5% de probabilidade do índice CWSI com evapotranspiração determinada através do balanço hídrico foi de $r^2 = 0,99$; e de 0,75 e 0,94 para potencial da água na planta e produção de grãos respectivamente.

KHERA e SANDHU (1986) conduziram um estudo de campo em meio ambiente quente e seco no norte da Índia, com cana-de-açúcar irrigada sob diferentes lâminas. Determinaram a temperatura da copa (T_c) e o índice de estresse hídrico (CWSI). Observaram que a diferença de temperatura da copa, em dias claros, de plantas sem estresse e com estresse foi de -2 a -7°C , e que a temperatura de ambas mantiveram-se de 1 a 12°C abaixo da temperatura do ar. Concluem os autores que as temperaturas da copa obtidas no início da tarde pareceram ser um índice mais seguro que a diferença $T_c - T_a$, possivelmente devido ao efeito das altas velocidades de vento no ambiente quente. Análises de regressão mostraram que a variação do teor de água a uma

profundidade de 180cm explicam 73% da variação da T_c medidas no início da tarde. A contribuição da radiação líquida e do déficit de pressão de vapor não foi significativa.

SAHA et alii (1986) mostraram que os índices SDD e CWSI determinado em função de R_n , DPV, r_a e r_s , são úteis para quantificar o estresse hídrico na cultura de cowpea. Observaram uma correlação inversa da temperatura da copa com DPV e a ET determinada através de balanço hídrico, nas áreas irrigadas e não irrigadas.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Descrição geral da área

3.1.1. Local

O experimento foi conduzido, sob condições de campo, na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, em Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são $20^{\circ} 42'30''$ de latitude sul, $47^{\circ} 38'00''$ de longitude oeste, a 580m de altitude.

3.1.2. Clima

Dados meteorológicos coletados na Estação Meteorológica instalada próximo ao experimento, pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, mostram, em termos médios anuais, que a precipitação pluvial é de 1247,1 mm, ocorrendo, a maior parte no verão (de novembro a fevereiro), principalmente como chuvas de alta intensidade e curta duração; a temperatura do ar é de $20,8^{\circ} \text{C}$, sendo a mínima da ordem de 10°C em julho, e a máxima da ordem de 30°C em janeiro; a umidade relativa do ar é de 69%; a velocidade do vento é de 2,5 m/s e o perio-

do de brilho solar é de 6 h/dia (CERVELLINI et alii, 1973).

O clima da região é do tipo mesotérmico Cwa, pela classificação climática de Koppen, ou seja, subtropical úmido, com estiagem no inverno, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C , também denominado de tropical de altitude por CAMARGO et alii (1974).

3.1.3. Solo

O solo no qual foi instalado o experimento foi descrito e classificado por RANZANI et alii (1966) como uma Terra Roxa Estruturada série "Luiz de Queiroz", e pela classificação americana (U.S.D.A., 1975) como um Paleudalf óxico, cujo material de origem são rochas básicas.

O experimento foi instalado em uma área contínua de 70 x 120 m, onde além das práticas normais de preparo do solo, foi feita uma subsolagem.

A subsolagem foi feita em 04/05/86, com arado subsolador de duas hastes, distanciadas 35 cm entre si, tendo 60 cm de comprimento. O arado subsolador foi regulado para garantir uma subsolagem de 50 cm de profundidade, tendo sido feitas duas passadas no sentido do declive e duas no sentido perpendicular ao declive. Numa semana antes da semeadura a área recebeu uma aração e uma gradagem.

Para caracterização física e química do solo foram abertas, antes da instalação do experimento, duas trincheiras, de onde foram retiradas amostras com estrutura deformada e indeformada das profundidades de 15 e 30 cm. Em cada uma das profundidades foram feitas as seguintes determinações:

- a) densidade do solo pelo método do anel volumétrico, utilizando cilindros de alumínio de UHLAND, com $344,77 \text{ cm}^3$,
- b) densidade das partículas pelo método do picnômetro com água (KIEHL, 1979),
- c) análise granulométrica pelo método de BOUYOUCOS (1962), e a classificação textural segundo LEMOS e SANTOS (1982),
- d) curvas de retenção de água do solo foram elaboradas por secamento, em amostras de solo com estrutura indeformada, retiradas com auxílio de um cilindro de volume conhecido, 30 dias antes do plantio. A água das amostras foi submetida às tensões de 10, 60, 340, 1030, 3000, 5000 e 15000 cm de coluna de água. Para as tensões de 10 e 60 cm de coluna de água foram utilizados funis de placa porosa (Funil de Buchner), de média porosidade, da Schott Mainz, Jena Er Glass, e para as demais tensões, câmaras de pressão de Richards, da Soil Moisture Equipament Co.

e) análise química e recomendação de adubação, feita pelo laboratório de rotina do Departamento de Química e Nutrição Mineral de Plantas, seguindo métodos descritos pelo Boletim número 100 do I.A.C. (1985).

As características físicas, a umidade volumétrica (θ , cm^3/cm^3) nas diversas tensões (ψ m, KPa) e as características químicas nas profundidades de 15 e 30 cm, do solo Terra Roxa Estruturada são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 1 - Características físicas do solo na área experimental

Profundi- dade (cm)	Granulometria (%)			Densidade(g/cm^3)		Classe textural
	areia	silte	argila	solo	partículas	
15	28	17	55	1,40	2,82	argila
30	29	17	53	1,42	2,81	argila

Tabela 2 - Umidade volumétrica (θ , cm^3/cm^3) nas diversas tensões ($-\psi$ m, KPa) nas profundidades de 15 e 30 cm, do solo Terra Roxa Estruturada.

Prof. (cm)	Potencial matricial (KPa)								
	0,1	1	6	10	33	100	300	500	1500
15	0,51	0,41	0,33	0,31	0,29	0,24	0,23	0,22	0,19
30	0,56	0,45	0,38	0,34	0,31	0,29	0,28	0,25	0,24

Tabela 3 - Características químicas do solo Terra Roxa Estruturada

Prof. (cm)	P res ₃ (µg/cm ³)	M.O. (%)	pH	meq/100cm ³						V (%)
				K	Ca	Mg	H+Al	S	T	
0-20	7,9	3,0	5,1	0,41	3,83	1,10	3,17	5,3	8,5	62,7
20-40	5,8	3,0	5,1	0,37	2,62	1,02	3,25	4,0	7,3	55,2

Com base na análise química foi feita uma adubação no sulco de plantio, na base de 60 Kg/ha de P₂O₅, 20 Kg/ha de S e 30 Kg/ha de N aplicado em cobertura 20 dias após a emergência.

3.2. Variedade e Semeadura

Foi utilizado o cultivar de feijoeiro Carioca 80, pertencente ao grupo diversos, que apresenta plantas com hábito de crescimento indeterminado, guia curta a longa, com início de florescimento 30 a 45 dias após emergência e com ciclo de 90 a 95 dias do plantio à colheita. Flores de cor branca e vagens de coloração verde clara com listras violeta clara passando a cor de fundo para palha quando secas. As sementes de forma oblonga possuem coloração creme a creme marmorizado com listras havaiana, com ou sem halo alaranjado. O peso médio de 100 sementes é de 22 g. E resistente a diversas raças do fungo da

antracnose e da ferrugem que ocorrem em São Paulo, e ao vírus do mosaico comum.

A semeadura foi feita em 2/07/86 com semeadura em sulcos espaçados de 50 cm, procurando-se obter em torno de 240.000 plantas/ha após estabilizada a emergência, o que corresponde a aproximadamente 12 plantas por metro linear.

3.3. Sistema de aplicação de água

A aplicação de água foi realizada por um sistema de irrigação por aspersão, disposto no campo segundo o sistema de "aspersão em linha" ("line source sprinkler system"), de acordo com a metodologia proposta por HANKS et alii (1976). A metodologia consiste na disposição de aspersores estreitamente espaçados sobre uma tubulação localizada no centro da área experimental. A sobreposição dos jatos de água promove uma maior precipitação junto à linha de aspersores e uma diminuição desta ao longo da direção perpendicular da tubulação, sendo este efeito denominado de "distribuição triangular da precipitação". A localização das parcelas experimentais ao longo da direção perpendicular à linha de aspersores permite a aplicação de diferentes lâminas de água.

A Figura 2 mostra esquematicamente a disposição da linha de aspersores colocada no centro da área experimental, dividindo-a em duas partes, estando

Figura 2. Diagrama esquemático da área experimental.

paralela à direção das linhas de plantas. Foram utilizados 16 aspersores marca SAMOTO, MODELO "Sagra AJ-25", com um bocal de diâmetro igual a 4,8 mm, raio de alcance de 15 m, vazão de $1,59 \text{ m}^3/\text{h}$, espaçadas de 6 m e pressão de serviço de 0,34 MPa.

O perfil de distribuição dos aspersores, dispostos em linha, foi obtido previamente no campo, em condições de velocidade de vento menor que 2,0 m/s (Figura 3), que serviu de base para definição dos tratamentos. Posteriormente, durante a condução do experimento, determinaram-se os valores médios das lâminas de irrigação em cada parcela, utilizando-se pluviômetros (recipientes de 1 litro) instalados na direção perpendicular às parcelas e à altura das plantas.

A intensidade de aplicação dos aspersores nas condições especificadas foram de 9,8; 6,9 e 3,3 mm/h, às distâncias de 2,5; 7,5 e 12,5m da linha de aspersores, respectivamente.

A Figura 4, mostra o sistema de aspersão "Line Source" utilizado para distribuição das diferentes lâminas de irrigação em funcionamento.

3.4. Delineamento Experimental

O delineamento experimental usado foi de dois blocos. Utilizou-se uma linha de aspersão, sendo que

Figura 3. Perfil de distribuição da precipitação dos aspersores, em função da distância da linha de aspersores.

Figura 4. "Line Source" utilizado para distribuição das diferentes lâminas de irrigação.

em cada lado da linha localizou-se um bloco. (Figura 2)

Os tratamentos constaram da combinação de quatro lâminas totais de água localizadas nas parcelas. As lâminas totais de água aplicadas (Tabela 4) foram: A1 = 377,1, A2 = 329,7, A3 = 272,1 e A4 = 219,1 mm (sem irrigação), estando incluído nestes valores a precipitação pluvial acumulada de 197,1 mm.

3.5. Controle da irrigação

A disponibilidade total de água do solo (ADt) foi determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$ADt = \frac{(CC - PMP)}{10} \times ds \times Z \quad (17)$$

onde, CC = teor de água no solo na capacidade de campo, % em peso;

PMP = teor de água no solo no ponto de murchamento permanente, % em peso;

ds = densidade do solo, em g/cm³ ;

Z = profundidade efetiva das raízes, em cm.

O teor de água na capacidade de campo (Cc) foi determinado "in situ", baseado na definição de VEIHMEYER e HENDRICKSON (1949) e o teor de água no ponto de murcha permanente (PMP) foi determinado a partir da curva característica de água no solo a uma tensão de -1500

Tabela 4. Lâminas aplicadas através da irrigação e precipitação pluviual (mm) nos tratamentos 1, 2, 3 e 4.

Data	Tratamentos			
	1	2	3	4
02/07	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)
07/07	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)
12/07	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)	11.0(i)
20/07	11.0(i)	7.0(i)	3.3(i)	*
22/07	7.1(p)	7.1(p)	7.1(p)	7.1(p)
30/07	2.4(p)	2.4(p)	2.4(p)	2.4(p)
31/07	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
06/08	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
12/08	4.0(p)	4.0(p)	4.0(p)	4.0(p)
13/08	17.9(p)	17.9(p)	17.9(p)	17.9(p)
15/08	8.0(p)	8.0(p)	8.0(p)	8.0(p)
16/08	6.0(p)	6.0(p)	6.0(p)	6.0(p)
19/08	8.5(p)	8.5(p)	8.5(p)	8.5(p)
21/08	33.2(p)	33.2(p)	33.2(p)	33.2(p)
22/08	52.6(p)	52.6(p)	52.6(p)	52.6(p)
24/08	7.1(p)	7.1(p)	7.1(p)	7.1(p)
02/09	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
09/09	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
15/09	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
19/09	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
24/09	21.0(i)	14.8(i)	7.1(i)	*
26/09	2.6(p)	2.6(p)	2.6(p)	2.6(p)
29/09	30.2(p)	30.2(p)	30.2(p)	30.2(p)
09/10	1.1(p)	1.1(p)	1.1(p)	1.1(p)
10/10	5.4(p)	5.4(p)	5.4(p)	5.4(p)
Total	377.1	329.7	272.1	219.1

(i) - irrigação (mm)

(p) - precipitação pluviual (mm)

KPa. Os valores de C_c , PMP, d_s e Z foram: 22,1 (% em peso), 13,5 (% em peso), 1,40 (g/cm³) e 30 (cm), respectivamente. Estes valores aplicados na equação (17), resultam em $ADt=36,0$ mm.

A água disponível efetiva do solo (ADE) foi determinada como sendo a diferença entre os teores de água no solo na C_c e o teor de água no solo a uma tensão de -100 KPa (24% em volume). Tensão esta na qual vários pesquisadores, tais como MILLAR e CHOUDHURY (1980), DAKER (1984), FOLEGATTI (1985) e BULISANI et alii (1987) observaram 80-100% do potencial de produção do feijão.

A ADE igual a 21,0 mm foi calculada a partir da seguinte relação:

$$ADE = \frac{\theta_{cc} - \theta(100 \text{ KPa})}{10} \cdot Z \quad (18)$$

onde, θ_{cc} e $\theta(100 \text{ KPa})$ são os teores de água retidos no solo na capacidade de campo e a tensão de -100 KPa, em % de volume, respectivamente.

Após a semeadura, em 02/07/88, todos os tratamentos receberam irrigação uniforme, tendo-se aplicado uma lâmina de água de 11,0 mm nos dias 02, 07 e 12/07, para garantir a germinação.

Efetivamente em 31/07/88 iniciou-se o controle das lâminas de água por irrigação, utilizando-se o sistema de aspersão em linha e aplicando-se a partir des-

ta data, as seguintes lâminas de irrigação: 21,0; 14,8; 7,1 e 0,0 mm, respectivamente nas parcelas dos tratamentos 1, 2, 3 e 4. As irrigações foram controladas em função da evapotranspiração máxima acumulada (Σ ETM) realizando-se as irrigações sempre que ETM atingiu valores de 21,0 mm, aproximadamente.

Para a estimativa da evapotranspiração do feijoeiro, utilizaram-se dados de evaporação obtidos no evaporímetro tanque "Classe A", de acordo com as recomendações da FAO (DOORENBOS e KASSAN, 1979). A seguinte relação foi utilizada para cálculo da evapotranspiração máxima (ETM).

$$ETM = K_p \cdot K_c \cdot ECA \text{ (mm/dia)} \quad (19)$$

onde, K_p = coeficiente do tanque "Classe A", valor médio 0,8

K_c = coeficiente de cultura, valor máximo 1,1

ECA = evaporação do tanque "Classe A"

Foram instalados tensiômetros a 15, 30, e 45 cm de profundidade nas parcelas dos tratamentos 1, 2 e 3 nos dois lados da linha de aspersão (Figura 2), com a finalidade de acompanhar o potencial matricial da água no solo nos vários estágios de desenvolvimento da cultura. As leituras dos tensiômetros e no evaporímetro tanque "Classe A", realizaram-se a 7:00 horas, diariamente.

3.6. Balanço de água no solo e determinação dos "Dias Secos"

Neste trabalho utilizou-se o Balanço Hídrico modificado (BHM), desenvolvido por BRAGA (1982) que leva em consideração a capacidade de água disponível máxima do solo, a planta, e a demanda atmosférica (ETM), definida através da água disponível (ADE).

A metodologia consta de uma contabilização do armazenamento da água no solo, através da diferença entre a adição (precipitação) e a perda (ETM), conhecendo-se inicialmente a água disponível total (ADt) do solo a uma determinada profundidade.

Pelo emprego do fator P caracterizou-se a ADE, através da seguinte expressão:

$$ADE = P \cdot ADt \quad (20)$$

onde P, é a parte fracional da ADt prontamente disponível, que é função da demanda atmosférica (ETM) e da espécie vegetal (cultura) de acordo com critérios preconizados pela FAO (1979). O fator P, por outro lado, pode ser também definido como a fração da ADE na qual a condição de evapotranspiração Atual ou Real (ETR) mantém-se igual a evapotranspiração máxima (ETM).

Para determinar-se a ETM necessita-se dos coeficientes de cultura Kc, para ser multiplicado pela evapotranspiração de referência (ETo). Os valores de Kc e

do fator P utilizados para cada estágio de desenvolvimento são apresentados na Tabela 5.

De acordo com a FAO (1979) a cultura do feijoeiro pertence ao grupo 3, e o valor P em função da ETM pôde ser determinado através da seguinte equação:

$$P = 0,9695 \cdot \exp (- 0,1184 \text{ ETM}) \quad (21)$$

$$(r^2 = 0,992)$$

Tabela 5. Coeficientes de Cultura (Kc), Evapotranspiração máxima média (ETM) e fator P para os diversos estágios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

Estágio	Kc	ETM (mm/dia)	P	Período
I- emergência até 10% do D.V	0,30	1,0	0,86	12 a 18/08
II- 10% DO D.V até 80% do D.V	0,70	1,9	0,77	19 a 26/08
III- 80% do D.V até 100% do D.V	1,05	3,2	0,66	27/08 a 06/09
IV- maturação	0,65	2,6	0,71	07 a 22/09
V- colheita	0,25	1,0	0,86	23/09 a 14/10

D.V. Desenvolvimento vegetativo

3.6.1. Determinação dos "Dias Secos"

Empregando-se o fator P da equação (21), ou seja, fração da ADt; definiu-se a Água Disponível Efetiva (ADE) do solo e os valores de armazenamento abaixo deste limite caracterizaram os dias secos, isto é, depois de consumida a ADE, a Evapotranspiração Real (ETR) torna-se menor que a ETM, impondo condição de estresse hídrico para a planta.

Desta forma, pelo Balanço Hídrico Modificado, toda vez que os limites de umidade do solo atingiam valores menores do que a fração da ADE, definida pelo fator $(1-P)$, caracterizava-se como um "dia seco".

3.6.2. Balanço Hídrico Modificado (BHM)

Considerou-se a $ETR = ETM$ até os limites de $ADE = P \cdot ADt$. O limite que definiu a água remanescente no solo, abaixo do qual $ETR < ETM$ foi chamado de Armazenamento Crítico (Ac) e definido matematicamente pela seguinte expressão:

$$Ac = (1 - P) ADt \quad (22)$$

Assim, toda água solicitada através da demanda atmosférica, definida pela ETM, é prontamente atendida até atingir o armazenamento crítico, ou toda ADE ter sido consumida.

Desta forma, o secamento ou diminuição da água do solo segue um modelo retilíneo até atingir o A_c .

Abaixo deste limite, assume-se que a diminuição da água no perfil do solo apresenta uma queda exponencial, igual a adotada por THORNTHWAITE e MATHER (1955); onde a relação entre demanda atmosférica e o armazenamento é dada pela seguinte expressão:

$$A = ADt \cdot \exp(b \cdot Nt) \quad (23)$$

onde, A = armazenamento de água no solo, em mm;

Nt = negativo acumulado, ou seja, somatória da diferença negativa entre a precipitação (Pr) e a evapotranspiração (ETP) em mm;

b = coeficiente angular, igual - 0,028489 para $ADt = 36,0$ mm (THORNTHWAITE e MATHER, 1955)

No modelo de THORNTHWAITE e MATHER o esgotamento da água segue uma curva exponencial negativa, desde o valor inicial da demanda (negativo acumulado).

De acordo com o modelo utilizado no presente trabalho, assumiu-se que a diminuição do armazenamento é linear até um valor de negativo acumulado, correspondente ao armazenamento crítico. A partir deste valor o processo torna-se exponencial, como o modelo original de THORNTHWAITE e MATHER (1955).

A Figura 5, apresenta um gráfico representativo da relação entre o armazenamento de água no solo e

Figura 5. Relação entre o armazenamento de água no solo e o negativo acumulado (N), pelo método THORNTWHAITE e MATHER (1955) e o modificado utilizado neste trabalho, para uma ADt de 36mm. (Braga, 1982)

o negativo acumulado, para 36 mm de ADt, pelo método de THORNTHWAITE e MATHER (1955) e o modificado utilizado neste trabalho. O armazenamento de água no solo, referente a parte retilínea (A_1) é dado pela seguinte expressão:

$$A_1 = ADt - N \quad (24)$$

Quando: $A \geq Ac = (1 - P) ADt$

ou

$$N \leq P ADt$$

onde N, é o valor do negativo acumulado (mm)

O armazenamento de água no solo, abaixo do Ac , tem forma exponencial e é representado pela equação:

$$A_2 = ADt \cdot \exp(bNT) \quad (25)$$

Quando: $A < Ac = (1 - P) ADt$

ou

$$N > P \cdot ADE$$

onde, NT corresponde ao negativo acumulado utilizado na equação exponencial.

Desta forma, no Ac , o valor do armazenamento calculado pelas expressões (24) e (25), tem o mesmo valor, mas diferem na somatória dos valores de N e NT. Isto deve-se ao fato de que no modelo idealizado pela equação (25), há uma diminuição da água no solo menor; isto é, acumula um valor mais elevado de negativo acumulado N, quando comparado com A_1 retilíneo, até o Ac .

Assim temos:

$$NT = N + D \quad (26)$$

onde, D é a diferença de negativo acumulado entre as expressões A₁ e A₂.

No limite correspondente ao Ac, A₁ = A₂, ou seja:

$$ADt - N = ADt \cdot \exp(bNT) \quad (27)$$

Isolando da equação (27), a variável NT e sabendo-se que no Ac o negativo acumulado N é igual a P. ADt, temos:

$$NT = \frac{\ln [(ADt - N) / ADt]}{b}$$

ou

$$NT = \frac{\ln [(ADt - P \cdot ADt) / ADt]}{b} - \frac{\ln (1-P)}{b} \quad (28)$$

Pela equação (26) sabemos que:

$$D = NT - N \quad \text{e no Ac, } N = P \cdot ADt$$

Logo, D = NT - P. ADt e com NT definido pela equação (28), o valor de D, no ponto crítico fica assim definido:

$$D = \frac{\ln (1 - P)}{b} - P \cdot ADt \quad (29)$$

$$\text{Assim, } NT = N + \frac{\ln (1 - P)}{b} - P \cdot ADt \quad (30)$$

Substituindo-se (30) em (25), vem:

$$A_2 = ADt \cdot \exp \left\{ b \left[N + \frac{\ln (1-P)}{b} - P \cdot ADt \right] \right\} \quad (31)$$

Isolando o valor N da equação (31), temos:

$$N = \frac{\ln (A / ADt) - \ln (1-P) + b \cdot P \cdot ADt}{b} \quad (32)$$

As equações (31) e (32) definem os valores correspondentes do armazenamento de água no solo e do negativo acumulado N, quando:

$$A < (1-P) ADt = A_c$$

ou

$$N > P \cdot ADt$$

No balanço hídrico modificado (BHM) duas equações gerais (24 e 25) definem o valor do armazenamento de água no solo, sendo seus limites de abrangência definidos pelos valores de ETM diária, ADt e o fator P. O valor do coeficiente angular b do modelo de THORNTHWAITE e MATHER (1955) é função da ADt utilizada. Pela análise de regressão linear dos valores tabelados, encontrou-se a seguinte relação da ADt e b;

$$b = -0,07685 + 0,0001337 ADt \quad (r^2 = 0,97) \quad (33)$$

para $(15 < ADt < 40)$. Assim, para $ADt=36,0$ mm o valor b foi de $-0,028718$.

Como podemos ver nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 referentes aos tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, estão caracterizados os dias do mês mais 12 colunas. Na coluna 1 foram plotados os valores de precipitação pluviométrica (Pr) e lâminas aplicadas através da irrigação (I), em mm. Na coluna 2, os valores de ETM média diária de cada período, em mm/dia. A coluna 3, apresenta valores da diferença entre as colunas 1 e 2. A coluna 4 o valor P médio de cada período obtidos na Tabela 5. A coluna 5, apresenta os valores de P.ADt, sendo que no período de 12/07 a 30/07/88 considerou-se ADt igual a 18,0 mm, para 15 cm de profundidade; a partir de 31/07/88 considerou-se ADt igual a 36,00 mm, para 30 cm de profundidade. A coluna 6, apresenta os valores de armazenamento crítico médio para o período, determinado pela equação (22). A coluna 7, apresenta a somatória das diferenças negativas da coluna 3, ou seja o negativo acumulado (N). As colunas 8 e 9, apresentam os valores do armazenamento de água no solo e sua alteração em relação ao dia anterior. Os valores do armazenamento, coluna 8, foram definidos pelas equações (24) e (31), sendo que, a utilização de uma ou outra dependeu do valor da coluna 7.

Quando N foi menor ou igual a P.ADt (ADE), utilizou-se a equação (24); correspondendo a parte retilínea da equação do BHM. Caso contrário, isto é, $N > P \cdot ADt$,

Tabela 6. Balanço Hídrico Modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 1.

Data	Pr/I mm	ETM mm/dia	Pr-ET	P	ADE mm	AC mm	N mm	ARMAZ.(mm)		ETR	DEF mm/dia	EXC
								Valor	Alt			
28/08	0.0	3.5	-3.5	0.64	23.0	13.0	11.2	24.8	-3.5	3.5	0.0	0.0
29/08	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	13.7	22.3	-2.5	2.5	0.0	0.0
30/08	0.0	4.5	-4.5	0.57	20.5	15.5	18.2	17.8	-4.5	4.5	0.0	0.0
31/08	0.0	3.7	-3.7	0.63	22.7	13.3	21.9	14.1	-3.7	3.7	0.0	0.0
01/09*	0.0	4.8	-4.8	0.55	19.8	16.2	26.7	13.3	-0.8	0.8	4.0	0.0
02/09	21.0	2.7	18.3	0.70	25.2	10.8	4.4	31.6	18.3	2.7	0.0	0.0
03/09	0.0	3.3	-3.3	0.66	23.8	12.2	7.7	28.3	-3.3	3.3	0.0	0.0
04/09	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	9.4	26.6	-1.7	1.7	0.0	0.0
05/09	0.0	2.7	-2.7	0.70	25.2	10.8	12.1	23.9	-2.7	2.7	0.0	0.0
06/09	0.0	2.3	-2.3	0.74	26.6	9.4	14.4	21.6	-2.3	2.3	0.0	0.0
07/09	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	16.9	19.1	-2.5	2.5	0.0	0.0
08/09	0.0	2.2	-2.2	0.55	19.8	16.2	19.1	16.9	2.2	2.2	0.0	0.0
09/09	21.0	2.6	18.4	0.71	25.6	10.4	0.7	35.3	18.4	2.6	0.0	0.0
10/09	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	3.8	32.2	-3.1	3.1	0.0	0.0
11/09	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	6.3	29.7	-2.5	2.5	0.0	0.0
12/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	8.9	27.1	-2.6	2.6	0.0	0.0
13/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	11.5	24.5	-2.6	2.6	0.0	0.0
14/09	0.0	3.2	-3.2	0.66	23.8	12.2	14.7	21.3	-3.2	3.2	0.0	0.0
15/09	21.0	2.8	18.2	0.70	25.2	10.8	0.0	36.0	14.7	2.8	0.0	3.5
16/09	0.0	2.1	-2.1	0.76	27.4	8.6	2.1	33.9	-2.1	2.1	0.0	0.0
17/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	4.7	31.3	-2.6	2.6	0.0	0.0
18/09	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	7.8	28.2	-3.1	3.1	0.0	0.0
19/09	21.0	1.6	19.4	0.80	28.8	7.2	0.0	36.0	7.8	1.6	0.0	11.6
20/09	0.0	3.0	-3.0	0.68	24.5	11.5	3.0	33.0	-3.0	3.0	0.0	0.0
21/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	5.6	30.4	-2.6	2.6	0.0	0.0
22/09	0.0	2.8	-2.8	0.70	25.2	10.8	8.4	27.6	-2.8	2.8	0.0	0.0
23/09	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	9.4	26.6	-1.0	1.0	0.0	0.0
24/09	21.0	1.2	19.4	0.84	30.2	5.8	0.0	36.0	9.4	1.2	0.0	10.4
25/09	2.6	0.5	2.1	0.91	32.8	3.2	0.0	36.0	0.0	0.5	0.0	2.1
26/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	0.8	35.2	-0.8	0.8	0.0	0.0
27/09	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	2.2	33.8	-1.4	1.4	0.0	0.0
28/09	30.2	0.0	30.2	0.00	0.0	36.0	0.0	36.0	2.2	0.0	0.0	28.0
29/09	0.0	0.4	-0.4	0.92	33.1	2.9	0.4	35.6	-0.4	0.4	0.0	0.0
30/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	1.2	34.8	-0.8	0.8	0.0	0.0
01/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	2.5	33.5	-1.3	1.3	0.0	0.0
02/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	3.5	32.5	-1.0	1.0	0.0	0.0
03/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	4.7	31.3	-1.2	1.2	0.0	0.0
04/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	5.9	30.1	-1.2	1.2	0.0	0.0
05/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	6.9	29.1	-1.0	1.0	0.0	0.0
06/10	0.0	1.5	-1.5	0.81	29.2	6.8	8.4	27.6	-1.5	1.5	0.0	0.0
07/10	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	10.1	25.9	-1.7	1.7	0.0	0.0
08/10	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	11.5	24.5	-1.4	1.4	0.0	0.0
09/10	1.1	1.1	0.0	0.85	30.6	5.4	11.5	24.5	0.0	1.1	0.0	0.0
10/10	5.4	0.4	5.0	0.92	33.1	2.9	6.5	29.5	5.0	0.4	0.0	0.0
11/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	7.6	28.4	-1.1	1.1	0.0	0.0
12/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	8.9	27.1	-1.3	1.3	0.0	0.0
13/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	10.0	26.0	-1.1	1.1	0.0	0.0
14/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	11.1	24.9	-1.1	1.1	0.0	0.0

* = dias secos

Tabela 7. Balanço Hídrico Modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 2.

Data	Pr/I mm	ETM mm/dia	Pr-ET	P	ADE mm	AC mm	N mm	ARMAZ.(mm)		ETR	DEF mm/dia	EXC
								Valor	Alt			
28/08	0.0	3.5	-3.5	0.64	23.0	13.0	11.2	24.8	-3.5	3.5	0.0	0.0
29/08	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	13.7	22.3	-2.5	2.5	0.0	0.0
30/08	0.0	4.5	-4.5	0.57	20.5	15.5	18.2	17.8	-4.5	4.5	0.0	0.0
31/08	0.0	3.7	-3.7	0.63	22.7	13.3	21.9	14.1	-3.7	3.7	0.0	0.0
01/09*	0.0	4.8	-4.8	0.55	19.8	16.2	26.7	11.3	-2.8	2.8	2.0	0.0
02/09	14.8	2.7	12.1	0.70	25.2	10.8	12.6	23.4	12.1	2.7	0.0	0.0
03/09	0.0	3.3	-3.3	0.66	23.8	12.2	15.9	20.1	-3.3	3.3	0.0	0.0
04/09	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	17.6	18.4	-1.7	1.7	0.0	0.0
05/09	0.0	2.7	-2.7	0.70	25.2	10.8	20.3	15.7	-2.7	2.7	0.0	0.0
06/09	0.0	2.3	-2.3	0.74	26.6	9.4	22.6	13.4	-2.3	2.3	0.0	0.0
07/09	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	25.1	10.9	-2.5	2.5	0.0	0.0
08/09*	0.0	2.2	-2.2	0.55	19.8	16.2	27.3	9.9	-1.0	1.0	1.2	0.0
09/09	14.8	2.6	12.2	0.71	25.6	10.4	13.9	22.1	12.2	2.6	0.0	0.0
10/09	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	17.0	19.0	-3.1	3.1	0.0	0.0
11/09	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	19.5	16.5	-2.5	2.5	0.0	0.0
12/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	22.1	13.9	-2.6	2.6	0.0	0.0
13/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	24.7	11.3	-2.6	2.6	0.0	0.0
14/09*	0.0	3.2	-3.2	0.66	23.8	12.2	27.9	9.8	-1.5	1.5	1.7	0.0
15/09	14.8	2.8	12.0	0.70	25.2	10.8	14.2	21.8	12.0	2.8	0.0	0.0
16/09	0.0	2.1	-2.1	0.76	27.4	8.6	16.3	19.7	-2.1	2.1	0.0	0.0
17/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	18.9	17.1	-2.6	2.6	0.0	0.0
18/09	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	22.0	14.0	-3.1	3.1	0.0	0.0
19/09	14.8	1.6	13.2	0.80	28.8	7.2	8.8	27.2	13.2	1.6	0.0	0.0
20/09	0.0	3.0	-3.0	0.68	24.5	11.5	11.8	24.2	-3.0	3.0	0.0	0.0
21/09	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	14.4	21.6	-2.6	2.6	0.0	0.0
22/09	0.0	2.8	-2.8	0.70	25.2	10.8	17.2	18.8	-2.8	2.8	0.0	0.0
23/09	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	18.2	17.8	-1.0	1.0	0.0	0.0
24/09	14.8	1.2	13.6	0.84	30.2	5.8	4.6	31.4	13.6	1.2	0.0	0.0
25/09	2.6	0.5	2.1	0.91	32.8	3.2	2.5	33.5	2.1	0.5	0.0	0.0
26/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	3.3	32.7	-0.8	0.8	0.0	0.0
27/09	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	4.7	31.3	-1.4	1.4	0.0	0.0
28/09	30.2	0.0	30.2	0.00	0.0	36.0	0.0	36.0	4.7	0.0	0.0	25.5
29/09	0.0	0.4	-0.4	0.92	33.1	2.9	0.4	35.6	-0.4	0.4	0.0	0.0
30/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	1.2	34.8	-0.8	0.8	0.0	0.0
01/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	2.5	33.5	-1.3	1.3	0.0	0.0
02/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	3.5	32.5	-1.0	1.0	0.0	0.0
03/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	4.7	31.3	-1.2	1.2	0.0	0.0
04/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	5.9	30.1	-1.2	1.2	0.0	0.0
05/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	6.9	29.1	-1.0	1.0	0.0	0.0
06/10	0.0	1.5	-1.5	0.81	29.2	6.8	8.4	27.6	-1.5	1.5	0.0	0.0
07/10	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	10.1	25.9	-1.7	1.7	0.0	0.0
08/10	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	11.5	24.5	-1.4	1.4	0.0	0.0
09/10	1.1	1.1	0.0	0.85	30.6	5.4	11.5	24.5	0.0	1.1	0.0	0.0
10/10	5.4	0.4	5.0	0.92	33.1	2.9	6.5	29.5	5.0	0.4	0.0	0.0
11/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	7.6	28.4	-1.1	1.1	0.0	0.0
12/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	8.9	27.1	-1.3	1.3	0.0	0.0
13/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	10.0	26.0	-1.1	1.1	0.0	0.0
14/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	11.1	24.9	-1.1	1.1	0.0	0.0

* = dias secos.

Tabela 8. Balanço Hídrico Modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 3.

Data	Pr/I mm	ETM mm/dia	Pr-ET	P	ADE mm	AC mm	N mm	ARMAZ.(mm)		ETR	DEF mm/dia	EXC
								Valor	Alt			
28/08	0.0	3.5	-3.5	0.64	23.1	13.0	11.2	24.8	-3.5	3.5	0.0	0.0
29/08	0.0	2.5	-2.5	0.72	26.0	10.1	13.7	22.3	-2.5	2.5	0.0	0.0
30/08	0.0	4.5	-4.5	0.57	20.5	15.5	18.2	17.8	-4.5	4.5	0.0	0.0
31/08	0.0	3.7	-3.7	0.63	22.5	13.3	21.9	14.1	-3.7	3.7	0.0	0.0
01/09*	0.0	4.8	-4.8	0.55	19.8	16.2	26.7	11.3	-2.8	2.8	2.0	0.0
02/09	7.1	2.7	4.4	0.70	25.4	10.8	20.3	15.7	4.4	2.7	0.0	0.0
03/09	0.0	3.3	-3.3	0.66	23.6	12.2	23.6	12.4	-3.3	3.3	0.0	0.0
04/09*	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.5	7.6	25.3	11.7	-0.7	0.7	1.0	0.0
05/09*	0.0	2.7	-2.7	0.70	25.4	10.8	28.0	10.9	-0.8	0.8	1.9	0.0
06/09*	0.0	2.3	-2.3	0.74	26.6	9.4	30.3	10.2	-0.7	0.7	1.6	0.0
07/09*	0.0	2.5	-2.5	0.72	26.0	10.1	32.8	8.5	-1.7	1.7	0.8	0.0
08/09*	0.0	2.2	-2.2	0.75	26.9	9.0	35.0	8.0	-0.5	0.5	1.7	0.0
09/09	7.1	2.6	4.5	0.71	25.7	10.4	23.5	12.5	4.5	2.6	0.0	0.0
10/09*	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.2	11.9	26.6	10.1	-2.4	2.4	0.7	0.0
11/09*	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	29.1	9.5	-0.6	0.6	1.9	0.0
12/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	26.7	10.4	31.7	8.8	-0.7	0.7	1.9	0.0
13/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	26.7	10.4	34.3	8.2	-0.6	0.6	2.0	0.0
14/09*	0.0	3.2	-3.2	0.66	23.9	12.2	37.5	7.5	-0.7	0.7	2.5	0.0
15/09	7.1	2.8	4.3	0.70	25.1	10.8	24.2	11.8	4.3	2.8	0.0	0.0
16/09	0.0	2.1	-2.1	0.76	27.2	8.6	26.3	10.2	-1.6	1.6	0.5	0.0
17/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.4	10.4	28.9	9.5	-0.7	0.7	1.9	0.0
18/09*	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.2	11.9	32.0	8.7	-0.8	0.8	2.3	0.0
19/09	7.1	1.6	5.5	0.80	28.8	7.2	21.8	14.2	5.5	1.6	0.0	0.0
20/09	0.0	3.0	-3.0	0.68	24.5	11.5	24.8	11.2	3.0	3.0	0.0	0.0
21/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	26.7	10.4	27.4	9.9	-1.3	1.3	1.3	0.0
22/09*	0.0	2.8	-2.8	0.70	25.1	10.8	30.2	9.2	-0.7	0.7	2.1	0.0
23/09*	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	31.2	8.9	-0.3	0.3	0.7	0.0
24/09	7.1	1.2	5.9	0.84	30.3	5.8	21.2	14.8	5.9	1.2	0.0	0.0
25/09	2.6	0.5	2.1	0.91	32.9	3.2	19.1	16.9	2.1	0.5	0.0	0.0
26/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.8	4.3	19.9	16.1	-0.8	0.8	0.0	0.0
27/09	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.6	6.5	21.3	14.7	-1.4	1.4	0.0	0.0
28/09	30.2	0.0	30.2	0.00	0.0	36.0	0.0	36.0	21.3	0.0	0.0	8.9
29/09	0.0	0.4	-0.4	0.92	33.3	2.9	0.4	35.6	-0.4	0.4	0.0	0.0
30/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.8	4.3	1.2	34.8	-0.8	0.8	0.0	0.0
01/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	2.5	33.5	-1.3	1.3	0.0	0.0
02/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	3.5	32.5	-1.0	1.0	0.0	0.0
03/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.3	5.8	4.7	31.3	-1.2	1.2	0.0	0.0
04/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.3	5.8	5.9	30.1	-1.2	1.2	0.0	0.0
05/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	6.9	29.1	-1.0	1.0	0.0	0.0
06/10	0.0	1.5	-1.5	0.81	29.2	6.8	8.4	27.6	-1.5	1.5	0.0	0.0
07/10	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.5	7.6	10.1	25.9	-1.7	1.7	0.0	0.0
08/10	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.6	6.5	11.5	24.5	-1.4	1.4	0.0	0.0
09/10	1.1	1.1	0.0	0.85	30.6	5.4	11.5	24.5	0.0	1.1	0.0	0.0
10/10	5.4	0.4	5.0	0.92	33.3	2.9	6.5	29.5	5.0	0.4	0.0	0.0
11/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	7.6	28.4	-1.1	1.1	0.0	0.0
12/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	8.9	27.1	-1.3	1.3	0.0	0.0
13/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	10.0	26.0	-1.1	1.1	0.0	0.0
14/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	11.1	24.9	-1.1	1.1	0.0	0.0

* = dias secos.

Tabela 9. Balanço Hídrico Modificado (BHM), para caracterização dos dias secos no período de 28/08 a 14/10. Tratamento 4.

Data	Pr/I mm	ETM mm/dia	Pr-ET	P	ADE mm	AC mm	N mm	ARMAZ.(mm)		ETR	DEF mm/dia	EXC
								Valor	Alt			
28/08	0.0	3.5	-3.5	0.64	23.0	13.0	11.2	24.8	-3.5	3.5	0.0	0.0
29/08	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	13.7	22.3	-2.5	2.5	0.0	0.0
30/08	0.0	4.5	-4.5	0.57	20.5	15.5	18.2	17.8	-4.5	4.5	0.0	0.0
31/08	0.0	3.7	-3.7	0.63	22.7	13.3	21.9	14.1	-3.7	3.7	0.0	0.0
01/09*	0.0	4.8	-4.8	0.55	19.8	16.2	26.7	11.3	-2.8	2.8	2.0	0.0
02/09*	0.0	2.7	-2.7	0.70	25.2	10.8	29.4	10.5	-0.8	0.8	1.9	0.0
03/09*	0.0	3.3	-3.3	0.66	23.8	12.2	32.7	9.5	-0.1	0.1	2.3	0.0
04/09*	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	34.4	9.1	-0.4	0.4	1.3	0.0
05/09*	0.0	2.7	-2.7	0.70	25.2	10.8	37.1	8.4	-0.7	0.7	2.0	0.0
06/09*	0.0	2.3	-2.3	0.74	26.6	9.4	39.4	7.9	-0.5	0.5	1.8	0.0
07/09*	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	41.9	6.6	-1.3	1.3	1.2	0.0
08/09*	0.0	2.2	-2.2	0.75	27.0	9.0	44.1	6.2	-0.4	0.4	1.8	0.0
09/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	46.7	5.8	-0.4	0.4	2.2	0.0
10/09*	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	49.8	5.3	-0.5	0.5	2.6	0.0
11/09*	0.0	2.5	-2.5	0.72	25.9	10.1	52.3	5.0	-0.3	0.3	2.2	0.0
12/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	54.9	4.6	-0.4	0.4	2.2	0.0
13/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	57.5	4.3	-0.3	0.3	2.3	0.0
14/09*	0.0	3.2	-3.2	0.66	23.8	12.2	60.7	3.9	-0.4	0.4	2.8	0.0
15/09*	0.0	2.8	-2.8	0.70	25.2	10.8	63.5	3.6	-0.3	0.3	2.5	0.0
16/09*	0.0	2.1	-2.1	0.76	27.4	8.6	65.6	3.4	-0.2	0.2	1.9	0.0
17/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	68.2	3.2	-0.2	0.2	2.4	0.0
18/09*	0.0	3.1	-3.1	0.67	24.1	11.9	71.3	2.9	-0.3	0.3	2.8	0.0
19/09*	0.0	1.6	-1.6	0.80	28.8	7.2	72.9	2.8	-0.1	0.1	1.5	0.0
20/09*	0.0	3.0	-3.0	0.68	24.5	11.5	75.9	2.6	-0.2	0.2	2.8	0.0
21/09*	0.0	2.6	-2.6	0.71	25.6	10.4	78.5	2.4	-0.2	0.2	2.4	0.0
22/09*	0.0	2.8	-2.8	0.70	25.2	10.8	81.3	2.2	-0.2	0.2	2.6	0.0
23/09*	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	82.3	1.2	-1.0	1.0	0.0	0.0
24/09*	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	83.5	1.2	0.0	0.0	1.2	0.0
25/09*	2.6	0.5	2.1	0.91	32.8	3.2	46.2	3.3	2.1	0.5	0.0	0.0
26/09*	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	47.0	3.2	-0.1	0.1	0.7	0.0
27/09*	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	48.4	3.1	-0.1	0.1	1.3	0.0
28/09	30.2	0.0	30.2	0.00	0.0	36.0	2.7	33.3	30.2	0.0	0.0	0.0
29/09	0.0	0.4	-0.4	0.92	33.1	2.9	3.1	32.9	-0.4	0.4	0.0	0.0
30/09	0.0	0.8	-0.8	0.88	31.7	4.3	3.9	32.1	-0.8	0.8	0.0	0.0
01/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	5.2	30.8	-1.3	1.3	0.0	0.0
02/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	6.2	29.8	-1.0	1.0	0.0	0.0
03/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	7.4	28.6	-1.2	1.2	0.0	0.0
04/10	0.0	1.2	-1.2	0.84	30.2	5.8	8.6	27.4	-1.2	1.2	0.0	0.0
05/10	0.0	1.0	-1.0	0.86	31.0	5.0	9.6	26.4	-1.0	1.0	0.0	0.0
06/10	0.0	1.5	-1.5	0.81	29.2	6.8	11.1	24.9	-1.5	1.5	0.0	0.0
07/10	0.0	1.7	-1.7	0.79	28.4	7.6	12.8	23.2	-1.7	1.7	0.0	0.0
08/10	0.0	1.4	-1.4	0.82	29.5	6.5	14.2	21.8	-1.4	1.4	0.0	0.0
09/10	1.1	1.1	0.0	0.85	30.6	5.4	14.2	21.8	0.0	1.1	0.0	0.0
10/10	5.4	0.4	5.0	0.92	33.1	2.9	9.2	26.8	-0.4	0.4	0.0	0.0
11/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	10.3	25.7	-1.1	1.1	0.0	0.0
12/10	0.0	1.3	-1.3	0.83	29.9	6.1	11.6	24.4	-1.3	1.3	0.0	0.0
13/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	12.7	23.3	-1.1	1.1	0.0	0.0
14/10	0.0	1.1	-1.1	0.85	30.6	5.4	13.8	22.2	-1.1	1.1	0.0	0.0

* = dias secos.

aplicou-se a equação (31), correspondendo a parte curvilínea da equação do BHM.

Valores da coluna 3 positivos, indicam que a precipitação foi maior que a evapotranspiração no dia, nestes casos, os valores do armazenamento foram encontrados adicionando-se ao armazenamento do dia anterior o valor positivo da coluna 3. Quando isto ocorreu, os valores de N foram definidos pelas equações (24) e (33). A escolha de uma ou outra equação, dependeu do valor do armazenamento, quando $A \geq A_c$ utilizou-se a equação (24), caso contrário a (33).

A coluna 9, apresenta a alteração do armazenamento em relação ao dia anterior; quando os valores foram positivos, indicaram em quanto foi aumentada a água armazenada no solo e quando negativos indicaram quanto foi diminuída no dia em questão. A ETR, coluna 10, foi considerada igual a ETM, quando a alteração foi positiva ou nula. Quando os valores da alteração foram negativos, a ETR foi calculada pela somatória do módulo da alteração mais a precipitação, coluna 1. A coluna 11, deficiência hídrica, foi caracterizada pela diferença entre as colunas 2 e 10, isto é, entre ETM e ETR. A coluna 12, definiu o excedente hídrico, através da diferença entre as colunas 3 e 9.

Por intermédio dos valores de ETR e ETM pode-se definir a evapotranspiração relativa, isto é, a razão existente entre ETR/ETP. Esta relação é igual a unida-

de até o armazenamento crítico e diminui a medida que o Ac diminui.

3.7. Análise dos Parâmetros de Crescimento

A partir de 28/08/86 foram coletadas em média a cada 7 dias e em cada tratamento, amostras de plantas contidas em 1,00 m de fileira ou 0,50 m², com três repetições; as amostras foram lavadas em água corrente e secadas em estufa a 60-70°C, a fim de se determinar:

- a) peso total da parte aérea, subdividida em peso seco de folhas, caules + pecíolos e vagens + grãos.
- b) índice de área foliar (IAF), utilizando-se um vazador de área conhecida igual a 2,06 cm². Correlacionou-se o peso referente a área de 50 discos com o peso seco de folhas determinando-se a área foliar, que a seguir foi correlacionada com 0,50 m² de solo.

Na última coleta foram medidos, além dos parâmetros acima citados, o número de nós por planta, o número de vagens por planta, o número de vagens chochas por planta, o número de grãos por planta, o número de grãos por vagem, matéria seca total da parte aérea.

Para maior precisão na avaliação da produção de grãos foram coletadas plantas numa área de 20 m² ao longo das parcelas de cada tratamento, que a seguir foram

trilhadas e o peso de grãos foi corrigido para 14% de umidade.

3.8. Medidas das Temperaturas da Copa e do Ambiente, Umidade Relativa e Radiação Global

Para medir as temperaturas da copa (T_c) e do ambiente (T_a), Umidade Relativa (UR) e Radiação global (R_s) foi utilizado um aparelho portátil (Figura 6) denominado "Scheduler" desenvolvido pelo Centro de Pesquisas da STANDARD OIL DE OHIO, em Warrensville, Ohio, USA (Carborundum no Brasil).

O aparelho conforme mostra o diagrama da Figura 7, consiste dos seguintes sensores:

a) Um sensor infra-vermelho termométrico de ação remota (Everest Interscience Inc Agri Therm), usado para medir a temperatura da copa da cultura, que apresenta as seguintes especificações:

- a.1) ângulo de visada = $8^{\circ} \pm 1$
- a.2) amplitude de leitura = 10 a 50° C
- a.3) resolução = $0,1^{\circ} \text{ C}$
- a.4) precisão = $\pm 0,5^{\circ} \text{ C}$
- a.5) tempo de resposta = 1 seg.
- a.6) distância do alvo = 0,30 a 91,5 m

Figura 6. Aparelho portátil denominado "Scheduler", utilizado para medir a temperatura da copa, temperatura ambiente, umidade relativa e radiação solar.

- a.7) resposta a mudanças no ambiente: para 20°C de mudanças na temperatura ambiente, o instrumento estabilizará em 5 minutos ou menos.
- b) Sensor para medir Radiação Global, Piranômetro Li-Cor modelo 200 S, especificações:
- b.1) comprimento de onda: 0,4 a 0,7 microns
 - b.2) faixa de leitura: 300 a 1500 W/m^2
 - b.3) precisão: $\pm 200\text{ W/m}^2$
- c) Sensor para medir umidade relativa, que é um psicrometro (Vaisala HMP III A Humicap), com as seguintes especificações:
- c.1) amplitude: 10 a 90% UR
 - c.2) resolução: 1%
 - c.3) precisão: $\pm 3\%$
 - c.4) tempo de resposta: 1 minuto
- d) Sensor para medir temperatura ambiente (T_a), especificações:
- d.1) amplitude: 10 a 50°C
 - d.2) resolução: $0,1^{\circ}\text{C}$
 - d.3) precisão: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - d.4) tempo de resposta: 1 minuto

Figura 7. Diagrama do aparelho portátil (Scheduler).

Realizaram-se medidas diárias, a partir de 28/08/86, quando a cultura apresentou cobertura do solo suficiente para eliminar o efeito da temperatura do solo. A quantificação da cobertura do solo foi estimada a partir do Índice de Área Foliar.

As medidas de temperatura da copa foram feitas com sensores infra-vermelho e piranômetro posicionados a uma altura de 1,20 m, acima da copa da cultura e os sensores que mediram a umidade relativa e temperatura ambiente a 0,80 m. (Figura 8)

Procurou-se fazer as medidas diariamente às 10, 12 e 14 horas, o que nem sempre foi possível devido à instabilidade das condições atmosféricas, tais como: variação da insolação em função da presença e ausência de nuvens, ventos fortes e precipitação pluvial.

As temperaturas da copa da cultura foram determinadas com sensor infra-vermelho em posição oblíqua a face da cultura exposta à radiação solar. O que foi facilmente conseguido uma vez que, as fileiras retas de plantas foram instaladas na direção norte-sul.

Optou-se por fazer um grande número de medidas ao longo das parcelas de cada tratamento, ao invés, de subdividir em subparcelas. Sendo assim, fez-se leituras da T_c , T_a , UR e R_s , a cada 5m, ao longo de 100m de fileira de plantas, totalizando aproximadamente 15 leituras em 15 minutos. Estas leituras foram simultaneamente arma-

Figura 8. Utilização do aparelho "Scheduler" no campo para determinação da temperatura da copa, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar.

zenadas no microprocessador do aparelho, e após percorrer cada tratamento anotou-se as médias e o desvio padrão da temperatura da copa. Para fazer-se leituras em dois blocos com 4 tratamentos e duas repetições gastou-se em média 2 horas.

Antes de iniciar a primeira leitura do dia esperou-se 15 minutos para promover um equilíbrio do aparelho com as condições ambientes.

3.8.1. Estimativa da Radiação Líquida (R_n)

Neste trabalho utilizou-se para estimar a radiação líquida (R_n) a expressão empírica citada por LINACRE (1968) e desenvolvida por STANHILL (1966) para várias superfícies:

$$R_n = 0,93 (1 - \alpha) R_s - 0,14 \text{ (cal/cm}^2 \text{ .min)} \quad (34)$$

onde, $\alpha = 0,24$, albedo (FRITSCHEN, 1967)

Resultando na equação geral:

$$R_n = 1,02 \cdot 10^{-3} R_s - 0,14 \text{ (cal/cm}^2 \text{ .min)} \quad (35)$$

onde, R_s é a radiação solar em W/m^2

3.9. Índices de Estresse

A partir dos dados de temperatura da copa (T_c) e ambiente (T_a), umidade relativa (UR) e radiação líquida (R_n), determinou-se; para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, às 10, 12 e 14 hs, os seguintes índices de estresse:

3.9.1. Variabilidade da temperatura da copa da cultura (CTV)

Este índice corresponde ao desvio padrão das temperaturas da copa, baseado no trabalho de ASTON e VAN BAVEL (1972).

3.9.2. Temperatura de estresse diário (TSD).

Esse índice consiste na determinação das diferenças de temperatura da copa de plantas sem e com estresse. Utilizado por GARDNER (1981b).

3.9.3. Graus dias de estresse (SDD+-)

Esse índice corresponde a somatória das diferenças de temperatura da copa (T_c) e do ambiente (T_a), desenvolvido por IDSO et alii (1977).

$$SDD = \sum (T_c - T_a)$$

Determinou-se também o SDD⁺ da mesma forma que JACKSON et alii (1977), onde foram acumulados somente os valores positivos de Tc - Ta.

3.9.4. Índice de estresse hídrico (CWSI) 1

O índice de estresse hídrico (CWSI) 1 foi determinado, a partir da seguinte relação:

$$(CWSI) 1 = \frac{(Tc - Ta) - (Tc - Ta)^*}{(Tc - Ta)_{max.} - (Tc - Ta)^*} \quad (36)$$

$(Tc - Ta)^*$ foi obtido da mesma forma que GEISER et alii (1982), que estabeleceram uma correlação múltipla entre as diferenças de temperatura copa-ar (Tc-Ta) como variável dependente e a umidade relativa (UR), radiação líquida (Rn) e armazenamento de água no solo como variáveis independentes. Para tanto utilizou-se os dados do tratamento 1, onde o armazenamento de água no solo foi mantido sempre acima do armazenamento crítico (Ac). A equação tem a seguinte forma:

$$(Tc - Ta)^* = a + b UR + c Rn + d AD$$

onde,

$(Tc - Ta)^*$ = diferença de temperatura copa-ar (°C);

UR = umidade relativa (%);

Rn = a radiação líquida (cal/cm² min);

AD = a água disponível (%);

a, b, c, d são constantes da equação de regressão

Quando as diferenças de temperatura copa-ar ($T_c - T_a$), obtidas na área experimental, foram maiores que ($T_c - T_a$)* estabeleceu-se a condição de estresse hídrico.

($T_c - T_a$) max foi obtido a partir dos dias "secos" observados no tratamento 4 (sem irrigação).

3.9.5. Índice de estresse hídrico (CWSI)2

O índice de estresse hídrico (CWSI)2 foi determinado de maneira semelhante a (CWSI)1. Uma regressão linear entre ($T_c - T_a$)/ R_n e o DPV/ R_n , com os dados do tratamento 1 nos três horários de leitura foi utilizada, esta regressão deu origem a uma reta que representa a linha inferior; sem estresse hídrico; do modelo formulado por IDSO et alii (1981) e JACKSON (1982).

A equação terá a seguinte forma:

$$\frac{(T_c - T_a)}{R_n} = a + \frac{b \text{ DPV}}{R_n}$$

onde, DPV = déficit de pressão de vapor (KPa), e calculado pela seguinte expressão:

$$\text{DPV} = 0,0061.10 \left(\frac{7,5 T_a}{237,5 + T_a} \right) . (100 - \text{UR}) \quad (37)$$

O índice (CWSI)2 foi definido por:

$$(CWSI)2 = \frac{\frac{(T_c - T_a)}{R_n} - \left(\frac{T_c - T_a}{R_n}\right)^*}{\frac{(T_c - T_a)}{R_n} - \frac{(T_c - T_a)^*}{R_n}} \quad (38)$$

max

$(T_c - T_a)/R_n$ são os valores obtidos na área experimental para os diferentes tratamentos; e o valor máximo de $(T_c - T_a)^*/R_n$ foi determinado a partir dos dias "secos" observados no tratamento 4, e representa a linha superior do modelo citado.

3.9.6. Índice de estresse hídrico (CWSI)3

O índice (CWSI)3 foi determinado através do modelo teórico desenvolvido por JACKSON (1982). Este modelo envolve o emprego da radiação líquida (R_n), déficit de pressão de vapor (DPV), diferença de temperatura copa-ar ($T_c - T_a$), resistência da copa da cultura à difusão de vapor (r_s) e a resistência aerodinâmica (r_a).

3.9.6.1. Resistência aerodinâmica (r_a)

A resistência aerodinâmica foi estimada às 10, 12 e 14 horas através da equação desenvolvida por THOM e OLIVER (1977).

$$r_a = \frac{[\ln(z-d)/z_0]^2}{K^2 \cdot V} = \frac{68,50}{V} \quad (39)$$

onde, z = altura acima do deslocamento do plano zero (1,685 m);
 d = deslocamento do plano zero, $d = 0,63 \times H$;
 (MONTEITH, 1973) onde H é altura da cultura igual a 50 cm;
 z_0 = parâmetro de rugosidade ($H/10$; THOM e OLIVER, 1977);
 K = constante de VON KARMAN (0,4);
 V = velocidade instantânea do vento a 2,0 m de altura (m/s).

A velocidade do vento medida com anemôgrafo a 10 m de altura, no posto agrometeorológico situado próximo à área experimental, foi corrigida para 2,0 m de altura utilizando-se da relação proposta por PASQUILL (1949):

$$V_1 = V_2 \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{1/7} \quad (40)$$

onde, V_1 = velocidade do vento a 2,0 m de altura;
 V_2 = velocidade do vento a 10,0 m de altura;
 h_1 e h_2 , alturas do anemôgrafo a 2 e 10 m, respectivamente.

Substituindo-se os valores das constantes da densidade do ar ρ (1,23 Kg/m³), poder calorífico do ar

(0,24 Kcal/Kg^o C), constante psicrométrica (0,0667 KPa/^oC) nas equações (5) e (6) temos:

$$ra \text{ (min)} = 1,7712 \frac{(T_c - T_a)}{R_n} \quad (41)$$

$$ra \text{ (max)} = \frac{26,5547 [(\Delta + 0,0667) (T_c - T_a) + DPV]}{R_n} \quad (42)$$

onde: - ra (min) e ra (max), correspondem a resistências aerodinâmicas determinadas supondo, a resistência da superfície (rs) tendendo a infinito e a zero, respectivamente, (s/m);

- T_c - T_a, diferença de temperatura copa-ar (^o C);
- R_n, radiação líquida (cal/cm². min);
- DPV, déficit de pressão de vapor (KPa);
- Δ, declive da curva de pressão de saturação de vapor d'água, à temperatura (T_c + T_a) / 2, (KPa/^o C), determinado pela seguinte equação derivada da expressão de Tetens:

$$\Delta = \frac{2506 \times 10^3 \frac{3,75 (T_c + T_a)}{237,5 + 0,5 (T_c + T_a)}}{[237,5 + 0,5 (T_c + T_a)]^2} \quad (43)$$

3.9.6.2. Cálculo de (CWSI)3

Substituindo a constante psicrométrica, $\gamma = 0,0667$ (KPa/°C) na eq. (15), temos a seguinte equação para cálculo do índice de estresse hídrico (CWSI)3:

$$(CWSI)3 = \frac{0,0667 (rs/ra - rsp/ra)}{\Delta + 0,0667 (1 + rs/ra)} \quad (44)$$

Os valores das relações rsp/ra e rs/ra , foram estimados às 10, 12 e 14 horas a partir da equação (16), que com os valores de Cp , γ e ρ substituídos, fica assim representada:

$$\frac{rs}{ra} = \frac{0,0377 ra.Rn - (Tc - Ta) (\Delta + 0,0667) - DPV}{0,0667 (Tc - Ta) - 0,0377 ra.Rn} \quad (45)$$

As relações rsp/ra , referem-se aos dados do tratamento onde as plantas provavelmente deverão estar evapotranspirando na taxa máxima, uma vez que, o armazenamento de água no solo foi sempre mantido acima do crítico. As relações rs/ra foram determinadas para os tratamentos 2, 3 e 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSAO

4.1. Temperatura da copa

Os dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatório $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa do ar (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV) determinado pela equação (37), radiação líquida (R_n) determinada pela equação (35), e as porcentagens de água disponível nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 obtidas às 10, 12 e 14 horas estão apresentados nas Tabelas 10 a 21.

As temperaturas da copa da cultura do feijoeiro sob diferentes lâminas de irrigação, no período de 28/08 a 12/10/86, foram plotadas nas Figuras 9, 10 e 11 para as 10, 12 e 14 horas, respectivamente. Observando estas figuras pode-se notar, que as temperaturas da copa (T_c) das plantas sem irrigação e as menos irrigadas são maiores que a das plantas mais irrigadas, nos três horários de leitura.

Para eliminar a influência das precipitações pluviais que anulavam o efeito dos tratamentos, sepa-

Tabela 10. Dados de temperatura da copa (Tc) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (Ta), somatória Tc-Ta (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (1) às 10:00 horas.

Data	Tc°C	DP	Ta°C	Tc-Ta	SDD	UR%	DPV*	Rn**	%AD
30/08	23.2	0.1	21.2	2.0	*	42.8	1.4	0.55	49.4
10/09	25.1	0.6	24.0	1.1	1.1	42.2	1.7	0.60	89.4
11/09	25.0	0.6	23.5	1.5	2.6	38.7	1.8	0.63	82.5
14/09	29.7	0.8	27.6	2.1	4.7	29.2	2.6	0.67	59.2
17/09	28.7	0.3	27.1	1.6	6.3	31.7	2.4	0.54	86.9
18/09	27.1	0.4	25.5	1.6	7.8	51.6	1.6	0.39	78.3
19/09	20.5	0.3	21.5	-1.0	6.8	57.4	1.1	0.16	100.0
20/09	29.3	0.3	22.1	7.2	14.1	47.5	1.4	0.59	91.7
22/09	27.4	0.5	23.1	4.3	18.3	46.7	1.5	0.63	76.7
23/09	32.7	0.1	24.2	8.5	26.8	51.3	1.5	0.60	73.9
24/09	28.4	0.8	26.9	1.5	28.3	39.5	2.1	0.52	100.0
25/09	20.8	0.2	22.8	-2.1	26.3	72.3	0.8	0.19	100.0
03/10	30.7	0.4	26.2	4.5	30.7	42.0	2.0	0.64	86.9
09/10	35.6	0.2	27.3	8.3	*	48.7	1.9	0.56	68.1
Media	27.4	0.4	24.5	2.9	14.5	45.8	1.7	0.52	81.6
Dados	14.0	14.0	14.0	14.0	12.0	14.0	14.0	14.00	14.0
Max.	35.6	0.8	27.6	8.5	30.7	72.3	2.6	0.67	100.0
Min.	20.5	0.1	21.2	-2.1	1.1	29.2	0.8	0.16	49.4
DP	4.1	0.2	2.2	3.1	10.6	10.4	0.5	0.15	14.8

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 11. Dados de temperatura da copa (Tc) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (Ta), somatória Tc-Ta (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (2) as 10:00 horas.

Data	Tc°C	DP	Ta°C	Tc-Ta	SDD	UR%	DPV*	Rn**	%AD
30/08	20.7	0.1	19.9	0.8	*	44.2	1.3	0.33	49.4
10/09	25.3	0.6	24.0	1.3	1.3	42.2	1.7	0.61	52.8
11/09	26.0	0.9	23.5	2.4	3.8	38.7	1.8	0.64	45.8
14/09	32.6	0.9	27.6	5.0	8.7	29.2	2.6	0.67	27.2
17/09	29.4	5.0	27.1	2.3	11.0	31.7	2.4	0.52	47.5
18/09	28.1	0.2	25.5	2.6	13.6	51.6	1.6	0.39	38.9
19/09	21.7	0.7	21.5	0.1	13.7	57.4	1.1	0.37	75.6
20/09	28.6	0.3	22.1	6.5	20.2	47.5	1.4	0.58	67.2
22/09	27.4	0.6	23.1	4.3	24.5	46.7	1.5	0.60	52.2
23/09	28.0	0.1	24.2	3.8	28.3	51.3	1.5	0.60	49.4
24/09	30.5	1.7	26.9	3.6	31.8	39.5	2.1	0.51	87.2
25/09	21.5	0.1	22.8	-1.3	30.5	72.3	0.8	0.18	93.1
03/10	33.4	0.1	26.2	7.2	37.7	42.0	2.0	0.61	86.9
09/10	34.8	0.0	27.3	7.5	*	48.7	1.9	0.55	68.1
Media	27.7	0.8	24.4	3.3	18.7	45.9	1.7	0.51	60.1
Dados	14.0	14.0	14.0	14.0	12.0	14.0	14.0	14.00	14.0
Max.	34.8	5.0	27.6	7.5	37.7	72.3	2.6	0.67	93.1
Min.	20.7	0.0	19.9	-1.3	1.3	29.2	0.8	0.18	27.2
DP	4.2	1.2	2.3	2.5	11.3	10.4	0.5	0.14	19.1

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 12. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (3) às 10:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	Rn**	%AD
30/08	20.0	0.2	19.6	0.4	*	44.6	1.3	0.31	49.4
10/09	26.6	0.7	24.0	2.6	2.6	42.2	1.7	0.61	28.1
11/09	27.0	1.1	23.5	3.5	6.1	38.7	1.8	0.64	26.4
14/09	33.2	0.6	27.6	5.6	11.7	29.2	2.6	0.66	20.8
17/09	32.4	0.9	27.1	5.3	17.0	31.7	2.4	0.52	26.4
18/09	28.3	0.3	25.5	2.8	19.8	51.6	1.6	0.36	24.2
19/09	23.5	0.5	21.5	1.9	21.7	57.4	1.1	0.37	39.4
20/09	30.8	0.1	22.1	8.7	30.4	47.5	1.4	0.59	31.1
22/09	25.0	0.7	23.1	1.9	32.3	46.7	1.5	0.63	25.6
23/09	31.5	0.5	24.2	7.3	39.6	51.3	1.5	0.59	24.7
24/09	31.4	1.2	26.9	4.5	44.0	39.5	2.1	0.51	41.1
25/09	21.3	0.6	22.8	-1.5	42.5	72.3	0.8	0.19	46.9
03/10	31.6	0.7	26.2	5.4	47.9	42.0	2.0	0.64	86.9
Media	27.9	0.6	24.2	3.7	26.3	45.7	1.7	0.51	35.2
Dados	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	13.0	13.0	13.00	13.0
Max.	33.2	1.2	27.6	8.7	47.9	72.3	2.6	0.66	86.9
Min.	20.0	0.1	19.6	-1.5	2.6	29.2	0.8	0.19	20.8
DP	4.2	0.3	2.3	2.7	14.7	10.7	0.5	0.14	17.1

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/Cm².Min.)

Tabela 13. Dados de temperatura da copa (Tc) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (Ta), somatória Tc-Ta (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (4) às 10:00 horas.

Data	Tc°C	DP	Ta°C	Tc-Ta	SDD	UR%	DPV*	Rn**	%AD
10/09	27.1	0.6	24.0	3.1	3.1	42.2	1.7	0.62	14.7
11/09	28.3	0.8	23.5	4.8	7.9	38.7	1.8	0.64	13.9
14/09	35.3	0.6	27.6	7.7	15.6	29.2	2.6	0.65	10.8
17/09	34.9	2.0	27.1	7.8	23.4	31.7	2.4	0.46	8.9
18/09	29.1	0.3	25.5	3.6	27.0	51.6	1.6	0.39	8.1
19/09	23.7	0.1	21.5	2.2	29.1	57.4	1.1	0.37	7.8
20/09	28.2	0.8	22.1	6.1	35.2	47.5	1.4	0.56	7.2
22/09	31.5	0.3	23.1	8.4	43.6	46.7	1.5	0.56	6.1
23/09	34.6	0.1	24.2	10.4	54.0	51.3	1.5	0.59	3.3
24/09	36.1	0.0	26.9	9.2	63.2	39.5	2.1	0.48	3.3
25/09	22.5	0.1	22.8	-0.4	62.9	72.3	0.8	0.37	9.2
03/10	35.7	0.6	26.2	9.5	72.3	42.0	2.0	0.61	79.4
Media	30.6	0.5	24.5	6.0	36.4	45.8	1.7	0.53	14.4
Dados	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.00	12.0
Max.	36.1	2.0	27.6	10.4	72.3	72.3	2.6	0.65	79.4
Min.	22.5	0.0	21.5	-0.4	3.1	29.2	0.8	0.37	3.3
DP	4.6	0.5	2.0	3.2	21.9	11.2	0.5	0.10	19.9

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/Cm².Min.)

Tabela 14. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (1) às 12:00 horas.

Data	$T_{c\pm L}$	DP	$T_{a\pm L}$	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	R_n^{**}	%AD
31/08	26.4	0.1	24.3	2.1	2.1	39.6	1.8	0.68	39.2
07/09	27.2	0.3	24.4	2.8	4.9	46.4	1.6	0.68	53.1
12/09	25.9	1.2	22.2	3.7	8.6	34.2	1.8	0.68	75.3
13/09	28.5	0.7	22.8	5.7	14.3	42.9	1.6	0.67	68.1
14/09	29.1	0.7	32.6	-3.6	10.8	15.6	4.1	0.68	59.2
15/09	29.7	0.5	26.9	2.8	13.6	29.9	2.5	0.58	100.0
17/09	29.9	1.2	27.1	2.8	16.4	31.7	2.4	0.52	86.9
18/09	29.7	0.3	29.8	-0.1	16.2	25.7	3.1	0.59	78.3
22/09	27.6	0.6	25.3	2.3	18.5	41.2	1.9	0.73	76.7
24/09	32.8	0.5	28.0	4.8	23.3	21.4	3.0	0.67	100.0
25/09	24.7	0.3	23.9	0.8	24.1	67.0	1.0	0.24	100.0
27/09	21.2	0.5	21.1	0.1	24.1	46.8	1.3	0.27	93.9
01/10	30.4	0.6	23.6	6.8	30.9	49.3	1.5	0.76	93.1
05/10	30.8	0.5	28.0	2.8	33.7	41.9	2.2	0.57	80.8
06/10	36.0	0.9	29.1	6.9	40.5	31.5	2.8	0.68	76.7
07/10	36.5	0.4	34.1	2.4	42.9	20.0	4.3	0.69	71.9
12/10	39.1	0.2	25.0	14.1	*	37.6	2.0	0.66	75.3
Media	29.7	0.5	26.4	3.4	20.3	36.6	2.3	0.61	78.1
Dados	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	17.0	17.0	17.00	17.0
Max.	39.1	1.2	34.1	14.1	42.9	67.0	4.3	0.76	100.0
Min.	21.2	0.1	21.1	-3.6	2.1	15.6	1.0	0.24	39.2
DP	4.3	0.3	3.5	3.7	11.6	12.3	0.9	0.14	16.6

*DPV = Deficit de Pressão de Vapor (KPa)

** R_n = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 15. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (2) às 12:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	R_n **	%AD
31/08	25.7	0.0	23.2	2.5	2.5	43.1	1.6	0.66	39.2
07/09	27.7	0.2	24.4	3.3	5.8	46.4	1.6	0.68	30.3
12/09	26.2	1.0	22.2	4.0	9.8	34.2	1.8	0.68	38.6
13/09	30.9	0.8	22.8	8.1	17.9	42.9	1.6	0.68	31.4
14/09	32.1	0.8	32.6	-0.5	17.4	15.6	4.1	0.68	27.2
15/09	30.4	0.4	26.9	3.5	20.8	29.9	2.5	0.57	60.6
17/09	29.0	0.3	27.1	1.9	22.7	31.7	2.4	0.53	47.5
18/09	29.8	0.8	29.8	0.0	22.7	25.7	3.1	0.59	38.9
22/09	29.7	0.8	25.3	4.4	27.1	41.2	1.9	0.73	52.2
24/09	36.7	0.5	28.0	8.7	35.8	21.4	3.0	0.65	87.2
25/09	24.7	0.4	23.9	0.8	36.6	67.0	1.0	0.54	93.1
27/09	22.9	0.2	21.1	1.8	38.4	46.8	1.3	0.27	86.9
01/10	29.8	0.6	23.6	6.1	44.5	49.3	1.5	0.77	93.1
05/10	32.6	1.0	28.0	4.6	49.1	41.9	2.2	0.53	80.8
06/10	40.3	0.0	29.1	11.2	60.3	31.5	2.8	0.68	76.7
07/10	38.9	0.6	34.1	4.8	65.1	20.0	4.3	0.74	71.9
12/10	41.3	0.1	25.0	16.3	*	37.6	2.0	0.75	75.3
Media	31.1	0.5	26.3	4.5	29.8	36.8	2.3	0.53	60.6
Dados	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	17.0	17.0	17.00	17.0
Max.	41.3	1.0	34.1	16.3	65.1	67.0	4.3	0.77	93.1
Min.	22.9	0.0	21.1	-2.2	2.5	15.6	1.0	0.27	27.2
DP	5.2	0.3	3.5	4.2	17.9	12.3	0.9	0.12	23.1

*DPV = Deficit de Pressão de Vapor (KPa)

** R_n = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 16. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (3) às 12:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	Rn^{**}	%AD
31/08	26.0	0.0	21.9	4.1	4.1	49.2	1.3	0.70	39.2
07/09	27.5	0.0	24.4	3.1	7.2	46.4	1.6	0.63	23.6
12/09	24.8	3.7	22.2	2.6	9.8	34.2	1.8	0.66	24.4
13/09	32.0	0.9	22.8	9.2	19.0	42.9	1.6	0.67	22.8
14/09	34.4	0.7	32.6	1.8	20.7	15.6	4.1	0.68	20.8
15/09	32.9	0.3	26.9	6.0	26.7	29.9	2.5	0.58	32.8
17/09	32.3	0.5	27.1	5.2	31.9	31.7	2.4	0.49	26.4
18/09	33.9	0.8	29.8	4.1	36.0	25.7	3.1	0.58	24.2
22/09	32.7	0.0	25.3	7.4	43.4	41.2	1.9	0.74	25.6
24/09	39.8	1.1	28.0	11.8	55.2	21.4	3.0	0.65	41.1
25/09	25.7	0.1	23.9	1.8	56.9	67.0	1.0	0.28	46.9
27/09	25.1	0.4	21.1	4.0	60.9	46.8	1.3	0.27	40.8
01/10	33.2	1.3	23.6	9.6	70.4	49.3	1.5	0.76	93.1
05/10	32.8	0.7	28.0	4.8	75.2	41.9	2.2	0.49	80.8
06/10	43.3	0.0	29.1	14.2	89.4	31.5	2.8	0.67	76.7
07/10	43.4	1.4	34.1	9.3	98.7	20.0	4.3	0.69	71.9
Media	32.5	0.7	25.3	6.2	44.1	37.2	2.3	0.60	43.2
Dados	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.00	16.0
Max.	43.4	3.7	34.1	14.2	98.7	67.0	4.3	0.76	93.1
Min.	24.8	0.0	21.1	1.8	4.1	15.6	1.0	0.27	20.8
DP	5.7	0.9	3.7	3.6	28.6	13.0	0.9	0.14	23.2

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/Lm².Min.)

Tabela 17. Dados de temperatura da copa (Tc) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (Ta), somatória Tc-Ta (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (4) às 12:00 horas.

Data	Tc°C	DP	Ta°C	Tc-Ta	SDD	UR%	DPV*	Rn**	%AD
31/08	25.7	0.1	25.1	0.6	0.6	37.2	2.0	0.74	39.2
07/09	28.4	0.1	24.4	4.0	4.6	46.4	1.6	0.50	18.3
12/09	32.6	1.8	22.2	10.4	15.0	34.2	1.8	0.66	12.8
13/09	33.3	1.0	22.8	10.5	25.5	42.9	1.6	0.67	11.9
14/09	35.1	1.3	32.6	3.5	29.0	15.6	4.1	0.68	10.8
15/09	31.9	1.0	26.9	5.0	33.9	29.9	2.5	0.58	10.0
17/09	35.4	0.6	27.1	8.3	42.2	31.7	2.4	0.50	8.9
18/09	36.9	0.3	29.8	7.1	49.3	25.7	3.1	0.58	8.1
22/09	34.1	1.5	25.3	9.8	59.1	41.2	1.9	0.61	6.1
24/09	42.9	1.2	28.0	14.9	74.0	21.4	3.0	0.65	3.3
25/09	25.0	0.2	23.9	1.1	75.0	67.0	1.0	0.28	9.2
27/09	27.5	0.4	21.1	6.4	81.4	46.8	1.3	0.57	8.6
01/10	33.4	0.0	23.6	9.8	91.2	49.3	1.5	0.77	85.6
05/10	37.5	0.2	28.0	9.5	100.7	41.9	2.2	0.65	73.3
06/10	45.2	0.3	29.1	16.1	116.8	31.5	2.8	0.68	69.2
07/10	45.5	1.0	34.1	11.4	128.2	20.0	4.3	0.71	64.4
Media	34.5	0.7	26.5	8.0	57.9	36.4	2.3	0.61	27.5
Dados	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.00	16.0
Max.	45.5	1.8	34.1	16.1	128.2	67.0	4.3	0.77	85.6
Min.	25.0	0.0	21.1	0.6	0.6	15.6	1.0	0.28	3.3
DP	6.1	0.5	3.6	4.3	38.1	12.6	0.9	0.11	27.7

*DPV = Deficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/Cm².Min.)

Tabela 18. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDU) umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (1) às 14:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDU	UR%	DPV*	Rn**	%AD
28/08	24.7	0.2	25.2	-0.5	*	32.7	2.2	0.42	68.9
29/08	23.7	0.1	27.0	-3.3	*	37.6	2.2	0.23	61.9
01/09	22.1	0.0	22.8	-0.7	-0.7	32.0	1.9	0.28	36.9
02/09	22.2	0.7	23.6	-1.4	-2.1	38.8	1.8	0.24	87.8
07/09	26.2	0.5	26.6	-0.4	-2.6	35.7	2.2	0.38	53.1
09/09	28.6	0.8	25.1	3.5	0.9	38.0	2.0	0.68	98.1
11/09	24.8	0.6	26.9	-2.1	-1.2	14.3	3.0	0.46	82.5
12/09	26.5	1.0	31.1	-4.6	-5.8	20.2	3.6	0.56	75.3
13/09	27.9	0.6	27.5	0.4	-5.4	22.5	2.8	0.56	68.1
14/09	29.4	0.8	29.5	-0.1	-5.5	14.9	3.5	0.49	59.2
15/09	29.0	0.7	28.8	0.2	-5.3	23.0	3.0	0.57	100.0
17/09	28.1	0.5	35.4	-7.3	-12.7	19.3	4.6	0.33	86.9
18/09	22.3	0.1	26.5	-4.2	-16.9	43.0	2.0	0.26	78.3
19/09	25.9	0.3	25.6	0.3	-16.6	46.9	1.7	0.59	100.0
20/09	29.6	0.3	23.9	5.7	-10.9	41.7	1.7	0.58	91.7
22/09	24.8	0.3	37.2	-12.5	-23.4	27.1	4.6	0.39	76.7
23/09	26.5	0.3	27.5	-1.0	-24.4	37.0	2.3	-0.04	73.9
24/09	29.8	0.7	31.8	-2.0	-26.4	22.5	3.6	0.07	100.0
25/09	25.5	3.1	24.9	0.6	-25.8	56.3	1.4	0.27	100.0
26/09	20.8	0.1	23.1	-2.4	-28.2	56.0	1.2	-0.03	97.8
01/10	26.8	0.6	25.4	1.4	-26.7	35.7	2.1	0.39	93.1
02/10	31.1	0.0	23.9	7.2	-19.5	41.0	1.7	0.64	90.3
04/10	28.1	0.5	34.5	-6.5	-26.0	14.1	4.7	0.40	83.6
06/10	32.3	0.5	31.5	0.8	-25.2	21.7	3.6	0.51	76.7
08/10	35.9	0.0	27.7	8.2	*	33.8	2.5	0.52	68.1
Media	26.9	0.5	27.7	-0.8	-14.1	32.2	2.6	0.39	80.3
Dados	25.0	25.0	25.0	25.0	22.0	25.0	25.0	25.00	25.0
Max.	35.9	3.1	37.2	8.2	0.9	56.3	4.7	0.68	100.0
Min.	20.8	0.0	22.8	-12.5	-28.1	14.1	1.2	-0.04	36.9
DP	3.4	0.6	3.8	4.3	10.2	11.8	1.0	0.19	16.3

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 19. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (2) às 14:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	R_n **	%AD
28/08	24.4	0.1	25.9	-1.5	*	24.0	2.5	0.39	68.9
29/08	24.4	0.2	25.9	-1.5	*	37.7	2.1	0.31	61.9
01/09	23.9	0.2	23.5	0.4	0.4	36.3	1.8	0.44	31.4
02/09	22.4	0.2	23.6	-1.2	-0.8	38.8	1.8	0.24	65.0
07/09	26.2	0.5	26.6	-0.4	-1.2	35.7	2.2	0.38	30.3
09/09	27.1	1.1	25.1	1.9	0.8	38.0	2.0	0.58	61.4
11/09	25.2	0.5	26.9	-1.7	-0.9	14.3	3.0	0.41	45.8
12/09	27.2	0.5	31.1	-4.0	-4.9	20.2	3.6	0.55	38.6
13/09	31.1	1.2	27.5	3.6	-1.3	22.5	2.8	0.56	31.4
14/09	30.9	0.5	29.5	1.4	0.0	14.9	3.5	0.53	27.2
15/09	29.1	0.5	28.8	0.3	0.3	23.0	3.0	0.56	60.6
17/09	28.2	0.5	35.4	-7.2	-6.9	19.3	4.6	0.35	47.5
18/09	22.5	0.2	26.5	-4.0	-10.9	49.0	2.0	0.24	38.9
19/09	27.0	0.2	25.6	1.4	-9.5	46.9	1.7	0.58	75.6
20/09	30.7	0.9	23.9	6.8	-2.7	41.7	1.7	0.58	67.2
22/09	24.1	0.3	37.2	-13.2	-15.8	27.0	4.6	-0.02	52.2
23/09	27.6	0.2	27.5	0.1	-15.8	37.0	2.3	0.03	49.4
24/09	30.1	0.2	31.8	-1.8	-17.5	22.5	3.6	0.07	87.2
25/09	26.6	0.2	24.9	1.7	-15.8	56.3	1.4	0.26	93.1
26/09	22.6	0.2	23.1	-0.6	-16.4	56.0	1.2	0.02	90.8
01/10	27.2	0.3	25.4	1.8	-14.6	35.7	2.1	0.39	93.1
02/10	31.9	0.3	23.9	8.0	-6.6	41.0	1.7	0.59	90.3
04/10	29.8	0.6	34.5	-4.7	-11.3	14.1	4.7	0.36	83.6
06/10	34.5	0.5	31.5	3.0	-8.4	21.7	3.6	0.51	76.7
08/10	38.6	0.1	27.7	10.9	*	33.8	2.5	0.52	68.1
Media	27.7	0.4	27.7	0.0	-7.3	32.1	2.7	0.38	61.4
Dados	25.0	25.0	25.0	25.0	22.0	25.0	25.0	25.00	25.0
Max.	38.6	1.2	37.2	10.9	0.7	56.3	4.7	0.59	93.1
Min.	22.4	0.1	23.1	-13.2	-17.6	14.1	1.2	-0.02	27.2
DP	3.8	0.3	3.8	4.7	6.4	11.9	1.0	0.19	21.0

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

** R_n = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 20. Dados de temperatura da copa (Tc) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (Ta), somatória Tc-Ta (SDU) umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (Rn), % de água disponível (AD). Tratamento (3) às 14:00 horas.

Data	Tc°C	DP	Ta°C	Tc-Ta	SDU	UR%	DPV*	Rn**	%AD
28/08	22.0	0.2	25.4	-3.4	*	22.3	2.5	0.28	68.9
29/08	25.1	0.2	24.6	0.5	*	37.6	1.9	0.37	61.9
01/09	23.1	0.1	22.7	0.4	0.4	36.3	1.8	0.35	31.4
02/09	23.3	0.3	23.6	-0.4	0.0	38.8	1.8	0.24	43.6
07/09	26.4	0.6	26.6	-0.2	-0.2	35.7	2.2	0.36	23.6
09/09	28.1	0.3	25.1	2.9	2.8	38.0	2.0	0.50	34.7
11/09	26.4	0.6	26.9	-0.5	2.3	14.3	3.0	0.43	26.4
12/09	29.7	0.6	31.1	-1.4	0.8	20.2	3.6	0.56	24.4
13/09	32.6	1.1	27.5	5.1	6.0	22.5	2.8	0.56	22.8
14/09	32.2	0.6	29.5	2.6	8.6	14.9	3.5	0.49	20.8
15/09	32.0	1.1	28.8	3.2	11.8	23.0	3.0	0.58	32.8
17/09	31.9	0.5	35.4	-3.5	8.3	19.3	4.6	0.33	26.4
18/09	24.2	0.1	26.5	-2.3	5.9	43.0	2.0	0.26	24.2
19/09	28.7	0.4	25.6	3.1	9.0	46.9	1.7	0.46	39.4
20/09	33.9	0.3	23.9	10.0	19.0	41.7	1.7	0.57	31.1
22/09	26.8	0.8	37.2	-10.5	8.5	27.1	4.6	-0.01	25.6
23/09	30.9	0.3	27.5	3.4	11.9	37.0	2.3	0.14	24.7
24/09	31.4	0.3	31.8	-0.4	11.5	22.5	3.6	0.05	41.1
25/09	25.9	2.0	24.9	1.0	12.4	56.3	1.4	0.35	46.9
26/09	23.1	0.0	23.1	0.0	12.4	56.0	1.2	0.08	44.7
01/10	28.2	0.3	25.4	2.8	15.2	35.7	2.1	0.39	93.1
02/10	30.8	0.5	23.9	6.9	22.1	41.0	1.7	0.66	90.3
04/10	32.3	0.5	34.5	-2.3	19.9	14.1	4.7	0.38	83.6
06/10	37.2	1.0	31.5	5.6	25.5	21.7	3.6	0.51	76.7
Media	28.6	0.5	27.6	0.9	9.7	31.9	2.6	0.37	43.3
Dados	24.0	24.0	24.0	24.0	22.0	24.0	24.0	24.00	24.0
Max.	37.2	2.0	37.2	10.0	25.5	56.3	4.7	0.66	93.1
Min.	22.0	0.0	22.7	-10.5	-0.2	14.1	1.2	-0.01	20.8
DP	3.9	0.4	4.0	4.0	7.2	12.2	1.0	0.17	22.5

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (kPa)

**Rn = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Tabela 21. Dados de temperatura da copa (T_c) e desvio padrão (DP), temperatura do ar (T_a), somatória $T_c - T_a$ (SDD), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor do ar (DPV), radiação líquida (R_n), % de água disponível (AD). Tratamento (4) às 14:00 horas.

Data	T_c °C	DP	T_a °C	$T_c - T_a$	SDD	UR%	DPV*	R_n **	%AD
31/08	29.0	0.3	24.4	4.6	*	38.1	1.9	0.42	61.9
01/09	23.7	0.1	22.2	1.5	1.5	40.2	1.6	0.50	31.4
02/09	23.4	0.3	23.6	-0.3	1.3	38.8	1.8	0.27	29.2
07/09	27.1	0.0	26.6	0.4	1.7	35.7	2.2	0.32	18.3
09/09	27.6	0.5	25.1	2.5	4.2	38.0	2.0	0.47	16.1
11/09	28.6	0.3	26.9	1.7	5.9	14.3	3.0	0.42	13.9
12/09	32.0	0.3	31.1	0.8	6.7	20.2	3.6	0.56	12.8
13/09	33.7	1.0	27.5	6.2	13.0	22.5	2.8	0.55	11.9
14/09	32.8	0.1	29.5	3.3	16.3	14.9	3.5	0.49	10.8
15/09	36.1	0.9	28.8	7.3	23.6	23.0	3.0	0.57	10.0
17/09	34.9	0.3	35.4	-0.5	23.1	19.3	4.6	0.33	8.9
18/09	26.6	0.1	26.5	0.1	23.1	43.0	2.0	0.24	8.1
19/09	27.6	0.3	25.6	2.0	25.1	46.9	1.7	0.32	7.8
20/09	37.4	0.7	23.9	13.5	38.6	41.7	1.7	0.58	7.2
22/09	37.2	0.0	37.2	0.0	38.6	27.1	4.6	0.21	6.1
23/09	31.7	0.0	27.5	4.2	42.8	37.0	2.3	0.13	3.3
24/09	35.9	0.0	31.8	4.1	46.9	22.5	3.6	0.05	3.3
25/09	27.8	0.0	24.9	2.9	49.8	56.3	1.4	0.40	9.2
26/09	22.3	0.5	23.1	-0.9	48.9	56.0	1.2	-0.01	8.9
01/10	29.5	1.2	25.4	4.1	53.0	35.7	2.1	0.35	85.6
02/10	33.0	0.3	23.9	9.1	62.0	41.0	1.7	0.56	82.8
04/10	35.4	0.6	34.5	0.9	62.9	14.1	4.7	0.36	76.1
05/10	41.2	1.9	31.5	9.7	72.6	21.7	3.6	0.50	69.2
Media	31.0	0.4	27.7	3.4	30.1	32.5	2.6	0.37	25.8
Dados	23.0	23.0	23.0	23.0	22.0	23.0	23.0	23.00	23.0
Max.	41.2	1.9	37.2	13.5	72.6	56.3	4.7	0.58	85.6
Min.	22.3	0.0	22.2	-0.9	1.3	14.1	1.2	-0.01	3.3
DP	4.9	0.4	4.1	3.6	22.0	12.4	1.1	0.16	27.1

*DPV = Déficit de Pressão de Vapor (KPa)

** R_n = Radiação Líquida (Cal/cm².Min.)

Figura 9. Temperatura da copa do feijoeiro às 10h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (+) indicam as irrigações e (*) precipitações pluviais.

Figura 10. Temperatura da copa do feijoeiro às 12h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (†) indicam as irrigações e (*) precipitações pluviais.

Figura 11. Temperatura da copa do feijoeiro às 14h dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 no período de 28/08 a 08/10/86. As setas (†) indicam as irrigações e as (*) a precipitações pluviais.

rou-se os dados de temperatura da copa da cultura de todos os tratamentos, tomando-se como base os dias secos do tratamento sem irrigação (T4).

Através do Balanço Hídrico Modificado utilizado neste trabalho, determinou-se os dias "secos" para cada tratamento. Na Figura 12, observa-se a variação do armazenamento de água no solo e as precipitações ocorridas no período de 12/07 a 12/10/86. As linhas horizontais delimitam o armazenamento crítico (A_c), que foi determinado em função do fator P . Ainda nesta figura nota-se que, o período de 25/08 a 25/09, correspondente à época de utilização do aparelho ("Scheduler") para determinação das T_c , T_a , U_R e R_n , ficou caracterizado por 5 irrigações consecutivas, o que permitiu uma maior diferenciação entre os tratamentos devido a ausência de chuvas, e coincidiu com o estágio de florescimento e formação de vagens do feijoeiro.

A Tabela 22 relaciona o número de dias secos detectados em cada tratamento. Observa-se 1, 6, 26 e 43 dias secos para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Apesar do grande número de amostragens, representadas por 15 repetições nas parcelas de cada tratamento e horário, não realizou-se análise estatística para comprovação das diferenças significativas entre os tratamentos, uma vez que, dados longitudinais, como os obtidos no esquema "Line Source", são de difícil aplicação à aná-

Figura 12. Variação do armazenamento de água no solo. As linhas horizontais delimitam o armazenamento crítico (Ac). As setas ($\uparrow$) indicam as irrigações e as setas ($\downarrow$) as precipitações pluviais.

Tabela 22. Dias secos observados nos
tratamentos 1, 2, 3 e 4.

Data	Tratamentos			
	1	2	3	4
21/07	-	-	-	X
26/07	-	-	-	X
27/07	-	-	-	X
28/07	-	-	X	X
29/07	-	X	X	X
30/07	-	X	X	X
03/08	-	-	X	X
04/08	-	-	X	X
05/08	-	X	X	X
06/08	-	-	-	X
07/08	-	-	-	X
08/08	-	-	X	X
09/08	-	-	X	X
10/08	-	-	X	X
11/08	-	-	X	X
12/08	-	-	-	X
01/09	X	X	X	X
02/09	-	-	-	X
03/09	-	-	-	X
04/09	-	-	X	X
05/09	-	-	X	X
06/09	-	-	X	X
07/09	-	-	X	X
08/09	-	X	X	X
09/09	-	-	-	X
10/09	-	-	X	X
11/09	-	-	X	X
12/09	-	-	X	X
13/09	-	-	X	X
14/09	-	X	X	X
15/09	-	-	-	X
16/09	-	-	-	X
17/09	-	-	X	X
18/09	-	-	X	X
19/09	-	-	-	X
20/09	-	-	-	X
21/09	-	-	X	X
22/09	-	-	X	X
23/09	-	-	X	X
24/09	-	-	-	X
25/09	-	-	-	X
26/09	-	-	-	X
27/09	-	-	-	X

x - dias "secos".

lise estatística convencional.

As Tabelas 23, 24 e 25 e as Figuras 13, 14 e 15 referem-se às temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, respectivamente. A partir dessas tabelas e gráficos, pode-se observar que as médias de T_c mais elevadas são 27,8; 29,1; 31,0 e 33,1 $^{\circ}$ C para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente às 12 horas. Esses dados concordam com a recomendação de que o horário de leitura da T_c , deva ser ao meio dia, horário de maior incidência de radiação solar e, portanto, de maior demanda de água pela cultura, apresentada por vários autores; WIEGAND e NANKEN (1966), BLAD e ROSENBERG (1976), JACKSON et alii (1977), EHRLER et alii (1978), BLAD et alii (1981) e CLAWSON e BLAD (1982).

Um resumo das médias de T_c e as diferenças médias de temperatura entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, em dias "secos" é apresentado na Tabela 26 e Figura 16. As T_c do tratamento 1 são em média menores 0,4; 1,4 e 3,3 $^{\circ}$ C às 10 horas; 1,3; 3,2 e 5,3 $^{\circ}$ C às 12 horas e 0,7; 2,2 e 3,8 $^{\circ}$ C às 14 horas, em relação aos tratamentos 2, 3 e 4, respectivamente. As T_c e as diferenças mais elevadas foram observadas às 12 horas, sendo as T_c dos horários de 10 e 14 horas, semelhantes.

O aumento da temperatura da copa em plantas sob déficit hídrico pode ser explicado pela diminuição da

Tabela 23. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (Tc) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10:00 horas.

Data	Trat-1 TcoC*	DP	Trat-2 TcoC	DP	Trat-3 TcoC	DP	Trat-4 TcoC	DP
10/09	25.1	0.6	25.3	0.6	26.6	0.7	27.1	0.6
11/09	25.0	0.6	26.0	0.9	27.0	1.1	28.3	0.8
14/09	29.7	0.8	32.6	0.9	33.2	0.6	35.3	0.6
17/09	28.7	0.3	29.4	5.0	32.4	0.9	34.9	2.0
18/09	27.1	0.4	28.1	0.2	28.3	0.3	29.1	0.3
19/09	20.5	0.3	21.7	0.7	23.5	0.5	23.7	0.1
20/09	29.3	0.3	28.6	0.3	30.8	0.1	28.2	0.8
22/09	27.4	0.5	27.4	0.6	25.0	0.7	31.5	0.3
23/09	32.7	0.1	28.0	0.1	31.5	0.5	34.6	0.1
24/09	28.4	0.8	30.5	1.7	31.4	1.2	36.1	0.0
25/09	20.8	0.2	21.5	0.1	21.3	0.6	22.5	0.1
Media	26.8	0.4	27.2	1.0	28.2	0.6	30.1	0.5
Dados	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	32.7	0.8	32.6	5.0	33.2	1.2	36.1	2.0
Min.	20.5	0.1	21.5	0.1	21.3	0.1	22.5	0.0

*Tc - corresponde a média de 15 leituras

Tabela 24. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (Tc) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12:00 horas.

Data	Trat-1 TcoC*	DP	Trat-2 TcoC	DP	Trat-3 TcoC	DP	Trat-4 TcoC	DP
07/09	27.2	0.3	27.7	0.2	27.5	0.0	28.4	0.1
12/09	25.9	1.2	26.2	1.0	24.8	3.7	32.6	1.8
13/09	28.5	0.7	30.9	0.8	32.0	0.9	33.3	1.0
14/09	29.1	0.7	32.1	0.8	34.4	0.7	36.1	1.3
15/09	29.7	0.5	30.4	0.4	32.9	0.3	31.9	1.0
17/09	29.9	1.2	29.0	0.3	32.3	0.5	35.4	0.6
18/09	29.7	0.3	29.8	0.8	33.9	0.8	36.9	0.3
22/09	27.6	0.6	29.7	0.8	32.7	0.0	34.1	1.5
24/09	32.8	0.5	36.7	0.5	39.8	1.1	42.9	1.2
25/09	24.7	0.3	24.7	0.4	25.7	0.1	25.0	0.2
27/09	21.2	0.5	22.9	0.2	25.1	0.4	27.5	0.4
Media	27.8	0.6	29.1	0.5	31.0	0.8	33.1	0.8
Dados	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	32.8	1.2	36.7	1.0	39.8	3.7	42.9	1.8
Min.	21.2	0.3	22.9	0.2	24.8	0.0	25.0	0.1

*Tc - corresponde a média de 15 leituras

Tabela 25. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (Tc) e desvio padrão (DP) dos dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14:00 horas.

Data	Trat-1 Tc°C*	DP	Trat-2 Tc°C	DP	Trat-3 Tc°C	DP	Trat-4 Tc°C	DP
01/09	22.1	0.0	23.9	0.2	23.1	0.1	23.7	0.1
02/09	22.2	0.7	22.4	0.2	23.3	0.3	23.4	0.3
07/09	26.2	0.5	26.2	0.5	26.4	0.6	27.1	0.0
09/09	28.6	0.8	27.1	1.1	28.1	0.3	27.6	0.5
11/09	24.8	0.6	25.2	0.5	26.4	0.6	28.6	0.3
12/09	26.5	1.0	27.2	0.5	29.7	0.6	32.0	0.3
13/09	27.9	0.6	31.1	1.2	32.6	1.1	26.0	1.0
14/09	29.4	0.8	30.9	0.5	32.2	0.6	32.8	0.1
15/09	29.0	0.7	29.1	0.5	32.0	1.1	36.1	0.9
17/09	28.1	0.5	28.2	0.5	31.9	0.5	34.9	0.3
18/09	22.3	0.1	22.5	0.2	24.2	0.1	26.6	0.1
19/09	25.9	0.3	27.0	0.2	28.7	0.4	27.6	0.3
20/09	29.6	0.3	30.7	0.9	33.9	0.3	37.4	0.7
22/09	24.8	0.3	24.1	0.3	26.8	0.8	37.2	0.0
23/09	26.5	0.3	27.6	0.2	30.9	0.3	31.7	0.0
24/09	29.8	0.7	30.1	0.2	31.4	0.3	35.9	0.0
25/09	25.5	3.1	26.6	0.2	25.9	2.0	27.8	0.0
26/09	20.8	0.1	22.6	0.2	23.1	0.0	22.3	0.5
Media	26.1	0.6	26.8	0.4	28.3	0.5	29.9	0.3
Dados	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Max.	29.8	3.1	31.1	1.2	33.9	2.0	37.4	1.0
Min.	20.8	0.0	22.4	0.2	23.1	0.0	22.3	0.0

*Tc - corresponde a média de 15 leituras

Figura 13. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10 horas.

Figura 14. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12 horas.

Figura 15. Temperaturas médias diárias da copa do feijoeiro (T_c) nos dias secos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 as 14 horas.

Tabela 26. Médias e diferenças médias de temperatura da copa do feijoeiro entre os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14:00 horas em "dias secos".

Horas	Trat.	T _{copa} Media	T ₁ -T _x	T ₂ -T _x	T ₃ -T _x
10:00	1	26.8	*	*	*
	2	27.2	-0.4	*	*
	3	28.2	-1.4	-1	*
	4	30.1	-3.3	-2.9	-1.9
12:00	1	27.8	*	*	*
	2	29.1	-1.3	*	*
	3	31	-3.2	-1.9	*
	4	33.1	-5.3	-4	-2.1
14:00	1	26.1	*	*	*
	2	26.8	-0.7	*	*
	3	28.3	-2.2	-1.5	*
	4	29.9	-3.8	-3.1	-1.6

Figura 16. Temperaturas médias da copa do feijoeiro (T_c) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, em dias secos.

transpiração; da mesma forma como observaram TANNER (1963), IDSO e BAKER (1967) e SANDHU e HORTON (1978).

A utilização de parcelas bem supridas de água como referência, foi proposta por GARDNER (1981); com o objetivo de compensar efeitos do meio tais como; temperatura do ar e déficit de pressão de vapor. Entretanto a simples determinação das T_c , de parcelas submetidas a diferentes lâminas de água, fornece-nos um índice qualitativo do estresse a que estão submetidas as plantas, o que não é suficiente quando se tem dias com condições climáticas muito distintas.

As diferenças médias de T_c dos tratamentos 2, 3 e 4 em relação ao tratamento 1 às 12 horas dos dias secos (DS) e de todos os dias do período, isto é, dias contínuos (DC), de 31/08 a 7/10/86 são apresentados em função da produção de grãos na Tabela 27. As diferenças dos DS foram de 1,3; 3,2 e 5,3°C para os tratamentos 2, 3 e 4, respectivamente; as diferenças para os DC foram de 1,4; 2,8 e 3,1°C. As produções relativas para estas diferenças foram de 105, 81 e 62%. Resultados que podem indicar uma melhor adequação da lâmina aplicada ao tratamento 2.

4.2. Desvio padrão (DP) das temperaturas da copa (T_c)

Nas Tabelas 23, 24 e 25, observa-se os

Tabela 27. Dados de produção relativa de grãos e diferenças médias de temperatura da copa (T_c) dos tratamentos 2, 3 e 4 em relação ao tratamento 1 às 12 horas, para os dias "secos" (DS) e dias contínuos (DC).

Trat.	Produção de grãos (t/ha)	Produção relativa (%)	T2-T1($^{\circ}$ C)		T3-T1($^{\circ}$ C)		T4-T1($^{\circ}$ C)	
			DS	DC	DS	DC	DS	DC
1	2645	100	*	*	*	*	*	*
2	2782	105	1.3	1.4	*	*	*	*
3	2143	81	*	*	3.2	2.8	*	*
4	1632	62	*	*	*	*	5.3	3.1

desvios padrões (DP) das T_c . Em média o DP, das T_c foram de 0,6; 0,5; 0,8 e 0,8 C para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12 horas em dias "secos". Os aumentos da T_c nos diferentes tratamentos, não correspondem a um aumento sensível nos desvios padrões. Os DP encontrados neste trabalho não são tão representativos quando comparados com os obtidos por ASTON e VAN BAVEL (1972), BLAD et alii (1981) e CLAWSON e BLAD (1982) que encontraram valores superiores a 4,0 C, para cultura de milho sob déficit hídrico.

4.3. Diferença da temperatura da copa em relação a temperatura do ar ($T_c - T_a$)

Os dados obtidos de $T_c - T_a$, estão apresentados nas Tabelas 10 a 21, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas. Observou-se diferenças médias $T_c - T_a$ durante o período de leituras de (2,9; 3,4 e -0,8 C); (3,3; 4,5 e 0,0 C); (3,6; 5,8 e 0,9 C) e (6,0; 8,0 e 3,3 C) às 10, 12 e 14 horas para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. As diferenças mais elevadas ocorreram às 12 horas e as mais baixas às 14 horas. Em ordem crescente observa-se uma elevação das diferenças $T_c - T_a$ do tratamento 1 ao 4. Observa-se ainda, que os valores de $T_c - T_a$ são positivos às 10 horas nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, exceto quando a radiação líquida (R_n) é menor que 0,19 cal/cm min. As 12 horas os valores de $T_c - T_a$ são positivos; e às 14 horas, os valores negativos predominam

no tratamento 1 e passam a valores positivos, gradativamente, nos tratamentos 2, 3 e 4.

Separando-se apenas os dias secos das Tabelas 10 a 21, podemos observar médias de $T_c - T_a$ iguais a (2,4; 2,0 e $-1,6^{\circ}\text{C}$); (2,8; 2,9 e $-0,9^{\circ}\text{C}$); (3,8; 4,6 e $0,7^{\circ}\text{C}$) e (5,7; 7,3 e $2,7^{\circ}\text{C}$) às 10, 12 e 14 horas para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. As médias dos dias "secos" são menores que as médias de todas as diferenças encontradas anteriormente, porque as diferenças ($T_c - T_a$) na fase de maturação da cultura (1/10 a 12/10) representam os valores mais elevados e não foram considerados dias "secos", através do balanço hídrico. Isto mostra que mesmo existindo água disponível no solo acima do armazenamento crítico; as diferenças $T_c - T_a$, nesta fase de desenvolvimento, não mais respondem à irrigação. Este fato, também foi observado por EHRLER (1973) e IDSO e EHRLER (1976).

A somatória das diferenças de temperatura $T_c - T_a$ positivas e negativas, definida por IDSO et alii (1977) como graus dias de estresse ($\text{SDD}+-$) e a somatória dos valores positivos de $T_c - T_a$ ($\text{SDD}+$) utilizada por JACKSON et alii (1977), onde toda vez que $T_c - T_a$ era negativo foi atribuído o valor zero, foram determinadas neste trabalho. Os valores de $\text{SDD}+-$ e $\text{SDD}+$ dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas são apresentados nas Tabelas 28 e 29, para os dias contínuos e "secos" de leitu-

Tabela 28. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e producao relativa de graos. Dias continuos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 as 10, 12 e 14 horas.

Trata- mentos	Producao relativa %	SDD+-			SDD+		
		Horas			Horas		
		10(12)	12(16)	14(22)	10(12)	12(16)	14(22)
1	100	30.7	42.9	-25.2	33.8	46.6	20.1
2	105	37.7	65.1	-8.4	39.0	65.6	30.4
3	81	47.9	98.7	25.5	48.2	98.7	47.0
4	62	72.3	128.2	72.6	72.7	128.2	74.9

() = numero de dados

Tabela 29. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e producao relativa de graos. Dias "secos" dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 as 10, 12 e 14 horas.

Trata- mentos	Producao relativa %	SDD+-			SDD+		
		Horas			Horas		
		10(11)	12(11)	14(18)	10(11)	12(11)	14(18)
1	100	26.2	22.1	-28.1	29.4	25.8	10.7
2	105	30.5	35.9	-16.4	31.8	36.4	17.6
3	81	42.5	56.8	12.4	44.0	56.8	31.7
4	62	62.9	80.8	41.2	63.3	80.8	44.4

() = numero de dados

ras e nas Figuras 17, 18 e 19 para os dias contínuos.

Através das Tabelas 28 e 29, para dias contínuos e "secos", respectivamente; onde relacionou-se os valores de SDD +- e SDD+ com a produção relativa, observa-se que com o aumento dos SDDs houve uma redução na produção dos tratamentos 2 ao 4, às 10, 12 e 14 horas. O tratamento 2 apresenta SDDs maiores que o tratamento 1, apesar da produção de grãos ter sido 5% maior no tratamento 2. Isso pode ser explicado pela diferença de matéria seca total produzida e o índice de área foliar que foram maiores para o tratamento 1 e que serão comentados posteriormente.

Analisando-se ainda as Tabelas 28 e 29, pode-se dizer que incrementos na SDD +- do tratamento 2, de 10,2 e 34,6 °C; de 33,6 e 63,1 °C e de 33,9 e 81,0 °C às 10, 12 e 14 horas, corresponderam a reduções na produção de grãos de 24 e 43% nos tratamentos 3 e 4, respectivamente. Da mesma forma, para as SDD+ observa-se que quando a temperatura da copa esteve 39,0; 63,7 e 30,4 °C acima da temperatura ambiente, às 10, 12 e 14 horas, correspondem à maior produção de grãos e que acréscimos de 9,2 e 33,7 °C; de 33,1 e 62,6 °C e de 16,6 e 44,5 °C nas SDD+ do tratamento 2 às 10, 12 e 14 horas; respectivamente, corresponderam à mesma redução na produção de grãos obtida na SDD+-

Para uma comparação das SDD+- e SDD + entre os horários de leituras, separou-se os dados comuns aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas. Na Tabe-

Figura 17. Somatização das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $\Sigma (T_c - T_a) = SDD+-$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10 horas.

Figura 18. Somatização das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $\Sigma (T_c - T_a) = SDD+-$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4, às 12 horas.

Figura 19. Somatização das diferenças de temperatura da copa e ambiente, $\Sigma (T_c - T_a) = SDD+-$, dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 as 14 horas.

la 30 , nota-se que os valores de SDD^{+-} e SDD^{+} são mais elevados às 10 horas nos tratamentos 1 e 2; e às 12 horas nos tratamentos 3 e 4. A explicação para este fato é que às 10 horas, a maior parte da energia incidente é absorvida na forma de calor sensível e às 12 horas na forma de calor latente, e como há água disponível no solo as plantas resfriam-se através da transpiração apresentando-se portanto, as plantas do tratamento 1 e 2 mais frias às 12 horas. Nos tratamentos 3 e 4, o armazenamento de água no solo está abaixo do crítico e consequentemente às 12 horas, hora de maior incidência de radiação solar, as plantas absorvem mais calor.

A utilização dos índices SDDs, apresenta um grande potencial para previsão de produtividades, e também para o manejo da irrigação; desde que sejam estabelecidas as relações SDD e produção ideais para as diferentes culturas nos vários estádios de desenvolvimento, uma vez que, observa-se uma relação linear inversa entre SDD e a produção de grãos.

4.4. Correlação linear múltipla

A equação determinada através da regressão

Tabela 30. SDD+- de valores positivos e negativos, SDD+ de valores positivos e produção relativa de grãos. Dias "secos" comuns aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas.

Tratamentos	Produção relativa %	SDD+-			SDD+		
		Horas			Horas		
		10(6)	12(6)	14(6)	10(6)	12(6)	14(6)
1	100	9.0	7.0	-25.6	11.1	10.7	0.6
2	105	16.4	15.3	-23.0	17.7	15.8	3.1
3	81	18.6	32.0	-13.2	20.1	32.0	3.6
4	62	36.3	44.6	9.8	36.7	44.6	10.3

() = numero de dados

linear múltipla foi a seguinte:

$$(T_c - T_a)^* = -13,2406 + 0,1340 \cdot UR + 16,8256 \cdot R_n + 0,0140 \cdot AD \quad (46)$$

$$(r^2 = 0,68)$$

A representação gráfica desta equação para valor de água disponível igual a 40% está na Figura 20, onde foram eliminados os dados a partir de 04/10, correspondentes a fase de maturação.

Equações como esta podem ser utilizadas para prever as diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) da mesma cultura, em anos posteriores a sua determinação, para com elas fazer-se o manejo da irrigação, da mesma forma como GEISER et alii (1982) a empregaram para programar a irrigação da cultura de milho, obtendo bons resultados.

Os $(CWSI)_1$ calculados através da equação (36), onde $(T_c - T_a)_{max} = 8^\circ C$, e que foram determinados em "dias secos", no período 01/09 a 26/09 estão relacionados nas Tabelas 31, 32 e 33. Estes índices apresentaram, em média, valores de (0,1; 0,1; 0,3 e 0,6); (-0,1; 0,0; 0,5 e 0,9) e de (0,0; 0,1; 0,3 e 0,5) para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, respectivamente. Nota-se que os $(CWSI)_1$ são crescentes do tratamento 1 ao 4, nos três horários de leitura. Analisando-se os índices de cada tratamento diariamente observa-se uma grande variação nos valores, mesmo no tratamento (1), mais irrigado, o que dificulta, portanto, a programação da irrigação a nível

Tabela 31. Índice (CWSI) dos dias "secos" às 10:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
10/09	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1
11	-0.3	-0.2	0.0	0.3
14	-0.1	0.4	0.6	0.9
17	0.1	0.3	0.6	1.0
18	0.1	0.3	0.3	0.4
19	0.1	-0.2	0.1	0.1
20	0.8	0.7	1.1	0.6
22	0.0	0.1	-0.6	1.1
23	1.1	-0.1	0.8	1.6
24	0.0	0.3	0.5	1.2
25/09	-0.3	-0.2	-0.2	-0.8
Media	0.1	0.1	0.3	0.6
Desvios	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	1.1	0.7	1.1	1.6
Min.	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
DP	0.5	0.3	0.5	0.6

Tabela 32. Índice (LW50) dos dias "secos" às 12:00 horas.

Tratamentos				
Data	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
07/09	-0.7	-0.5	-0.2	0.3
12	0.1	0.1	-0.1	1.5
13	0.4	1.0	1.3	1.7
14	-0.6	-0.2	0.1	0.4
15	0.3	0.4	0.7	0.6
17	0.3	0.2	0.7	1.0
18	-0.1	-0.1	0.5	0.9
22	-1.0	-0.2	0.8	1.4
24	0.5	1.1	1.5	2.0
25	0.1	-1.8	0.1	0.0
27/09	0.2	0.4	0.6	0.7
Media	-0.1	0.0	0.5	0.9
Dados	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	0.5	1.1	1.5	2.0
Min.	-1.0	-1.8	-0.2	0.0
DP	0.5	0.8	0.5	0.6

Tabela 33. Índice (LWS101) dos dias "secos"
às 14:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
01/09	0.3	0.1	0.2	0.0
2	0.2	0.2	0.3	0.2
7	0.1	0.1	0.2	0.3
9	-0.1	0.0	0.3	0.3
11	0.0	0.2	0.3	0.5
12	-0.5	-0.4	-0.1	0.2
13	0.1	0.5	0.6	0.8
14	0.2	0.3	0.5	0.5
15	0.0	0.1	0.4	0.9
17	-0.2	-0.2	0.1	0.3
18	-0.2	-0.1	0.0	0.3
19	-0.8	-0.4	0.3	0.3
20	0.6	0.8	1.4	2.0
22	-1.0	-0.2	-0.1	0.4
23	0.5	0.5	0.7	0.7
24	0.4	0.4	0.5	0.8
25	0.1	0.3	0.0	0.2
26/09	0.2	0.3	0.3	0.3
Media	0.0	0.1	0.3	0.5
Dados	18.0	18.0	18.0	18.0
Max.	0.6	0.8	1.4	2.0
Min.	-1.0	-0.4	-0.1	0.0
DP	0.4	0.3	0.3	0.4

Figura 20. Representação gráfica da diferença de temperatura $(T_c - T_a)^*$, em função da umidade relativa (UR), radiação líquida (R_n) e água disponível (AD).

diário, quando se tenta fixar um índice, uma vez que, essas variações são o reflexo das variações climáticas.

Por outro lado, a utilização da equação 36 é promissora, uma vez que se pode estimar a diferença de temperatura ($T_c - T_a$) ideal para uma determinada condição climática onde existe água facilmente disponível no solo para as plantas, e a partir desta informação fazer-se o manejo da irrigação a nível diário. A equação no entanto, deve ser previamente estimada para uma determinada cultura e local.

4.5. Diferenças das temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$) versus déficit de pressão de vapor (DPV)

Plotando-se os dados de diferença de temperatura copa-ar ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor (DPV), do tratamento (1) mais irrigado, da mesma forma como fizeram IDSO et alii (1981) e JACKSON (1982) entre outros; observou-se uma grande dispersão nos dados (Figura 21). Com base nesta observação separou-se os dados em função da radiação líquida em quatro faixas; de 0,10 a 0,76; de 0,10 a 0,42; de 0,44 a 0,59 e de 0,61 a 0,76 cal/cm².min. Não foram considerados os dados a partir de 01/10, correspondentes ao final do ciclo do feijoeiro. As equações de regressão para cada faixa de radiação líquida são apresentadas na Tabela 34.

Figura 21. Diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), em três faixas de radiação solar.

Tabela 34 - Equações de regressão linear entre a diferença de temperatura ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), observados no tratamento 1, às 10, 12 e 14 horas

Radiação (cal/cm ² .min)	Equação	r ²	n dados
0,10 - 0,76	$T_c - T_a = 5,30 - 1,74 \text{ DPV}$	0,23	43
0,10 - 0,42	$T_c - T_a = 2,90 - 2,05 \text{ DPV}$	0,74	14
0,44 - 0,59	$T_c - T_a = 7,50 - 2,32 \text{ DPV}$	0,53	15
0,61 - 0,76	$T_c - T_a = 5,30 - 0,73 \text{ DPV}$	0,10	14

Analisando-se a Tabela 34 e Figura 21, observa-se um coeficiente de correlação, muito baixo ($r^2 = 0,23$) quando se utiliza dados em toda amplitude de radiação líquida (R_n) de 0,10 a 0,76 cal/cm².min. R_n de 0,10 a 0,42 cal/cm².min correspondem ao mais elevado coeficiente de correlação (0,74), e a medida que R_n elevou-se a correlação diminuiu.

Uma vez verificada a influência da radiação, fez-se nova correlação entre $(T_c - T_a)/R_n$ e DPV/R_n ; determinando-se a seguinte equação representada pela Figura 22:

$$\frac{(T_c - T_a)^*}{R_n} = 13,68 - 2,55 \frac{\text{DPV}}{R_n} \quad (r^2 = 0,81) \quad (47)$$

Os índices $(\text{CWSI})_2$ calculados com a equação (38), para os dias secos no período de 01 a 26/09, pa-

Figura 22. Diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) em relação à radiação líquida (R_n).

ra os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, são apresentados nas Tabelas 35, 36 e 37. Em média os valores de (CWSI) foram de $(-0,1; -0,1; 0,1 \text{ e } 0,5)$; $(-0,1; 0,0; 0,5; \text{ e } 0,9)$ e de $(0,0; 0,2; 0,4 \text{ e } 0,7)$ para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, respectivamente. Da mesma forma que o índice (CWSI)₁ o índice (CWSI)₂ aumentou do tratamento 1 ao 4, nos três horários de leitura, e apresentou grande variabilidade quando analisado diariamente.

Neste trabalho, ficou evidenciada a influência da radiação líquida na relação entre a diferença de temperatura ($T_c - T_a$) e o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), da mesma forma HIPPS et alii (1985) entre outros, observaram que esta relação só é válida quando a radiação líquida e a velocidade do vento são constantes.

4.6. Índice de estresse hídrico (CWSI)₃

A determinação do índice (CWSI)₃ envolve a utilização da R_n , DPV, ($T_c - T_a$), e as resistências aerodinâmicas (r_a) e da copa da cultura à difusão de vapor (r_s).

As resistências aerodinâmicas (r_a) estimadas em função da velocidade instantânea do vento às 10, 12 e 14 horas com a equação 39, são apresentadas na Tabela 38. Estimou-se também os valores de r_a mínimo, através da equação 41, e os de r_a máximo através da equação 42.

Tabela 35. Índice (LWSI)2 dos dias "secos" às 10:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
10/09	-0.6	-0.6	-0.3	-0.2
11	-0.6	-0.4	-0.2	0.1
14	-0.1	0.4	0.5	0.8
17	0.1	0.2	0.7	1.2
18	0.1	0.3	0.5	0.6
19	-0.2	-0.8	-0.1	0.0
20	0.7	0.6	1.2	0.6
22	-0.1	0.0	-0.8	1.2
23	1.1	-0.2	0.8	1.6
24	0.0	0.4	0.5	1.5
25/09	-1.4	-0.9	-1.1	-1.8
Media	-0.1	-0.1	0.1	0.5
Dados	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	1.1	0.6	1.2	1.6
Min.	-1.4	-0.9	-1.1	-1.8
DP	0.6	0.5	0.7	0.9

Tabela 36. Índice (LWSI)2 dos dias "secos" às 12:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
07/09	-0.5	-0.4	-0.3	0.3
12	-0.3	-0.2	-0.5	1.3
13	0.1	0.7	1.0	1.3
14	-0.2	0.1	0.3	0.5
15	0.2	0.3	0.7	0.5
17	0.3	0.1	0.8	1.2
18	0.0	0.0	0.5	0.9
22	-0.6	-0.1	0.4	1.3
24	0.4	1.0	1.4	1.8
25	0.0	-1.7	0.2	-0.1
27/09	-0.1	0.4	1.1	0.6
Media	-0.1	0.0	0.5	0.9
Dados	11.0	11.0	11.0	11.0
Max.	0.4	1.0	1.4	1.8
Min.	-0.6	-1.7	-0.5	-0.1
DP	0.3	0.7	0.5	0.5

Tabela 37. Índice (LWBI)2 dos dias "secos"
às 14:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
01/09	0.0	-0.2	0.0	-0.3
2	-0.1	0.0	0.2	0.1
7	0.0	0.0	0.1	0.3
9	-0.1	-0.2	0.2	0.2
11	-0.1	0.1	0.2	0.5
12	-0.3	-0.3	0.0	0.3
13	0.0	0.4	0.6	0.8
14	0.2	0.3	0.5	0.6
15	0.0	0.0	0.4	0.9
17	0.0	0.0	0.3	0.6
18	-0.5	-0.5	-0.2	0.3
19	-0.8	-0.5	0.3	0.5
20	0.5	0.7	1.5	2.3
22	-0.5	-0.1	0.1	0.8
23	0.9	0.9	1.3	1.4
24	0.7	0.7	0.9	1.4
25	0.1	0.5	-0.1	0.3
26/09	0.4	0.8	0.6	0.8
Media	0.0	0.2	0.4	0.7
Dados	18.0	18.0	18.0	18.0
Max.	0.9	0.9	1.5	2.3
Min.	-0.8	-0.5	-0.2	-0.3
DP	0.4	0.4	0.4	0.6

Tabela 38. Velocidades instantâneas do vento e resistências aerodinâmicas (ra) às 10, 12 e 14 horas.

Data	Vel. (m/s)			ra (s/m)		
	10H	12H	14H	10H	12H	14H
28/08	0.2	0.5	0.7	386.9	129.0	96.7
29/08	0.5	0.8	0.8	129.0	87.9	87.9
30/08	1.9	2.5	3.5	35.2	27.6	19.3
31/08	2.5	1.7	0.8	27.6	39.5	85.1
01/09	1.8	2.1	1.1	38.7	32.2	64.5
02/09	2.5	1.2	1.1	27.6	55.3	64.5
07/09	1.1	2.1	1.1	64.5	32.2	64.5
09/09	1.4	0.7	0.7	48.4	96.7	96.7
10/09	1.1	0.7	1.4	61.2	96.7	48.4
11/09	1.4	0.7	0.7	48.4	96.7	96.7
12/09	1.8	1.4	0.7	38.7	48.4	96.7
13/09	0.7	1.4	1.1	96.7	48.4	64.5
14/09	0.7	1.4	2.1	96.7	48.4	32.2
15/09	1.1	1.1	1.8	64.5	64.5	38.7
17/09	0.9	1.4	1.8	77.4	48.4	38.7
18/09	1.8	2.1	2.1	38.7	32.2	32.2
19/09	2.1	2.1	2.1	32.2	32.2	32.2
20/09	0.9	0.7	0.7	77.4	96.7	96.7
22/09	1.1	1.8	0.8	64.5	38.7	87.5
23/09	1.2	1.8	0.8	55.3	38.7	90.4
24/09	1.1	1.1	0.4	64.5	63.4	193.4
25/09	2.8	1.8	0.7	24.2	38.7	96.7
26/09	1.4	1.6	3.4	48.4	43.0	20.0
27/09	2.8	1.3	2.8	24.2	53.2	24.2
01/10	0.7	0.7	0.7	96.7	96.7	96.7
02/10	0.9	0.9	0.9	77.4	77.4	77.4
03/10	0.9	0.4	1.1	77.4	193.4	64.5
04/10	0.7	0.4	0.7	96.7	193.4	96.7
05/10	0.4	0.7	0.4	193.4	96.7	193.4
06/10	0.7	0.7	0.7	96.7	96.7	96.7
07/10	0.7	1.1	2.1	96.7	64.5	32.2
08/10	1.4	1.1	1.1	48.4	64.5	64.2
09/10	1.1	1.6	1.1	64.5	43.0	64.5
12/10	1.2	0.4	0.4	55.3	193.4	193.4
Media	1.3	1.2	1.2	75.7	73.8	77.9
Dados	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
Max	2.8	2.5	3.5	386.9	193.4	193.4
Min	0.2	0.4	0.4	24.2	27.6	19.3
DP	0.7	0.6	0.8	63.8	45.2	44.3

Os valores de r_a mínimos negativos ou próximos de zero não têm significado físico, mas apenas demonstram que a resistência da superfície não tende a infinito para os dados utilizados. Enfim os valores de r_a máximos e mínimos foram determinados para avaliar sua amplitude, a partir das informações de $(T_c - T_a)$, DPV e R_n . Nota-se que os valores estimados de r_a neste trabalho estão dentro da amplitude de r_a . (Tabelas 39 a 50)

A partir dos valores de r_a estimou-se as relações entre as resistências da superfície e a aerodinâmica (r_s/r_a), por meio da equação 45.

Os valores das relações r_s/r_a , r_s e do índice de estresse hídrico $(CWSI)_3$ determinado pela equação 44, são apresentados também nas Tabelas 39 a 50, referentes aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas.

Analisando-se as Tabelas de 39 a 50 e Figuras 23, 24 e 25 nos três horários estudados, verifica-se que de um modo geral os índices de estresse hídrico $(CWSI)_3$, mostraram a mesma tendência dos fatores observados. Desta forma pode-se notar que nos dias 10, 11, 14, 17, 18 e 24/09 às 10 horas; nos dias 7, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 22 e 24/09 às 12 horas e nos dias 2, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19 e 20/09 às 14 horas, os índices $(CWSI)_3$ seguem uma ordem crescente de valores do tratamento de 1 ao 4.

Tabela 39. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rsp) e aerodinâmica (ra). Tratamento (1) às 10:00 horas.

Data	H (KPa/°C)	ra (s/m)	rsp/ra	rsp (s/m)	(CWSI)3	ra (s/m)	
						min.	max.
30/08	0.16	35.2	1.93	68.0	0.00	6.4	91.0
10/09	0.18	61.2	0.45	27.7	0.00	3.1	87.6
11/09	0.18	48.4	0.95	45.9	0.00	4.2	90.4
14/09	0.23	96.7	0.35	33.8	0.00	5.6	128.7
17/09	0.22	77.4	0.89	68.9	0.00	5.2	141.8
18/09	0.20	38.7	3.05	118.1	0.00	7.0	135.5
19/09	0.15	32.2	2.58	83.1	0.00	-11.0	143.9
20/09	0.20	77.4	1.25	96.5	0.00	21.5	147.2
22/09	0.19	64.5	0.87	56.2	0.00	12.0	110.4
23/09	0.22	55.3	3.95	218.3	0.00	25.1	174.8
24/09	0.22	64.5	1.10	71.2	0.00	5.1	130.2
25/09	0.16	24.2	0.42	10.1	0.00	-19.0	42.3
03/10	0.22	77.4	0.89	68.8	0.00	12.3	135.4
09/10	0.26	64.5	3.89	250.6	0.00	25.9	214.7
Media	0.20	58.4	1.61	86.9	0.00	7.4	126.7
Dados	14.00	14.0	14.00	14.0	14.00	14.0	14.0
Max.	0.26	96.7	3.95	250.6	0.00	25.9	214.7
Min.	0.15	24.2	0.35	10.1	0.00	-19.0	42.3
DP	0.03	19.9	1.21	56.1	0.00	11.9	40.3

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(t_c + t_a)/2$.

Tabela 40. Índice de estresse hídrico (LWSI) e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (2) às 10:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(LWSI)	r_a (s/m)	
						min.	max.
30/08	0.15	35.2	2.68	94.4	0.13	4.3	118.2
10/09	0.18	61.2	0.49	30.2	0.01	3.8	89.6
11/09	0.19	48.4	1.24	59.9	0.06	6.8	99.9
14/09	0.24	96.7	0.80	77.8	0.08	13.1	164.2
17/09	0.22	77.4	1.15	89.3	0.05	7.8	157.9
18/09	0.21	38.7	4.36	168.9	0.16	11.7	156.7
19/09	0.16	32.2	1.54	49.5	-0.21	0.7	80.7
20/09	0.19	77.4	1.08	83.4	-0.03	19.7	139.8
22/09	0.19	64.5	0.99	63.6	0.02	12.7	115.7
23/09	0.20	55.3	1.22	67.2	-0.53	11.1	109.2
24/09	0.23	64.5	1.92	123.7	0.13	12.3	164.9
25/09	0.16	24.2	1.21	29.3	0.17	-12.7	68.9
03/10	0.24	77.4	1.85	143.2	0.15	20.9	182.1
09/10	0.26	64.5	3.43	221.3	-0.06	23.8	204.3
Media	0.20	58.4	1.71	93.0	0.01	9.7	132.3
Dados	14.00	14.0	14.00	14.0	14.00	14.0	14.0
Max.	0.26	96.7	4.36	221.3	0.17	23.8	204.3
Min.	0.15	24.2	0.49	29.3	-0.53	-12.7	68.9
DP	0.03	19.9	1.05	52.5	0.18	8.9	39.3

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 41. Índice de estresse hídrico (CWSI) e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (3) às 10:00 horas.

Data	H (KPa/gC)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)	r_a (s/m)	
						min.	max.
30/08	0.14	35.2	2.37	83.5	0.08	2.2	113.5
10/09	0.19	61.2	0.79	48.1	0.07	7.4	103.6
11/09	0.19	48.4	1.59	76.9	0.12	9.5	110.3
14/09	0.25	96.7	0.98	95.0	0.11	15.1	177.1
17/09	0.24	77.4	2.17	167.9	0.19	17.9	206.7
18/09	0.21	38.7	5.25	203.0	0.23	13.6	170.7
19/09	0.17	32.2	3.43	110.4	0.12	9.3	110.7
20/09	0.20	77.4	1.76	135.9	0.09	26.0	167.9
22/09	0.18	64.5	0.31	20.1	-0.14	5.3	83.1
23/09	0.22	55.3	3.07	169.6	-0.12	21.8	158.5
24/09	0.23	64.5	2.34	151.1	0.18	15.4	179.8
25/09	0.16	24.2	0.91	22.1	0.11	-13.9	59.0
03/10	0.23	77.4	1.13	87.4	0.04	14.9	148.1
Media	0.20	57.9	2.01	105.5	0.08	11.1	137.6
Dados	13.00	13.0	13.00	13.0	13.00	13.0	13.0
Max.	0.25	96.7	5.25	203.0	0.23	26.0	206.7
Min.	0.14	24.2	0.31	20.1	-0.14	-13.9	59.0
DP	0.03	20.6	1.29	55.3	0.10	9.6	42.1

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 42. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (4) às 10:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
10/09	0.19	61.2	0.90	55.0	0.09	8.9	108.4
11/09	0.20	48.4	2.24	108.5	0.21	13.4	127.1
14/09	0.25	96.7	1.50	144.9	0.18	21.0	210.4
17/09	0.26	77.4	4.36	337.7	0.38	29.9	285.0
18/09	0.21	38.7	6.10	236.2	0.30	16.3	175.5
19/09	0.17	32.2	3.73	120.3	0.16	10.3	114.2
20/09	0.19	77.4	1.09	84.1	-0.03	19.3	140.7
22/09	0.21	64.5	3.05	196.9	0.30	26.4	181.1
23/09	0.24	55.3	6.19	342.1	0.21	31.0	206.1
24/09	0.26	64.5	7.14	460.4	0.50	33.8	284.3
25/09	0.17	24.2	0.97	23.4	0.12	-1.7	49.2
03/10	0.25	77.4	2.	213.5	0.25	27.2	216.1
Media	0.22	59.8	3.34	193.6	0.18	19.7	174.8
Dados	12.00	12.0	12.00	12.0	12.00	12.0	12.0
Max.	0.26	96.7	7.14	460.4	0.51	33.8	285.0
Min.	0.17	24.2	0.90	23.4	-0.30	-1.7	49.2
DP	0.03	20.3	2.10	126.3	0.25	10.2	68.0

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 43. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (rsp) e aerodinâmica (ra). Tratamento (T) às 12:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	ra (s/m)	rsp/ra	rsp (s/m)	(CWSI)3	ra (s/m)	
						min.	max.
31/08	0.19	39.5	1.58	62.4	0.00	5.5	93.3
07/09	0.20	32.2	2.45	78.8	0.00	7.3	93.2
12/09	0.18	48.4	1.43	69.3	0.00	9.6	104.0
13/09	0.19	48.4	2.21	106.9	0.00	15.1	122.1
14/09	0.25	48.4	1.19	57.4	0.00	-9.2	116.8
15/09	0.22	64.5	1.56	100.3	0.00	8.6	151.6
17/09	0.23	48.4	3.01	145.6	0.00	9.5	165.7
18/09	0.24	32.2	3.22	103.7	0.00	-0.4	137.5
22/09	0.20	38.7	1.59	61.6	0.00	5.6	91.5
24/09	0.25	63.4	2.27	143.9	0.00	12.8	178.5
25/09	0.18	38.7	2.76	106.7	0.00	5.6	130.1
27/09	0.15	53.2	1.47	78.0	0.00	0.3	130.8
01/10	0.21	96.7	0.24	23.4	0.00	15.7	118.4
05/10	0.24	96.7	0.50	48.0	0.00	8.6	140.6
06/10	0.28	96.7	1.31	126.8	0.00	17.9	200.2
07/10	0.31	64.5	2.29	147.5	0.00	6.0	198.5
12/10	0.27	193.4	0.49	94.1	0.00	37.8	269.5
Media	0.22	64.9	1.74	91.4	0.00	9.2	143.6
Desvio	17.00	17.0	17.00	17.0	17.00	17.0	17.0
Max.	0.31	193.4	3.22	147.5	0.00	37.8	269.5
Min.	0.15	32.2	0.24	23.4	0.00	-9.2	91.5
DP	0.04	38.3	0.85	35.2	0.00	9.5	45.7

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(t_c + t_a)/2$.

Tabela 44. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (2) às 12:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
31/08	0.18	39.5	1.56	61.7	0.00	6.8	90.7
07/09	0.20	32.2	2.82	90.7	0.05	8.6	98.7
12/09	0.18	48.4	1.54	74.3	0.02	10.3	107.0
13/09	0.21	48.4	3.70	179.3	0.19	21.2	149.3
14/09	0.27	48.4	2.14	103.6	0.13	-1.3	154.9
15/09	0.23	64.5	1.80	116.1	0.04	10.6	161.6
17/09	0.22	48.4	2.38	115.4	-0.09	6.3	148.9
18/09	0.24	32.2	3.37	108.4	0.02	0.0	140.8
22/09	0.21	38.7	2.70	104.3	0.16	10.7	114.3
24/09	0.27	63.4	4.48	284.0	0.23	23.7	241.7
25/09	0.18	38.7	0.52	20.1	-0.53	2.6	57.5
27/09	0.16	53.2	2.87	152.9	0.22	11.7	172.8
01/10	0.21	96.7	0.15	14.6	-0.02	14.2	109.2
05/10	0.25	96.7	1.03	99.8	0.09	15.3	181.0
06/10	0.31	96.7	2.58	249.5	0.16	29.2	271.2
07/10	0.33	64.5	2.99	192.6	0.08	11.5	223.0
12/10	0.28	193.4	0.51	98.0	0.00	38.5	272.2
Media	0.23	64.9	2.18	121.5	0.04	12.9	158.5
Dados	17.00	17.0	17.00	17.0	17.00	17.0	17.0
Max.	0.33	193.4	4.48	284.0	0.23	38.5	272.2
Min.	0.16	32.2	0.15	14.6	-0.53	-1.3	57.5
DP	0.05	38.3	1.16	69.7	0.17	10.0	61.0

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 45. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (3) às 12:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
31/08	0.18	39.5	1.70	67.3	0.02	10.4	89.1
07/09	0.20	32.2	3.07	99.0	0.09	8.8	104.3
12/09	0.17	48.4	1.12	54.1	-0.07	6.8	95.0
13/09	0.21	48.4	4.80	232.5	0.29	24.3	164.5
14/09	0.29	48.4	3.11	150.5	0.23	4.5	185.1
15/09	0.24	64.5	2.85	184.0	0.17	18.2	198.9
17/09	0.24	48.4	5.69	275.3	0.26	18.7	217.7
18/09	0.27	32.2	8.86	285.1	0.41	12.6	206.2
22/09	0.23	38.7	5.19	200.8	0.37	17.8	147.5
24/09	0.29	63.4	7.39	468.5	0.40	32.1	295.2
25/09	0.19	38.7	3.57	138.0	0.11	11.2	136.8
27/09	0.17	53.2	6.31	335.5	0.49	26.1	224.5
01/10	0.22	96.7	0.69	66.3	0.09	22.2	148.0
05/10	0.25	96.7	1.32	127.9	0.14	17.4	201.7
06/10	0.33	96.7	3.92	379.0	0.26	37.3	329.9
07/10	0.37	64.5	6.36	410.1	0.32	24.0	322.5
Media	0.24	56.9	4.12	217.1	0.22	18.3	191.5
Dados	16.00	16.0	16.00	16.0	16.00	16.0	16.0
Max.	0.37	96.7	8.86	468.5	0.49	37.3	329.9
Min.	0.17	32.2	0.69	54.1	-0.07	4.5	89.1
DP	0.06	21.5	2.31	126.2	0.15	8.9	72.5

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(t_c + (t_a)/2)$.

Tabela 46. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (4) às 12:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
31/08	0.19	39.5	1.00	39.4	-0.12	1.4	77.6
07/09	0.20	32.2	5.97	192.3	0.35	13.9	142.0
12/09	0.21	48.4	6.70	324.0	0.48	27.8	186.9
13/09	0.22	48.4	6.50	314.7	0.40	27.8	182.6
14/09	0.30	48.4	4.17	201.9	0.31	9.1	212.5
15/09	0.24	64.5	2.38	153.7	0.12	15.1	182.3
17/09	0.26	48.4	11.63	562.9	0.52	29.2	271.8
18/09	0.29	32.2	21.33	686.8	0.68	21.7	257.8
22/09	0.24	38.7	17.26	667.8	0.72	28.6	214.0
24/09	0.32	63.4	12.85	815.0	0.57	40.7	355.8
25/09	0.18	38.7	2.48	96.0	-0.04	6.7	118.3
27/09	0.18	53.2	2.51	133.8	0.17	20.0	136.9
01/10	0.23	96.7	0.72	69.3	0.09	22.6	150.0
05/10	0.28	96.7	1.78	172.4	0.18	25.9	223.3
06/10	0.34	96.7	4.96	479.4	0.33	42.2	367.6
07/10	0.39	64.5	8.08	521.5	0.39	28.6	355.6
Media	0.25	58.9	6.90	339.4	0.32	22.6	214.7
Dados	16.00	16.0	16.00	16.0	16.00	16.0	16.0
Max.	0.39	96.7	21.33	815.0	0.72	42.2	367.6
Min.	0.18	32.2	0.72	39.4	-0.12	1.4	77.6
DP	0.06	21.5	5.84	240.5	0.24	10.9	84.7

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 47. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_{sp}) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (T) às 14:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_{sp}/r_a	r_{sp} (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
28/08	0.19	96.7	0.31	30.3	0.00	-2.1	127.8
29/08	0.19	87.9	0.63	55.6	0.00	-25.7	159.9
01/09	0.16	64.5	1.41	90.6	0.00	-4.4	161.5
02/09	0.17	64.5	1.24	79.8	0.00	-10.6	157.6
07/09	0.20	64.5	1.25	80.4	0.00	-2.1	147.7
09/09	0.21	96.7	0.21	20.2	0.00	9.2	115.2
11/09	0.20	96.7	0.37	36.0	0.00	-8.1	135.9
12/09	0.23	96.7	0.08	7.6	0.00	-14.5	105.5
13/09	0.22	64.5	1.18	75.9	0.00	1.3	139.1
14/09	0.24	32.2	4.70	151.5	0.00	-0.5	186.4
15/09	0.23	38.7	2.78	107.7	0.00	0.6	144.8
17/09	0.26	38.7	1.77	68.4	0.00	-39.5	177.1
18/09	0.18	32.2	1.03	33.1	0.00	-28.9	95.1
19/09	0.20	32.2	1.58	50.4	0.00	0.9	81.3
20/09	0.21	96.7	0.66	63.7	0.00	17.3	149.2
22/09	0.25	87.5	*	*	*	-56.5	41.5
23/09	0.21	90.4	*	*	*	*	*
24/09	0.25	193.4	3.91	757.0	0.00	-51.3	1152.1
25/09	0.19	96.7	0.57	55.3	0.00	3.6	150.1
26/09	0.16	20.0	*	*	*	*	*
01/10	0.20	96.7	0.80	77.5	0.00	6.4	169.2
02/10	0.21	77.4	1.36	105.0	0.00	19.8	155.7
04/10	0.26	96.7	0.61	59.3	0.00	-28.9	173.9
06/10	0.27	96.7	1.12	108.2	0.00	2.8	202.0
08/10	0.27	64.2	5.51	353.7	0.00	27.9	264.5
Media	0.21	76.9	1.50	112.2	0.00	-8.0	191.0
Dados	25.00	25.0	22.00	22.0	22.00	23.0	23.0
Max.	0.27	193.4	5.51	757.0	0.00	27.9	1152.1
Min.	0.16	20.0	0.08	7.6	0.00	-56.5	41.5
DP	0.03	34.9	1.42	156.1	0.00	21.2	209.4

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(t_c + t_a)/2$.

Tabela 48. Índice de estresse hídrico (CWSI) e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (2) às 14:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)	r_a (s/m)	
						min.	max.
28/08	0.19	96.7	0.49	47.2	0.04	-8.9	147.5
29/08	0.19	87.9	0.60	52.5	-0.01	-8.6	145.7
01/09	0.18	64.5	0.82	53.1	-0.13	-1.4	116.6
02/09	0.17	64.5	1.35	87.3	0.02	-8.8	153.9
07/09	0.20	64.5	1.29	83.1	0.01	-1.9	150.2
09/09	0.20	96.7	0.18	17.7	-0.01	5.9	113.4
11/09	0.20	96.7	0.69	66.9	0.07	-7.4	159.0
12/09	0.23	96.7	0.17	16.9	0.02	-12.6	115.9
13/09	0.23	64.5	2.24	144.3	0.16	11.2	184.1
14/09	0.25	32.2	5.88	189.3	0.11	4.5	195.4
15/09	0.23	38.7	2.88	111.4	0.01	0.9	147.6
17/09	0.27	38.7	1.74	67.5	0.00	-36.5	170.0
18/09	0.18	32.2	1.20	38.7	0.04	-29.2	108.1
19/09	0.20	32.2	2.28	73.6	0.11	4.2	96.2
20/09	0.21	96.7	0.91	88.1	0.05	20.8	166.1
22/09	0.25	87.5	*	*	*	*	*
23/09	0.21	90.4	20.00	1807.6	*	2.7	1847.0
24/09	0.25	193.4	3.85	745.1	-0.01	-41.8	1100.5
25/09	0.20	96.7	1.07	103.0	0.10	11.7	187.5
26/09	0.17	20.0	22.74	454.9	*	-62.6	1900.2
01/10	0.20	96.7	0.88	84.7	0.02	8.2	174.5
02/10	0.22	77.4	1.95	150.7	0.09	24.0	181.6
04/10	0.27	96.7	1.08	104.5	0.08	-22.8	226.0
06/10	0.28	96.7	1.68	162.4	0.08	10.4	241.8
08/10	0.28	64.2	9.52	611.2	0.27	37.1	322.7
Media	0.22	76.9	3.56	223.4	0.05	-4.0	348.7
Dados	25.00	25.0	24.00	24.0	22.00	24.0	24.0
Max.	0.28	193.4	22.74	1807.6	0.27	37.1	1900.2
Min.	0.17	20.0	0.17	16.9	-0.13	-62.6	96.2
DP	0.03	34.9	5.74	376.3	0.08	21.7	498.3

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

Tabela 49. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (3) às 14:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
28/08	0.18	96.7	0.56	53.7	-0.05	-21.8	162.6
29/08	0.19	87.9	0.69	61.0	-0.01	-2.4	147.4
01/09	0.17	64.5	1.23	79.3	-0.04	-2.0	141.5
02/09	0.17	64.5	1.80	116.4	0.10	-2.6	185.7
07/09	0.20	64.5	1.47	94.9	0.04	-1.0	161.0
09/09	0.20	96.7	0.57	55.6	0.08	10.4	146.5
11/09	0.20	96.7	0.82	78.8	0.09	-2.3	177.6
12/09	0.25	96.7	0.51	49.7	0.08	-4.4	148.8
13/09	0.24	64.5	3.01	194.1	0.24	16.2	210.2
14/09	0.25	32.2	8.91	287.0	0.31	9.5	234.6
15/09	0.25	38.7	5.01	193.7	0.23	9.7	184.1
17/09	0.29	38.7	3.97	153.6	0.24	-18.8	267.1
18/09	0.19	32.2	2.24	72.0	0.20	-16.1	140.4
19/09	0.21	32.2	5.76	185.5	0.42	11.9	149.5
20/09	0.23	96.7	1.81	174.8	0.18	30.7	216.3
22/09	0.27	87.5	*	*	*	*	*
23/09	0.23	90.4	12.22	1104.8	*	44.5	653.0
24/09	0.26	193.4	7.33	1418.2	*	-14.8	1722.0
25/09	0.19	96.7	0.29	27.6	-0.07	4.8	123.0
26/09	0.17	20.0	18.51	370.3	*	0.0	390.7
01/10	0.21	96.7	1.15	111.4	0.07	12.7	193.7
02/10	0.21	77.4	1.19	92.1	-0.03	13.5	147.7
04/10	0.29	96.7	1.62	156.5	0.15	-10.7	270.8
06/10	0.30	96.7	2.56	248.0	0.18	19.4	295.2
Media	0.22	77.5	3.62	233.9	0.13	4.4	281.3
Dados	24.00	24.0	23.00	23.0	20.00	23.0	23.0
Max.	0.30	193.4	18.51	1418.2	0.42	44.5	1722.0
Min.	0.17	20.0	0.29	27.6	-0.07	-21.8	123.0
DP	0.04	35.5	4.36	330.8	0.12	15.5	326.8

A = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(t_c + t_a)/2$.

Tabela 50. Índice de estresse hídrico (CWSI)3 e relação entre as resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a). Tratamento (4) às 14:00 horas.

Data	H (kPa/°C)	r_a (s/m)	r_s/r_a	r_s (s/m)	(CWSI)3	r_a (s/m)	
						min.	max.
01/09	0.17	64.5	0.65	42.0	-0.18	5.3	103.1
02/09	0.17	64.5	1.60	103.1	0.07	-1.7	170.4
07/09	0.21	64.5	2.07	133.6	0.13	-2.5	193.3
09/09	0.20	96.7	0.59	57.5	0.08	9.4	148.8
11/09	0.22	96.7	1.39	134.7	0.18	7.2	221.7
12/09	0.26	96.7	0.91	88.2	0.14	2.7	182.7
13/09	0.25	64.5	3.74	241.3	0.30	19.9	231.6
14/09	0.26	32.2	10.52	338.8	0.38	11.9	246.5
15/09	0.27	38.7	13.70	530.3	0.58	22.7	258.2
17/09	0.31	38.7	7.59	293.5	0.44	-2.6	352.7
18/09	0.20	32.2	5.80	186.9	0.48	0.4	217.2
19/09	0.20	32.2	7.27	234.0	0.50	10.9	187.1
20/09	0.25	96.7	3.26	314.9	0.32	41.5	277.0
22/09	0.34	87.5	5.60	490.2	*	0.0	578.4
23/09	0.24	90.4	21.58	1950.9	*	59.4	761.3
24/09	0.29	193.4	55.79	10789.5	*	147.3	2777.6
25/09	0.20	96.7	0.55	52.9	-0.01	12.8	142.7
26/09	0.17	20.0	*	*	*	*	*
01/10	0.21	96.7	1.88	181.9	0.18	20.2	240.8
02/10	0.22	77.4	2.65	205.4	0.18	28.6	207.3
04/10	0.31	96.7	2.97	287.1	0.27	4.4	371.1
06/10	0.33	96.7	4.80	464.2	0.34	34.4	396.6
Media	0.24	76.1	7.38	815.3	0.25	20.8	393.6
Dados	22.00	22.0	21.00	21.0	18.00	21.0	21.0
Max.	0.34	193.4	55.79	10789.5	0.58	147.3	2777.6
Min.	0.17	20.0	0.55	42.0	-0.18	-2.6	103.1
DP	0.05	36.8	11.86	2169.0	0.39	32.2	553.7

H = tangente a curva de pressão de saturação do vapor d'água na temperatura $(T_c + T_a)/2$.

figura 24. Representação gráfica da água disponível(AD), radiação líquida(Rn), diferenças de temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$), déficit de pressão de vapor (DPV), resistência da copa a difusão de vapor (r_s), relação (r_s/r_a) e índice (CWSI)3 para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 12:00 horas, no período de 30/08 a 09/10.

Figura 25. Representação gráfica da água disponível(AD), radiação líquida(Rn), diferenças de temperaturas copa-ar ($T_c - T_a$), déficit de pressão de vapor (DPV), resistência da copa a difusão de vapor (rs), relação (rs/ra) e índice (CWSI)3 para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 14:00 horas, no período de 30/08 a 09/10.

Algumas inversões na ordem crescente dos valores de $(CWSI)_3$ serão discutidas. Assim, as leituras realizadas às 10 horas nos dias 17 e 18, mostraram que apesar das radiações líquidas (R_n) terem sido menores que às medidas nos demais dias citados; as diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) e déficit de pressão de vapor (DPV) compensaram esta modificação, mantendo a mesma ordem crescente dos índices.

Neste mesmo horário no dia 19, durante as leituras ocorreram variações nas R_n , sendo menor no tratamento 1; no entanto as diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) apresentaram um gradiente crescente do tratamento 1 ao 4, este fato pode ser devido a um provável erro na determinação da leitura da radiação. Nos dias 20, 22 e 23, observa-se uma alteração nas ($T_c - T_a$) e consequentemente na sequência dos índices, isto provavelmente devido a uma maior instabilidade na insolação, apesar desta não ter sido registrada durante as leituras.

Nos dias 12, 15 e 17/09 às 12 horas a ordem dos índices foi alterada apenas nos tratamentos 3, 4, e 2, respectivamente, o que pode ser explicado pelas diferenças de temperatura ($T_c - T_a$) menores do que as esperadas para estes tratamentos.

As 14 horas cabe salientar que nos dias 9 e 19/09 uma condição de instabilidade se verifica na radiação líquida (R_n), sendo registrada uma radiação mais ele-

vada no tratamento 1, diminuindo progressivamente nos tratamentos 2, 3 e 4. No entanto, essa instabilidade não alterou a ordem crescente dos índices. Ainda, para esse mesmo horário, condições instáveis e baixas radiações líquidas ($< 0,01 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) foram observadas nos dias 22, 23, 24 e 26, impossibilitando o cálculo dos índices (CWSI) 3.

A alteração da água armazenada no solo, decorrente de uma precipitação pluvial em 25/09; somada a uma baixa e instável R_n e umidade relativa alta; reduziu a validade dos índices, nos três horários de leitura.

Nos dois extremos das curvas, correspondentes, ao final de agosto e início de outubro nos três horários estudados, observamos que a água disponível para as plantas foi igualada. No entanto, os índices obtidos não são influenciados da mesma maneira nesses dois trechos. Nos dias 28, 29, 30, 31/08 e 01/09, as plantas em todos os tratamentos, apresentavam-se em estágios de desenvolvimento mais semelhantes, e respondiam em função do teor de água no solo, podendo verificar-se que as variações nos índices ocorrem como reflexo direto das variações nas $(T_c - T_a)$ e radiações líquidas. Cabe também salientar que

esse comportamento difere do ocorrido no dia 19/09, para o horário das 10:00 horas, onde como já foi comentado a variação da radiação não refletiu diretamente no comportamento dos índices.

No outro extremo da curva quando as plantas já se encontram em estágios de maturação diferentes provocados, justamente pelos diferentes regimes de água sofridos nos tratamentos durante seu desenvolvimento, apesar do armazenamento de água no solo igualar-se para todos os tratamentos (a partir do dia 1/10) os índices passam a obedecer o mesmo gradiente crescente dos tratamentos de 1 a 4, excetuando-se alguns casos em que um dos índices fogem a essa ordem, seguindo a variação na temperatura.

O índice $(CWSI)_3$ reflete o déficit de evapotranspiração das plantas; e envolve as relações r_s/r_a (evapotranspiração atual) e r_{sp}/r_a (evapotranspiração máxima). As relações r_s/r_a apresentaram valores médios de (1,61; 1,71; 2,01 e 3,34); (1,74; 2,18; 4,12 e 6,90) e de (1,50; 3,56; 3,62 e 7,38) para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas, respectivamente. Da mesma forma a resistência da superfície (r_s) apresentaram valores de (86,9; 93,0; 105,5 e 193,6 s/m); (91,4; 121,5; 217,1 e 339,4 s/m) e de (112,2; 223,4; 233,9 e 815,3 s/m). Pode-se observar que tanto as relações r_s/r_a , como a r_s ; tem seus valores crescentes das 10 para 14 horas. Devendo-se sa-

liantar que os valores de r_{sp} correspondem aos determinados para o tratamento 1.

Os índices (CWSI)3, relacionados nas Tabelas 51, 52 e 53, apresentaram valores médios de (0,00; 0,01; 0,09 e 0,22); (0,00; 0,04; 0,25 e 0,39) e de (0,00; 0,04; 0,15 e 0,24) para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 às 10, 12 e 14 horas respectivamente, sendo às 12:00 horas, horário de maior demanda evapotranspirativa, que encontram-se os valores mais elevados.

Analisando-se a Figura 26 que representa o aumento da resistência da superfície (r_s) das plantas em função da diminuição da água disponível no solo nos três horários de leitura observou-se que, os dados que fugiram a tendência desta curva representam dias em que: a radiação líquida era muito baixa ($< 0,17 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$), e neste caso a resistência tem valores elevados devido a ausência de luz e não de água disponível; dados em que o déficit de pressão é bastante elevado ($> 4,0 \text{ KPa}$) ou muito reduzido ($< 0,7 \text{ KPa}$) e dados em que as plantas estão em fase final de maturação (a partir de 1/10). A utilização da r_s como indicador da diminuição da água disponível no solo, tem sido demonstrada por RUSSELL (1980) e OOSTERHUIS e WALKER (1987).

Nos índices (CWSI)1 e (CWSI)2 determinados neste trabalho estabeleceu-se relações entre $T_c - T_a$, DPV e R_n ; e os valores de r_a e r_s foram considerados constantes;

Tabela 51. Índice (CWSI)3 dos dias "secos"
às 10:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
10/09	0.00	0.01	0.07	0.09
11	0.00	0.06	0.12	0.21
14	0.00	0.08	0.11	0.18
17	0.00	0.05	0.19	0.38
18	0.00	0.16	0.23	0.30
19	0.00	-0.21	0.12	0.16
20	0.00	-0.03	0.09	-0.03
22	0.00	0.02	-0.14	0.30
23	0.00	-0.53	-0.12	0.21
24	0.00	0.13	0.18	0.50
25/09	0.00	0.17	0.11	0.12
Media	0.00	-0.01	0.09	0.22
Dados	11.00	11.00	11.00	11.00
Max.	0.00	0.17	0.23	0.50
Min.	0.00	-0.53	-0.14	-0.03
DP	0.00	0.19	0.11	0.14

Tabela 52. Índice (CW5I)3 dos dias "secos"
às 12:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
07/09	0.00	0.05	0.09	0.35
12	0.00	0.02	-0.07	0.48
13	0.00	0.19	0.29	0.40
14	0.00	0.13	0.23	0.31
15	0.00	0.04	0.17	0.12
17	0.00	-0.09	0.26	0.52
18	0.00	0.02	0.41	0.68
22	0.00	0.16	0.37	0.72
24	0.00	0.23	0.40	0.57
25	0.00	-0.53	0.11	-0.04
27/09	0.00	0.22	0.49	0.17
Media	0.00	0.04	0.25	0.39
Dados	11.00	11.00	11.00	11.00
Max.	0.00	0.23	0.49	0.72
Min.	0.00	-0.53	-0.07	-0.04
DP	0.00	0.20	0.16	0.23

Tabela 53. Índice (CWSI)3 dos dias "secos"
às 14:00 horas.

Data	Tratamentos			
	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)
01/09	0.00	-0.13	-0.04	-0.18
2	0.00	0.02	0.10	0.07
7	0.00	0.01	0.04	0.13
9	0.00	-0.01	0.08	0.08
11	0.00	0.07	0.09	0.18
12	0.00	0.02	0.08	0.14
13	0.00	0.16	0.24	0.30
14	0.00	0.11	0.31	0.38
15	0.00	0.01	0.23	0.58
17	0.00	0.00	0.24	0.44
18	0.00	0.04	0.20	0.48
19	0.00	0.11	0.42	0.50
20	0.00	0.05	0.18	0.32
22	*	*	*	*
23	*	*	*	*
24	0.00	-0.01	*	*
25/09	0.00	0.10	-0.07	-0.01
Media	0.00	0.04	0.15	0.24
Dados	15.00	15.00	14.00	14.00
Max.	0.00	0.16	0.42	0.58
Min.	0.00	-0.13	-0.07	-0.18
DP	0.00	0.07	0.13	0.21

Figura 26. Resistência da copa da cultura à difusão de vapor em função da água disponível no solo.

no índice (CWSI)³ calculado com base no balanço energético; os valores de r_a e r_s também influenciam a diferença de temperatura $T_c - T_a$; sendo portanto mais precisos para as nossas condições. A partir dos índices (CWSI)³ estimados para às 12 horas, pode-se dizer que déficits médios de evapotranspiração de 0, 4, 25 e 39%, corresponderam a produções relativas de 100, 105, 81 e 62% para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

4.7. Parâmetros de crescimento da planta

Analisando-se a Figura 27, nota-se que a maior produção de grãos foi em ordem decrescente para os tratamentos 2, 1, 3 e 4; de 2783, 2645, 2143 e 1633 Kg/ha, respectivamente. A produção de grãos do tratamento 2 superior ao tratamento 1 (mais irrigado), pode ser explicada pelas Figuras 28, 29 e 30.

Na Figura 28, que representa a matéria seca total (MST), determinada para os tratamentos 1, 2, 3 e 4; nota-se que em 08/09 a MST é maior no tratamento 2; em 15/09 as MST são iguais para os tratamentos 1 e 2; e a partir da coleta de 22/09 a MST foi sempre maior no tratamento 1. O índice de área foliar (IAF) representado na Figura 29; apresentou valores maiores a partir de 15/09 no tratamento 1. Observando-se ainda a Figura 30; onde estão os valores de número de plantas por metro linear

Figura 27. Produção de grãos dos tratamentos 1, 2, 3 e 4.

Figura 28. Matéria seca total produzida nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, no período de 28/08 a 17/10.

Figura 29. Índice de área foliar (IAF) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4, no período de 28/08 a 17/10.

Figura 30. Número de plantas por metro linear (PM), nº de vagens por planta (VP), nº de vagens chochas por planta (VCP), nº de nos por planta (NP) e nº de grãos por vagem (GV) dos tratamentos 1, 2, 3 e 4.

(PM) número de vagens por planta (VP), número de vagens chochas por planta (VCP), número de nós por planta (NP) e número de grãos por vagem (GV); nota-se que o PM e GV não foram afetados pelas diferentes lâminas de água aplicadas. O VP teve valor mais elevado no tratamento 1, mas foi neste tratamento também que se observou o maior número de VCP. Enfim, o tratamento 1 apesar de receber mais água através da irrigação, teve uma maior porcentagem da matéria seca total produzida na forma de folhas e vagens chochas em relação ao tratamento 2.

5. CONCLUSOES

Considerando-se os resultados obtidos nesta pesquisa, estabeleceram-se as seguintes conclusões:

5.1. A utilização de parcelas bem irrigadas como referência para determinação da temperatura da copa; compensam efeitos da temperatura e déficit de pressão de vapor do ar, desde que, a radiação líquida e a velocidade do vento não variem durante as leituras.

5.2. A determinação da linha básica $T_c - T_a$ versus déficit de pressão de vapor (DPV), determinada empiricamente, sem considerar a radiação líquida não permitiu o cálculo do índice de estresse hídrico (CWSI).

5.3. Através de regressão linear múltipla da diferença de temperatura $T_c - T_a$ como variável dependente, e a radiação líquida, umidade relativa e porcentagem de água disponível como variáveis independentes, de parcelas bem

supridas de água, é possível fazer o manejo da irrigação em cultivos posteriores.

5.4. A determinação de índices de estresse hídrico (CWSI) calculados com base no balanço energético, mostram que além do déficit de pressão de vapor do ar, outros fatores tais como: radiação líquida e velocidade do vento influenciam a diferença de temperatura ($T_c - T_a$); e em condições climáticas muito variáveis a determinação de CWSI é bastante dificultada.

5.5. A utilização de aparelhos portáteis que coletam informações instantâneas de temperatura da copa, temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa é muito promissora, devendo estas informações serem associadas a velocidade do vento, em condições climáticas instáveis.

5.6. No estágio de florescimento e formação de vagens do feijoeiro temperaturas médias da copa de 27,8; 29,1; 31,0 e 33,1 °C; e índices de estresse hídrico (CWSI)₁ e (CWSI)₂ de -0,1; 0,0; 0,5 e 0,9 determinados às 12 hs; correspondem à produções relativas de grãos de 100, 105, 81 e 62%, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

5.7. Os índices médios de estresse hídrico (CWSI)³ determinados com base no balanço energético, às 12 horas, permiti-nos dizer que déficits médios de evapotranspiração de 0, 4, 22 e 32%, corresponderam a produções relativas de 100, 105, 81 e 62% para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASSARI, A.Q. LOMMIS, W.E. Leaf temperatures. American Journal of Botany, Columbus, 46: 713-7, 1959.
- ASTON, A.R. VAN BAVEL, C.H.M. Soil surface water depletion and leaf temperature. Agronomy Journal, Madison, 64: 368-73, 1972.
- BARTHOLIC, J.F.; NAMKEN, L.N.; WIEGAND, C.L. Aerial thermal scanner to determine temperatures of soils and of crop canopies differing in water stress. Agronomy Journal, Madison, 64: 603-8, 1972.
- BLAD, B.L. ROSENBERG, N.J. Measurement of crop temperature by leaf thermocouple, infrared thermometry e remotely, sensed thermal imagery. Agronomy Journal, Madison, 68: 635-41, 1976.
- BLAD, B.L.; GARDNER, B.R.; WATTS, D.G.; ROSENBERG, N.J. Remote sensing of crop moisture status. Remote sensing of Environment, New York, 3: 4-20, 1981.

BLAD, B.L.; GARDNER, B.R.; STEINMETZ, S.; ROSENBERG, N.J.
Plant and air temperature patterns in alfalfa, corn,
grass, sorghum and soybeans as measured with
thermocouples and infrared thermometers. Agronomy
Journal, Madison, 1982.

BRAGA, H.J. Caracterização da seca agrônômica através de
novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna,
litoral sul do Estado de Santa Catarina. Piracicaba,
1982. 157p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"/USP)

BULISANI, E.A. coord. Feijão: fatores de produção e qua-
lidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987, 326p.

CAMARGO, A.; PINTO, H.S.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI,
R.R.; ORTOLANI, A.A. Clima do Estado de São Paulo.
In: SAEESP. Inst. Agrônômico. Zoneamento Agrícola
do Estado de São Paulo, vol.1. 1974.

CARLSON, R.E.; YARGER, D.N.; SHAW, R.H. Environmental
influences on the leaf temperatures of two soybean
varieties grown under controlled irrigation. Agronomy
Journal, Madison, 64: 224-9, 1972.

CERVELLINI, A.; SALATI, E.; BARROS FERRAZ, E.S.; VILLA
NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; DECICO, A.; OMETTO, J.C.;
PEDRO JUNIOR, M.J. Análise dos dados meteorológicos

de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, Boletim Científico número 36, 1973. 26p.

CLARK, R.N. HILER, E.A. Plant measurements as indicators of crop water deficit. Crop Science, Madison, 13: 466-9, 1973.

CLAWSON, K.L. BLAD, B.L. Infrared Thermometry for Scheduling Irrigation of Corn. Agronomy Journal, Madison, 74: 311-6, 1982.

CLUM, H.H. The effect of transpiration and environmental factors on leaf temperatures. I. Transpiration. American Journal of Botany, Columbus, 13: 194-230, 1926.

CURTIS, O.F. Leaf temperatures and the cooling of leaves by radiation. Plant Physiology, Lawrence, 11: 343-64, 1936.

CURTIS, O.F.; WALLACE, R.H.; CLUM, H.H. "Leaf temperatures": A critical analysis with additional data. American Journal of Botany, Columbus, 25: 761-71, 1938.

DAKER, A. A água na agricultura. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984, v. 3, 543p.

DOORENBOS, J. KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 193p. (Irrigation and drainage paper, 33).

- EATON, F.M. BELDEN, G.O. Leaf temperatures of cotton and their relation to transpiration, varietal differences, and yields. Department of Technology, Washington, 1929. (Bulletin, 91).
- EHLERS, J.H. The temperature of leaves of pinus in winter. American Journal of Botany, Columbus, 2:32-70, 1915.
- EHRLER, W.L. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. Agronomy Journal, Madison, 65: 404-9, 1973.
- EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agronomy Journal, Madison, 70: 999-1004, 1978a.
- EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Wheat canopy temperature: Relation to water potential. Agronomy Journal, Madison, 70: 251-6, 1978b.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agricultural. Soil taxonomy; a basic system of soil classification to making and interpreting soil surveys. "Washington, USDA, 1979. 754P. (Agriculture handbook, 436).
- FOLEGATTI, M.V. Desenvolvimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) submetido a diferentes lâminas médias de

- água através da irrigação por sulco. Piracicaba, 1985. 99p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; KERR, J.P.; TANNER, C.B. Effect of viewing angle on canopy temperature measurements with infrared thermometers. Agronomy Journal, Madison, 59: 494-96, 1967.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; WATTS, D.G. Plant and air temperatures in differentially irrigated corn. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 25: 207-17, 1981a.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; GARRITYY, D.P.; WATTS, D.G. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. Irrigation Science, Heidelberg, 2: 213-24, 1981b.
- GATES, D.M. Leaf temperature and transpiration. Agronomy Journal, Madison, 56: 273-7, 1964.
- GATES, D.M. Sensing biological environments with a portable radiation thermometer. Applied Optics, New York, 7: 1803-9, 1968.
- GEISER, K.M.; SLACK, D.C.; ALLRED, E.R.; STANGE, K.W. Irrigation scheduling using crop canopy-air temperature

Difference. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25: 689-94, 1982.

HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. Soil Science Society of American Journal, Madison, 40: 426-9, 1976.

HATFIELD, J.L. Canopy temperatures: the usefulness of remote measurements. Agronomy Journal, Madison, 71: 889-92, 1979.

HATFIELD, J.L. The utilization of thermal infrared radiation measurements from grain sorghum crops as a method of assessing their irrigation requirements. Irrigation Science. Heidelberg, 3: 259-68, 1983.

HEERMANN, D.F. DUKE, H.R. Evaluation of crop water stress under limited irrigation. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, paper no 78-2556, 1-12, 1978.

HEILMAN, J.L.; KANEMASU, E.T.; ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L. Thermal scanner measurement of canopy temperatures to estimate evapotranspiration. Remote Sensing of Environment, New York, 5: 137-45, 1976.

HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E.; MOORE, D.G. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. Agronomy Journal, Madison, 73: 403-6, 1981.

HILER, E.A. CLARK, R.N. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 14: 757-61, 1971.

HILER, E.A.; HOWELL, T.A.; LEWIS, R.B.; BOOS, R.P. Irrigation timing by the stress day index method. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 17: 393-8, 1974.

HIPPS, L.E. A theoretically-based normalization of environmental effects on foliage temperature. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 35: 113-122, 1985.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. Annual Review of Plant Physiology, Stanford, 24: 519-70, 1973.

IDSO, S.B. BAKER, D.G. Relative importance of reradiation, convection and transpiration in heat transfer from plants. Plant Physiology, Lawrence, 42: 631-40, 1967.

IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Remote sensing of crop yields. Science, Washington, 196: 19-25, 1977.

- IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; REICOSKY, D.C.; HATFIELD, J.L.
 Determining soil-induced plant water potential depressions in alfafa by means of infrared thermometry. Agronomy Journal, Madison, 73: 826-30, 1981a.
- IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; JACKSON, R.D.; PINTER JUNIOR, P.J. Foliage and air temperatures: Evidence for a dynamic "equivalence point". Agricultural Meteorology, Amsterdam, 24: 223-6, 1981b.
- INSTITUTO AGRONOMICO DE CAMPINAS. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, 1985. 107p. (Boletim técnico, 100).
- JACKSON, R.D. Canopy Temperature and Crop Water Stress. In: HILLEL, D., ed. Advances in Irrigation. New York, Academic Press, 1982. v. 1, p. 43-85.
- JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Wheat Canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. Water Resources Research, Washington, 13: 651-6, 1977.
- JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; PINTER JUNIOR, P.J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resource Research, Washington, 17: 1133-8, 1981.

KANEMASU, E.T., ed. Measurement of stomatal aperture and diffusive resistance. Pullman, Washington State University, 1975. 39p. (Bulletin, 809).

KEENER, M.E. KIRCHER, P.L. The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 28: 339-49, 1983.

KHERA, K.L. SANDHU, B.S. Canopy temperature of sugarcane as influenced by irrigation regime. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 37: 245-58, 1986.

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia. Relações solo-planta. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1979. 263p.

LEMONS, R.C. SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2a. ed. Campinas, SBCS e SNLCS, 1982. 45p.

LINACRE, E.T. A note on a feature of leaf and air temperatures. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 1: 66-72, 1964.

LINACRE, E.T. Further notes on a feature of leaf and air temperature. Theoretical and Applied climatology, New York, Ser. B. 15: 422-6, 1967.

- LINACRE, E.T. Estimating the net-radiation flux. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 5: 49-63, 1968.
- LONGNECKER, D.E. LYERLY, P.J. Moisture content of cotton leaves and petioles as related to environmental moisture stress. Agronomy Journal, Madison, 61: 687-90, 1969.
- LORENZ, D. Temperature measurements of natural surfaces using infrared radiometers. Applied Optics, New York, 7: 1705-10, 1968.
- MILLAR, A.A. CHOUDHURY, E.N. A model to define operation irrigation frequency for maximum yield of crop. Turrialba, San. José, 30 (4): 391-8, 1980.
- MILLARD, J.P.; JACKSON, R.D.; GOETTELMAN, R.C.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Crop water-stress assessment using an airborne thermal scanner. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 44: 77-85, 1978.
- MILLER, E.C. SAUNDERS, A.R. Some observations on the temperature of the leaves of crop plants. Journal of Agricultural Research, Washington, 26: 15-43, 1923.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, 19., Swansea, 1965, p. 205-34.

- MONTEITH, J.L. Principles of environmental physics. New York, American Elsevier. 1973. 243p.
- MONTEITH, J.L. SZEICZ, G. Radiative temperature in the heat balance of natural surfaces. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Londres. 88: 496-507, 1962.
- MORESHET, S.; COHEN, Y.; FUCHS, M. Response of mature shamouti orange trees to irrigation of different soil volumes at similar levels of available water. Irrigation Science, Heidelberg, 3: 223-36, 1983.
- NEIHMEYER, V.J. HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soil. Soil Science, Baltimore, 68: 75-94, 1949.
- OKUYAMA, T. Measurements of active surface temperature of rice plant grown in a small model of the paddy field using an infrared thermometer. Journal of Agricultural Meteorology, Tokio, 30: 191-94, 1975.
- OOSTERHUIS, D.M. WALKEL, S. Stomatal resistance measurement as an indicator of water deficit stress in wheat and soybeans. South African Journal Plant Soil, Tydskr, 4 (3): 113-20, 1987.

- PASQUILL, P. Eddy diffusion of water vapor and heat near the ground. Proceedings of the Royal Society, London, 198: 116-40, 1949.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society, London, Série A, 193: 120-45, 1948.
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. Carta de solos do município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, ESALQ/USP. Piracicaba, SP, 1966. 85p.
- RUSSEL, G. Crop evaporation, surface resistance and soil water status. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 21: 213-26, 1980.
- SAHA, S. K.; GOPALAN, A.K.S.; KAMAT, D.S. Relations between remotely sensed canopy temperature, crop water stress, air vapour pressure deficit and evapotranspiration in chickpea. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 38: 17-26, 1986.
- SANDHU, B.S. HORTON, M.L. Temperature response of oats to water stress in the field. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 19: 329-36, 1978.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. Science, Washington, 148: 339-46, 1965.

- SIVAKUMAR, M.V.K. Canopy-air temperature differentials, water use and yield of chickpea in a semi-arid environment. Irrigation Science, Heidelberg, 7: 149-58, 1986.
- SMITH, R.C.G.; BARRS, H.D.; STEINER, J.L. Alternative models for predicting the foliage-air temperature difference of well irrigated wheat under variable meteorological conditions. I Derivation of Parameters. II Accuracy of Predictions. Irrigation Science, Heidelberg, 7: 225-36, 1986.
- STEGMAN, E.C.; SCHIELE, L.H.; BAUER, A. Plant water stress criteria for irrigation scheduling. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 19: 850-5, 1976.
- STEVENSON, K.R. SHAW, R.H. Effects of leaf orientation on leaf resistance to water vapor diffusion in soybean (*Glycine max* L. Merr) leaves. Agronomy Journal, Madison, 63: 327-29, 1971.
- SUMAYAO, C.R.; KANEMASU, E.T.; BRAKKE, T.W. Using leaf temperature to assess evapotranspiration and advection. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 22: 153-66, 1980.
- SZEICZ, G.; ENRODI, G.; TAJCHMAN, S. Aerodynamic and surface factors in evaporation. Water Resource Research, Washington, 5: 380-94, 1969.

- SZEICZ, G. LONG, I.F. Surface resistance of crop canopies. Water Resource Research, Washington, 5: 622-33, 1969.
- TANNER, C.B. Plant temperatures. Agronomy Journal, Madison, 55: 210-1, 1963.
- THOM, A.S. OLIVER, H.R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Londres, 103: 345-57, 1977.
- THORNTHWAITE, C.W. MATHER, J.R. The water balance. Centerton, New Jersey. Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, Elmer, 8: 104p, 1955.
- TUBAILEH, A.S.; SAMMIS, T.W.; LUGG, D.G. Utilization of thermal infrared thermometry for detection of water stress in spring barley. Agricultural water Management, Amsterdam, 12: 75-85, 1986.
- VAN BAVEL, C.H.M. EHRLER, W.L. Water loss from a sorghum field and stomatal control. Agronomy Journal, MADISON, 60: 84-6, 1968.
- WAGGONER, P.E. SHAW, R.H. Temperature of potato and tomato leaves. Plant Physiology, Lawrence, 27: 710-24, 1952.

- WALLACE, R.H. CLUM, H.H. Leaf temperatures. American Journal of Botany, Columbus, 25: 83-97, 1938.
- WANJURA, D.F.; KELLY, C.A.; WENDT, C.W.; HATFIELD, J.L. Canopy temperature and water stress of cotton crops with complete and partial ground cover. Irrigation Science, Heidelberg, 5: 37-46, 1984.
- WATSON, A.N. Further studies on the relation between thermal emissivity and plant temperatures. American Journal of Botany, Columbus, 21: 605-9, 1934.
- WIEGAND, C.L. NANKEN, L.N. Influences of plant moisture stress, solar radiation e air temperature on cotton leaf temperature. Agronomy Journal, Madison, 58: 552-6, 1966.