

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE  
PIMENTÃO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**SIDNEI OSMAR JADOSKI**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Irrigação e Drenagem

BOTUCATU - SP  
Julho - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE  
PIMENTÃO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**SIDNEI OSMAR JADOSKI**  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Orientador: Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU - SP  
Julho - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: ALTERAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE PIMENTÃO  
SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**ALUNO: SIDNEI OSMAR JADOSKI**

**ORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO EVALDO KLAR**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

---

PROF. DR. ANTÔNIO EVALDO KLAR

---

PROFA. DRA. GIUSEPPINA PACE P. LIMA

---

PROF. DR. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

---

PROF. DR. REIMAR CARLESSO

---

PROF. DR. REGINALDO FERREIRA SANTOS

Data da Realização: 05 de julho de 2002.

‘À minha Esposa **“Rudi”**, pela coragem de abdicar, pela doação, pelo carinho dedicado em todos os momentos ... “que nosso caminho continue sendo sempre iluminado”,

À nossos filhos **“Guilherme e Arthur”** o maior presente que a vida poderia nos dar,’

## **OFEREÇO**

A meus pais *Orlei e Ilza*,  
que nos deram a vida e continuam nos demonstrando exemplos de coragem para enfrentar os bons e maus momentos,

A meu irmão *Cleber*,  
hoje um jovem com seus ideais, amanhã, com certeza um grande vencedor.

A nossos familiares ‘Jadoski e Stasiak’, que embora distantes, torcem muito por nós,

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar, mais que orientador, um exemplo, pela dedicada orientação, apoio, compreensão e distinta amizade ao longo do curso.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro à esta pesquisa.

Ao corpo docente da UNESP pela contribuição em nossa formação.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP, pela disponibilização de infra-estrutura, instrumental e laboratórios para a realização desta pesquisa.

Ao Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências/UNESP, pela disponibilização de instrumental, produtos químicos e laboratórios para a realização desta pesquisa.

À Prof. Dra. Giuseppina Pace Pereira Lima pelas orientações prestadas junto ao estudo da enzima Peroxidase e pelo apoio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural Gilberto Winckler, Pedro Alves, Adão G. de Souza e Luis Lino Sobrinho (*In memoriam*), pelas dedicadas colaborações prestadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho e pela amizade.

À funcionária do Departamento de Química e Bioquímica Vânia Ap. Oliveira, e à bolsista aperfeiçoamento (FAPESP) Sueli M<sup>a</sup> B. B. Barreiro pela prestatividade e colaboração nos trabalhos de laboratório e pela amizade.

À todos os colegas de Pós-graduação, pela valiosa troca de conhecimentos e insuperáveis laços de amizade, que nossos ideais se solidifiquem a cada barreira a ser vencida.

Aos membros da Comissão Examinadora deste trabalho, por aceitarem a tarefa e pelas valiosas contribuições.

**À Deus.**

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>3</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2 - REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
2.1 – Considerações sobre o estresse por deficiência hídrica.....	7
2.2 – Relações morfo-fisiológicas em plantas sob estresse hídrico.....	14
2.3 – Considerações gerais sobre a cultura do pimentão.....	23
2.4 – Relações hídricas e fertirrigação para a cultura do pimentão em cultivo protegido .....	25
2.5 – O uso de cobertura sobre o solo (mulching).....	30
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1 - Localização e caracterização da área experimental .....	34
3.2 – Condições gerais de cultivo .....	34
3.2.1 – Solo .....	34
3.2.2 – Cultivo protegido – estufa .....	36
3.2.3 – Cultivar utilizado e produção das mudas.....	36
3.2.4 – Preparo da área experimental .....	37
3.2.5 – Unidades experimentais e transplante das mudas .....	38
3.3 – Experimentos conduzidos.....	39
3.4 – Tratos culturais .....	40
3.4.1 – Adubação de cobertura .....	40
3.4.2 – Condução e tutoramento das plantas.....	41

3.5 – Monitoramento das condições ambientais.....	42
3.6 – Manejo da irrigação.....	42
3.7 – Avaliações realizadas de características morfo-fisiológicas das plantas.....	46
<b>3.7.1 – Morfologia das plantas.....</b>	<b>46</b>
3.7.2 – Produção de frutos .....	47
3.7.3 – Características fisiológicas e Bioquímicas .....	47
3.8 - Análise dos dados experimentais .....	47
<b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1 - Condições climáticas no interior da estufa .....	51
4.2 – Consumo de água durante o Experimento	
I.....	53
4.3 – Variações da umidade do solo durante o período do Experimento	
II.....	59
4.4 – Produção.....	61
4.5 – Morfologia das plantas .....	69
4.6 - Características fisiológicas e bioquímicas .....	78
4.6.1 – Variação diária de algumas características fisiológicas .....	78
4.6.2 – Comportamento das características fisiológicas das plantas ao longo do período de realização do Experimento II.....	81
4.6.3 – Atividade de peroxidase e Proteína solúvel total .....	93
<b>5 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>105</b>
<b>6 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>107</b>
<b>7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>125</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Resultados da análise química do solo da área experimental.....	35
2 Características físicas do solo da área experimental.....	35
3 Dados médios de cinco repetições utilizados para o ajuste das curvas de calibração da sonda de nêutrons em duas profundidades no solo da área experimental.....	43
4 Padrões utilizados para a classificação dos frutos de pimentão através da separação por dimensões, conforme Secretaria da agricultura e Abastecimento – SP (1998).....	47
5 Turno médio de irrigação, quantidade de irrigações realizadas e lâmina de água aplicada para os tratamentos durante o desenvolvimento do experimento I.	55
6 Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de água extraída do solo durante o desenvolvimento do experimento I.....	56
7 Estatística dos resultados de produção durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.....	62
8 Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para a produção durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.....	63
9 Estatística e classificação dos frutos do pimentão quanto ao formato (comprimento e diâmetro), para as produções verificadas nos Experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.....	65
10 Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de incremento relativo (%) na produção ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) verificados no Experimento II, em relação aos resultados do Experimento I.....	66

11	Valores médios e análise de variância para o índice de área foliar (IAF) apresentado pelas plantas dos diferentes tratamentos nos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.....	69
12	Valores médios e análise de variância do número médio de internódios nas plantas de pimentão submetidas a diferentes manejos da irrigação e cobertura do solo.....	75
13	Análise de variância para a altura de plantas, observados nos diferentes tratamentos do Experimento I (manejo da irrigação e cobertura do solo).....	75
14	Valores médios e análise de variância para os resultados de potencial de água na folha, teor relativo de água na folha, transpiração e resistência à difusão de vapor na folha durante o experimento II, (169 a 230 DAT).....	82
15	Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para o potencial de água na folha, teor relativo de água na folha, transpiração e resistência à difusão de vapor na folha durante o experimento II, (169 a 230 DAT).....	83
16	Coefficientes de correlação ( <i>Pearson</i> ) resultantes da análise de correlação entre as características fisiológicas avaliadas no experimento II – 169 a 230 DAT.....	87
17	Valores médios e análise de variância para os valores de atividade de peroxidase (POD) e proteína solúvel total (PST) apresentado pelas plantas durante o Experimento II – (169 a 230 DAT).....	94
18	Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de Atividade de Peroxidase e Proteína Solúvel Total durante o experimento II, (169 a 230 DAT).....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Croqui da área experimental demonstrando esquema de distribuição das linhas de plantas sobre a área útil e bordaduras no experimento.....	38
2 Curva característica de retenção de água no solo ajustada para a camada de 0 – 40 cm de profundidade, conforme modelo proposto por Van Genuchten (1980).....	45
3 Variações das temperaturas mínimas, máximas e médias no interior da estufa durante o período de 29/12/1999 a 04/08/2000.....	51
4 Umidades relativas máximas, mínimas e médias no interior da estufa durante o período de condução do experimento.....	52
5 Variações da umidade gravimétrica do solo nos diferentes tratamentos durante o período realização do experimento I (29 a 168 DAT).....	54
6 Lâmina total de água extraída do solo nos diferentes tratamentos durante o período do experimento I (29 até 168 DAT).....	57
7 Variação da umidade do solo na camada de zero a 40cm de profundidade, durante o período de desenvolvimento do experimento II, 169 a 230 DAT.....	60
8 Componentes da produção e produção total acumulada ao longo da fase produtiva do pimentão (119 a 230 DAT), durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.....	64
9 Uso consuntivo da água - UCA ( <i>Relação entre Lâmina de água aplicada ao solo (L) e produção de frutos de pimentão (kg)</i> ) nos diferentes tratamentos, para a produção do Experimento I e produção total – somatório dos Experimentos I e II.....	68
10 Comportamento do índice de área foliar (IAF) apresentado pelas plantas de pimentão cultivadas em diferentes tratamentos de irrigação e cobertura do solo.....	70

11	Variações no crescimento em altura apresentado pelas plantas de pimentão cultivadas em diferentes tratamentos de irrigação e cobertura do solo .....	76
12	Comportamento e resultados da análise de variância da massa seca estrutural ( <i>parte aérea, exceto folhas</i> ) das plantas de pimentão para os diferentes manejos da irrigação e cobertura do solo.....	77
13	Variações da temperatura e radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) no interior da estufa, e da Transpiração, Resistência à difusão, Teor relativo de água na folha e Potencial de água nas folhas das plantas de pimentão ao longo do dia 13/03/2000, (76 DAT), em condições atmosféricas de céu claro.....	79
14	Variações da resistência à difusão do vapor de água nas folhas das plantas de pimentão em função da redução do conteúdo de água no solo.....	85
15	Variações da resistência à difusão do vapor de água nas folhas das plantas de pimentão em função da redução do conteúdo de água no solo.....	86
16	Correlação entre $\Psi_f$ e $R_d$ nas folhas das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	87
17	Correlação entre $\Psi_f$ e $C_e$ nas folhas das plantas de pimentão durante o período suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	88
18	Variações do teor relativo de água) na folha (TRA em função do conteúdo de água do solo <b>(18a)</b> e Correlação entre TRA e potencial de água <b>(18b)</b> nas folhas do pimentão ao longo do Experimento II (169 a 230 DAT ).....	89
19	Correlação entre Resistência à difusão ( $R_d$ ) e Teor Relativo de Água na Folha (TRA) das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	90
20	Variações da transpiração nas plantas em função da redução do conteúdo de água do solo <b>(20a)</b> ; Correlações entre Transpiração e Resistência a difusão de vapor d'água <b>(20b)</b> ; Teor Relativo de água na folha <b>(20c)</b> e, Potencial de água na folha <b>(20d)</b> das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	91

21	Atividade da enzima peroxidase nas plantas de pimentão durante o período de desenvolvimento do Experimento II (169 a 230 DAT).....	96
22	Variações da atividade da enzima peroxidase (POD) em função da redução do conteúdo de água no solo durante o período de desenvolvimento do Experimento II (169 a 230 DAT).....	97
23	Correlação entre atividade de peroxidase (POD) e Rd ( <b>23a</b> ) e entre POD e transpiração ( <b>23b</b> ) nas plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	101
24	Variações dos teores de proteína solúvel total (PST) em função da redução do conteúdo de água no solo durante o período suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).....	102

**LISTA DE APÊNDICE**

Apêndice	Página
1 Variações da temperatura e umidade relativa do ar registradas no interior da estufa cultivada com pimentão, durante o dia 13/03/2000, em condições atmosféricas de céu claro.....	126

## **RESUMO**

Este trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 1999-2000, em casa de vegetação, no departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, campus de Botucatu, SP. Tendo como objetivo principal estudar o efeito de diferentes manejos da água de irrigação sobre características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas de pimentão. Utilizou-se a cultivar de pimentão híbrido Elisa, por um período de 230 dias após o transplante das mudas (DAT). O trabalho foi composto por dois experimentos: I) aplicação dos manejos da irrigação a 50 kPa e 1500 kPa, com e sem a presença de cobertura de polietileno preto sobre a superfície do solo, para o período de 29 a 168 DAT. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições, e II) aplicação de deficiência hídrica severa no solo, através da suspensão das irrigações e retirada da cobertura de polietileno do solo, no período de 169 a 230 DAT. Concluiu-se que a utilização da cobertura de polietileno preto reduziu as perdas de água por evaporação direta através da superfície do solo, entretanto, sua influência foi reduzida na medida em que diminuiu o conteúdo de água do solo. A cultura apresentou a maior produção com o manejo da irrigação a 50 kPa, independente da utilização de cobertura sobre o solo. O manejo da irrigação a 1500 kPa, afetou a qualidade da produção através da diminuição das dimensões e do peso dos frutos. Esse manejo da irrigação sem a utilização de cobertura sobre

o solo reduziu significativamente a produção e as plantas apresentaram menor altura e menor índice de área foliar, em relação ao manejo a 50 kPa. No experimento II a aplicação do déficit hídrico ocasionou elevada senescência e abscisão de folhas das plantas, sendo mais rápida e intensamente afetadas as plantas cultivadas com manejo da irrigação a 50 kPa e presença de cobertura sobre o solo no Experimento I. Verificou-se que as plantas submetidas ao manejo da irrigação a 1500 kPa, desenvolveram características de resistência ao déficit hídrico (endurecimento). Observou-se que o endurecimento das plantas aumentou o controle das perdas de água para a atmosfera através do menor desenvolvimento vegetativo, maior regulação estomática e aumento da resistência à difusão do vapor de água na folha. Este comportamento foi mais evidente nas plantas cultivadas sem a presença de cobertura de polietileno sobre o solo no experimento I. Através dos resultados do Experimento II verificou-se que as plantas cultivadas com o manejo da irrigação a 50 kPa e presença da cobertura sobre o solo durante o Experimento I apresentaram alta sensibilidade ao déficit hídrico. O aumento do estresse hídrico desencadeou redução dos teores de proteína solúvel total e aumento da atividade da enzima peroxidase que demonstrou estar relacionada com o nível de estresse experimentado pelas plantas. A atividade da enzima peroxidase constituiu-se numa avaliação eficiente para diferenciar a capacidade de resistência à deficiência hídrica em plantas de pimentão.

**MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ALTERATIONS IN SWEET PEPPER PLANTS UNDER DROUGHT STRESS CONDITIONS.** Botucatu, 2002. 126p. Thesis (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

**Author: SIDNEI OSMAR JADOSKI**

**Adviser: ANTÔNIO EVALDO KLAR**

## **SUMMARY**

This work was developed in the agricultural year of 1999-2000 in the Rural Engineering Department of *Faculdade de Ciências Agronômicas* – UNESP at Botucatu campus, São Paulo. The main objective was to evaluate the influence of different irrigation water management in the behavior of morphological, physiological and biochemical characteristics of sweet pepper plants. The cultivation of Elisa hybrid sweet pepper was developed during a period of 230 days after the transplant of the seedlings (DAT). The work was divided into two experiments: i) application of the irrigation water management at 50 kPa and 1500 kPa with and without the presence of black polyethylene covering over the soil, between 29 and 168 DAT. The randomized experimental design was used with six replications, and ii) severe water deficit in the soil through the suspension of the irrigations and the removing of the black polyethylene covering over the soil (169 to 230 DAT). It was concluded that the use of the black polyethylene reduced the losses of water by direct evaporation through the surface of the soil; however, its influence was reduced with the decrease of the amount of water in the soil. The culture presented the largest production with the irrigation at 50 kPa independent of the utilization of soil covering. The irrigation management at 1500 kPa affected the quality of the production in that it reduced the dimensions and the weight of the fruits. The use of this kind of irrigation management with no

soil covering reduced the production drastically, and the plants presented less height and leaf area index in relation to the irrigation at 50 kPa. In the Experiment II the application of the water deficit caused both high senescence and abscission of the leaves of the plants. In this period it was verified that the plants that were submitted to the irrigation management at 1500 kPa in the experiment I, developed characteristics of resistance to the water deficit (hardening). The hardening of plants increased the control of the water losses for the atmosphere through smaller vegetative development, larger stomatic regulation, and increased the resistance to the diffusion of the water vapour on the leaf. This behaviour was more evident in the plants cultivated without the presence of black polyethylene covering over the soil in the Experiment I. It was verified high sensibility to the water deficit in the plants cultivated with the irrigation management at 50 kPa and the presence of the covering over the soil. The increase of the drought stress lead to both a reduction of the total soluble protein tenors and to an increase in the activity of the peroxidase enzyme, which demonstrated to be related to the level of stress experienced by the plants. The activity of the peroxidase enzyme constituted an efficient way to evaluate the capacity of resistance to a water deficit sweet pepper plants have.

---

Keywords: pepper, soil covered, irrigation water management, drought stress, peroxidase.

## 1. INTRODUÇÃO

A progressiva expansão da população mundial, exige uma dinâmica evolução da agricultura, para suprir o aumento gerado no consumo de alimentos. A seleção e melhoramento de plantas e o aprimoramento das técnicas de produção, são as alternativas mais usualmente empregadas, visando a geração de novos impulsos para o setor agrícola. A evolução da plasticultura e suas aplicações no meio agrícola, o manejo mais adequado das variáveis climáticas e da irrigação, associados aos crescentes estudos sobre a fisiologia e as respostas das plantas às condições de cultivo, fazem parte deste contexto.

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma cultura em expansão nas áreas de produção, sendo uma das olerícolas mais consumidas no Brasil. Melo (1997) salienta que a cultura destaca-se por apresentar boa adaptação ao cultivo protegido. Entretanto, Batal & Smitle (1981) destacam alta sensibilidade da cultura às variações na disponibilidade de água no solo, que segundo Sganzerla (1995), se agrava em cultivo protegido pela alta demanda evaporativa. Contudo, Buriol et al. (1996), associam o uso de cobertura de polietileno sobre a superfície do solo às reduções na evaporação direta da água do solo para a atmosfera, e a um melhor aproveitamento da água disponível pelas plantas.

Embora a água seja o componente mais abundante na natureza, é o fator limitante mais comum para o desenvolvimento das plantas, sendo a deficiência hídrica um dos fatores abióticos que mais afetam a estabilidade produtiva das culturas.

Mesmo não exteriorizando sintomas, as plantas podem estar desenvolvendo alterações metabólicas relacionadas com a inadequada disponibilidade de água no solo. Desta forma, avaliações do nível de tolerância das plantas à deficiência hídrica, baseadas em índices de rendimento ou produção de biomassa, podem não representar o estado fisiológico das plantas em tais condições, reduzindo a precisão das conclusões.

Um aspecto importante com relação ao comportamento das plantas em condições de deficiência hídrica, é a adaptação que estas podem desenvolver para suportar tais condições com menores índices de estresse. Porém, existem grandes dificuldades e escassez de mecanismos capazes de indicar alterações no nível de estresse em vegetais. Neste sentido, resultados de pesquisa têm revelado que as peroxidases são enzimas relacionadas com mecanismos de defesa à doenças, bem como à respostas ao estresse. Conforme Lima (1994), em geral lesões, resfriamento, seca, radiações, salinidade, aumentam a atividade de peroxidase, sendo que em condições de estresse, avaliações da atividade da enzima podem indicar alterações bioquímicas e no comportamento fisiológico das plantas.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes manejos da água de irrigação sobre características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas de pimentão.

Os objetivos complementares do trabalho foram: i) avaliar o efeito da utilização de cobertura de polietileno preto na superfície do solo sobre as alterações no conteúdo de água do solo; ii) estudar os efeitos da disponibilidade de água no solo sobre a produção e qualidade dos frutos de pimentão; iii) identificar os horários mais apropriados do dia para a realização de avaliações fisiológicas correlacionadas com alterações nas relações hídricas das plantas, e, iv) avaliar a possibilidade de utilização da atividade da enzima Peroxidase (EC 1.11.1.7) como parâmetro para diferenciar a capacidade de resistência ao déficit hídrico em plantas de pimentão.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Considerações sobre o estresse por deficiência hídrica em plantas**

Estresse em plantas é uma situação fisiológica induzida quando ocorre intensa ou constante variação do meio ambiente, alterando o padrão fisiológico e adaptativo normal da planta (Cordeiro & Sá, 1999). Durante períodos de deficiência hídrica, muitas mudanças ocorrem na planta. Estas mudanças dependem da severidade e da duração do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e da natureza do estresse. A maioria destas modificações visa manter o desenvolvimento e a reprodução da planta em ambiente com limitações na disponibilidade de água (Kramer & Boyer, 1995).

Em agricultura o termo “seca” é amplamente utilizado para indicar a ocorrência de condições de deficiência hídrica no solo, na atmosfera, na planta, ou de forma geral envolvendo ambos (Pandey et al., 1984).

Estresses abióticos como a seca, podem reduzir significativamente os rendimentos das lavouras e restringir as latitudes e os solos onde as espécies podem ser cultivadas. As implicações são enormes uma vez que não somente produtores, mas toda a sociedade é afetada. Desemprego, aumento no preço dos alimentos e instabilidade no mercado financeiro são somente algumas das conseqüências. O desenvolvimento de cultivares mais

tolerantes a períodos de deficiência hídrica, bem como de tecnologias que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de estiagem, serão essenciais na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial em níveis que possam alimentar uma população em constante crescimento (Nepomuceno et al. 2001).

Para os autores, a tolerância à seca é uma característica onde mecanismos trabalham isoladamente ou em conjunto para evitar, ou tolerar períodos de deficiência hídrica. Uma resposta fisiológica específica a este fator representa, na realidade, a combinação de eventos moleculares prévios, que foram ativados pela percepção do sinal de estresse.

Os mecanismos de resistência à seca podem ser de três tipos: i) evitar, ii) tolerar e iii) escapar da seca (Levitt, 1972). “Evitar” a seca ocorre quando o ‘status’ de água é mantido em potenciais elevados, mesmo em presença de ambientes secos. As plantas evitam a seca através do fechamento dos estômatos, aprofundando o sistema radicular para extração de água, diminuindo o tamanho das células, espessando as paredes celulares, aumentando a cerosidade da cutícula, dentre outros, para a manutenção de suas funções fisiológicas. “Tolerar” a seca acontece quando as funções das plantas são mantidas em equilíbrio durante um déficit hídrico interno elevado, com baixos potenciais de água. “Escapar” da seca ocorre quando a planta completa seu ciclo antes do advento da seca, ou seja, o seu ciclo ocorre nos períodos hídricos favoráveis do ano.

Do ponto de vista prático é muito difícil a imposição de estresse de seca de forma controlada, e reproduzível às grandes populações de plantas normalmente usadas em programas de melhoramento. Melhoristas de plantas têm tentado selecionar plantas com tolerância à seca a partir de grandes populações, entretanto, altos rendimentos e resistência à doenças tem sido alvos finais das análises, sendo que monitoramentos abrangentes do crescimento e de parâmetros fisiológicos raramente têm sido usados para avaliar o desempenho de plantas em ambientes com deficiência hídrica (Nepomuceno et al. 2000).

Conforme salientam McCree e Fernandez (1989), um enfoque reducionista terá sucesso limitado, porque um balanço ótimo da conservação de água e a absorção de carbono são alcançados, não pela variação de uma única resposta, mas pela combinação de diversas respostas diferentes à um nível que equivale à severidade e à duração da deficiência hídrica.

As modificações induzidas pela deficiência hídrica promovem tolerância da célula à desidratação, funções de proteção no citoplasma, alterações no potencial osmótico celular para aumentar a absorção de água, controle da acumulação de íons, regulação adicional de expressão gênica, metabolização de compostos degradados produzidos pelo estresse, entre outras (Bray, 1997). Para Marur et al. (1994) os tecidos vegetais mostram diversas alterações das vias metabólicas em resposta ao déficit hídrico, sendo que estas se apresentam de forma geral na forma de perturbações nas vias metabólicas e alterações das vias enzimáticas e dos padrões protéicos.

Alterações na bioquímica celular têm sido amplamente reportadas como sinais de estresse hídrico nas plantas. A acumulação de prolina é uma das mais bem estudadas respostas das plantas à deficiência hídrica. A enzima Pirrolina-5-carboxilato Redutase (P5CR), responsável pela transformação da Pirrolina-5-carboxilato (P5C) em prolina, tem sua expressão regulada por mudanças no potencial osmótico do citoplasma, onde um aumento do potencial osmótico da célula, leva ao aumento da P5C e, conseqüentemente, na síntese de prolina (Williamson et al., 1992). Entretanto, enquanto vários trabalhos indicam correlação entre acúmulo de prolina e aumento da tolerância à seca, outros sugerem que este acúmulo é um simples efeito do estresse (Madan et al., 1995).

O déficit hídrico em plantas inicia um complexo de respostas, começando com a percepção do estresse, o qual desencadeia uma cascata de eventos moleculares que é finalizada em vários níveis de respostas fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento (Bray, 1993). Para o autor, o Ácido Abscísico (ABA) é indutor de vários

genes que são também induzidos pela deficiência hídrica, este motivo leva a que este regulador vegetal seja considerado por muitos autores, como um segundo mensageiro na mediação entre o sinal ambiental indutivo e a resposta fisiológica das plantas. Larcher (1995) salienta vários trabalhos de pesquisa com a indicação comum, de que genes induzidos pela deficiência hídrica são ativados por duas rotas de percepção e transmissão do sinal de estresse, sendo uma delas ABA dependente.

Os modelos de percepção do estresse, sendo estabelecidos para os vegetais superiores, mostram que a mudança no volume das células individuais de uma raiz ou órgão submetido à desidratação altera o potencial de pressão e o potencial osmótico das células, provocando alterações na membrana celular e em vários de seus componentes. Alterações na conformação da membrana celular promove mudanças em canais de transporte ativados por pressão, modifica a conformação ou a justaposição de proteínas embebidas nas membranas celulares, e ocasiona alterações na continuidade entre a parede e a membrana celular. Estas alterações ativam complexos enzimáticos que iniciam uma série de eventos, os quais podem levar a indução de diferentes categorias de modificações no comportamento morfológico (Hare et al., 1996) e fisiológico das plantas (Glenn et al., 2000; Boyer, 1995).

Dentre as alterações na fisiologia, pode-se salientar que as variações no potencial osmótico compõem parte das mais bem documentadas respostas fisiológicas das plantas ao déficit hídrico. Durante a seca, plantas superiores acumulam ativamente açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol para diminuir o potencial osmótico, mantendo assim o potencial hídrico e o turgor celular próximo do nível ótimo (Bray, 1993).

Entretanto para Jamaux et al. (1997), a capacidade de aumentar a tolerância à seca ocasionada pelo ajuste osmótico em algumas espécies, tem sido relacionada com a diminuição do potencial osmótico e com a retenção de água decorrente deste processo. Neste sentido, Hare et al. (1996) salientam que a geração de moléculas que buscam e destroem radicais livres pode, também, ser uma das causas da diminuição do potencial. O estresse

hídrico quebra o equilíbrio oxidativo em várias organelas celulares, como os cloroplastos, sendo que o declínio na funcionalidade destas organelas, leva à geração de espécies com radicais de oxigênio altamente reativos.

A degradação destes radicais livres é em grande parte efetuada pela enzima peroxidase (Siegel, 1993). Para Lima et al. (1999), a atividade desta enzima pode ser interpretada como uma forma de defesa da planta, já que uma de suas atuações já elucidadas é a degradação de  $H_2O_2$ , que em condições metabólicas anormais, estressantes para a planta, atuam degradando as ligações das cadeias carbônicas dos lipídeos das membranas das organelas celulares, que acabam sendo rompidas, colapsando o funcionamento da célula. No caso de danos mecânicos ou ataque de insetos, por exemplo, estas alterações ocorrem geralmente em nível local (Cordeiro & Sá, 2001), contudo, quando se trata de estresse hídrico, as modificações se desencadeiam de forma mais generalizada para todos os órgãos da planta, sendo mais expressivas nas folhas, que são locais de intenso metabolismo na planta (Ingran & Bartels, 1996).

O uso de medidas da atividade enzimática, para avaliar o efeito de situações estressantes sobre o metabolismo no tecido vegetal tem sido reportado (Machado Neto, 1999; Lima et al., 1997; Zhang & Kirkhan, 1994; Upadhyaya et al., 1985). Onde na maioria dos casos, os fatores ambientais causadores de estresse, afetaram a atividade da enzima peroxidase.

Peroxidases são enzimas de ocorrência natural em plantas e suas funções podem ser variadas. São compostas de aproximadamente 25% de carboidratos que as protegem da degradação proteolítica e estabilizam a conformação protéica (Hu & van Huystee, citados por Siegel, 1995). Gaspar et al. (1985) descrevem as peroxidases como izoenzimas associadas a mudanças nos processos fisiológicos de plantas submetidas a estresses.

As formas de atuação da peroxidase nas células estão ainda em estudo. Conforme Kairong et al. (1999) as peroxidases estariam relacionadas ao transporte de hormônios estimulando alterações metabólicas nas células, desempenhando também importante papel na transdução dos sinais de defesa das plantas e induzindo a expressão gênica e a síntese de proteínas.

Sendo uma enzima de ampla distribuição no reino vegetal, a peroxidase (EC 1.11.1.7), atua interagindo direta e indiretamente em vários processos fisiológicos (Gaspar, 1985). De acordo com Andreeva (1989), em condições adversas a planta responde com a elevação imediata na atividade de peroxidase, sendo uma das primeiras enzimas a ser ativada, por isso, em muitos casos é utilizada como um indicador de estresse.

A catalase e a peroxidase são enzimas associadas ao estresse oxidativo, demonstrando importância crucial na remoção do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em plantas, sendo a catalase principalmente associada a remoção do  $H_2O_2$  em peroxissomos. O número de isoformas de peroxidase tem sido bastante estudado, sabe-se que a enzima está envolvida em uma série de processos relacionados ao crescimento e defesa da planta, porém, sua exata função e regulação não estão ainda bem definidas (Srivastava & Dwivedi, 2001).

A identificação das diferentes izoenzimas que compõem o grupo das peroxidases pode representar a chave para o conhecimento das respostas das plantas frente aos fatores ambientais (Chen & Vierling, 2000). De acordo com os autores, as peroxidases apresentam implicações em vários processos fisiológicos, incluindo, dentre outros, o estresse por poluição ambiental e deficiência hídrica.

As peroxidases representam importante papel na tolerância ao estresse. Para Chang & Kao (1998), em muitos casos a alta atividade da enzima em plantas submetidas a estresse, pode indicar a habilidade de certos genótipos em degradar substâncias tóxicas, como radicais livres liberados nestas condições.

Estas enzimas demonstram associação com alterações em diversos processos fisiológicos de plantas, seu incremento ocorre por numerosos processos bióticos e abióticos, onde poderiam ser utilizadas como marcador de estresse incipiente ou como um indicador em plantas injuriadas (Gaspar et al., 1985). Com relação à atuação, Lima et al. (1999) salientam a ocorrência de um envolvimento complexo da peroxidase em vegetais cultivados sob estresse, situação em que estas enzimas tendem a apresentar aumento da atividade na planta. De acordo com os autores, a atividade de peroxidase pode ser um indicador bioquímico em plantas sob estresse, e o aumento de atividade pode ser uma adaptação útil para as plantas.

As peroxidases estão envolvidas na regulação do crescimento e várias teorias têm sido propostas para explicar este mecanismo de ação (Chanda & Sing, 1997). Estão implicadas também em numerosos processos fisiológicos incluindo lignificação (Sato et al., 1993). Pires et al. (2001) tendo observado o aumento da atividade de peroxidase e redução do crescimento radicular do milho tratado com extrato aquoso de leucena, sugerem a participação da enzima na inibição da divisão celular e lignificação das raízes, o que pode indicar que a peroxidase faça parte do mecanismo de ação alelopática da leucena sobre as plantas.

A enzima peroxidase foi determinada em raízes, caules e folhas de plantas de trigo cultivadas em diferentes níveis de salinidade, mostrando aumento de 95% da atividade enzimática na presença de sal, quando comparado ao controle (Converso et al., 1997). Lima et al. (1999), verificaram alterações no metabolismo de poliaminas e na atividade de peroxidase em resposta às condições de salinidade onde plantas de feijão foram cultivadas.

A principal auxina natural Ácido Indol Acético (IAA) pode ser oxidada pela enzima. Baixos níveis de IAA são correlacionados com elevada atividade de peroxidase em tecidos de plantas, demonstrando que a oxidação do IAA pela peroxidase pode regular a concentração de auxina (Gaspar, 1982). Chanda & Singh (1997) concluíram que a

peroxidase pode restringir o alongamento do grão de trigo pela oxidação do IAA, limitando a concentração deste. Cassells et al. (1982) sugerem que uma das formas de atuação das peroxidases está relacionada com a regulação, ou alteração, dos níveis endógenos de auxina, atuando provavelmente em condições onde a concentração de auxina atinge nível muito superior ao encontrado na planta em condições fisiológicas normais.

## **2.2 Relações morfo-fisiologias em plantas sob deficiência hídrica**

O percurso da transferência da água do solo para a atmosfera, através da planta, inclui o transporte da água ao longo das raízes até o caule e através deste até as folhas, a sua evaporação nos espaços intercelulares das folhas, e a difusão do vapor através dos estômatos para a camada de ar externa às folhas (Hillel, 1970). De acordo com Sutcliffe (1980), a principal força motriz deste movimento está localizada fora, e não dentro da planta, embora as forças osmóticas sejam responsáveis pelo acúmulo de água nas células.

Quando a água evapora das células do mesófilo, o potencial de água das células adjacentes à interface líquido-ar torna-se reduzido, o que faz com que a água das fontes de maior potencial distribuídas ao longo das plantas e do solo, se desloque em direção a esta. Como consequência do movimento da água através da planta e do solo ao longo de uma série de resistências, resultam gradientes de potencial, com maiores reduções onde o fluxo e as resistências são maiores. A redução do potencial de água no percurso do fluxo transpiratório determina a saída da água dos tecidos adjacentes aos vasos condutores, e como resultados destas perdas, os déficits de água se desenvolvem nos tecidos dos diferentes órgãos da planta (Begg & Turner, 1976).

Com referência às resistências impostas pelo solo ao movimento de água, várias pesquisas indicam que a resistência ao fluxo de água aumenta exponencialmente com o decréscimo do conteúdo de água, ocasionando, em consequência, alterações nas relações hídricas da planta (Gardner, 1960; Hsiao, 1973; Libardi et al., 1980). De acordo com

Zur et al. (1982), para solos úmidos a resistência total da fase líquida englobando o solo e a resistência da planta, podem ser consideradas iguais, entretanto, com o secamento do solo as resistências totais tornam-se consideravelmente maiores, do que a resistência da planta para valores similares de fluxo transpiratório, sendo os valores aumentados com a evolução do secamento do solo. Indicando aumento nas dificuldades de retirada de água do solo pelas plantas em deficiência hídrica.

Vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados pela baixa disponibilidade de água nos solos, promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos e limitando a perda de água, e, como consequência, a fixação de CO<sub>2</sub> (Bray, 1997). Desta forma o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, pois quando abertos, permitem a assimilação do gás carbônico, e fechando-se, reduzem o risco de desidratação (Taiz & Zeiger, 1998)

À medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra perdas exageradas de água, e eventual morte por dessecação (Glenn et al. 2000). Conforme Subarao et al. (1995), os principais mecanismos de adaptação à falta d'água apresentados pela maioria das espécies vegetais, são o desenvolvimento do sistema radicular, alta condutividade hidráulica na raiz para maximizar a captação de água, controle da abertura estomática e da redução da área foliar, para minimizar as perdas de água.

Estudos com medidas das relações hídricas na planta envolvem fatores dinâmicos, com isso as avaliações devem ser elaboradas e analisadas de forma interativa, relacionando em conjunto o solo, a planta e a atmosfera (Ritchie 1974). Carlesso (1995) enfatiza que o suprimento de água às plantas, é determinado pela habilidade destas em utilizar a água armazenada no solo, enquanto a demanda da atmosfera está relacionada com a combinação dos fatores meteorológicos, em uma interação com o dossel vegetativo da cultura.

Diferentes trabalhos buscam encontrar novas formas para avaliar as modificações sofridas pelas plantas em função da deficiência hídrica. Como Yatapanage & So (2001), que demonstram a eficácia de uma equação para estimar o potencial de água na folha de sorgo em função da variação no diâmetro dos colmos da planta ao longo da ocorrência de deficiência hídrica no solo. Para, Subarao et al. (1995), existe uma tendência nas pesquisas mais recentes, em se substituir avaliações morfológicas e fisiológicas simples por parâmetros considerados mais sofisticados, como acumulação de prolina, glicina-betaína ou discriminação isotópica do carbono e técnicas de biologia molecular, entre outros.

No entanto, Kramer & Boyer (1995), salientam evidências que demonstram grande eficiência nos métodos tidos como mais tradicionais, de avaliação das respostas das plantas à deficiência hídrica no solo. Pimentel e Perez (2000), estudando inúmeras variáveis, concluíram que o índice de área foliar e o potencial de água na folha, foram os melhores indicadores do efeito do estresse hídrico em feijoeiro.

Uma das principais respostas das plantas ao déficit hídrico é o fechamento dos estômatos, e com isto, a diminuição do  $CO_2$  para o mesófilo foliar, o que causa a queda da fotossíntese. Nos últimos anos têm sido realizados diversos trabalhos que evidenciam diferenças varietais na regulação da atividade fotossintética em situação de estresse, fator relevante para a adequação do manejo da irrigação. Isto possibilita que avaliações fisiológicas, como as medidas de trocas gasosas, possam ser utilizadas para avaliar os efeitos da deficiência hídrica em plantas e mesmo discriminar cultivares com relação a sua capacidade de resistência a períodos de deficiência hídrica no solo (Souza et al.,2001).

Um dos primeiros efeitos da deficiência hídrica se reflete sobre o crescimento das plantas. Conforme MacCree & Fernandez (1989), nestas condições as plantas tendem a desenvolver adaptações morfo-fisiológicas visando reduzir o consumo de água. Dentre as principais adaptações estão as reduções no desenvolvimento do dossel vegetativo, aceleração da senescência das folhas e controle do mecanismo estomático.

A tolerância às condições de deficiência hídrica pelas plantas, geralmente inicia com modificações nas taxas de expansão foliar, que se constitui em uma simples medida para reduzir o consumo de água, sendo dependente da severidade e da duração de tais condições (Boyer, 1996). Dentre outros autores, Rosenthal et al. (1987) acrescentam também a sensibilidade da cultura, e Passioura (1983), as características e expansão do sistema radicular.

Referindo-se à regulação hormonal, Gaspar (1982) relata a redução de auxina em folhas de plantas sob estresse. No caso do estresse por deficiência hídrica, como a expansão foliar depende da auxina e da giberelina para desencadear o desenvolvimento do processo de alongamento celular, o crescimento seria inevitavelmente afetado. Larcher (1995) descreve que com o aumento do estresse elevam-se os níveis de etileno na célula, a translocação de auxina é reduzida e desta forma aumentam também os níveis de ácido abscísico, o que resulta em restrições no alongamento celular. Para Begg & Turner (1976), as variações na expansão da folha ocorrem mais por restrições no alongamento celular do que no número de células formadas.

Quanto aos efeitos da disponibilidade de água sobre o desenvolvimento do dossel vegetativo das plantas, Taiz & Zeiger (1998) enfatizam que a limitação na expansão da área foliar pode ser considerada como uma das primeiras reações das plantas em relação à deficiência hídrica, a qual, de acordo com Hsiao (1973), atua diretamente reduzindo o crescimento das plantas pela diminuição da turgescência celular. Para Krudev (1994) este efeito é mais expressivo na fase inicial da expansão celular.

Referindo-se aos efeitos da deficiência hídrica sobre a expansão celular, Neumann (1995) enfatiza que a redução da extensibilidade com o enrijecimento da parede de células de folhas em desenvolvimento, pode representar o mecanismo de ajuste primário ao déficit hídrico. Para Jensen (1981), a mudança na plasticidade das células das

folhas pode estar relacionada ao “endurecimento” da planta que se torna menos sensível ao déficit hídrico.

Com relação ao crescimento em expansão, Ritchie (1981) salienta que este é mais sensível ao déficit hídrico do que são os movimentos estomáticos. Para o autor isto pode, em muitos casos, limitar a utilização prática das medidas da resistência difusiva dos estômatos para avaliar a capacidade de resistência à seca de plantas, já que a planta pode ser irreversivelmente afetada pelo falta de água no solo, antes que estas medidas possam indicar sinais de estresse nas plantas.

A fotossíntese é amplamente comprometida em condições de inadequada disponibilidade hídrica às plantas. Kaiser (1987) salienta que quando a deficiência hídrica é severa e prolongada, a desidratação além de afetar a fotossíntese devido a restrição no fluxo de CO<sub>2</sub>, tem efeitos prejudiciais agindo diretamente sobre o aparelho fotossintético. Conforme Larcher (1995), com a progressão do dessecamento, ocorre a desidratação do protoplasma e a redução da capacidade fotossintética. Este fator de forma geral é refletido sobre o crescimento da planta. Contudo, Schultz & Matthews (1993) salientam que não é apenas a produção de carboidratos que afeta o crescimento, pois em condições de deficiência hídrica ocorrem alterações na síntese e transporte dos reguladores vegetais envolvidos no processo de alongamento e expansão celular.

Em condições de deficiência hídrica a expansão foliar é geralmente prejudicada, contudo, a divisão celular parece ser menos afetada, o que indica que as variações na expansão da folha ocorrem mais por reduções no tamanho do que no número de células formadas (Begg & Turner, 1976). A este respeito, (Neumann, 1995) relata que o coeficiente de extensibilidade de parede é afetado pela deficiência hídrica, causando mudanças na composição da membrana e da parede celular e, conseqüentemente, na sua extensibilidade. Com a redução do transporte de auxina a ativação e síntese de ATPases à nível de parede celular é comprometida, inibindo a acidificação do meio e a atividade das enzimas hidrolíticas,

as quais em condições adequadas ocasionam o aumento da plasticidade, levando ao afrouxamento da parede celular para permitir o alongamento da célula. A ação da giberelina que atua em conjunto com a auxina neste processo, é também prejudicada.

Para este autor, como a turgescência é a reação da tensão de parede, a extensibilidade desta vai controlar o potencial de turgescência e o potencial hídrico celular. Por isto o crescimento é mais dependente da capacidade de extensão da parede que do turgor. Sendo que, provavelmente, o enrijecimento da parede de células de folhas em desenvolvimento, pode representar o mecanismo de ajuste primário ao déficit hídrico.

O processo de abscisão é amplamente discutido na literatura. De acordo com Taiz & Zeiger (1998), plantas dicotiledôneas, como o pimentão, desenvolvem naturalmente a formação de uma camada de abscisão, situada transversalmente na base do pecíolo. Em condições de deficiência hídrica, o aumento do estresse experimentado pela planta é acompanhado por elevações dos níveis de etileno e ácido abscísico, e por reduções dos níveis de auxina. Nestas condições, ocorre o enfraquecimento das ligações da folha com o caule, na região da camada de abscisão, e a folha se desprende da planta com facilidade por uma simples ruptura mecânica.

Existem diferenças entre as espécies quanto à resistência das folhas sobre a planta em condições de estresse hídrico. Kramer & Boyer (1995) ressaltam que a queda prematura de folhas é característica que indica maior sensibilidade das plantas à deficiência hídrica. Conforme Batal & Smittle (1981) este tipo de respostas caracterizam a cultura do pimentão como sensível à deficiência hídrica.

Baixos níveis de IAA na folha são correlacionados por Gaspar (1985), com situações de elevação do nível de estresse experimentado pela planta, onde inclusive enzimas como as peroxidases, contribuem para a regulação do IAA, numa tentativa de manter a integridade das membranas celulares e da parede primária, pela ação do  $H_2O_2$ . Larcher

(1995) salienta que o etileno está envolvido na abscisão prematura de folhas, pois com a elevação da síntese de etileno ocorre também aumento da síntese da celulase.

O estado da água nos diversos órgãos da planta é uma propriedade dinâmica, afetada pelo balanço entre a perda do vapor d'água pelas folhas para a atmosfera e a absorção de água pelas raízes. As taxas de transpiração, fotossíntese e de crescimento das plantas são afetadas pelas alterações no estado de água das folhas. Pode-se dizer que o valor mais simples e útil para caracterizar o 'status' de água nas plantas é o potencial de água (Klar, 1984).

A condutância estomática pode ser entendida, como um poderoso mecanismo fisiológico que as plantas vasculares possuem para o controle da transpiração. De acordo com Rosenthal et al. (1987), a taxa de transpiração e a taxa de fotossíntese líquida são proporcionais à condutância estomática ao potencial de água na folha. Segundo Turner (1986), as interações entre a água e os fatores bioquímicos da própria planta, com os edafoclimáticos que regem o fluxo e a demanda hídrica, são importantes na abertura e no fechamento dos estômatos, sendo determinadas pelo turgor das células-guarda e das células epidérmicas, considerando que as formas de defesa das plantas contra a desidratação são o controle da transpiração e o desenvolvimento de mecanismos de ajuste osmótico.

A resistência estomática é simultaneamente afetada por diversos fatores ambientais, e, por isso, os esforços para correlacionar as variáveis de determinado ambiente com os dados de campo, nem sempre resultam em sucesso. A resistência estomática de folhas iluminadas depende da temperatura do ar, do déficit de pressão do vapor, da concentração de CO<sub>2</sub> e do potencial de água no solo (Pimentel, 1999). Estes autores salientam que o aumento da radiação solar com a redução do potencial de água no solo, causam aumento da resistência estomática.

Diversos estudos afirmam que a luz e a água são os dois fatores do ambiente que apresentam grande efeito no comportamento dos estômatos (Turner, 1974;

Sinclair et al., 1975; Silva et al., 1998). Por outro lado, Volpe et al. (1990), salientam que outros fatores inerentes a própria planta, como a dimensão, o número por unidade foliar e a distribuição dos estômatos nas folhas, conferem variações na resistência estomática, a qual é dependente da espécie, da cultivar, da posição na folha, da posição das folhas na planta e da superfície da folha (abaxial ou adaxial).

As relações entre o índice de estresse na planta, através do potencial de água das folhas e da resistência difusiva dos estômatos, podem variar com a espécie, o estágio de desenvolvimento, as condições ambientais, a hora do dia, a demanda evaporativa e o tipo de déficit aplicado (Carlson et al., 1979). De acordo com Carbon (1973), o potencial de água na folha mostra uma acentuada variação diurna, mesmo na ausência de estresse hídrico, decrescendo rapidamente do nascer do sol ao meio da tarde. Entretanto, conforme Dubé et al. (1974) quando o potencial de água no solo é baixo, a abertura dos estômatos não é mais dependente da radiação solar, e sim, do potencial de água na folha, o qual é dependente da umidade do solo.

O conteúdo de água na planta pode ser aferido tanto pelo potencial hídrico da folha, indicando o estado de energia da água nas células vegetais, como também pelo teor relativo de água (TRA), o qual estima a taxa de desidratação da folha. Rodrigues (1973) observou correlação significativa entre o TRA em folhas de gladiolo e o potencial de água no solo. Pereira & Villa Nova (2002), concluíram que em folhas de plantas de batata o TRA apresentou maior correlação com o conteúdo de água do solo do que com o consumo de água pelas plantas.

Pode haver grandes flutuações no TRA das plantas durante o dia, causada pela inabilidade das plantas em absorver água a uma taxa suficiente para repor aquela perdida por transpiração. Tais flutuações são acompanhadas por períodos de alta demanda evaporativa da atmosfera ou suprimento limitado de água (Pimentel e Perez, 2000). Faria et al. (1990), relatam que mesmo plantas que apresentam diferentes potenciais de água na folha,

poderão evidenciar TRA semelhantes. Para os autores na medida que aumenta a demanda atmosférica e diminui a umidade do solo, é de se esperar que a planta necessite desenvolver um potencial de água mais baixo na folha, o que não necessariamente implica, em mudanças expressivas no TRA.

Ao serem submetidas a ciclos de deficiência hídrica as plantas podem desenvolver um processo de “endurecimento”, tornando-se menos sensíveis à seca, o que pode ocorrer devido ao ajustamento osmótico, adaptação da morfologia das folhas e por alterações na plasticidade das células dos tecidos, e com aumento na espessura de parede e incremento no crescimento radial (Jensen, 1981; Larcher, 1995). De acordo com Turner (1986), em plantas “endurecidas” a resposta estomática à turgescência da folha permanece a mesma, porém, o limite crítico de potencial hídrico necessário para desencadear o fechamento estomático, torna-se menor.

Diversos trabalhos demonstram que as plantas podem desenvolver características de condicionamento à seca. Thomas et al. (1976) observaram que em plantas de sorgo e algodão, quando pré-condicionadas à seca através de ciclos curtos e frequentes, os estômatos permaneceram abertos à menores potenciais de água da folha, em relação às plantas não pré-condicionadas. De acordo com os autores, esses resultados foram evidenciados tanto em condições de casa de vegetação como de campo.

Os efeitos de ciclos repetitivos de deficiência hídrica sobre as plantas foram também estudados em gramíneas por NG et al. (1978), que verificaram nas plantas pré-condicionadas um aumento na resistência difusiva dos estômatos e diminuição do potencial de água na folha sob condições ambientais semelhantes, quando comparadas com plantas não submetidas à deficiência hídrica durante o ciclo. Resultados similares foram também observados por Klar (1978) e Carter & Sheaffer (1983).

Plantas condicionadas desenvolvem mecanismos de proteção deficiência hídrica, como controle estomático e expansão do sistema radicular para maior captação de água. A adaptação à deficiência hídrica favorece o desenvolvimento radicular em

detrimento ao desenvolvimento da parte aérea (Kramer & Boyer, 1995). Gavande e Taylor (1967) e Gethmey & Hall (1992), relatam a ocorrência de maior concentração de soluto nas células das plantas que experimentavam ciclos de umedecimento e secagem do solo. Para estes autores, pode ocorrer aumento da concentração de solutos na célula pela conversão de amido em açúcares, ou ainda, por transformações protéicas, ocasionando a queda do potencial osmótico da planta.

O potencial osmótico é essencial para a manutenção do turgor celular, e em conseqüência, do crescimento vegetal. Plantas que passam por situações de deficiência hídrica com freqüência, de modo geral apresentam maiores concentrações de solutos no tecido, e mais baixos potenciais osmóticos do que plantas supridas com água adequadamente (Sharp et al., 1990). Entretanto, para que as mudanças na concentração de solutos da célula sejam consideradas como ajustamento osmótico, elas não podem ser derivadas simplesmente da desidratação dos tecidos da planta.

### **2.3 Considerações gerais sobre a cultura do pimentão**

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma dicotiledônea pertencente à família *Solanaceae*, é originário da Zona Central da América do Sul, em um ponto de transição entre o clima temperado e subtropical. O sistema radicular da cultura é superficial, o caule é pubescente, com altura variando entre aproximadamente 40 cm e 1 metro. As folhas de formato oval ou elíptico são alternas apresentando-se uma em cada nó. As flores são hermafroditas com autogamia, sendo o fruto do tipo baga carnosa, indeiscente (Siviero & Gallerani, 1990). O fruto é rico em vitamina C, com formato geralmente quadrado ou cônico. Dentre as cultivares mais plantadas destacam-se os frutos com películas vermelhas, verdes e amarelas (Casali & Couto, 1984). De acordo com a classificação utilizada no estado de São Paulo, os frutos da cultivar Elisa pertencem ao grupo de formato retangular e sub-grupo de coloração vermelha. (São Paulo-SAA, 1998).

Para condições de cultivo protegido Gotto & Rossi (1997) acrescentam que as plantas podem atingir alturas entre 0,75 e 1,50 m, e devido os caules serem relativamente frágeis, é necessária a utilização de um sistema de tutoramento. Cermeño (1977) salienta que os ramos da planta de pimentão são muito quebradiços, problema que se agrava quando a cultura é conduzida em ambiente protegido, porque, além das plantas crescerem mais, geralmente produzem maior número de frutos, suportando, portanto, maior peso. Tivelli (1999) descreve vários sistemas de tutoramento para a cultura, destacando dentre estes, o cultivo em “V”, o qual segundo o autor é uma variante do sistema de espaldeira simples e mostra-se adequado para o pimentão.

Com relação ao ciclo de desenvolvimento, a cultura é anual, todavia, pode permanecer como planta semi-perene desde que sejam dispensados cuidados especiais para a promoção de condições adequadas de cultivo (Filgueira 1982). Quanto ao fotoperíodo Pádua et al. (1994) relatam resultados de pesquisas indicando que a cultura do pimentão não é afetada pelo fotoperíodo. Porém, de acordo com Sganzerla (1995), o pimentão necessita de boa luminosidade sendo a floração o período mais crítico.

Quanto à temperatura, a maioria das variedades de pimentão caracterizam-se pela adaptação ao clima tropical, sendo a temperatura um fator limitante à cultura, que é sensível a temperaturas elevadas e intolerante a geadas. A faixa ideal está entre 16 e 30 °C, sob temperaturas maiores que 25°C o florescimento aumenta, porém, a porcentagem de queda destas geralmente aumenta substancialmente (Pádua et al., 1984). De acordo com Teodoro et al. (1993) a cultura é sensível à baixas temperaturas e intolerante a geadas, tendo muitas vezes a safra prejudicada por alterações climáticas, o que acarreta oscilações na oferta e no preço do produto no mercado.

Os estádios iniciais de desenvolvimento, principalmente da germinação a formação das mudas são tidos como cruciais para a cultura em relação ao frio. Filgueira (1982) salienta que no período de formação das mudas a melhor faixa de temperatura

está entre 26 a 30 °C, reduzindo-se a faixa ideal com o desenvolvimento das plantas, sendo que aproximadamente 105 após a semeadura, na plena produção, a melhor temperatura gira em torno de 20 °C.

A densidade utilizada no plantio do pimentão em condições de ambiente protegido é bastante variada (Cunha, 2001). Tivelli (1998) salienta diferentes cultivos onde as densidades utilizadas variam desde 2,0 até 7,0 plantas.m<sup>-2</sup>. Porém, densidades de aproximadamente 25.000 a 30.000 plantas.ha<sup>-1</sup> são bastante comuns nos plantios, sendo o arranjo das plantas sobre a área também bastante diversificado (Melo, 1997; Medeiros, 1998).

#### **2.4 Relações hídricas e fertirrigação para a cultura do pimentão em Cultivo protegido**

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido, embora considerado ainda recente no Brasil, está inserido em um mercado dinâmico, com variações estacionais de oferta e preço para a maioria dos produtos, o que exige do olericultor um adequado planejamento da produção e atualização constante das tecnologias atualizadas a fim de reduzir e risco e os custos de produção (Reis et al 1992). Com relação às culturas exploradas em ambiente protegido, Cunha (2001) salienta que a técnica tem sido restringida a poucas espécies, destacando dentre outras as plantas ornamentais, pimentão, pepino, tomate, alface e melão.

Na década de 90 a cultura do pimentão atingiu aproximadamente 1,5% da produção nacional de hortaliças, ocupando uma área de 5.500 ha. O estado de São Paulo contribuiu com cerca de 34,3% deste montante, com uma área de 1.800 ha (Camargo e Mazzei, (1994). Junqueira (1999) apresenta dados que demonstram uma área ocupada com cultivo protegido no Brasil, superior a 2.000 ha.

Os rendimentos variam bastante com o clima e com a duração do período de manutenção da cultura no campo. Doorenbos & Kassam (2000) descrevem que em condições irrigadas o rendimento pode variar entre 20 e 25 t. ha<sup>-1</sup>. Já Pedro & Vicente (1988)

salientam rendimentos da ordem de 40 t. ha<sup>-1</sup> em cultivo protegido. Tivelli (1999) observou um rendimento de 35 t. ha<sup>-1</sup> para o híbrido Elisa, enquanto que Santos (2001) comparando as respostas das plantas do híbrido Elisa ao cultivo em estufa e a campo aberto, verificou em condições de estufa uma produção de aproximadamente 71 t.ha<sup>-1</sup>, sendo 156% superior à obtida em campo aberto.

O uso da irrigação, a quantidade de água a aplicar e quando aplicar inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. Para Bernardo (1996), é necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água à ela fornecidas, as fases de desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso redundaria em queda da produtividade.

Diversos trabalhos demonstram a sensibilidade das plantas de pimentão quanto ao fator hídrico, sendo que tanto às reduções na disponibilidade de água no solo, quanto o excesso prejudicam o desenvolvimento normal da cultura. Segundo Caixeta (1984) a quantidade de água a ser colocada a disposição da cultura do pimentão é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas exercendo efeito direto sobre o comportamento da cultura. As necessidades variam entre diferentes locais, de acordo com os fatores climáticos e edáficos. Para Casali e Couto (1984) a disponibilidade hídrica para a cultura do pimentão constitui fator de extrema importância, sendo limitante ao cultivo. Influencia nas características morfológicas da planta, reduzindo o número de flores e frutos, além do tamanho dos frutos e acúmulo de matéria seca na planta.

Com relação ao consumo de água durante o ciclo de desenvolvimento, Doorenbos & Kassam (2000) salientam que o pimentão pode apresentar necessidades hídricas totais da ordem de 600 a 900 mm e até 1500 mm, para períodos de crescimento longo, com várias colheitas. Caixeta (1984) relata resultados de pesquisa onde em diferentes locais, o consumo de água pela cultura do pimentão apresentou variações conforme a disponibilidade hídrica ofertada, sendo que a produção de 1 kg de fruto pode consumir entre 58 e 298 litros de

água. No entanto, independente das variações edafoclimáticas, considera-se que nas fases de florescimento e frutificação as plantas apresentam maior sensibilidade ao déficit hídrico.

Quanto à frequência das irrigações Batal & Smittle (1981) relatam que a cultura do pimentão apresenta elevada sensibilidade às variações na disponibilidade de água no solo, sendo que a aplicação de deficiência hídrica severa ocasiona alterações no desenvolvimento normal das plantas e grandes reduções no rendimento e na qualidade dos frutos produzidos, devido, principalmente à redução no peso médio dos frutos e abscisão de flores. Sendo, portanto, necessária a manutenção de elevados teores de disponibilidade de água no solo durante o ciclo da cultura. Trabalhando com diferentes lâminas de irrigação. Carvalho et al. (2001) verificaram que tanto a quantidade como a qualidade dos frutos de pimentão produzidos foram reduzidas com a intensificação do déficit hídrico.

Estudando o comportamento das plantas frente a diferentes lâminas de irrigação aplicadas em função das variações da evapotranspiração da cultura, Ferreyra et al. (1985) verificaram que as melhores respostas foram evidenciadas quando a lâmina máxima evapotranspirada do solo entre as irrigações era situada entre 15 e 35 mm. Já Hedge (1989) verificou que as melhores faixas para o manejo da irrigação do pimentão estão entre 40 e 60% da umidade disponível no solo. Sirjacobs & Slama (1983), em cultivo de pimentão em casa de vegetação e irrigado por gotejamento, relatam que a máxima produção foi obtida quando a tensão de água no solo foi mantida entre  $-15$  e  $-35$  kPa.

O excesso de água no solo também é prejudicial à cultura. Sundstrom et al. (1998) verificaram redução no tamanho das folhas e alterações no mecanismo fotossintético das plantas e por consequência no rendimento alcançado. Para os autores a cultura altamente sensível ao excesso de água no solo, sendo este tanto ou mais prejudicial quanto a ocorrência de deficiência hídrica. Sganzerla (1995) salienta que o excesso de umidade no solo é prejudicial à cultura, sendo o período de aparecimento das primeiras flores o de maior sensibilidade. Para Pinto et al. (1984) o excesso de umidade para o pimentão ocasiona reduções na atividade do sistema radicular, podridões de raiz e incidência de doenças

na planta. Ferreyra et al. (1985) verificaram que o excesso de água no solo ocasionou redução do número de raízes, da matéria seca e do rendimento de frutos da cultura.

Podem ser utilizados diferentes métodos de irrigação para a cultura do pimentão, desde que estes apresentem distribuição uniforme da lâmina irrigada e quando manejados corretamente possibilitem suprimento de água adequado às plantas. No caso do cultivo protegido Sganzerla (1995) salienta que o método mais utilizado é o gotejamento. Andrade Júnior et al (1997) apresentam resultados que demonstram que o sistema de gotejamento apresenta alta uniformidade de aplicação e eficiência de irrigação.

Ao contrário do crescimento populacional, os recursos hídricos são finitos, e a disponibilidade de água para a agricultura cada vez mais limitada. Entretanto, existe grande potencial de crescimento para a irrigação, principalmente considerando sistemas menos dispendiosos de água. Klar (2000) salienta que a área irrigada no Brasil não atinge 3 milhões de km<sup>2</sup>, enquanto em países como Estados Unidos Índia e China irrigam-se áreas dez vezes maior, com tendências de aumento da irrigação localizada, que para grande parte das culturas apresenta maior eficiência que outros sistemas. Neste sistema, as irrigações são aplicadas com pequenas vazões, mas com elevada frequência.

Uma das vantagens da utilização do sistema de irrigação por gotejamento consiste em trabalhar com baixa vazão e baixa pressão (Klar 2000). Rocha et al. (2001) salientam que os custos com bombeamento de água para sistemas de aspersão são altos, e para muitas culturas, em determinadas regiões e épocas do ano podem chegar a inviabilizar a operação econômica do sistema. Todavia, de acordo com Marquelli et al. (2002), a viabilidade econômica de um dado sistema está condicionada a um manejo racional da água de irrigação e da fertirrigação quando esta técnica for utilizada.

Quando se utiliza o cultivo protegido, o sistema de fertirrigação deve evitar a lixiviação de nutrientes. Neste caso a adubação convencional e a fertirrigação representam um mesmo potencial produtivo. Entretanto, o potencial salino é maior em cultivo

protegido, assim, a inclusão de menor quantidade de nutrientes para a solução do solo, obtido com o correto manejo da fertirrigação, representa uma vantagem para a cultura do pimentão, que é moderadamente sensível a salinidade (Mass & Hofman, 1977).

Com a utilização da fertirrigação, existe relativa facilidade para se realizar alterações nas dosagens dos nutrientes aplicados, o que permite a adequação das doses de adubação de acordo com necessidades momentâneas do pimentão, evitando uma concentração excessiva de sais no solo pela aplicação de excessivas quantidades de adubos (Hartz et al., 1993).

Devido o menor custo, a fertirrigação pode ser realizada utilizando-se uréia, cloreto de potássio e cloreto de cálcio. Outros fertilizantes recomendados são o nitrato e o sulfato de amônio e o nitrato de potássio e nitrato de cálcio. No entanto, os fertilizantes devem ser específicos para fertirrigação, para evitar problemas de entupimento (Marquelli et al., 2002). Bôas (2001) verificou várias vantagens em se aplicar a adubação no pimentão via fertirrigação por gotejamento, em comparação a adubação convencional.

O manejo da fertirrigação exige alguns cuidados. Conforme Padilla (1997), estes são inerentes, principalmente, quanto as alterações de pH no bulbo molhado e relações no balanço de nutrientes, que depende da formulação utilizada. Para o autor a aplicação de fertilizantes amoniacais poderá interferir na absorção de outros cátions. A escolha da fonte, a frequência e dosagem de aplicação dos fertilizantes podem elevar demasiadamente a condutividade elétrica do solo. Neste caso o sistema de fertirrigação deve ser reformulado, com aumento da frequência de aplicação.

A irrigação localizada não deve ser considerada somente como uma técnica de suprimento de água ou nutrientes para a cultura, mas como uma parte integrante de um conjunto de técnicas de cultivo. Com a qual, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, doenças e variedades selecionadas, entre outros inúmeros fatores, podem ser obtidos resultados expressivos de produção por área e quantidade de água aplicada (Bernardo, 1989).

## 2.5 O uso de cobertura sobre o solo (“mulching”)

A aplicação de uma cobertura à superfície do solo constitui uma barreira física à transferência de energia e vapor d'água entre o solo e a atmosfera (Likatas et al. 1986). O “mulching” constitui-se em uma técnica eficiente para modificar o balanço de energia e regime térmico e hídrico do solo. A cobertura morta com palha é uma técnica comum em métodos conservacionistas, já os materiais sintéticos ficam restritos a áreas menores, com culturas mais rentáveis. No entanto é esperado um aumento na utilização do polietileno, principalmente para a produção de olerícolas em ambiente protegido, como estufas plásticas. A técnica do “mulching” é uma alternativa que pode diminuir a umidade relativa do ar que em dadas horas do dia é extremamente elevada no interior das estufas, além de aumentar a eficiência do uso da água de irrigação (Streck et al., 1996).

A cobertura do solo por polietileno é utilizada para reduzir a infestação de invasoras, diminuir as perdas de água do solo e modificar o microclima do solo. Aumentos na precocidade e no rendimento de várias culturas têm sido relatados quando filmes plásticos e outros materiais foram utilizados sobre o solo (Buriol et al. 1996). Para Tsekleev et al. (1993), a cobertura do solo por “mulching” protege a planta contra pragas do solo, controla a incidência de plantas daninhas, conserva a umidade próxima a superfície do solo, aumenta a concentração de raízes na parte mais aquecida, próxima a superfície do solo, aumenta atividade microbiana, entre outros.

Muitos fatores estão envolvidos na resposta das plantas à utilização desta técnica, como a modificação da temperatura do solo e do ar próximo à cobertura, conservação da umidade do solo, manutenção das propriedades físicas e químicas do solo, menor compactação, controle de invasoras e diminuição de doenças (Katan & Devay, 1991). Streck et al. (1996) salientam a ocorrência de maior teor de N-nitrato no solo com cobertura de polietileno. Altos níveis de nitrato e sulfato no solo coberto, em relação ao solo desnudo, são

também atribuídos ao maior movimento capilar ascendente de água e nutrientes solúveis do que o movimento descendente e, ao maior estímulo da taxa de mineralização de N orgânico devido ao maior teor de umidade do solo (Haynes, 1987).

O efeito da cobertura na modificação do regime térmico e da umidade do solo é principalmente determinado pela modificação no balanço de energia. O filme de polietileno preto absorve grande parte da energia solar incidente, aquecendo-se e, como consequência, maior parte da radiação líquida é utilizada em fluxo de calor sensível para aquecimento da camada de ar próximo de sua superfície (Thindall et al. 1991). Segundo Haynes (1987) quanto maior a área coberta com polietileno, maior será seu efeito na temperatura do ar e do solo, portanto, pode-se esperar benefício adicional pelo aumento da temperatura diurna próximo à cobertura, principalmente em áreas extensas. Lippert et al. (1964) sugerem larguras da cobertura maiores que 15cm para se obter conservação da umidade do solo.

Este aquecimento junto ao polietileno preto pode ser significativo também em ambientes fechados, como estufas plásticas, onde a renovação do ar é menor e mais lenta. No entanto Thindall et al. (1991) salientam que o efeito da cobertura na temperatura e umidade do solo vai diminuindo à medida que a cultura vai se desenvolvendo e interceptando uma fração cada vez maior da radiação solar, e, consumindo mais água do solo. De acordo com Rosenberg (1974), os filmes transparentes ocasionam um aquecimento muito maior do solo em comparação aos filmes pretos devido a maior transferência de energia térmica para o solo, consequência da grande absorção e pouca reflexão da energia térmica proveniente da radiação solar.

Quanto às alterações na temperatura do solo, Tripathy & Katiyar (1984) descrevem que a camada de ar entre o solo e o polietileno preto funciona como um isolante, reduzindo a transmissão de energia térmica do plástico para o solo durante o período diurno e do solo para o plástico durante o período noturno, resultando em temperaturas mínimas mais elevadas e máximas menores do que o solo desnudo.

Verificando divergências na literatura com relação a esta afirmação, Streck et al. (1994) salientam que as variações nas temperaturas durante as diferentes horas do dia devem estar relacionadas com o teor de umidade do solo. A cobertura de polietileno afeta o balanço de água no solo e, em condições normais, a umidade do solo tende a ser maior do que no solo desnudo, portanto, considerando que na face interna do filme plástico, persiste de modo quase permanente uma camada de vapor d'água condensada, as perdas radiativas do solo são menores e o efeito estufa maior, e nestas condições acontecerá o oposto, com as temperaturas mínima e máxima superiores ao solo desnudo.

A utilização de cobertura reduz a intensidade de evaporação da água do solo para a atmosfera, sendo, portanto, a diminuição da perda de água do solo um aspecto importante proporcionado pela utilização de cobertura do solo (Rosenberg, 1974). Segundo Streck et al. (1994) a magnitude da redução da evaporação pelo "mulching" depende da natureza do material, sendo que materiais impermeáveis ao vapor d'água, como o polietileno reduzem drasticamente o fluxo de calor latente, constituindo-se em uma barreira eficiente na diminuição da perda de água do solo, apresentando em geral permeabilidade ao vapor d'água de 0,5%. Se reportando à resultados experimentais, os autores sugerem que o maior teor de umidade do solo explica, em parte, a distribuição mais superficial do sistema radicular das culturas cultivadas sob cobertura, em relação ao observado em condições de solo desnudo.

Estudos comparativos da eficiência de coberturas do solo compostas por filmes translúcidos e filmes pretos, demonstram que a utilização de plásticos translúcidos é somente indicada em condições de extrema necessidade de se elevar a temperatura do solo em regiões com inverno rigoroso, como no caso do Sul do Brasil, caso contrário as culturas podem ser prejudicadas pelo aquecimento excessivo do solo, sendo que em relação às reduções das perdas de água do solo o polietileno preto mostra-se mais eficiente, proporcionando maiores benefícios para as plantas (Buriol et al., 1996, VanDerwerken & Wilcox-lee, 1988).

A eficiência do uso do polietileno preto para redução das perdas de água do solo é bastante conhecida. No caso específico do pimentão, os resultados positivos do uso da cobertura do solo sobre as relações hídricas da cultura, já são reportados por Thompson & Platenius (1931). Kovalchuk (1983) relata resultados de pesquisas onde foram obtidas grandes produções de pimentão quando o cultivo foi realizado com utilização de cobertura de polietileno preto, irrigação e cultivo em casa de vegetação.

Estudando os efeitos de diferentes níveis de disponibilidade de água no solo para a cultura do pimentão cultivado em casa de vegetação, com utilização de cobertura de polietileno preto e irrigação localizada, Teodoro et al. (1993) constataram que as maiores produções foram obtidas quando eram consumidas menores porcentagens de água disponível. Sendo os melhores resultados verificados para o manejo da irrigação utilizando como limite inferior 30% da água disponível no solo, em comparação com os níveis de 10, 50 e 70%. VanDerwerken & Wilcox-lee (1988) verificaram redução na porcentagem de frutos comerciais do pimentão e rápido aumento da tensão de água no solo quando não utilizou-se cobertura sobre a superfície.

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi desenvolvido em área experimental do Departamento de Engenharia Rural na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu - SP, durante o período de novembro de 1999 a agosto de 2000. As coordenadas geográficas do local são: 22°51'03" de latitude Sul e 48°25'37" de longitude Oeste, com altitude de 786 m. De acordo com a classificação climática de Koeppen, o clima da região é do tipo Cfa – moderado chuvoso, apresentando quatro a seis meses consecutivos com temperaturas médias do ar superiores a 10°C. A temperatura média do ar é de 22,8°C no mês mais quente e de 16,7°C no mês mais frio, sendo a média anual de 20,6°C. A precipitação pluviométrica anual média é de 1518,8mm, com valores médios de 229,5mm e 37,5 mm para os meses de maior e menor precipitação, respectivamente (Martins, 1989).

#### **3.2 – Condições gerais de cultivo**

##### **3.2.1 – Solo**

O solo do local é classificado como Terra Roxa Estruturada intergreide para Latossolo Vermelho Escuro, textura média argilosa (Carvalho et al, 1983),

correspondente a Nitossolo Vermelho transição para latossolo, textura média/argilosa (Embrapa, 1999). No Quadro 1 são apresentados os resultados da análise química do solo da área experimental, executada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo – setor de Ciência do Solo do Departamento de Produção Vegetal - UNESP/Botucatu, segundo método de Raij et al. (1987). Os resultados da análise das características físicas do solo, realizadas conforme Embrapa (1997), são apresentados no Quadro 2.

Quadro 1. Resultados da análise química do solo da área experimental.

pH	M. O.	P <sub>resina</sub>	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>				mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup>			%
5,9	18	221	20	3,8	42	22	67	88	77

A retirada de amostras de solo para análise química foi realizada, aproximadamente, 45 dias antes do plantio, em profundidades que variaram entre 0 e 30cm no solo. Devido aos elevados valores dos resultados observados para os parâmetros analisados, optou-se pela não aplicação de adubação de base no solo, somente pela aplicação de 60 g.planta<sup>-1</sup> de termofosfato Yoorin B Zn (17,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,15% B, 0,4% Zn) na cova de transplântio, visando assegurar boa disponibilidade dos elementos boro e zinco para as plantas, conforme recomenda Raij et al. (1996). A adubação de cobertura foi aplicada via fertirrigação.

Quadro 2. Características físicas do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Argila	Silte	Areia	Porosidade (%)			Massa específica do solo (g cm <sup>-3</sup> )
				Total	Micro	Macro	
0 – 20	456	126	418	44,5	26,6	17,9	1,48
20 – 40	474	139	387	43,7	27,2	16,5	1,50

Para a caracterização física do solo foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 20cm e de 20 a 40cm de profundidade.

### 3.2.2 – Cultivo protegido – estufa

Para a condução do experimento, utilizou-se uma estufa do tipo túnel alto orientada no sentido norte – sul, com dimensões de 27,5m de comprimento por 8,0m de largura, pé direito com altura de 2 m e 4 m de altura no centro. A cobertura da estufa foi efetuada com polietileno aditivado, com 150  $\mu$  de espessura.

Considerando-se as características climáticas da região de Botucatu, com elevadas temperaturas diurnas, principalmente nos meses de verão, para o fechamento das laterais em vez de filme de polietileno, utilizou-se tela do tipo sombrite com 30% de sombreamento, com exceção dos primeiros 0,50m acima da superfície do solo, que foram fechados com o mesmo filme de polietileno utilizado na cobertura, tendo a finalidade principal de evitar a entrada da água de chuva e animais para o interior.

### 3.2.3 – Cultivar utilizado e produção das mudas

No experimento foi cultivado o pimentão (*Capsicum annuum* L.), híbrido Elisa (Rogers) que apresenta como características o fruto de película vermelha e formato retangular (Tivelli et al., 1998).

As mudas foram produzidas em casa de vegetação do viveiro de produção de mudas do setor de Engenharia Florestal FCA/UNESP/Botucatu. A semeadura foi realizada no dia 03/11/1999, utilizando-se bandejas de isopor com 128 células. O substrato utilizado foi uma mistura produzida no próprio viveiro composta de: 100 L de terra peneirada, 35 L de casca de arroz carbonizada, 35 L de esterco de curral curtido e 1,0 kg de adubo fórmula 04-14-08. O período entre a semeadura e o transplante foi de 55 dias, sendo que 10 dias antes do transplante, as mudas foram transportadas para a área experimental, visando a adaptação destas às condições do local.

### 3.2.4 – Preparo da área experimental

O preparo do solo para o transplante foi realizado através de capina da área, sendo a mesma revolvida com enxada rotativa acoplada a um microtrator. Posteriormente, foram demarcados e construídos cinco canteiros com 1,0m de largura, 26m de comprimento e, aproximadamente, 0,10m de altura, alinhados longitudinalmente na estufa.

Em seguida, instalou-se o sistema de irrigação. Para isto foi disposta uma linha de tubos de  $\frac{3}{4}$  de polegada de diâmetro, que serviu como tubulação principal e estendeu-se longitudinalmente em todo o comprimento da estufa. A cada 2,0m de distância foram conectados tubos de  $\frac{1}{2}$  polegada a esta tubulação principal, os quais se estenderam até a entrada da cada uma das parcelas experimentais, onde foram instalados registros de esfera com fechamento rápido, procedimento efetuado visando possibilitar o manejo independente da irrigação para as parcelas dos diferentes tratamentos. Na saída destes registros foram acopladas conexões que permitiram a inserção das fitas de gotejamento.

O sistema foi complementado por um cabeçal de controle, composto por um registro de gaveta, um regulador de pressão, um manômetro e um filtro de anéis, instalados em série na tubulação adutora de água para o sistema, na entrada da estufa.

Na seqüência, foram demarcadas e abertas pequenas covas para o transplante das mudas, sendo incorporado no fundo destas a adubação com termofosfato.

Um filme de polietileno preto de 30  $\mu$ m de espessura, foi utilizado como cobertura do solo. Para a instalação, este filme foi estendido sobre os canteiros e as laterais enterradas cerca de 5,0cm no solo, visando mantê-lo esticado e com o melhor contato possível com a superfície. Posteriormente, foram abertas perfurações com 7 cm de diâmetro no filme plástico, exatamente sobre as covas anteriormente abertas para o transplante das mudas. A cobertura de polietileno foi instalada sobre a superfície do solo em todas as parcelas, inclusive nas bordaduras, visando homogeneizar as condições experimentais durante a fase de estabelecimento da cultura, sendo posteriormente retirada conforme o tratamento utilizado.

### 3.2.5 – Unidades experimentais e transplante das mudas

O transplante foi realizado no dia 29/11/1999. Utilizou-se um esquema de distribuição de plantas em linhas duplas, onde sobre cada um dos canteiros de 1,0m de largura, foram transplantadas duas linhas de plantas, espaçadas em 0,60m, com 0,50m entre plantas na linha. Como os canteiros foram separados lateralmente em 0,50m, a distância entre as plantas das linhas duplas ficou estabelecida em 0,90m. Nestas condições obteve-se um stand final de 26.660 plantas ha<sup>-1</sup>.

Os canteiros localizados em cada uma das laterais e o canteiro central foram utilizados como bordadura. Sobre os dois canteiros intermediários, eliminando-se 1,0 m em cada uma de suas extremidades para servir como bordadura, foram demarcadas as 24 parcelas do experimento. As dimensões utilizadas foram 2,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, sendo em cada parcela cultivadas, portanto, oito plantas. Porém, somente as quatro plantas centrais de cada parcela foram utilizadas para as avaliações experimentais. Na Figura 1 apresenta-se um esquema da área experimental.

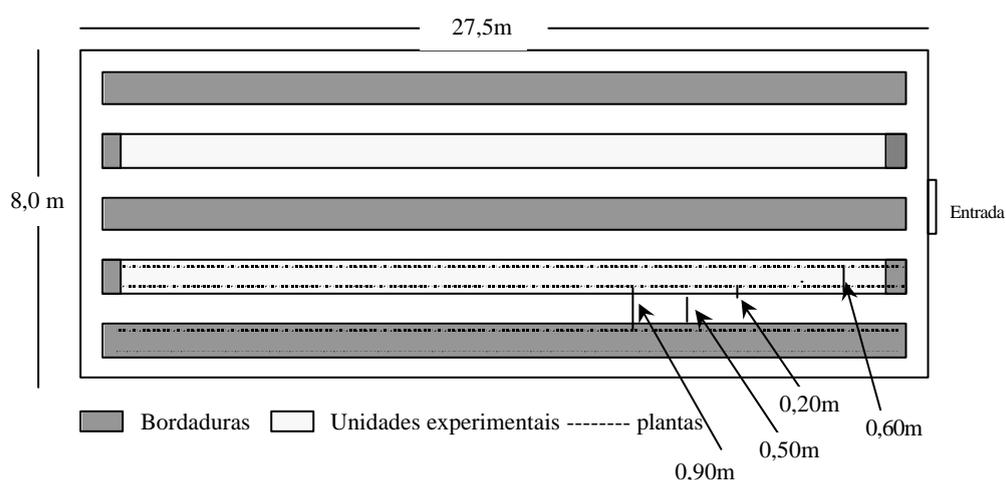


Figura 1. Croqui da área experimental demonstrando esquema de distribuição das linhas de plantas sobre a área útil e bordaduras no experimento.

Esta distribuição foi estabelecida visando, na medida do possível, maximizar a homogeneidade das condições experimentais, principalmente no que concerne a fatores ambientais e a penetração de umidade externa, como gotas de chuva impulsionadas por vento lateral, já que a tela de sombrite das laterais da estufa não é impermeável.

### **3.3 – Experimentos conduzidos**

Após o transplante das mudas o pimentão foi cultivado à campo por um período de 230 dias.

A fase inicial de desenvolvimento da cultura no ampo estendeu-se por 28 dias, durante o período compreendido entre 29/12/1999 - data do transplante das mudas para as parcelas, e o dia 25/01/2000. Nesta fase não foram aplicados tratamentos, sendo utilizada para efetuar o estabelecimento das mudas transplantadas. Durante este período a umidade do solo foi mantida próximo às condições de capacidade de campo e todas as parcelas tiveram a superfície do solo protegida por cobertura de polietileno e manejo similar.

Após o estabelecimento da cultura, foram conduzidos dois experimentos, onde a cultura foi submetida a diferentes manejos da irrigação e deficiência hídrica severa.

O experimento I, foi realizado durante um período de 140 dias, estendendo-se dos 29 aos 168 dias após o transplante das mudas (DAT), entre as datas de 26/01/2000 e 13/06/2000.

Este experimento foi organizado e conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, utilizando-se quatro tratamentos, correspondentes a dois manejos da irrigação (50 e 1500 kPa), e dois sistemas de manejo da superfície do solo, pelo emprego ou não de cobertura de polietileno preto. Desta forma, os tratamentos podem ser descritos como: T1 – irrigado a 50 kPa e com cobertura sobre a superfície do solo; T2 – irrigado a 50kPa e sem cobertura sobre a superfície do solo; T3 – irrigado a 1500 kPa e com de cobertura sobre a superfície do solo; T4 – irrigado a 1500 kPa e sem cobertura sobre a

superfície do solo. Foram utilizadas seis repetições de cada tratamento, perfazendo um total de 24 unidades experimentais.

Para o manejo da irrigação, utilizou-se como limite superior o conteúdo de água retido pelo solo nas condições de capacidade de campo a 10 kPa (24,3%). Como limite inferior, o valor de conteúdo de água retido pelo solo nos potenciais de 50 kPa e 1500 kPa, de acordo com o nível de manejo da irrigação considerado para os respectivos tratamentos, conforme a equação da curva característica de retenção de água no solo. Os referidos potenciais correspondem a umidades gravimétricas de aproximadamente 22% e 15%, respectivamente. Estes tratamentos foram estabelecidos visando alcançar um possível pré-condicionamento das plantas à condições de deficiência hídrica.

O experimento II teve início no dia 14/06/2000 e estendeu-se até o dia 14/08/2000, com duração total de 62 dias. Durante este período o manejo foi similar em todas as parcelas, sendo as irrigações suspensas e eliminada a cobertura de polietileno preto da superfície do solo. Com este manejo as plantas foram submetidas a condições de severa deficiência hídrica. Foram realizadas avaliações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas visando caracterizar o comportamento das plantas frente a progressão das condições de deficiência hídrica no solo, além de identificar possíveis alterações nestas características, ocasionadas pelos diferentes manejos da irrigação no experimento I. Durante este experimento manteve-se mesma identificação das repetições e denominação para os tratamentos, utilizada no Experimento I.

### **3.4 – Tratos culturais**

#### **3.4.1 – Adubação de cobertura**

Durante a condução do experimento, a adubação de manutenção foi realizada via fertirrigação, conforme recomendação Bôas (1999) para a cultura do pimentão.

No florescimento e início de formação dos primeiros frutos, foram aplicados 0,136 g. de nitrato de potássio, 0,2 g. de nitrato de cálcio e 0,136 g. de fosfato monoamônio (MAP) por planta e por dia. A partir da formação dos primeiros frutos, a dosagem foi elevada para 0,2 g de nitrato de potássio, 0,3 g de nitrato de cálcio e 0,25 g de MAP, considerando-se que a planta sustenta flores e frutos em diferentes estágios de formação, esta dosagem foi mantida até o final do período de aplicação das irrigações no experimento.

Durante o ciclo da cultura foi realizada ainda uma aplicação de B e Zn via foliar aos 150 DAT, através de uma solução contendo 0,5% de sulfato de zinco e 0,1% de Bórax.

Como a frequência das irrigações era diferente para os tratamentos utilizados, o momento de realização das fertirrigações foi determinado com base no tratamento menos irrigado, aplicando-se a dosagem total correspondente ao número de dias compreendidos entre as irrigações. A aplicação de produtos foi feita utilizando-se aproximadamente 50% do tempo de irrigação, sendo a injeção de produtos no sistema de irrigação feita por gravidade através de um reservatório instalado sobre a linha adutora de água que alimentava o sistema de gotejamento.

### **3.4.2 – Condução e tutoramento das plantas**

As plantas foram cultivadas no sistema de condução “livre”, isto é, sem o emprego de podas. Realizou-se somente a retirada das folhas até a primeira bifurcação e a eliminação dos brotos “ladrões”, além da retirada da primeira flor emitida pela planta, conforme preconiza Tivelli (1998).

O cultivo foi realizado em “V,” sendo tutoradas todas as linhas de plantas, inclusive as bordaduras. Para a montagem do sistema, em cada linha de plantas firmou-se ao solo três mourões de madeira com aproximadamente 0,20 m de diâmetro, 2,5 m de altura, sendo dispostos um em cada uma das extremidades e outro no meio da linha de

plantas. Para formar o “V,” sarrafos de madeira foram presos aos mourões com distância vertical de 0,25 m entre si, os primeiros, à 0,40 m da superfície do solo apresentavam comprimento de 0,25 m, e os mais elevados aproximadamente 0,50 m, evitando-se assim o entrelaçamento entre as plantas da parcela.

Nas extremidades destes sarrafos foram presos fitilhos plásticos estendendo-se até ao mourão da extremidade oposta da linha de plantas, a finalidade destes fitilhos foi de servir como suporte ao dossel vegetativo, evitando o rompimento dos ramos e o tombamento das plantas com o peso dos frutos. Para manter a horizontalidade dos fitilhos foram utilizadas varas de bambu distanciadas em 2,0m entre si, sustentadas e alinhadas por um fio de arame que foi estendido de um mourão ao outro. Para facilitar o manejo, os fitilhos foram sendo estendidos de acordo com o crescimento das plantas, que eram presas a estes com auxílio de um grampeador do tipo “tapner”.

### **3.5 – Monitoramento das condições ambientais**

Durante a condução do experimento foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar dentro da estufa. Para isso, um termohigrógrafo (Dickson mod. THDx) foi instalado a 1,5 m de altura dentro de um abrigo meteorológico, localizado no centro da estufa. Os dados climáticos gerais, externos à estufa, foram fornecidos pela estação meteorológica do Setor de Ciências Ambientais – Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP/Botucatu, localizada a aproximadamente 600 m da área experimental.

Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar foram calculados utilizando os valores extremos do dia. Os dados climáticos gerais, externos à estufa, foram fornecidos pela estação meteorológica do Setor de Ciências Ambientais – Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP/Botucatu, localizada a aproximadamente 600 m da área experimental.

### 3.6 – Manejo da irrigação

O monitoramento do teor de umidade do solo foi realizado com utilização de uma sonda de nêutrons CPN modelo 503 DR Hidroprobe (50mCi Am-241/Be). As leituras foram realizadas diariamente, através de tubos de acesso de alumínio com duas polegadas de diâmetro, instalados até um metro de profundidade à aproximadamente 15 cm de uma das fitas gotejadoras na parte central da parcela.

As determinações foram realizadas com três repetições por tratamento, aproximadamente no centro das camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade no solo, com tempo de contagem de 16 segundos e três repetições em cada profundidade, conforme Jadoski & Andrade (1999). Antes do início do experimento o equipamento foi calibrado para as condições do solo do local, onde foram ajustadas duas curvas de calibração, uma para cada profundidade de leitura no solo. De acordo com Santos & Carlesso (1998), a curva de calibração apresenta uma reta, por isso estas foram desenvolvidas utilizando-se dois pontos com valores extremos de conteúdo de água no solo. No momento das leituras foram coletadas amostras de solo para a determinação da umidade real pelo método gravimétrico.

Conforme preconizam os autores acima, ao se realizar as leituras no solo efetuou-se também a coleta de um valor médio para a leitura padrão na água, realizada através de um tubo de acesso instalado no centro de um reservatório de 1000 litros de capacidade. O quociente entre a leitura no solo e a leitura padrão resulta na denominada “razão de contagem” utilizada como variável independente nas curvas calibradas para a determinação da umidade do solo com a sonda. No Quadro 3 são apresentados os dados utilizados e as curvas de calibração ajustadas para as diferentes profundidades.

Quadro 3. Dados médios de cinco repetições utilizados para o ajuste das curvas de calibração\* da sonda de nêutrons em duas profundidades no solo da área experimental.

Profundidade no solo	0 – 20 cm		20 – 40 cm	
Umidade real (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	24,3	36,2	24,88	36,43
Leitura sonda	3745	10085	4636	11626
Leitura padrão	22595	22595	22595	22595
Razão de contagem	0,1657	0,4463	0,2052	0,5145
* Curvas de calibração ajustadas	Y = 11,658 + 28X		Y=11,571 + 25X	

X = Razão de contagem e Y = Umidade gravimétrica do solo (%)

Visando correlacionar os dados de porcentagem de umidade no solo medidos com a sonda, com os valores correspondentes em potencial de água, efetuou-se a determinação da curva característica de retenção de água no solo. A determinação foi realizada com a utilização da câmara de pressão de Richards (1949). Utilizou-se o programa Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al, 1990) para ajustar matematicamente os dados ao modelo não linear proposto por Van Genuchten (1980), representado da seguinte forma:

$$q = q_r + \frac{q_s - q_r}{[1 + (\alpha y m)^n]^m}$$

Onde:

$\theta$  = teor volumétrico de água no solo (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>)

$\theta_r$  = teor de água residual (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>)

$\theta_s$  = teor de água em saturação (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>)

$\alpha$ , n, m = parâmetros empíricos do modelo

$\Psi_m$  = potencial matricial (kPa)

Inicialmente foram coletadas amostras com três repetições para cada ponto de pressão a ser analisado, nas profundidades de 20 e 40 cm solo. Entretanto, devido à

similaridade dos dados extraídos através da câmara de pressão, cujas médias não diferiram estatisticamente entre as profundidades, optou-se por desenvolver uma única curva utilizando os dados com as seis repetições por ponto (Figura 2).

As irrigações foram aplicadas via gotejamento. Foram utilizados tubogotejadores de longo percurso em labirinto da linha Chapin (modelo 6053) com 200 micra de espessura de parede, espaçamento entre saídas de gotas de 0,20 m e vazão de 3,5 L h<sup>-1</sup> m linear<sup>-1</sup>, à 7 m.c.a. (Scarcelli, 1998). Foram instaladas duas mangueiras gotejadoras em cada parcela, posicionadas próximas às linhas de plantas. Com este procedimento estabeleceu-se uma vazão média de 7,0 mm h<sup>-1</sup> para o sistema.

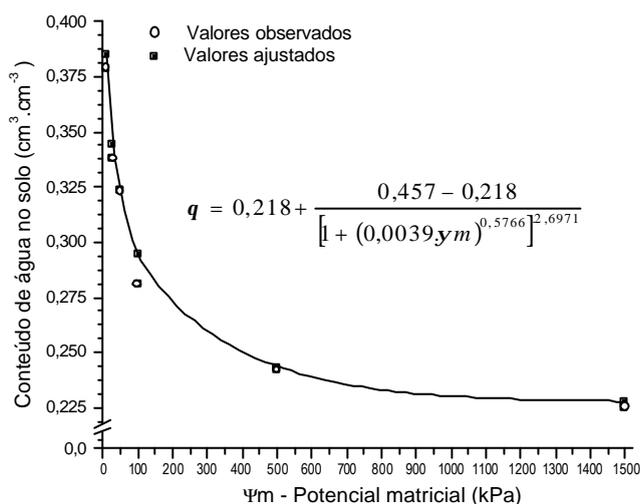


Figura 2. Curva característica de retenção de água no solo ajustada para a camada de 0 – 40 cm de profundidade, conforme modelo proposto por Van Genuchten (1980).

Para o cálculo do volume de água a ser aplicado por irrigação, considerou-se como alcance efetivo do sistema radicular a profundidade de 0,20 m durante a fase de estabelecimento da cultura (até 28 DAT) e 0,40 m para o período de desenvolvimento do Experimento I. Esta mesma profundidade foi utilizada para o monitoramento da umidade do solo durante o Experimento II.

Durante o Experimento I, as irrigações foram aplicadas quando o valor da umidade do solo, obtido pela média das leituras em todas as repetições, atingia o limite crítico estabelecido para o respectivo tratamento. A lâmina de água a ser aplicada foi determinada tomando-se como base o menor valor de umidade observado entre as repetições, desta forma, todas as parcelas de um mesmo tratamento receberam irrigação ao mesmo tempo e em mesma quantidade. Para as irrigações, o volume de água a ser aplicado foi calculado visando elevar o conteúdo de água no solo para o limite de capacidade de campo (10 kPa). A avaliação estatística do consumo de água foi realizada com base nos dados de extração de água do solo, através das leituras com a sonda de nêutrons.

Efetuuou-se avaliação do Uso Consuntivo da Água (UCA), através da correlação entre a lâmina de água aplicada ao solo (L) e a produção de frutos (kg). Este procedimento foi realizado considerando os resultados do Experimento I e os resultados da soma das produções dos Experimentos I e II.

### **3.7 – Avaliações realizadas de características morfo-fisiológicas das plantas**

#### **3.7.1 – Morfologia das plantas**

A avaliação do crescimento das plantas foi realizada através de determinações da altura de plantas e índice de área foliar. Estes parâmetros foram avaliados quinzenalmente em uma planta previamente identificada para este fim, em cada uma das repetições dos tratamentos. As avaliações foram realizadas a partir do início da segunda fase do experimento.

A altura das plantas foi medida com fita métrica, sendo considerado a distância vertical compreendida entre o cólon da planta ao nível da superfície do solo e a ramificação mais elevada no ápice da planta.

O índice de área foliar foi determinado pela razão entre a área fotossinteticamente ativa das folhas na planta e a área da superfície de solo ocupada pela planta. Nas determinações de campo, foram tomadas somente as medidas de comprimento de todas as folhas da planta, exceto das senescentes. A área foliar foi determinada a partir da equação de regressão linear  $Y = 3,0926X + 24,605$  ( $r^2 = 0,98$ ), ajustada através da correlação entre o comprimento e a área total da folha (variável dependente). Os dados para o ajuste desta equação foram obtidos de trinta folhas de diferentes tamanhos, tomadas ao acaso em diversas posições nas plantas.

No final do experimento, determinou-se o número de hastes e de internódios por planta, através de contagem. Para isso, as plantas foram cortadas ao nível do solo. Posteriormente, estas plantas foram utilizadas para a determinação da matéria seca estrutural da parte aérea, onde foram retiradas as folhas ainda remanescentes, sendo o caule e hastes postos para secar em estufa à 60°C, até massa constante. A matéria seca das folhas não foi incluída para este parâmetro, devido ao elevado índice de abscisão foliar apresentado pelas plantas naquele momento.

### **3.7.2 – Produção de frutos**

As colheitas foram realizadas durante um período de aproximadamente quatro meses no experimento. Avaliou-se o número e o peso médio dos frutos produzidos individualmente pelas plantas e a produtividade por área, além das dimensões do fruto.

Em cada colheita eram retirados da planta os frutos que apresentavam pelo menos 50% da película com a coloração avermelhada. Depois de colhidos, os frutos foram imediatamente contados e pesados com precisão de 0,1 g. Os valores de cada repetição foram compostos pela média dos dados coletados nas quatro plantas centrais de cada parcela, sendo a produtividade estimada pela extrapolação dos resultados para a população de 26660 plantas ha<sup>-1</sup>, utilizada no experimento.

As dimensões de comprimento e largura do fruto foram medidas com paquímetro. Os dados coletados foram utilizados para a classificação através da separação por classes e sub-classes, considerando os critérios sugeridos por São Paulo-SAA (1998), apresentados no quadro 4.

Quadro 4. Padrões utilizados para a classificação dos frutos de pimentão através da separação por dimensões, conforme Secretaria da Agricultura e Abastecimento – SP (1998).

Classe	Comprimento (cm)	Sub-classe	Diâmetro (cm)
4	4 a 6	4	4 a 6
6	6 a 8	6	6 a 8
8	8 a 10	8	8 a 10
10	10 a 12	10	10 a 12
12	12 a 15	-	-

### 3.7.3 – Características fisiológicas e Bioquímicas

Durante o desenvolvimento do Experimento II, caracterizado pelo progressivo secamento do solo, foram realizadas avaliações dos parâmetros resistência à difusão de vapor ( $R_d$ ), transpiração, condutância estomática ( $C_e$ ), potencial de água folha ( $\Psi_f$ ), teor relativo de água na folha (TRA), atividade da enzima peroxidase (POD) e teor de proteína solúvel total na folha (PST). As avaliações foram efetuadas em uma planta por parcela previamente identificada para este fim, sendo diferente daquelas utilizadas para as determinações morfológicas, devido à necessidade de serem retiradas folhas das plantas para a avaliação de alguns destes parâmetros. Foram realizadas oito avaliações com intervalo de aproximadamente oito dias. Estas foram realizadas no horário entre 12:00hs e 14:00hs, definido através experimentação prévia.

As determinações de transpiração e resistência à difusão foram realizadas com uso de um porômetro digital LI-1600 LI-COR. Estas determinações foram acompanhadas de leituras de temperatura na folha e radiação solar fotossinteticamente ativa

(PAR) que atingia o dossel no momento das avaliações, sendo que o sensor do porômetro mede o quantum de fótons em ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) dentro da faixa de 400 e 700nm (LI-COR, 1989).

As leituras de transpiração,  $R_d$ ,  $\Psi_f$  e TRA foram tomadas em duas posições na planta, no extrato superior tomava-se uma das folhas completamente desenvolvidas que se apresentava próxima ao ápice da planta, e mais uma das folhas localizadas no extrato médio de altura na planta. Sendo o inverso da resistência à difusão a condutância estomática foi determinada a partir da expressão  $C_e = 1/R_d$ . O resultado de cada repetição dos tratamentos foi representado pelo valor médio das leituras realizadas na planta para o parâmetro em análise.

Para a avaliação do potencial de água na folha foi utilizada uma câmara de pressão Soil –Moisture modelo 3005, (Scholander et al., 1965), empregando-se as mesmas folhas utilizadas para as leituras com o porômetro que, neste caso, eram destacadas da planta e imediatamente avaliadas.

O TRA foi obtido a partir das mesmas folhas empregadas nas avaliações do potencial hídrico foliar. As amostras compostas de três discos foliares com 0,6cm de diâmetro foram retiradas do centro do limbo foliar, evitando as nervuras, e imediatamente pesadas utilizando-se uma balança de precisão de miligramas, conforme Klar (1984), obtendo-se a massa da matéria fresca (MF). Em seguida, os discos foram acomodados em recipientes escuros e submersos em água destilada para atingirem saturação hídrica, sendo mantidos em geladeira à aproximadamente 4°C durante o período de 12 horas. Posteriormente estes foram retirados da água, eliminando-se o excesso de água com papel absorvente, e pesados imediatamente para a determinação da massa túrgida (MT). Em seguida, obteve-se a massa seca (MS) através da secagem dos discos em estufa (65 °C) até atingirem massa constante. O TRA foi calculado segundo a fórmula:  $\text{TRA} = 100[(\text{MF}-\text{MS})/(\text{MT}- \text{MS})]$ .

Para as determinações da POD e PST, foram coletadas folhas com as mesmas características das utilizadas para as demais avaliações fisiológicas, sendo também

avaliadas duas folhas retiradas de diferentes posições na planta. Depois de retiradas da planta, eram eliminadas as extremidades, de forma a remanescer a parte central da folha na ordem de aproximadamente 50% da área foliar total, que era pesada (peso fresco) utilizando balança de precisão, identificada, embalada em papel alumínio e acondicionada em caixa de isopor com gelo por aproximadamente trinta minutos, até ser transportada para o laboratório e armazenada em nitrogênio líquido a uma temperatura de  $-180^{\circ}\text{C}$ , visando conservar o estado metabólico apresentado pela folha no momento de sua retirada da planta. Este procedimento foi utilizado para possibilitar a realização das determinações de todas as amostras em um período concentrado, imediatamente após a conclusão da coleta de dados no campo, buscando maior homogeneidade na aplicação dos procedimentos em laboratório.

Para a avaliação da atividade de peroxidase as folhas coletadas foram pesadas e processadas para a obtenção do extrato bruto, sendo cada amostra composta pela mistura dos extratos das duas folhas colhidas em diferentes posições da planta, desta forma obteve-se uma amostra de extrato por planta (repetição). Estes extratos foram homogeneizados em tampão fosfato de potássio 0,2 M, pH 6,7 e centrifugadas a 10.000 rpm durante 10 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . O sobrenadante foi usado para a determinação da atividade de peroxidase (E C 1.11.1.7) de acordo com método proposto por Lima (1994). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 505 nm. A atividade da enzima foi expressa em micromoles de  $\text{H}_2\text{O}_2$  decomposto por minuto por grama de massa verde de folha ( $\mu\text{mol decomposto g mv}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ).

A determinação da proteína solúvel total foi realizada conforme metodologia descrita por Bradford (1976), utilizando o mesmo extrato obtido para a determinação da atividade de peroxidase. Como padrão foi usada a caseína e a leitura realizada em espectrofotômetro a 595 nm, sendo o teor de proteína expresso em miligramas de proteína solúvel total por grama de massa verde de folha ( $\text{mg PST g mv}^{-1}$ ).

### 3.8 - Análise dos dados experimentais

Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de médias em nível de significância de 5%, utilizando-se o programa Statistical Analysis System – SAS<sup>TM</sup>, versão 6.06., através do qual efetuou-se também o teste de correlação entre alguns dos parâmetros fisiológicos avaliados e o desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais com estimativa do teste de hipótese ( $t_c$ ) para os efeitos definidos nos contrastes.

A dispersão dos dados para avaliação gráfica da correlação entre os parâmetros fisiológicos avaliados, bem como o ajuste de equações lineares e não lineares para descrever a correlação dos dados, foi efetuada utilizando-se o Programa Microcal Origin<sup>TM</sup> versão 6.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições climáticas no interior da estufa

As variações da temperatura ocorridas durante a condução dos experimentos são apresentadas na figura 3. Verifica-se que houve redução da temperatura durante o período, sendo que as máximas acima de 35 °C ocorreram com frequência até aproximadamente os 100 DAT, coincidindo com o final do verão. Durante o período posterior, até a colheita das plantas aos 230 DAT, as temperaturas máximas no interior da estufa situaram-se próximas ou inferiores à 30 °C.

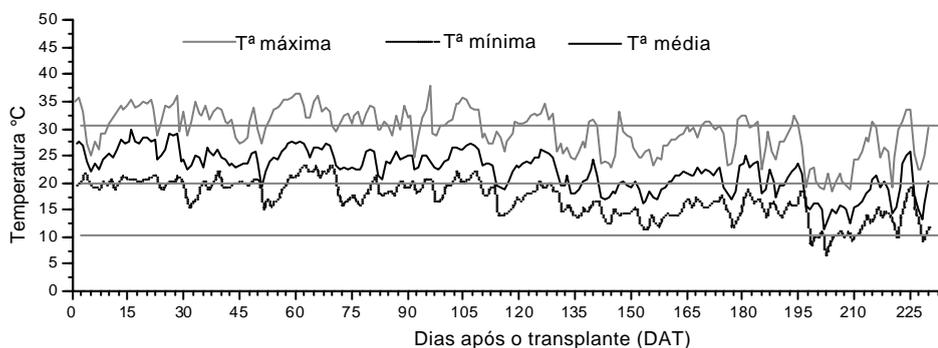


Figura 3. Valores máximos, mínimos e médios da temperatura no interior da estufa durante o período de 29/12/1999 a 14/08/2000.

A ocorrência de temperaturas mínimas inferiores à 15 °C foi freqüente no período posterior aos 135 DAT, no entanto, valores inferiores à 10 °C foram pouco comuns. A temperatura média oscilou em torno dos 25 °C até aproximadamente aos 120 DAT, reduzido-se para valores próximos à 20 °C no período posterior.

Estas temperaturas mostraram-se adequadas à cultura do pimentão, conforme as faixas de temperatura preconizadas por Pádua et al. (1984). Filgueira (1982) enfatiza que a cultura prefere temperaturas decrescentes durante o ciclo de desenvolvimento. Entretanto, as temperaturas inferiores à 15 °C estão fora da faixa recomendada por Sganzerla (1995) para um bom desenvolvimento vegetativo das plantas. Por outro lado, geralmente as mínimas situaram-se acima de 10 °C, temperatura considerada limite, pois segundo relata Teodoro (1993), valores inferiores podem ocasionar problemas de fecundação de flores e deformações no formato dos frutos.

A umidade relativa do ar apresentou elevações gradativas durante o período de condução dos experimentos (Figura 3), o que se deve basicamente às reduções de temperatura ocorridas durante o período. Os valores mínimos situaram-se em torno dos 35% até os 120 DAT, elevando-se para aproximadamente 45 a 50% durante o período posterior. Os valores máximos situam-se em torno de 90% na fase inicial, sendo de alta freqüência a ocorrência de valores superiores à 95% no período posterior aos 120 DAT.

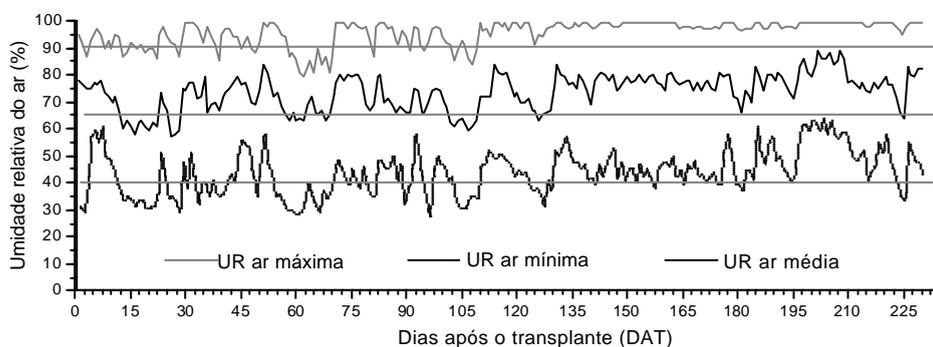


Figura 4. Valores máximos mínimos e médios da umidade relativa do ar no interior da estufa durante o período de 29/12/1999 a 14/08/2000.

Os resultados assemelham-se aos verificados por Santos (2001). Os valores médios estão relativamente acima da faixa de 50 a 70 % preconizada por Sganzerla (1995) para que sejam evitados problemas de sanidade nas plantas, embora, tais problemas tenham sido inexpressivos no experimento. Possivelmente isto esteja relacionado com a ocorrência dos maiores valores de umidade relativa do ar principalmente á noite, próximo ao amanhecer, quando as temperaturas geralmente foram mais baixas. As variações médias dos fatores temperatura e umidade relativa do ar, registradas pelo termohigrógrafo, no interior da estufa durante um dia de céu claro, são apresentadas no anexo I.

#### **4.2 Consumo de água durante o período do Experimento I**

Durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura no campo, que se estendeu durante o período de 29/12/1999 a 25/01/2000, foram aplicadas 6 irrigações, com lamina média de aproximadamente 15 mm, visando o estabelecimento da cultura recém transplantada.

O cultivo foi desenvolvido dentro do período recomendado para a cultura, que de acordo com Sganzerla (1985) exige redução de temperatura durante o ciclo, isso faz com que nas regiões Sudeste e Sul do Brasil o transplante coincida com os meses mais quentes do ano, onde a demanda evaporativa da atmosfera é alta, principalmente no cultivo em estufas. Além disso, o período de pegamento e estabelecimento das mudas é considerado delicado para a cultura, pois esta se apresenta altamente sensível à deficiência hídrica, exigindo cuidados especiais quanto ao manejo da irrigação (Filgueira, 1982).

As variações da porcentagem de umidade do solo e a aplicação das irrigações para os diferentes tratamentos durante o experimento I, desenvolvido entre 29 e 168 dias após o transplante das mudas (DAT), são apresentadas na figura 5. No quadro 5 apresenta-se um resumo dos resultados referentes ao manejo da irrigação no experimento.

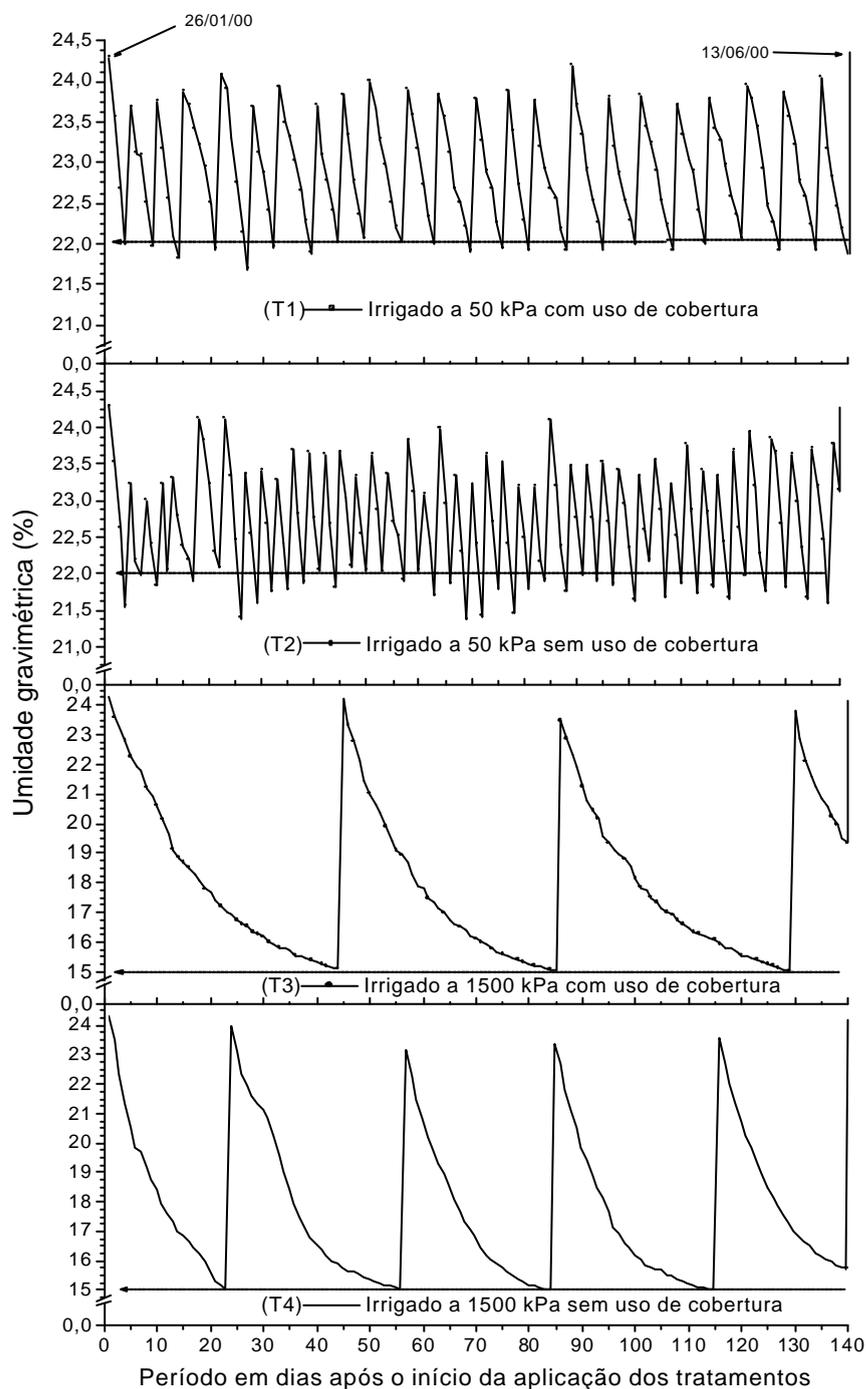


Figura 5. Variações da umidade gravimétrica do solo nos diferentes tratamentos durante o período realização do experimento I (29 a 168 DAT). As linhas pontilhadas indicam o limite inferior para manejo da irrigação.

Quadro 5. Turno médio de irrigação, quantidade de irrigações realizadas e lâmina de água aplicada para os tratamentos durante o desenvolvimento do experimento I.

Tratamento	Descrição	Irrigações		
		Quantidade	Turno médio (dias)	Lâmina aplicada Total (mm)
1	Irigado a 50 kPa com cobertura no solo	23	03	322,6
2	Irigado a 50 kPa sem cobertura no solo	43	06	627,8
3	Irigado a 1500 kPa com cobertura no solo	04	43	194,6
4	Irigado a 1500 kPa sem cobertura no solo	05	29	272,6

O período inerente à última irrigação que foi aplicada no final da fase de realização do experimento I, não foi considerado para os cálculos do turno médio de irrigação apresentados no quadro 5, pois esta foi realizada fora do limite crítico de manejo da umidade do solo estabelecido para os tratamentos. Contudo, a quantidade de água aplicada nesta última irrigação foi computada, isto gerou as diferenças na lâmina média aplicada aos tratamentos submetidos ao mesmo nível de manejo. É importante salientar também que a lâmina de água aplicada através das irrigações efetuadas na fase de estabelecimento da cultura (até 28 DAT) não foram incluídas nos referidos cálculos, por não estarem relacionadas, especificamente, ao efeito de tratamentos.

Verifica-se que a lâmina total de irrigação aplicada foi diferente entre os tratamentos (Figura 6). De acordo com a metodologia utilizada para manejo da irrigação, com as irrigações sendo aplicadas simultaneamente e com lâminas similares para todas as repetições de cada tratamento, é desnecessária a análise de variância para os dados de lâmina total de água aplicada. Desta forma, a análise estatística dos resultados foi efetuada com base na extração de água do solo conforme determinações da umidade com sonda de nêutrons. Efetuou-se análise de variância (Figura 6) e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais (Quadro 6). Os resultados demonstram que a variação da quantidade de água extraída do solo apresentou diferenças entre os tratamentos.

Quadro 6. Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de água extraída do solo durante o desenvolvimento do experimento I.

<i>Variável: Extração de água</i>				
Contraste	$\bar{X}$	$\hat{\sigma}^2(\bar{X})$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$
Contraste X1	465,532	156,32	37,2566	2,086 *
Contraste X2	-371,218	156,32	-29,7087	2,086 *
Contraste X3	-217,488	156,32	-17,4056	2,086 *

Contrastes ortogonais: **X1**: Manejo da irrigação. **X2**: Cobertura do solo. **X3**: Interação Irrigação x cobertura.  
 Parâmetros:  $\bar{X}$ : Estimativa do contraste  $\hat{\sigma}^2(\bar{X})$ : Estimativa da variância do contraste \* significativo 5% de probabilidade.

Com relação aos diferentes manejos da irrigação verifica-se que a demanda hídrica apresentada pelos tratamentos irrigados a 1500 kPa, foi em média 48% inferior em relação aos tratamentos irrigados a 50 kPa. Estes resultados indicam que a diminuição gradativa do conteúdo de água no solo aumenta a resistência às perdas de água por evapotranspiração, tornando mais lento o secamento do solo nestas condições.

Esta observação deve estar relacionada, principalmente, com a menor força de retenção de água exercida pela matriz do solo em condições de elevados teores de umidade. Com referência às resistências oferecidas pelo solo ao movimento de água, vários resultados de pesquisas anteriores, demonstram um aumento exponencial da resistência ao fluxo de água com o decréscimo do conteúdo de água no perfil (Gardner, 1960; Libardi et al., 1980; Brunini & Angelocci, 1998). Conforme descreve Millar (1989), a partir de determinados limites de umidade no solo, mesmo sendo grande o gradiente de potencial hídrico entre o solo e a atmosfera, o movimento de água será mínimo, conforme as forças de retenção exercidas pela matriz do solo.

Deve-se considerar ainda a influência das plantas neste processo. As quais têm suas relações hídricas alteradas em condições de reduzida disponibilidade hídrica tendendo a adaptar o seu metabolismo para diminuir o consumo de água (Levitt, 1980). Neste sentido salienta-se que a evapotranspiração média verificada nos tratamentos irrigados a 1500

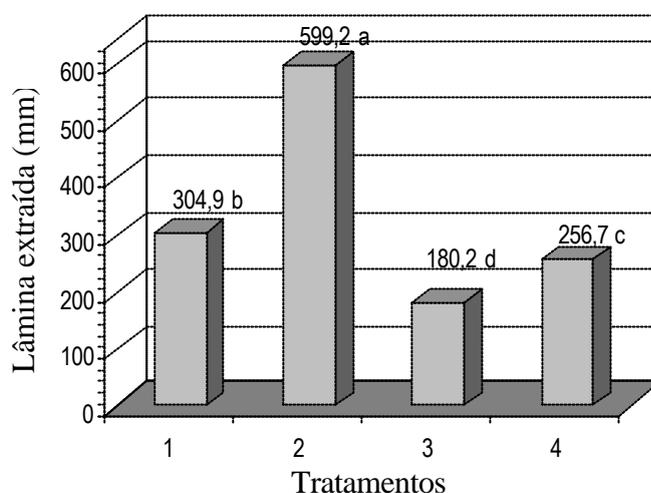


Figura 6. Lâmina total de água extraída do solo nos diferentes tratamentos durante o período do experimento I (29 até 168 DAT).

kPa foi de  $1,56 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ , e de  $3,23 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$  para o manejo da irrigação 50 kPa. Fatores que podem induzir a um pré-condicionamento das plantas submetidas ao manejo da irrigação a 50 kPa. Estes resultados aproximam-se aos apresentados por Caixeta (1984) que descreve um consumo médio de água entre 2,5 e 5,0  $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$  para plantas de pimentão cultivadas sob diferentes condições edafoclimáticas.

Observa-se através dos resultados que o uso da cobertura foi uma técnica que apresentou alta eficiência no sentido de reduzir as perdas de água através da superfície do solo, porém, os efeitos foram proporcionalmente diferentes conforme o limite crítico utilizado para o manejo da irrigação nos tratamentos. Verifica-se que nas condições dos tratamentos irrigados a 50 kPa esta técnica ocasionou reduções médias de 49,11% na lâmina total de água extraída do solo, enquanto que nas condições dos tratamentos irrigados a 1500 kPa estas reduções foram da ordem de 29,8%. Shrivastava et al. (1994) verificaram 44% de redução no consumo de água com a utilização de “mulching” de polietileno em tomateiro irrigado.

Com relação às perdas de água, estes resultados evidenciam maior efeito do uso da cobertura em condições de elevada disponibilidade de água no solo, situação

onde as fracas barreiras impostas pelo solo às perdas de água para a atmosfera são incrementadas pelo emprego da cobertura sobre a superfície, possibilitando com que a água possa permanecer por mais tempo no solo, mesmo em condições de potencial mais elevado.

Nas condições dos tratamentos irrigados a 1500 kPa, onde são atingidos reduzidos valores de disponibilidade de água no solo, o próprio estado de energia da água, impõe barreiras mais elevadas às perdas para a atmosfera. Neste caso, torna-se menos pronunciado o efeito do uso da cobertura para evitar a saída da água do solo que nestas condições é retida em menores potenciais.

Com relação às resistências às perdas de umidade por evaporação, oferecidas pela cobertura do solo, deve-se salientar uma interação entre diversos fatores. O fluxo de água ocorre em um sistema contínuo solo-planta-atmosfera, e na ausência da planta, a passagem da água do solo ocorre diretamente para a atmosfera, sendo reduzida a resistência ao fluxo (Ritchie, 1981). Em referência ao modelo físico de transporte de água descrito por Van den Honert-1948, Kaufmann e Hall (1974) salientam que o fluxo de água, ocorre pela razão entre a força motriz ou gradiente de potencial e o somatório das resistências, sendo o fluxo no sistema diretamente proporcional à diferença de potencial de água e inversamente proporcional à resistência imposta ao transporte.

Pode-se inferir, então, que no caso do solo sem cobertura as únicas resistências ao fluxo de água para a atmosfera são as forças de retenção do próprio solo. No entanto, quando a cobertura é utilizada, insere-se uma nova resistência no sistema, que de acordo com os resultados verificados, atua com maior expressão exatamente no ponto de desequilíbrio, que é o caso da presença de elevados teores de umidade no solo. Nestas condições, as resistências exercidas pelo solo, que são pouco eficientes para evitar as perdas por evaporação, são compensadas pela presença da cobertura.

Estes resultados estão de acordo com Buriol et al. (1996) que observaram maior conteúdo de água no solo protegido por cobertura de polietileno já a partir

do segundo dia posterior à aplicação das irrigações, em comparação ao solo desnudo. Resultados similares são também relatados por Streck et al (1994) e Mahrer et al (1984). Rosenberg (1974) reporta-se a cobertura de polietileno preto, como sendo esta uma das mais efetivas barreiras que podem ser utilizadas para reduzir as perdas de umidade por evaporação através da superfície do solo.

A grandeza das diferenças verificadas, além de evidenciar a importância do uso da cobertura para reduzir as perdas de água por evaporação direta, expressa também uma contradição entre o ponto ótimo de disponibilidade hídrica para as plantas e o uso racional da água. Nesse sentido é importante salientar que embora em expansão (Thindall et al, 1991), o uso da cobertura sobre o solo ainda é pouco expressivo na agricultura (Sganzerla, 1995). Considerando que o princípio básico da utilização da técnica da irrigação baseia-se em otimizar a disponibilidade hídrica para maximizar a produtividade das culturas, este é um ponto que deve merecer atenção no momento do planejamento do manejo dos sistemas, principalmente em locais onde os mananciais hídricos disponíveis para o emprego na irrigação sejam limitados.

### **4.3 Variações da umidade do solo durante o período do Experimento II**

O Experimento II, foi desenvolvido no período de 169 até 230 DAT. A partir da última irrigação aplicada aos 168 DAT, as plantas permaneceram no campo por um período de 62 dias sem receber irrigação (DSI), até serem colhidas. Durante este período nenhuma irrigação foi aplicada e a cobertura de polietileno foi eliminada de todas as parcelas, desta forma as plantas de todos os tratamentos passaram a ser submetidas a condições crescentes de deficiência hídrica no solo. A variação da umidade do solo durante o experimento é apresentada na Figura 7.

Observa-se que a disponibilidade hídrica às plantas foi sendo gradativamente reduzida na camada de zero a 40cm de profundidade, atingindo aos 5 DSI os níveis de 22% e aos 37 DSI os níveis de 15% de umidade no solo, correspondentes ao limite

inferior utilizado para o manejo da irrigação dos tratamentos irrigados a 50 kPa e a 1500 kPa, respectivamente, durante o experimento II.

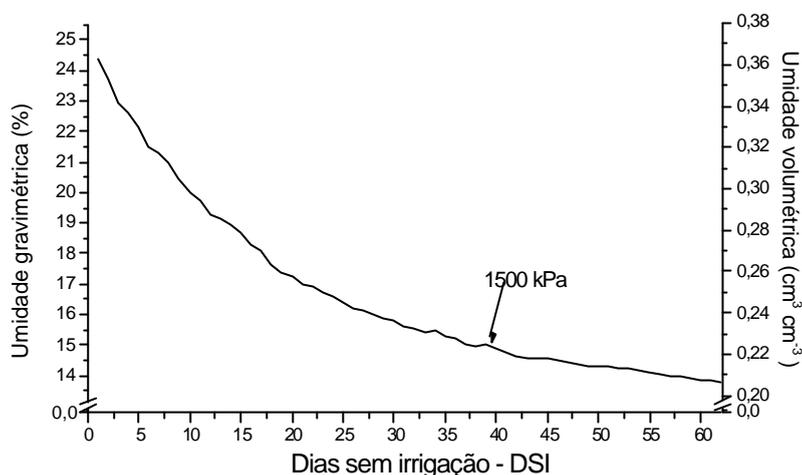


Figura 7. Variação da umidade do solo na camada de zero a 40cm de profundidade, durante o período de desenvolvimento do experimento II, 169 a 230 DAT.

Considerando que o nível de 15% de umidade corresponde a um potencial de água no solo de aproximadamente 1500 kPa, verifica-se que a partir dos 37 DSI as plantas foram cultivadas em condições de severa deficiência hídrica. De acordo com Larcher (1995), níveis de potenciais de água no solo inferiores a 1500 kPa são considerados como ponto de murcha permanente (PMP) para a maioria das culturas. Estes resultados indicam que nas condições do experimento, o PMP para a cultura do pimentão é alcançado à potenciais de água no solo inferiores à 1500 kPa.

Os resultados estão de acordo com Reid et al. (1984) que relatam que a evaporação da água do solo pode reduzir o potencial de água no perfil, para valores inferiores ao PMP. Embora Ratcliff et al (1983) e Carlesso (1995) contestem esta definição de PMP, para estes autores o valor correspondente ao PMP é variável para as diferentes culturas dependendo, dentre outros fatores, da habilidade da planta para retirar água do solo e para suportar as condições de déficit hídrico, além das características físico-químicas e biológicas do solo.

#### 4.4 Produção

As avaliações de produção da cultura foram realizadas através de coleta de dados inerentes ao número, peso médio e dimensões dos frutos, além de produção acumulada, para os resultados dos Experimentos I e II (Figura 8). Foram realizadas nove colheitas de frutos no total, sendo cinco delas efetuadas no experimento I, incluindo a colheita realizada aos 175 DAT, devido a proximidade entre esta e a última irrigação aplicada aos 168 DAT. A primeira colheita de frutos foi realizada no dia 25/04/00, aos 119 DAT.

A estatística dos resultados é apresentada nos quadros 7 e 8. Foram observadas diferenças nos resultados para as variáveis número e peso médio dos frutos. Avaliando-se a produção obtida durante Experimento I, verifica-se que as plantas dos tratamentos irrigados a 1500 kPa foram afetadas pela baixa disponibilidade hídrica, porém, não com a mesma intensidade, sendo que no caso do tratamento 4 as reduções ocorreram em ambas as variáveis avaliadas, enquanto somente o peso médio dos frutos foi reduzido nas plantas do tratamento 3.

O peso médio dos frutos produzidos sob as condições de maior disponibilidade hídrica dos tratamentos 1 e 2 foi de aproximadamente 150g, sendo similares aos observados por Cunha (2001) e Santos (2001), porém mais elevados em relação aos apresentados por Rodrigues (2001), e inferiores aos relatados por Scivittaro et al. (1999). Entretanto, Rodrigues (2001) salienta grandes variações nos dados de literatura quanto ao rendimento da cultura. Para Caixeta (1984), as mudanças edafoclimáticas entre locais respondem por grandes variações na produção do pimentão, mesmo em cultivo protegido.

Estes resultados indicam que nas condições dos tratamentos irrigados a 1500 kPa, através da utilização da cobertura as plantas conseguiram maior aproveitamento da água do perfil apresentado melhor desempenho, o que está mais relacionado com uma menor abscisão de flores e frutos, já que o peso médio foi similar entre estes tratamentos.

Quadro 7. Estatística dos resultados de produção durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.

Colheitas					Médias dos tratamentos							
DAT	Total	Experimento	CV%	DMS	1		2		3		4	
<b>Variável: Número de frutos</b>												
Experimento I												
119	1	1	50,76	0,398	0,9000	a	0,3667	b	0,4550	b	0,1467	b
133	2	2	36,28	0,753	1,1717	ab	1,4300	a	1,2667	ab	0,5483	b
147	3	3	16,92	0,786	2,8683	b	2,9167	b	3,8583	a	1,5283	c
161	4	4	20,25	0,734	3,0433	a	2,6767	ab	2,0533	b	0,9450	c
175	5	5	8,99	0,442	2,9017	b	2,9967	b	3,6067	a	2,3233	c
<i>Total</i>			<b>12,31</b>	<b>1,154</b>	<b>10,885</b>	<b>a</b>	<b>10,386</b>	<b>a</b>	<b>11,240</b>	<b>a</b>	<b>5,488</b>	<b>b</b>
Experimento II												
189	6	1	26,25	0,872	1,4000	b	2,6633	a	2,4167	a	1,5083	b
203	7	2	26,34	1,432	3,0160	ab	2,5600	b	4,2050	a	3,2883	ab
217	8	3	102,47	2,563	2,2167	a	1,200	a	1,3333	a	1,2333	a
230	9	4	95,07	1,017	0,4500	b	0,1617	b	0,3000	b	1,6600	a
<i>Total</i>			<b>24,547</b>	<b>3,024</b>	<b>7,083</b>	<b>a</b>	<b>6,582</b>	<b>a</b>	<b>8,255</b>	<b>a</b>	<b>7,690</b>	<b>a</b>
<b>Variável: Peso médio do fruto</b>												
Experimento I												
119	1	1	34,72	51,576	120,33	a	103,19	a	72,26	ab	45,71	b
133	2	2	25,56	46,060	125,14	a	126,31	a	77,92	b	82,99	ab
147	3	3	11,33	25,442	168,78	a	179,03	a	104,40	b	87,50	b
161	4	4	7,704	17,620	183,84	a	176,02	a	91,98	b	97,82	b
175	5	5	9,693	18,931	135,73	b	156,93	a	91,31	c	85,52	c
<i>Total</i>			<b>10,61</b>	<b>14,056</b>	<b>146,768</b>	<b>a</b>	<b>148,297</b>	<b>a</b>	<b>87,575</b>	<b>b</b>	<b>79,905</b>	<b>b</b>
Experimento II												
189	6	1	11,14	16,715	85,695	bc	102,76	a	75,69	c	96,35	ab
203	7	2	16,49	18,561	64,362	a	77,31	a	61,27	a	66,89	a
217	8	3	60,54	30,518	23,870	ab	26,03	ab	18,67	b	52,81	a
230	9	4	101,26	27,044	14,168	ab	4,333	a	12,56	ab	33,133	a
<i>Total</i>			<b>14,23</b>	<b>12,167</b>	<b>47,025</b>	<b>b</b>	<b>52,608</b>	<b>ab</b>	<b>42,213</b>	<b>b</b>	<b>62,302</b>	<b>a</b>
<b>Variável: Rendimento ha<sup>-1</sup></b>												
Experimento I												
119	1	1	67,25	1608,5	3034,5	a	957,3	b	874,6	b	272,3	b
133	2	2	43,23	2565,9	3955,6	a	4454,7	a	2707,7	ab	1183,2	b
147	3	3	23,17	3983,4	12911,1	a	14018	a	10759,1	a	3631,1	b
161	4	4	18,14	2642,3	14937,2	a	12545,9	a	5023,9	b	2490,7	b
175	5	5	11,79	1823,2	10480,5	b	12524,6	a	8793,5	b	5365,0	c
<i>Total</i>			<b>9,57</b>	<b>5214,7</b>	<b>45324</b>	<b>a</b>	<b>44500</b>	<b>a</b>	<b>28183</b>	<b>b</b>	<b>12943</b>	<b>c</b>
Experimento II												
189	6	1	30,44	2464,6	3265,9	b	7433,3	a	4870,8	b	3852,1	b
203	7	2	31,69	23046	5334,2	a	5168,0	a	6862,3	a	5742,2	a
217	8	3	102,16	2488,6	1718,2	a	1165,1	a	1357,4	a	1615,0	a
230	9	4	106,69	1019,8	295,0	b	53,5	b	221,1	b	1730,0	a
<i>Total</i>			<b>22,69</b>	<b>4788,7</b>	<b>10614</b>	<b>a</b>	<b>13860</b>	<b>a</b>	<b>13311</b>	<b>a</b>	<b>12329</b>	<b>a</b>
<b>Produção total acumulada nos experimentos I e II:</b>												
			<b>6,81</b>	<b>5149,8</b>	<b>55938</b>	<b>a</b>	<b>58361</b>	<b>a</b>	<b>41194</b>	<b>b</b>	<b>25272</b>	<b>c</b>

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

Quadro 8. Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para a produção durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.

<i>Experimento I</i>					<i>Experimento II</i>			
<b>Variável: Número de frutos</b>					<b>Variável: Número de frutos</b>			
Contraste	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$
Contraste X1	4,5434	0,30545	8,2207	2,086 *	-2,280	2,1263	-1,5636	2,086 ns
Contraste X2	6,250	0,30545	11,3086	2,086 *	1,066	2,1263	0,7310	2,086 ns
Contraste X3	-5,2534	0,30545	-9,5053	2,086 *	-0,064	2,1263	-0,0438	2,086 ns
<b>Variável: Peso médio dos frutos</b>					<b>Variável: Peso médio dos frutos</b>			
Contraste	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$
Contraste X1	127,585	83,086	13,997	2,086 *	-4,882	36,5431	-0,8076	2,086 ns
Contraste X2	6,141	83,086	0,6737	2,086 ns	-25,672	36,5431	-4,2467	2,086 *
Contraste X3	-9,199	83,086	-1,0092	2,086 ns	14,506	36,5431	2,3996	2,086 *
<b>Variável: Rendimento <math>ha^{-1}</math></b>					<b>Variável: Rendimento <math>ha^{-1}</math></b>			
Contraste	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$
Contraste X1	48698	764801	17,609	2,086 *	-1166	742426	-0,42793	2,086 ns
Contraste X2	16064	764801	5,808	2,086 *	-2264	742426	-0,8379	2,086 ns
Contraste X3	-14416	764801	-5,213	2,086 *	-4228	742426	-1,5517	2,086 ns
<b>Variável: Produção total acumulada nos experimentos I e II</b>								
Contraste	⊗	◇(⊗)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$				
Contraste X1	46924	10219592	14,678	2,086 *				
Contraste X2	13190	10219592	4,126	2,086 *				
Contraste X3	-18036	10219592	-5,642	2,086 *				
Contrastes ortogonais: X1: Manejo da irrigação. X2: Cobertura do solo. X3: Interação Irrigação x cobertura.								
Parâmetros: ⊗ Estimativa do contraste ◇(⊗): Estimativa da variância do contraste * significativo 5% de probabilidade.								

Os resultados estão de acordo com Casali e Couto (1984) que consideram a diminuição do peso médio dos frutos e o aumento da abscisão de flores e frutos como os principais efeitos da deficiência hídrica sobre a produção do pimentão.

Com relação à classificação dos frutos, observa-se que as dimensões seguiram a mesma tendência dos resultados observados para o peso médio, sendo que os frutos produzidos pelas plantas dos tratamentos 1 e 2, além do maior peso, apresentaram as maiores dimensões.

Através do Quadro 9, verifica-se que os frutos destes tratamentos, foram enquadrados de forma geral na classe 10 e sub-classe 6, uma posição superior em relação aos frutos das plantas dos tratamentos 3 e 4, que ocuparam a classe 8 e sub-classe 4, demonstrando que o manejo da irrigação afetou a qualidade dos frutos produzidos.

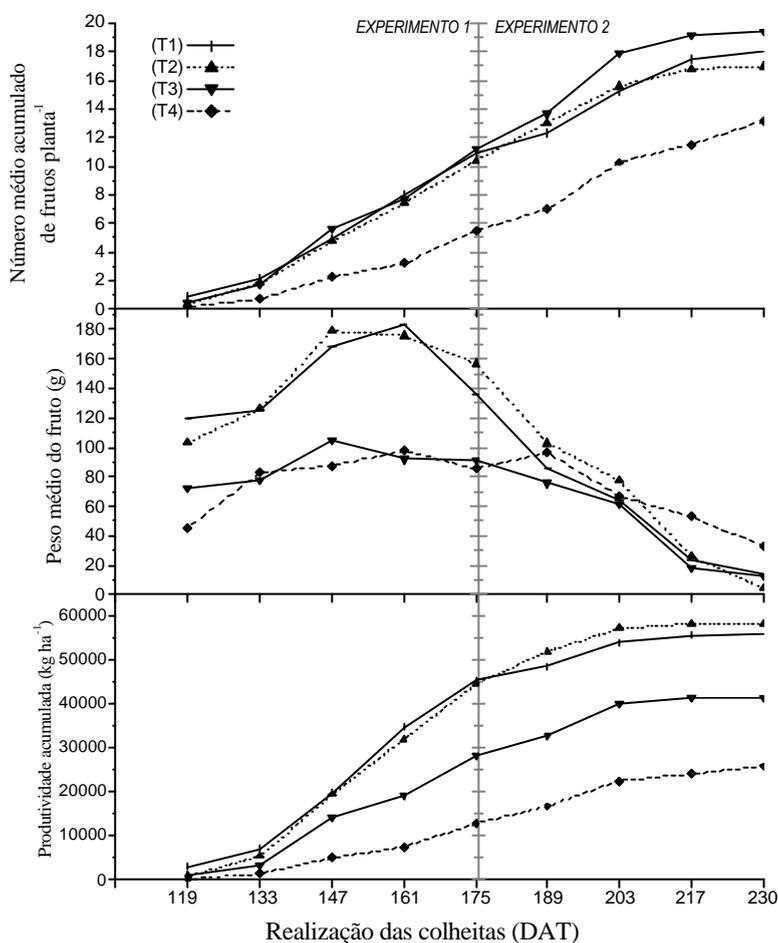


Figura 8. Componentes da produção e produção total acumulada ao longo da fase produtiva do pimentão (119 a 230 DAT), durante a realização dos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.

Diferenças significativas foram também observadas com relação ao rendimento acumulado neste Experimento I. Através da análise dos resultados, observa-se que os tratamentos 1 e 2 apresentaram os melhores rendimentos, sendo que os menores montantes de produção foram verificados no tratamento 4, estando a produção das plantas do tratamento 3 em posição intermediária (Quadro 7). Pode-se observar que os tratamentos que apresentaram os frutos maiores e mais pesados alcançaram também, de forma lógica, os maiores rendimentos.

Quadro 9. Estatística e classificação\* dos frutos do pimentão quanto ao formato (comprimento e diâmetro), para as produções verificadas nos Experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.

Colheitas					Médias dos tratamentos							
DAT	Total	Experimento	CV%	DMS	1		2		3		4	
<b>Variável: Comprimento dos frutos</b>												
Experimento I												
119	1	1	12,83	2,05	**10,58	a	**10,35	ab	* 9,02	ab	* 8,51	b
133	2	2	11,47	1,94	** 11,78	a	**10,38	a	* 9,4	b	* 9,21	b
147	3	3	10,10	1,75	** 11,88	a	**11,63	a	* 9,2	b	* 9,28	b
161	4	4	19,54	3,48	***12,5	a	**12,00	a	* 8,37	b	* 9,92	ab
175	5	5	11,92	2,04	** 11,40	a	**11,54	a	* 9,02	b	* 9,13	b
Experimento II												
189	6	1	10,48	1,65	*9,42	a	**10,38	a	* 9,16	a	* 8,83	a
203	7	2	17,86	2,54	XX 7,91	a	*8,95	a	* 8,63	a	* 8,78	a
217	8	3	17,95	1,63	X 4,60	b	X 4,15	b	X 5,08	b	* 8,02	a
230	9	4	13,04	1,04	X 4,33	b	X 4,22	b	X 4,88	b	X 5,93	a
<b>Variável Diâmetro dos frutos</b>												
Experimento I												
119	1	1	12,83	2,05	5,80	a	5,28	ab	4,53	bc	4,18	c
133	2	2	11,47	1,94	4,90	ab	5,43	a	4,35	ab	4,21	b
147	3	3	10,10	1,75	6,55	a	6,72	a	4,38	b	4,08	b
161	4	4	19,54	3,48	6,53	ab	6,85	a	5,22	bc	4,87	c
175	5	5	11,92	2,04	6,06	a	6,42	a	4,17	b	4,90	b
Experimento II												
189	6	1	10,48	1,65	4,55	a	5,26	a	4,51	a	4,28	a
203	7	2	17,86	2,54	4,03	a	4,00	a	4,17	a	4,13	a
217	8	3	17,95	1,63	2,20	b	1,85	b	2,45	b	3,92	a
230	9	4	13,04	1,04	2,07	b	2,00	b	2,33	ab	2,70	a

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

\* Classificação dos frutos em classe (4 (X), 6(XX), 8(\*),10(\*\*), 12(\*\*\*)) e sub-classe (4 e 6) de acordo com São Paulo-SAA, (1998).

Verifica-se através dos resultados que o manejo da irrigação afetou tanto a quantidade como a qualidade dos frutos, concordando com Batal & Smittle (1981) que observaram reduções no rendimento e na qualidade dos frutos produzidos pela cultura sob condições de deficiência hídrica. O'Sullivan (1979) relata resultados de pesquisa que demonstram a sensibilidade do pimentão frente a deficiência hídrica, de acordo com o autor com a falta de água a translocação de nutrientes para o fruto é reduzida, o que afeta o crescimento e o formato dos frutos produzidos.

Os resultados expressam diferenças entre os tratamentos também durante o Experimento II. Através da Figura 8, observa-se que as plantas do tratamento 4 mantiveram a tendência de elevação da taxa de produção de frutos e apresentaram menores taxas de redução do peso médio dos frutos, em relação aos demais tratamentos. As diferenças estatísticas comprovam este comportamento, principalmente nas últimas colheitas, quando as plantas experimentavam condições de severa deficiência hídrica no solo (Quadros 7 e 8). Quanto à produção total, verifica-se que os montantes alcançados nos diferentes tratamentos mantiveram semelhança estatística com a produção observada no Experimento I.

A estatística dos resultados de produção específicos do Experimento II, não demonstrou diferenças entre os tratamentos (Quadro 7). Entretanto, quando são avaliados os índices relativos de incremento na produção para este Experimento, em relação ao montante produzido no Experimento I, verificam-se valores que expressam diferenças entre os tratamentos. Através destes resultados observa-se que, para um mesmo manejo da irrigação, as porcentagens de incremento na produção foram mais favoráveis aos tratamentos que não utilizaram cobertura sobre o solo o experimento I (Quadro 10).

Estes resultados expressam melhor desempenho produtivo das plantas dos tratamentos 3 e 4 em condições de déficit hídrico no solo, em comparação aos tratamentos 1 e 2. Para o manejo da irrigação a 1500 kPa verifica-se que as plantas do tratamento 4 apresentaram os maiores valores.

Quadro 10. Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de incremento relativo (%) na produção ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) verificados no Experimento II, em relação aos resultados do Experimento I.

CV%	DMS	Médias dos tratamentos							
		1		2		3		4	
28,89	21,36	<b>23,66</b>	c	<b>31,92</b>	bc	<b>47,22</b>	b	<b>100,29</b>	a
<b>Contraste</b>		$\hat{\mu}_c$	$\hat{\sigma}_c^2$	$\hat{\mu}_c$	$\hat{\sigma}_c^2$	$t_c$		$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1		-91,93	235,263	-5,9935		2,086 *			
Contraste X2		-61,33	235,263	-3,9985		2,086 *			
Contraste X3		44,86	235,263	2,9214		2,086 *			

Contrastes ortogonais: **X1**: Manejo da irrigação. **X2**: Cobertura do solo. **X3**: Interação Irrigação x cobertura.  
 Parâmetros:  $\hat{\mu}_c$ : Estimativa do contraste  $\hat{\sigma}_c^2$ : Estimativa da variância do contraste \* significativo 5% de probabilidade.  
 Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

Estes resultados podem estar relacionados com o desenvolvimento de uma maior adaptação das plantas dos tratamentos irrigados à 1500 kPa, e com maior expressão para o tratamento 4, às condições mais precárias de disponibilidade de água no solo. Enfocando-se o desempenho das plantas do tratamento 3, os efeitos positivos do emprego da cobertura sobre o solo ficam claros, considerando-se a maior produção destas plantas no Experimento II em relação ao tratamento 4. Contudo, os menores índices de rendimento relativo e os menores desempenhos nas colheitas finais, indicam que o desenvolvimento de uma possível adaptação destas plantas às condições de deficiência hídrica no solo, foi menos efetivo em comparação às plantas do tratamento 4, o que também pode ser atribuído ao efeito da cobertura, neste caso, porém, com efeito prejudicial.

Em referência à produção alcançada por plantas que experimentam situações de estresse por deficiência hídrica, como no caso deste trabalho, Heitholt et al. (1991) descrevem que o desempenho do processo produtivo em plantas sob condições de baixa disponibilidade de água é um importante indicativo de sua capacidade de tolerância às tais condições, estando diretamente relacionado com a manutenção das atividades fisiológicas e da capacidade fotossintética. Para Levitt (1972), em plantas submetidas à deficiência hídrica gradual no início de seu ciclo vegetativo, ocorre mais facilmente o desenvolvimento de adaptação para tolerância ao déficit hídrico, sendo este um importante mecanismo para a manutenção da capacidade produtiva em condições de seca. Proposições similares são também salientadas por Kramer & Boyer (1995) e por Begg & Turner (1976).

Através da elaboração de uma avaliação, considerando as lâminas totais de irrigação aplicadas à cultura e os rendimentos obtidos, podem ser efetuadas inferências com relação ao uso consuntivo da água (UCA) para os diferentes tratamentos. Conforme Klar (2000), o sistema de gotejamento apresenta grande eficiência de irrigação, o que no caso deste trabalho, possibilita que deduções inerentes ao UCA, possam representar adequadamente a relação entre a lâmina de água aplicada no solo e a produção da cultura.

Na Figura 9 são apresentados graficamente os valores do UCA, considerando as relações da produção e, em ambos os Experimentos. Para o cômputo da lâmina total de água aplicada, incluiu-se também a lâmina de 90 mm fornecida à cultura visando o “pegamento” das plantas (até 28 DAT). Para a produção do Experimento I os resultados demonstram que o UCA foi de 91, 161, 101 e 280 L.kg<sup>-1</sup>. Com a inclusão nos cálculos, da produção obtida no Experimento II o UCA resultante foi de 74, 123, 69 e 140 L.kg<sup>-1</sup> para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Estes percentuais de redução do UCA são, necessariamente, proporcionais ao aumento da produção de frutos, utilizados para os cálculos.

A avaliação efetuada nestes termos auxilia na confirmação do melhor desempenho produtivo das plantas dos tratamentos irrigados a 1500 kPa e especialmente do tratamento 4, durante o período de desenvolvimento do Experimento II. Entretanto, tecnicamente este tipo de resultado, de forma isolada, deve ser utilizado com cautela, pois não permite uma avaliação da qualidade dos frutos produzidos e nem do nível de produção alcançado. Os resultados estão de acordo com os verificados por Caixeta (1984) que reporta valores de UCA entre 58 e 298 L.kg<sup>-1</sup> para a cultura do pimentão.

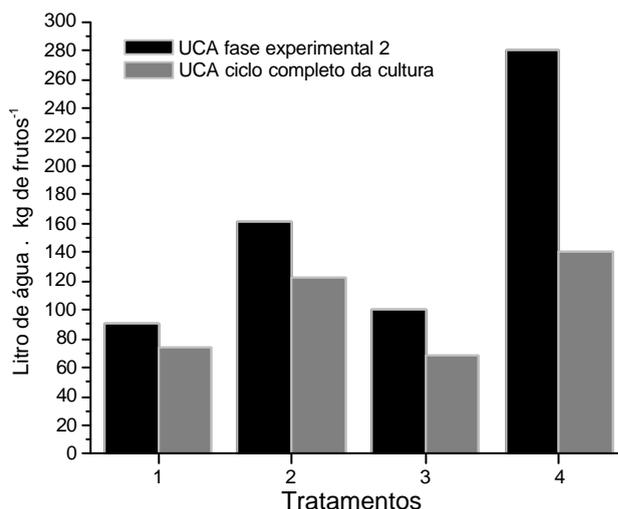


Figura 9 – Uso consuntivo da água - UCA (*Relação entre Lâmina de água aplicada ao solo (L) e produção de frutos de pimentão (kg)*) nos diferentes tratamentos, para a produção do Experimento I e produção total – somatório dos Experimentos I e II.

#### 4.5. Morfologia de plantas

Foram observadas diferenças estatísticas para o índice de área foliar (IAF) das plantas dos diferentes tratamentos (Quadro 11). Durante o período do experimento I (29 a 168 DAT) as maiores médias para esta característica foram verificadas nas plantas dos tratamentos 1 e 2, que, no entanto, não diferiram significativamente das observadas nas plantas do tratamento 3. Neste período as plantas do tratamento 4 foram as que apresentaram os menores valores de IAF, todavia, similares estatisticamente ao tratamento 3.

O estabelecimento do IAF máximo ocorreu já no período inerente ao Experimento II, aproximadamente aos 170 DAT para as plantas dos tratamentos 1 e 2 e próximo aos 180 DAT nas planta do tratamento 3 (Figura 10). Pela proximidade entre estas datas e a aplicação da última irrigação aos 168 DAT, provavelmente o máximo IAF destas plantas não tenha sido limitado pelo déficit hídrico do solo.

Quadro 11. Valores médios e análise de variância para o índice de área foliar (IAF) apresentado pelas plantas dos diferentes tratamentos nos experimentos (I) Manejo da irrigação e cobertura do solo e (II) Condições crescentes de deficiência hídrica.

Colheita			Médias dos tratamentos			
DAT	CV%	DMS	1	2	3	4
<i>Experimento I</i>						
29	21,06	0,015	0,0442 a	0,0418 a	0,0511 a	0,0401 a
44	21,50	0,050	0,1590 a	0,1315 a	0,1450 a	0,1290 a
58	20,87	0,064	0,2192 a	0,1682 a	0,1792 a	0,1702 a
72	20,10	0,075	0,2558 a	0,2292 a	0,2238 a	0,1880 a
86	19,30	0,092	0,3092 a	0,2810 ab	0,2642 ab	0,2166 b
100	22,24	0,113	0,3461 a	0,3316 a	0,3033 a	0,2455 a
114	19,18	0,111	0,3953 a	0,3741 ab	0,3408 ab	0,2798 b
128	18,60	0,122	0,4445 a	0,4311 ab	0,3830 ab	0,3128 b
142	19,92	0,123	0,5035 a	0,4816 a	0,4171 ab	0,3491 b
156	14,23	0,114	0,5340 a	0,5455 a	0,4605 ab	0,3911 b
<i>Experimento II</i>						
170	12,46	0,105	0,5398 a	0,5640 a	0,4926 ab	0,4280 b
184	10,33	0,088	0,5285 ab	0,5673 a	0,5135 ab	0,4455 b
198	9,32	0,076	0,5000 a	0,5171 a	0,4846 a	0,4565 a
212	11,15	0,080	0,4403 a	0,4680 a	0,4280 a	0,4430 a
221	13,78	0,074	0,2936 b	0,3711 a	0,3678 a	0,3883 a
241	12,95	0,090	0,1538 b	0,2533 a	0,2725 a	0,2588 a

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

Para as plantas do tratamento 4, o IAF máximo foi verificado somente aos 198 DAT. Contudo, é importante salientar que devido a curva de expansão foliar destas plantas estar em ascensão, restam dúvidas para se determinar com clareza se este dado representa o crescimento máximo potencial das plantas, ou se foi ocasionado pela redução da disponibilidade de água no solo, ou por ambos, o que parece aceitável para as circunstâncias.

Com relação ao desenvolvimento do dossel vegetativo durante este período, observa-se que os tratamentos afetaram o desenvolvimento da cultura, que se mostrou sensível às variações na disponibilidade de água no solo. Contudo, tanto as curvas da expansão do IAF como os resultados estatísticos indicam que as condições oferecidas pelo tratamento 4 foram as que ocasionaram as maiores restrições ao desenvolvimento das plantas. No caso do tratamento 3, o desenvolvimento vegetativo similar ao das plantas dos tratamentos irrigados a 50 kPa demonstra os efeitos da utilização da cobertura no aproveitamento da água pelas plantas.

Neste sentido, os resultados do manejo da irrigação apresentados no Quadro 5, demonstram que o turno de irrigação foi em média 15 dias mais curto para o tratamento 4 em comparação ao verificado para o tratamento 3. Sendo que, provavelmente, a

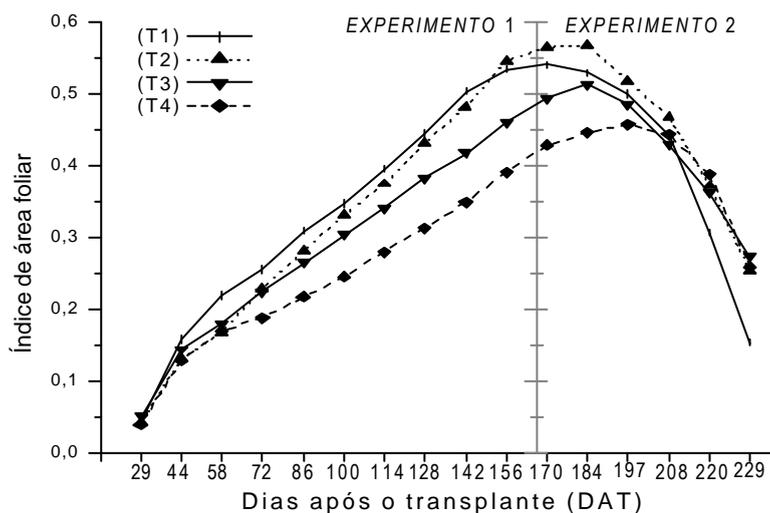


Figura 10 – Comportamento do índice de área foliar (IAF) apresentado pelas plantas de pimentão cultivadas em diferentes tratamentos de irrigação e cobertura do solo.

intensidade de redução da disponibilidade de água tenha afetado de forma mais severa as plantas do tratamento 4, que tiveram seu desenvolvimento reduzido, em relação ao apresentado pelas plantas dos tratamentos bem irrigados. Com os efeitos da cobertura diminuindo a evaporação direta da água do solo, as plantas do tratamento 3 tiveram melhores condições para o aproveitamento da água disponível, que ao ser reduzida de forma mais gradual durante os ciclos de umedecimento e secagem do solo, possivelmente tenha ocasionado menores níveis de estresse nas plantas, que conseguiram se desenvolver melhor.

Considerando a fragilidade das plantas no início do ciclo de desenvolvimento, principalmente no que se refere ao sistema radicular superficial, é importante se fazer uma inferência sobre o valor médio relativamente elevado da densidade global do solo da área experimental ( $1,49\text{g.cm}^3$ ) o qual, conforme Klein & Libardi (2000), pode impor restrições dificultando a expansão radicular das plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento. Desta forma, é possível que, principalmente no primeiro ciclo de irrigação, com o rápido secamento do solo as plantas do tratamento 4 tiveram dificuldades para extrair água em maior profundidade no solo, sendo que no caso do tratamento 3, as condições foram mais favoráveis, devido ao maior tempo para o desenvolvimento radicular até que fossem atingidos os níveis mínimos de umidade no solo.

Quando a ocorrência de déficit hídrico é rápida, a planta precisa adaptar seus mecanismos morfo-fisiológicos à nova situação, sendo as modificações no dossel vegetativo uma das primeiras alterações verificadas (Klar et al., 1985). Os resultados observados estão de acordo com Bray (1997) e Boyer (1996), que consideram a redução da expansão foliar como um dos primeiros sintomas do déficit, sendo que a amplitude destas reduções depende da intensidade da deficiência de água experimentada pelas plantas. Pimentel e Perez (2000) verificaram alta correlação entre as alterações do IAF e a ocorrência de deficiência hídrica em plantas de feijão.

Nas condições do experimento, as alterações na expansão foliar do pimentão podem ser, em parte, explicadas conforme relatos de diferentes pesquisadores. Em

condições de déficit hídrico, os níveis de auxina são reduzidos em função do aumento da concentração de etileno (Xing & Rajashekar, 1999), sendo o potencial de parede e o alongamento celular afetados (Larcher, 1995). Newman (1995) acrescenta reduções na extensibilidade e aumento no enrijecimento da parede celular, reduzindo o crescimento da folha de plantas afetadas por condições de deficiência hídrica o que, segundo Begg & Turner (1976), em tais condições ocorre mais em função de reduções no tamanho das células do que no número de células formadas. Para Jensen (1981), estes fatores podem reduzir a sensibilidade das plantas aos efeitos da deficiência hídrica.

Durante o Experimento II, grandes alterações ocorreram no dossel vegetativo das plantas em decorrência da severidade da deficiência hídrica imposta às plantas. Cinco dias após a suspensão das irrigações (173 DAT), as plantas dos tratamentos 1 e 2 passaram a ser submetidas a condições de umidade no solo inferiores a 22% (50 kPa), limite inferior utilizado para manejo da irrigação no experimento I. No caso dos tratamentos 3 e 4 este limite é alcançado aos 212 DAT quando a umidade do solo reduz-se a níveis inferiores a 15% ou 1500 kPa.

Neste experimento, as condições de deficiência hídrica afetaram o metabolismo das plantas, ocasionaram senescência e elevada abscisão de folhas, reduzindo drasticamente o IAF (Figura 10). Nas plantas dos tratamentos 1 e 2 os sintomas da deficiência hídrica são desencadeados mais rapidamente, sendo que as plantas do tratamento 1 apresentam as mais elevadas taxas de redução do IAF, atingindo menores valores observados dentre os diferentes tratamentos nas últimas avaliações (Quadro 11).

A ocorrência mais tardia das alterações no IAF das plantas do tratamento 4, sob condições mais severas de deficiência hídrica no solo, deve estar relacionada com maior resistência destas plantas às condições adversas ocasionadas pelo déficit hídrico, sendo que inferências no sentido oposto podem ser feitas com relação às plantas do tratamento 1, que foram rapidamente afetadas pela redução da disponibilidade hídrica no solo.

Neste sentido pode-se salientar que as situações de rápidas e intensas reduções da disponibilidade de água no solo, a que as plantas do tratamento 4 foram submetidas durante o Experimento I, devem ter induzido alterações nos padrões fisiológicos normais destas plantas, que passaram a apresentar características de adaptação a tais condições. A menor expansão do dossel vegetativo em relação às plantas dos demais tratamentos é um indicativo de uma adaptação da morfologia destas plantas, para prevenir as perdas de água para o ambiente.

Por outro lado, as alterações mais intensas no dossel vegetativo das plantas do tratamento 1 indicam que o emprego da cobertura tornou as plantas mais suscetíveis aos efeitos do déficit hídrico em relação às plantas do tratamento 2. Embora o manejo da irrigação tenha evitado que as plantas de ambos os tratamentos fossem submetidas à deficiência hídrica, no caso do tratamento 2 a intensidade da evapotranspiração foi maior, devido às maiores perdas por evaporação, o que deve ter contribuído para a menor fragilidade das plantas.

Outro fator que deve ter influenciado de forma decisiva para estes resultados está relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular. Tseklev et al. (1993) e Streck et al. (1994), relatam que a associação de elevados teores de umidade com o emprego de cobertura tornando as temperaturas mais elevadas próximo à superfície do solo, ocasiona condições altamente restritivas ao aprofundamento do sistema radicular das plantas.

Os resultados verificados no experimento frente ao déficit hídrico não são exclusividade do pimentão. Conforme relatam Sivakumar & Shaw (1978), na cultura da soja a deficiência hídrica reduziu a expansão das folhas, o índice de área foliar, acelerou a senescência e ocasionou elevado índice de abscisão de folhas. Resultados similares são apresentados por vários autores, como Nóbrega et al. (2001) para o feijoeiro, Fernandez (1996) para algodão e Klar et al (1978) para gramíneas.

O processo de abscisão é bastante discutido na literatura. Uma das alternativas para evidenciar as relações entre causa e efeito para os resultados verificados,

pode ser atribuído a possibilidade de o aumento da deficiência hídrica poder ter ocasionado alterações metabólicas na planta que, conforme Taiz & Zeiger (1998), favorecem alterações na camada de abscisão da base foliar, reduzindo a exportação de auxina para o pecíolo e facilitando a acumulação de ácido abscísico (ABA) na região, facilitando a queda. Além disso, o aumento do nível de etileno que tem ação na regulação da auxina e na síntese e ativação de enzimas de degradação celular (Castillo, 1986; Gaspar, 1985), está envolvido na abscisão prematura de folhas (Larcher, 1995) e é rapidamente acelerado em plantas sobre estresse hídrico (Xing & Rajashekar, 1999). Observando resultados similares, Batal & Smittle (1981) ressaltam que a abscisão foliar caracteriza as plantas de pimentão como sensíveis aos efeitos do déficit hídrico.

A avaliação do número médio de hastes e de internódios nas plantas não demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos. Os valores observados foram de aproximadamente 98 internódios distribuídos em 13,0 hastes por planta (Quadro 12).

Como as plantas foram cultivadas no sistema de condução livre (sem a limitação do número de hastes através de podas), verifica-se que a quantidade de hastes produzidas pelas plantas foi mais elevada do que a normalmente utilizada no cultivo conduzido por podas, que é de aproximadamente 4,0 a 6,0 (Tivelli, 1998). Por outro lado, para o caso deste trabalho, a poda poderia influenciar nas avaliações, mascarando as respostas das plantas frente aos tratamentos. Além disto, de acordo com Locascio & Stall (1994), em muitos países a cultura do pimentão é tradicionalmente cultivada sem a prática da poda, havendo nos últimos anos uma tendência geral de adoção do sistema de condução livre.

Os resultados da avaliação da altura das plantas no experimento são apresentados na Figura 11, onde se pode observar que o estabelecimento dos máximos valores para este parâmetro ocorreu aproximadamente aos 150 DAT. As plantas dos tratamentos 3 e 4 foram as que apresentaram as menores taxas de crescimento alcançando alturas máximas de 103cm e 87cm, respectivamente. O maior crescimento em altura foi apresentado pelas plantas

Quadro 12. Valores médios e análise de variância do número médio de internódios nas plantas de pimentão submetidas a diferentes manejos da irrigação e cobertura do solo.

CV%	DMS	Médias dos tratamentos			
		1	2	3	4
<b>Variável: Número médio de internódios por planta</b>					
19,04	23,42	100,31 a	104,72 a	97,19 a	92,08 a
<b>Variável: Número médio de hastes por planta</b>					
23,68	5,18	14,24 a	13,05 a	13,13 a	12,19 a

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade.

dos tratamentos 1 e 2, que alcançaram os respectivos valores de 115cm e 105cm. A altura das plantas do tratamento 4 foi significativamente inferior ao tratamento 1 desde os 58 DAT e a partir dos 128 DAT também em relação às plantas do tratamento 2 (Quadro 13).

O comportamento da altura de plantas foi aproximadamente similar ao verificado para o IAF, indicando que a deficiência hídrica, que afetou as plantas do tratamento 4 no início do ciclo, ocasionou também restrições em seu crescimento vertical. Evidencia-se novamente o efeito da cobertura que, no caso do tratamento 3, possibilitou um crescimento das plantas estatisticamente similar ao verificado nos tratamentos irrigados a 50 kPa, o que não ocorreu com as plantas do tratamento 4. A deficiência hídrica altera o balanço dos reguladores vegetais e a turgescência celular (Larcher (1995), a parede celular depende destes fatores para distender, com isso o crescimento da planta afetada por deficiência hídrica é prejudicado.

Quadro 13. Análise de variância para a altura de plantas, observados nos diferentes tratamentos do Experimento I (manejo da irrigação e cobertura do solo).

DAT	Avaliação		Médias dos tratamentos			
	CV%	DMS	1	2	3	4
29	13,68	5,304	23,667 a	23,500 a	22,833 a	23,167 a
44	12,71	9,008	42,667 a	44,667 a	44,333 a	38,583 a
58	10,87	10,294	64,500 a	56,000 ab	58,833 a	48,333 b
72	13,81	16,617	85,833 a	69,417 ab	70,333 ab	63,583 b
86	14,40	19,234	94,167 a	80,500 ab	75,500 ab	71,000 b
100	13,89	20,586	103,50 a	90,167 ab	85,500 ab	77,000 b
114	12,10	14,484	107,83 a	98,500 ab	92,167 bc	81,667 c
128	12,54	16,413	111,83 a	103,333 a	98,167 ab	86,500 b
142	12,59	16,686	113,67 a	105,333 a	102,333 ab	87,667 b
156	12,84	17,366	114,00 a	105,667 a	103,667 ab	87,750 b
170	12,84	17,366	114,00 a	105,667 a	103,667 ab	87,750 b

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

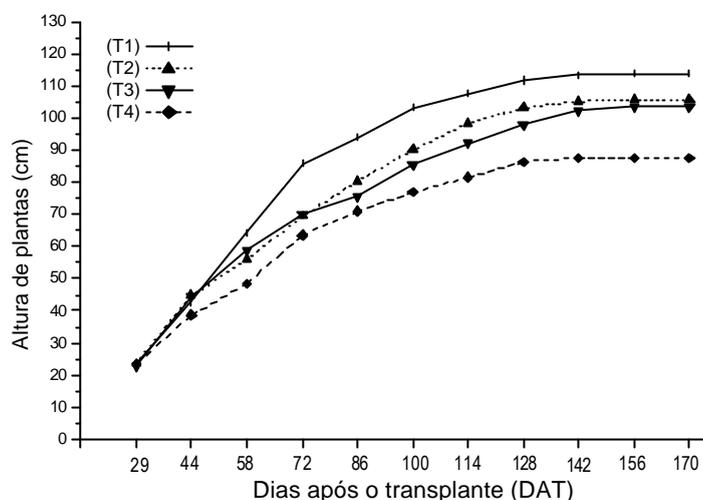


Figura 11 – Variações no crescimento em altura apresentado pelas plantas de pimentão cultivadas em diferentes tratamentos de irrigação e cobertura do solo.

Grande parte das informações relacionam as reduções do crescimento em plantas sob deficiência hídrica, principalmente com aumento de síntese de ácido abscísico (ABA) e etileno, inibição da síntese e distribuição de auxina e reduções na taxa de fotossíntese (Taiz & Zeiger, 1998), além de alterações bioquímicas à nível de parede celular (Bray, 1997).

Além destes, os resultados verificados neste trabalho podem ser correlacionados com outros estudos anteriores que se referem à deficiência hídrica. Regina & Carbonneau (1997) salientam que além de afetar as trocas gasosas na parte aérea por alterar a abertura estomática, o ABA atua na redução do crescimento, que é também afetado pela redução do ácido giberélico (GA) que juntamente com a auxina atua na expansão celular. De acordo com Davis & Zang (1991), um dos efeitos do ABA é aumentar o desenvolvimento radicular, geralmente em detrimento do crescimento da parte aérea das plantas em condições de estresse hídrico. Lea et al. (1995) demonstram que o acúmulo de ABA procedente das raízes do milho, ocasionou restrições no desenvolvimento da parte aérea da planta em favor da continuidade do desenvolvimento radicular. Conforme Wu et al. (1997), a maioria dos genes induzidos pela deficiência hídrica estudados até o momento, e que afetam o crescimento das plantas, são induzidos pelo ABA.

Estas relações podem contribuir para a interpretação das alterações morfológicas observadas nas plantas frente às condições experimentais impostas, entretanto, conforme ressaltam Taiz & Zeiger (1998), as relações fisiológicas no processo de crescimento e desenvolvimento das plantas são complexas e podem ser afetadas por diversos fatores.

Através dos resultados da avaliação da massa seca estrutural das plantas (Figura 12), verifica-se que as diferenças observadas na altura das plantas para os diferentes tratamentos não foram proporcionalmente traduzidas em produção de massa seca, sendo que os valores médios de massa seca produzidos nas plantas do tratamento 4, foram similares aos verificados nas plantas dos tratamentos 2, entretanto, estas apresentaram altura estatisticamente superior, e similar número médio de hastes e internódios.

Considerando que devido ao elevado índice de abscisão foliar nas determinações finais, a massa das folhas não foi contabilizada, estes resultados parecem evidenciar diferenças estruturais na formação dos tecidos da planta, com um maior espessamento da parede celular e de crescimento radial nas plantas do tratamento 4, o que segundo Schultz & Matthews (1993), é comum acontecer em plantas que sofrem deficiência hídrica. Neste caso, conforme Jensen (1981) e Neumann (1995) este poderia ser considerado

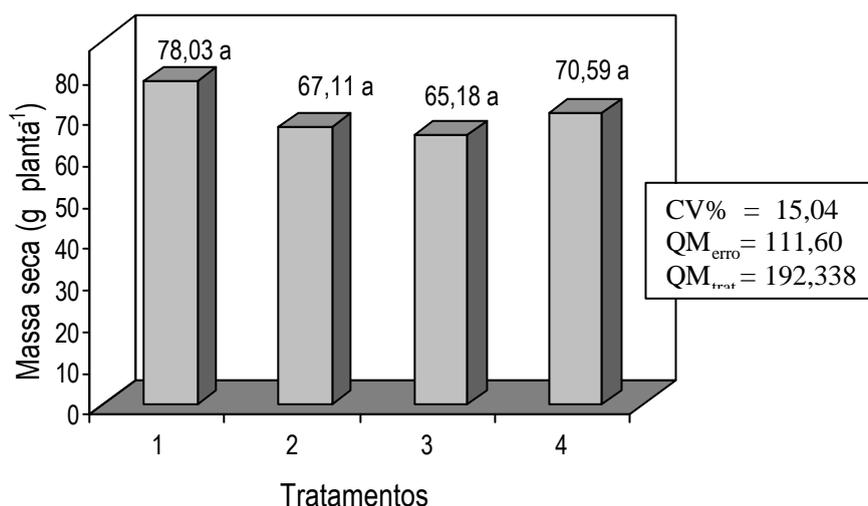


Figura 12 – Comportamento e resultados da análise de variância da massa seca estrutural (*parte aérea, exceto folhas*) das plantas de pimentão para os diferentes manejos da irrigação e cobertura do solo.

um indicativo claro da adaptação morfológica das plantas para evitar as perdas de água para o ambiente, processo que os autores, além de outros como Turner (1986), apontam como uma das principais características inerentes ao “endurecimento” por deficiência hídrica.

## **4.6 Características fisiológicas e bioquímicas**

### **4.6.1 Variação diária de algumas características fisiológicas**

O comportamento das características resistência à difusão do vapor de água na folha ( $R_d$ ), condutância estomática ( $C_e$ ), transpiração, teor relativo de água na folha (TRA) e potencial de água na folha ( $\Psi_f$ ) das plantas de pimentão, além de temperatura e radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), ao longo de um dia são apresentados na Figura 13. Estes dados foram coletados nas plantas dos tratamentos irrigados a 50 kPa com o solo apresentando teor de umidade próximo à capacidade de campo e em dia condições de céu claro. O objetivo desta avaliação foi verificar o melhor horário para se realizar as determinações para comparar o efeito dos tratamentos sobre as plantas no experimento II.

Verifica-se que a máxima PAR ( $\cong 900 \mu\text{moles} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) ocorreu entre 11:30 e 13:30h. Já as temperaturas máximas ocorreram entre 13:30 e 15:30h, com pico máximo de aproximadamente 29°C às 14:30h. Logo, as maiores temperaturas ocorreram posteriormente à ocorrência dos valores máximos de radiação no interior da estufa.

Tendo observando resultados similares, Halleux et al (1985) salientam que após a ocorrência da máxima incidência de radiação, as temperaturas continuam aumentando devido ao efeito de aquecimento do solo e demais corpos, que propagam calor aquecendo o ar adjacente. No caso do cultivo protegido, Farias et al. (1992) apresentam resultados que demonstram que no interior de estufas a radiação solar difusa chega a ser, em média, 65% maior do que externamente.

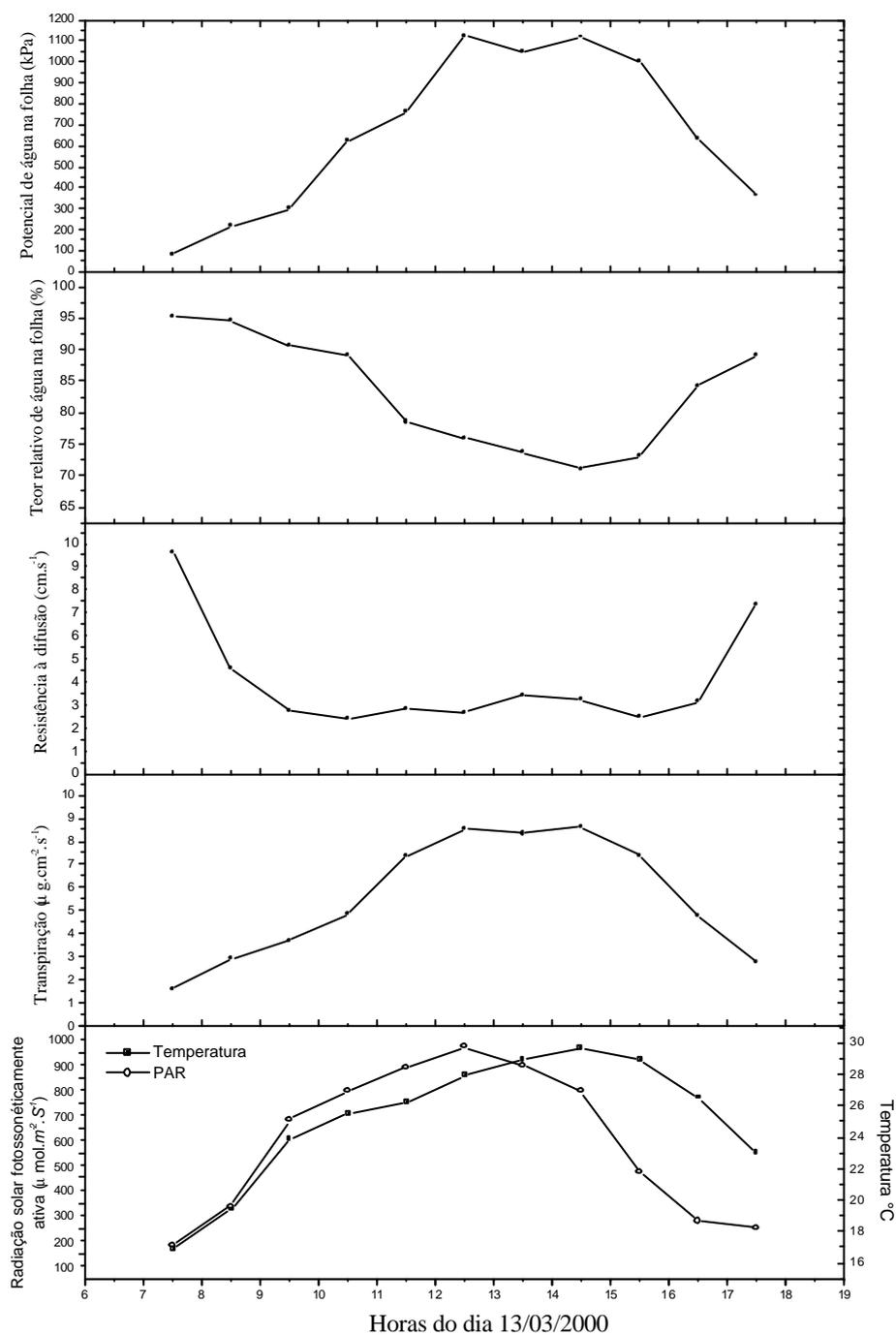


Figura 13. Variações da temperatura e radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) no interior da estufa, e da Transpiração, Resistência à difusão, Teor relativo de água na folha e Potencial de água nas folhas das plantas de pimentão ao longo do dia 13/03/2000, (76 DAT), em condições atmosféricas de céu claro.

Com relação às características fisiológicas, a  $R_d$  apresentou variações pronunciadas nas horas mais extremas do dia, com rápida redução até as 9:00h e rápida elevação após às 16:00h. Sendo que pequenas, porém, evidentes elevações neste parâmetro foram verificadas entre 12:30 e 14:00h.

A elevação da  $R_d$  neste horário de grande demanda evaporativa deve ter contribuído para cessar, tanto as elevações nas taxas de transpiração como as reduções do  $\Psi_f$  e TRA na folha, que apresentaram tais comportamentos desde o início da manhã com a elevação da PAR e da temperatura, sendo que, no final do dia, houve tendência de restabelecimento dos níveis iniciais.

Estas elevações na  $R_d$  ocorrem, segundo Klar (1984), devido a alterações no déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera, sendo função, principalmente, da temperatura da folha. Neste sentido, Medina et al (1999) consideram que sob condições naturais ou em casa de vegetação, na medida em que a temperatura se eleva, a umidade relativa do ar diminui, e as respostas dos diversos processos metabólicos da planta refletem a integração destes fatores.

O  $\Psi_f$  decresceu de 100 kPa às 7:30h até valores próximos a 1000 kPa entre 12:30 e 14:00h, recuperando-se no final da tarde. Com relação a estes resultados, pode-se inferir que tais variações ocorrem em função do aumento da transpiração, sem que haja a correspondente restituição da água perdida pela folha.

Estes resultados estão de acordo com os apresentados por Leopoldo et al. (1984), que estudando a cultura da soja observaram que o fluxo mínimo de água na planta ocorreu por volta das 6:00h, a máxima transpiração aproximadamente às 14:00h e o início da reposição da água nas folhas, nas horas finais do dia.

No caso específico deste trabalho, os resultados demonstram a sensibilidade do mecanismo fisiológico das plantas de pimentão frente às condições ambientais, as quais restringem as perdas de água em função de uma maior demanda evaporativa. O padrão de respostas aqui observado sugere que as plantas de pimentão em condições de cultivo protegido, no verão, são submetidas a um certo grau de estresse hídrico,

no período entre 12:00 e 15:00h, quando a temperatura do ar e a radiação solar são mais elevadas, e mesmo quando o solo está próximo à sua capacidade de campo a planta tem necessidade de regular o mecanismo estomático pela dificuldade em suprir a demanda atmosférica. Sendo, portanto, este horário indicado para avaliações fisiológicas visando observar o comportamento das plantas frente a condições de deficiência hídrica no solo.

Considerando estes resultados, é importante salientar que nas condições do Estado de São Paulo, é comum a ocorrência de altas temperaturas durante parte do dia, principalmente no verão. De acordo com Farias (1992), em cultivo protegido as temperaturas máximas são normalmente ainda mais elevadas do que no ambiente externo. Nestas condições, Medina et al. (1999) salientam que a umidade relativa do ar é substancialmente reduzida, mesmo sem a ocorrência de déficit de umidade no solo.

Os resultados estão de acordo com Jones et al. (1982), que salientam que em algumas horas próximas ao meio dia existe um relativo equilíbrio dinâmico do sistema solo-planta-atmosfera, quando as alterações da taxa transpiratória e do potencial de água na folha, são proporcionalmente pequenas.

Estas condições elevam o déficit de saturação de vapor na atmosfera. Desta forma, é possível que mesmo com abundância de radiação solar e água, ocorra o fechamento parcial dos estômatos por períodos expressivos durante o dia, o que pode resultar em reduções na fotossíntese com possíveis implicações sobre a produção da cultura.

#### **4.6.2 Comportamento das características fisiológicas das plantas ao longo do período de realização do Experimento II**

A aplicação dos tratamentos durante o experimento I, ocasionou diferenças no comportamento das características fisiológicas avaliadas, as quais são relacionados com as regulações hídricas da planta, nas condições de aumento progressivo da deficiência de água no solo ocasionadas pela suspensão da aplicação de irrigações durante o experimento II, a partir dos 169 DAT. Os resultados da análise estatística das características avaliadas são apresentados nos Quadros 14 (variância) e 15 são (contrastes ortogonais).

Quadro 14. Valores médios e análise de variância para os resultados de potencial de água na folha, teor relativo de água na folha, transpiração e resistência à difusão de vapor na folha durante o experimento II, (169 a 230 DAT).

DSI	CV%	DMS	Médias dos tratamentos							
			1		2		3		4	
<b>Variável: Potencial de água na folha (kPa)</b>										
2	22,24	5,610	8,623	a	8,655	a	8,398	a	10,030	a
10	16,84	5,231	11,749	a	13,045	a	10,151	a	9,031	a
18	16,38	5,841	13,645	a	12,256	a	11,221	a	13,319	a
27	11,02	4,372	16,199	a	14,710	a	12,698	a	12,522	a
38	14,26	6,181	16,525	a	16,161	a	14,513	a	14,121	a
46	11,73	5,462	22,955	a	23,661	a	15,643	b	16,949	b
54	14,19	8,934	25,678	a	22,537	a	20,840	a	20,029	a
62	8,96	4,386	27,058	ab	29,043	a	23,292	b	24,685	ab
<b>Variável: Teor relativo de água na folha (%)</b>										
2	13,35	22,286	85,102	a	84,642	a	83,460	a	84,079	a
10	10,92	17,260	76,769	a	74,298	a	70,862	a	79,626	a
18	6,81	5,892	70,606	b	72,817	ab	77,675	a	75,189	ab
27	12,51	17,162	52,705	b	65,679	ab	71,485	ab	72,255	a
38	9,92	11,874	57,577	a	58,696	a	60,105	a	66,664	a
46	13,87	14,635	36,137	b	42,587	ab	43,258	ab	52,484	a
54	15,99	17,196	30,582	a	38,294	a	40,674	a	42,551	a
62	21,33	18,991	26,692	a	30,845	a	33,858	a	34,599	a
<b>Variável: Transpiração (<math>\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}</math>)</b>										
2	15,55	2,465	6,956	a	6,812	a	6,946	a	7,081	a
10	16,54	2,723	6,063	a	5,719	a	5,996	a	5,533	a
18	16,21	2,263	5,212	a	4,987	a	4,811	a	4,756	a
27	19,97	2,164	3,274	a	4,360	a	4,452	a	3,243	a
38	21,75	1,963	3,579	a	3,426	a	3,050	a	2,481	a
46	46,33	2,903	2,945	a	2,188	a	2,316	a	1,871	a
54	39,68	1,551	1,060	a	1,532	a	1,442	a	1,509	a
62	19,27	0,437	0,433	b	0,772	ab	0,846	ab	1,156	a
<b>Variável: Resistência à difusão de vapor na folha (<math>\text{s cm}^{-1}</math>)</b>										
2	38,83	3,405	3,317	a	3,453	a	2,618	a	3,024	a
10	17,99	2,093	3,665	a	5,340	a	3,981	a	3,471	a
18	21,56	2,944	5,088	a	4,589	a	4,867	a	5,165	a
27	26,80	4,197	6,173	a	6,245	a	5,059	a	4,688	a
38	13,46	2,629	6,525	a	6,612	a	7,702	a	6,794	a
46	12,81	2,709	6,215	a	7,966	a	7,512	a	8,238	a
54	8,33	1,407	8,386	b	8,964	b	8,588	b	11,454	a
62	9,92	2,624	8,132	b	8,334	b	9,732	ab	11,227	a

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

Quadro 15. Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para o potencial de água na folha, teor relativo de água na folha, transpiração e resistência à difusão de vapor na folha durante o experimento II, (169 a 230 DAT).

<b>Variável: Transpiração</b>					<b>Variável: Resistência à difusão de vapor</b>				
<b>2 DSI</b>					<b>2 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,259	2,295	-0,1701	2,086 ns	1,1191	1,8086	0,8322	2,086 ns	
Contraste X2	0,009	2,295	0,0059	2,086 ns	-0,5317	1,8086	-0,3953	2,086 ns	
Contraste X3	0,279	2,295	0,1841	2,086 ns	0,2601	1,8086	0,1934	2,086 ns	
<b>10 DSI</b>					<b>10 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,253	1,134	0,237	2,086 ns	1,5537	0,7455	1,7994	2,086 ns	
Contraste X2	0,807	1,134	0,757	2,086 ns	-1,1643	0,7455	-1,3484	2,086 ns	
Contraste X3	-0,119	1,134	-0,112	2,086 ns	-2,1851	0,7455	-2,5307	2,086 *	
<b>18 DSI</b>					<b>18 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,632	0,697	0,756	2,086 ns	0,0262	1,6972	0,0201	2,086 ns	
Contraste X2	0,280	0,697	0,335	2,086 ns	-0,1784	1,6972	-0,1369	2,086 ns	
Contraste X3	0,170	0,697	0,203	2,086 ns	1,1782	1,6972	0,9044	2,086 ns	
<b>27 DSI</b>					<b>27 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,661	1,242	-0,0547	2,086 ns	2,671	2,2088	1,7972	2,086 ns	
Contraste X2	0,123	1,242	0,110	2,086 ns	0,299	2,2088	0,2012	2,086 ns	
Contraste X3	-2,295	1,242	-2,058	2,086 ns	-0,443	2,2088	-0,2980	2,086 ns	
<b>38 DSI</b>					<b>38 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	1,474	0,8218	1,6259	2,086 ns	-1,3594	1,0676	-1,3156	2,086 ns	
Contraste X2	0,722	0,8218	0,7964	2,086 ns	0,820	1,0676	0,7936	2,086 ns	
Contraste X3	-0,416	0,8218	-0,458	2,086 ns	-0,9954	1,0676	-0,9630	2,086 ns	
<b>46 DSI</b>					<b>46 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,496	1,2278	0,4476	2,086 ns	-1,5689	1,0476	-1,5328	2,086 ns	
Contraste X2	0,752	1,2278	0,6786	2,086 ns	-2,4771	1,0476	-2,4201	2,086 *	
Contraste X3	-0,138	1,2278	-0,1245	2,086 ns	-1,0253	1,0476	-1,0017	2,086 ns	
<b>54 DSI</b>					<b>54 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,359	0,6228	-0,4548	2,086 ns	-2,6918	1,5145	-2,1873	2,086 *	
Contraste X2	0,539	0,6228	-0,6829	2,086 ns	-3,4456	1,5145	-2,7997	2,086 *	
Contraste X3	-0,405	0,6228	-0,5132	2,086 ns	2,2882	1,5145	1,8593	2,086 ns	
<b>62 DSI</b>					<b>62 DSI</b>				
Contraste	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	◇	◇(X)	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,797	0,1165	-2,3353	2,086 *	-4,493	0,9522	-4,6043	2,086 *	
Contraste X2	-0,649	0,1165	-1,9017	2,086 ns	-1,6972	0,9522	-1,7392	2,086 ns	
Contraste X3	-0,029	0,1165	-0,085	2,086 ns	1,2918	0,9522	1,3238	2,086 ns	

Continua...

Continuação...

<i>Variável: Potencial de água na folha</i>					<i>Variável: Teor relativo de água na folha</i>				
<i>2 DSI</i>					<i>2 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-1,15	2,143	-0,785	2,086 ns	2,205	63,121	0,277	2,086 ns	
Contraste X2	-1,66	2,143	-1,137	2,086 ns	1,079	63,121	0,136	2,086 ns	
Contraste X3	1,60	2,143	-1,093	2,086 ns	-0,159	63,121	-0,020	2,086 ns	
<i>10 DSI</i>					<i>10 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	5,612	1,566	4,485	2,086 *	-2,421	44,635	-0,362	2,086 ns	
Contraste X2	-0,176	1,566	-0,141	2,086 ns	2,707	44,635	0,405	2,086 ns	
Contraste X3	-2,415	1,566	-1,930	2,086 ns	-1,765	44,635	-0,264	2,086 ns	
<i>18 DSI</i>					<i>18 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	1,351	5,044	0,602	2,086 ns	-9,441	21,310	-2,045	2,086 ns	
Contraste X2	-0,698	5,044	-0,311	2,086 ns	0,2750	21,310	0,059	2,086 ns	
Contraste X3	3,477	5,044	1,548	2,086 ns	-4,697	21,310	1,017	2,086 ns	
<i>27 DSI</i>					<i>27 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	5,689	3,954	2,860	2,086 *	-25,356	107,439	-2,446	2,086 *	
Contraste X2	1,665	3,954	0,837	2,086 ns	-137,744	107,439	-1,326	2,086 ns	
Contraste X3	1,313	3,954	0,660	2,086 ns	-12,204	107,439	-1,177	2,086 ns	
<i>38 DSI</i>					<i>38 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	4,052	6,918	1,540	2,086 ns	-10,496	19,601	-2,370	2,086 *	
Contraste X2	0,756	6,918	0,2874	2,086 ns	-7,678	19,601	-1,734	2,086 ns	
Contraste X3	-0,028	6,918	-0,0106	2,086 ns	5,440	19,601	1,229	2,086 ns	
<i>46 DSI</i>					<i>46 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	14,224	4,106	7,019	2,086 *	-17,018	39,907	-2,694	2,086 *	
Contraste X2	-1,812	4,106	-0,894	2,086 ns	-15,676	39,907	-2,481	2,086 *	
Contraste X3	0,800	4,106	0,394	2,086 ns	2,776	39,907	0,439	2,086 ns	
<i>54 DSI</i>					<i>54 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	7,346	17,817	1,740	2,086 ns	-14,349	40,602	-2,252	2,086 *	
Contraste X2	3,952	17,817	0,936	2,086 ns	-9,589	40,602	-1,505	2,086 ns	
Contraste X3	2,330	17,817	0,552	2,086 ns	-5,835	40,602	-0,916	2,086 ns	
<i>62 DSI</i>					<i>62 DSI</i>				
Contraste	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	8,124	14,689	2,119	2,086 *	-10,920	49,202	-1,557	2,086 ns	
Contraste X2	-3,378	14,689	-0,881	2,086 ns	-4,894	49,202	-0,697	2,086 ns	
Contraste X3	-0,592	14,689	-0,154	2,086 ns	-3,412	49,202	0,486	2,086 ns	

Contrastes ortogonais: X1: Manejo da irrigação. X2: Cobertura do solo. X3: Interação Irrigação x cobertura.

Parâmetros:  $\hat{\mu}$ : Estimativa do contraste  $\hat{\sigma}^2$ : Estimativa da variância do contraste \* significativo 5% de probabilidade.

Com relação à resistência à difusão (Rd) verifica-se através da Figura 14 que as plantas dos tratamentos 3 e 4 mantiveram taxas reduzidas de fechamento estomático enquanto o conteúdo de água no solo manteve-se superior a  $0,26\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ , a partir do qual, as taxas de Rd passaram a se elevar rapidamente, porém, de forma mais pronunciada para as plantas do tratamento 4, que em condições de déficit hídrico severo apresentaram maiores valores de Rd, seguidas pelas plantas do tratamento 3. As plantas dos tratamentos 1 e 2 apresentaram as menores taxas de incremento na Rd, o que pode ser observado através da menor inclinação das curvas destes tratamentos.

Analisando-se os resultados de potencial de água na folha ( $\Psi_f$ ) apresentados na Figura 15, verifica-se que este fator não foi expressivamente afetado durante a fase inicial das reduções da água disponível no solo. Entretanto, em condições de disponibilidade hídrica inferior a  $0,30\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ , observa-se uma aceleração das reduções do  $\Psi_f$  nas plantas dos tratamentos 1 e 2, o que para as plantas dos tratamentos 3 e 4 acontece posteriormente, quando o teor de água no solo aproxima-se de  $0,25\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ . Nas condições mais severas de deficiência hídrica, as plantas dos tratamentos 1 e 2 apresentam valores de  $\Psi_f$  inferiores à 2800 kPa.

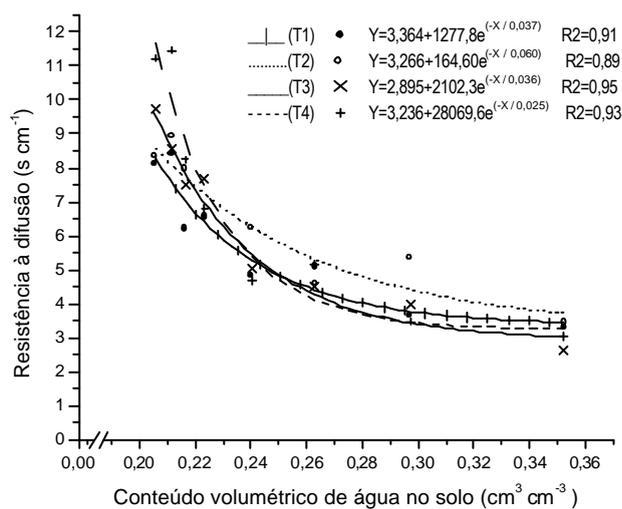


Figura 14. Variações da resistência à difusão do vapor de água nas folhas das plantas de pimentão em função da redução do conteúdo de água no solo.

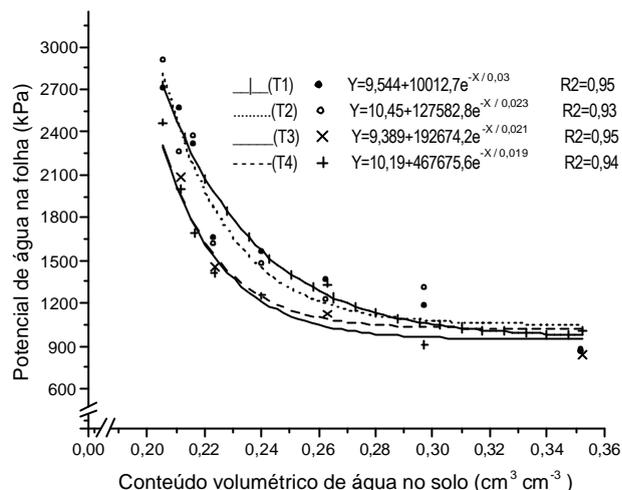


Figura 15. Variações da resistência à difusão do vapor de água nas folhas das plantas de pimentão em função da redução do conteúdo de água no solo.

Resultados similares para a cultura do pimentão são relatados por Hedge (1989) que salienta a grande sensibilidade da cultura ao estresse hídrico. Pimentel e Herbert (1999) observaram que plantas de feijão que apresentavam maior resistência ao déficit hídrico conseguiam manter maiores potenciais de água na folha em relação a plantas suscetíveis. Plantas de algodão que passaram por ciclos de deficiência hídrica apresentaram maiores  $\Psi_f$  e mantiveram crescimento mesmo em condições severas de déficit hídrico (Cutler et al., 1977). Jordam & Ritchie (1971) observaram abertura estomática mesmo em condições onde o potencial de água na folha da planta era inferior a 2700 kPa.

Para melhor avaliação das relações entre as características avaliadas e complementando as informações dos Quadros 14 e 15, efetuou-se o cruzamento dos dados através de análise de correlação. Os respectivos coeficientes de correlação calculados pelo método de Pearson, conforme Gomes (1990), são apresentados no Quadro 16. Verifica-se que os valores destes coeficientes indicam correlações significativas entre as características fisiológicas e bioquímicas testadas.

A correlação entre as características  $\Psi_f$  e  $R_d$  é apresentada na Figura 16. Observa-se que a  $R_d$  aumenta na medida em que o  $\Psi_f$  é reduzido, no entanto, esta relação acontece com maior intensidade nas plantas dos tratamentos 3 e 4, sendo que em condições

Quadro 16. Coeficientes de correlação (*Pearson*) resultantes da análise de correlação entre as características fisiológicas avaliadas no experimento II – 169 a 230 DAT.

	TRA	$\Psi_f$	Rd	Ce	POD
Transpiração	0,857	-0,845	-0,881	0,979	-0,884
TRA	-	-0,988	-0,981	0,920	-0,979
$\Psi_f$	-	-	0,972	-0,901	0,958
Rd	-	-	-	-0,947	0,981
Ce	-	-	-	-	-0,973

mais extremas de deficiência hídrica, os aumentos são mais pronunciados nas plantas do tratamento 4. Esta relação torna também bastante evidentes as diferenças entre as plantas irrigadas a 50 kPa e as dos tratamentos irrigados a 1500 kPa durante o experimento II, evidenciando a existência de um diferencial entre estas plantas quanto a capacidade de evitar a dessecação e tolerar os efeitos do déficit hídrico.

Estes resultados estão de acordo Brunini & Angelocci (1998) que verificaram estreita relação entre Rd e  $\Psi_f$  em plantas de café, sendo que a ocorrência de maior Rd evitou que a diminuição do  $\Psi_f$  ocorresse na mesma intensidade com referência às plantas que apresentaram menores valores de Rd. Relações similares entre estes fatores são

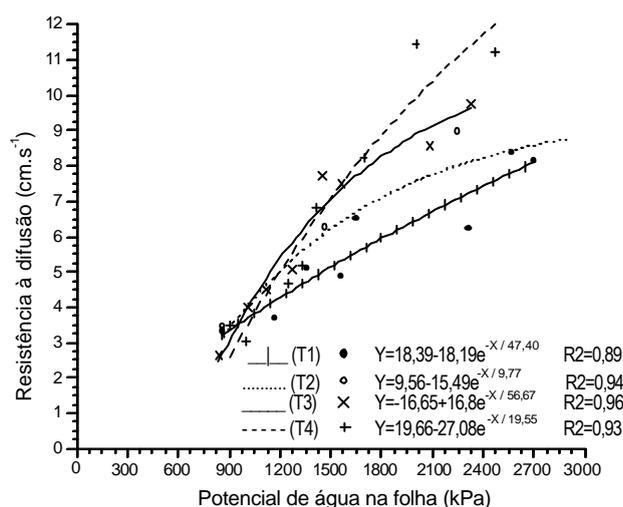


Figura 16. Correlação entre  $\Psi_f$  e Rd nas folhas das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

relatadas em várias pesquisas, dentre estas, pode-se citar os trabalhos de Urchei & Rodrigues (1994) e Pimentel & Herbert (1999).

Quando se correlaciona o  $\Psi_f$  com a condutância estomática ( $C_e$ ), observa-se claramente o comportamento mais restritivo às perdas de água das folhas nas plantas dos tratamentos 3 e 4 (Figura 17). Considerando-se a existência de uma relação inversa entre as características  $C_e$  e  $R_d$ , fica evidente a observação de que as plantas dos tratamentos 1 e 2, as quais apresentaram menores valores de  $R_d$ , apresentam também maior  $C_e$  nas condições de menor  $\Psi_f$  observadas sob deficiência hídrica severa. As diferenças são mais expressivas quando a comparação é feita em relação às plantas do tratamento 4.

Neste caso, com o aumento da deficiência hídrica no solo, a restituição da água perdida pela folha vai sendo cada vez mais reduzida, e o  $\Psi_f$  vai tornando-se cada vez menor. As diferenças nas curvas entre os tratamentos podem estar em parte relacionadas com as diferenças nas curvas de TRA das folhas. Na Figura 18a verifica-se que as plantas dos tratamentos 1 e 2 tendem a apresentar valores inferiores de TRA com o aumento do déficit hídrico no solo, indicando maiores perdas de água das folhas. Através da Figura 18b observa-se que as plantas dos tratamentos 3 e 4 apresentam maiores valores de TRA mantendo  $\Psi_f$  maiores, em relação aos tratamentos 1 e 2. Sinclair & Ludlow (1986), observaram a

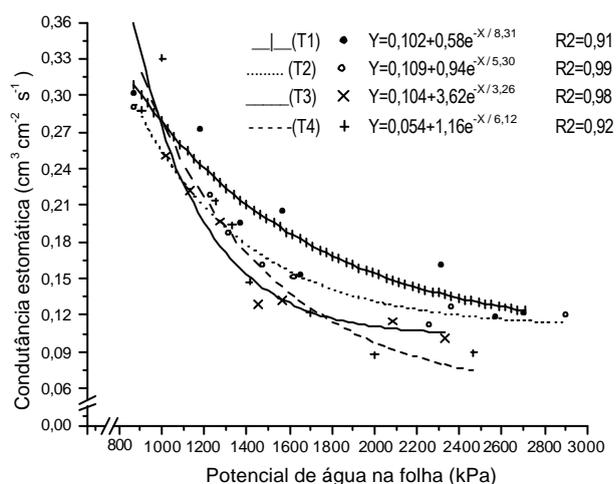


Figura 17. Correlação entre  $\Psi_f$  e  $C_e$  nas folhas das plantas de pimentão durante o período suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

existência de uma estreita relação entre  $\Psi_f$  e TRA, e ressaltam que, de modo geral, em folhas que apresentam maiores valores de TRA, o  $\Psi_f$  é menos reduzido.

Diferenças expressivas são também verificadas ao se analisar a correlação entre a TRA e Rd (Figura 19). Verifica-se que as reduções exponenciais no TRA são acompanhadas por aumentos lineares na Rd. Através da inclinação das curvas, verifica-se que as plantas do tratamento 4 reagem mais pronunciadamente às reduções no TRA, em comparação aos demais tratamentos, principalmente em relação ao tratamento 1.

Como as curvas que melhor relacionam TRA e teor de água no solo são exponenciais, esta relação linear entre TRA e Rd pode ser um indicativo de que a redução do TRA afeta o metabolismo da planta, que reage prontamente na tentativa de evitar o processo de perda de água da folha. Neste sentido, confrontando-se as curvas de Rd da figura 14 com as de TRA da figura 18a, pode-se inferir que possivelmente as relações acima tenham contribuído para as diferenças nas curvas de TRA entre os diferentes tratamentos. Assim, a manutenção de maior TRA, além da extração de água retida à baixos potenciais no solo depende muito da habilidade da planta em evitar as perdas pela folha. Estes resultados são similares aos verificados por Klar et al. (1985), em plantas de trigo. Porém, são contrários às explicações de Brunini e Angelocci (1999) que descrevem uma relação não linear entre a

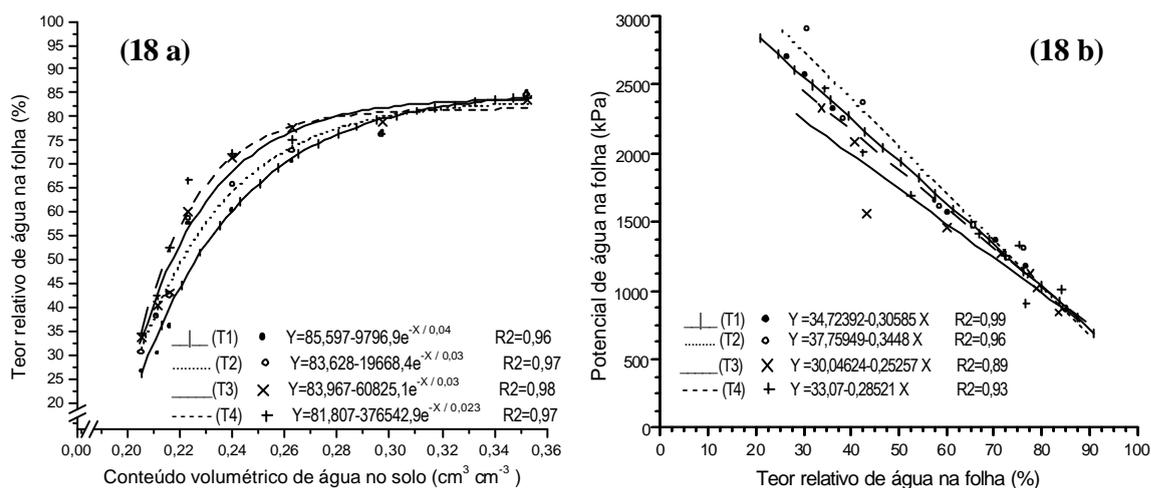


Figura 18. Variações do teor relativo de água na folha (TRA em função do conteúdo de água do solo **(18a)** e Correlação entre TRA e potencial de água **(18b)** nas folhas do pimentão ao longo do Experimento II (169 a 230 DAT).

variação do  $\Psi_f$  e do TRA na folha, contudo, estes autores avaliaram a recuperação da turgescência da folha imediatamente após a aplicação de água no solo, situação diferente das avaliações em longo período de deficiência hídrica, realizadas neste trabalho.

A transpiração das plantas foi exponencialmente reduzida com o decréscimo da disponibilidade de água no solo (Figura 20a). As diferenças entre os tratamentos são pouco expressivas, porém, deve-se ressaltar as maiores restrições à transpiração observadas através da curva do tratamento 4, sendo que nas condições de deficiência hídrica das determinações finais, os valores mais restritivos são demonstrados pelo tratamento 1.

Reportando-se às curvas apresentadas na Figura 14, pode-se inferir que em condições normais este comportamento final, com menores taxas de transpiração não seria esperado para as plantas do tratamento 1. Seria mais lógico esperar tais comportamentos para as plantas do tratamento 4, já que apresentaram maior  $R_d$  e com isso, menor  $C_e$ . Todavia, este resultado pode estar relacionado a uma desordem metabólica ocasionada por um maior estresse nas plantas do tratamento 1, que não conseguem impor maiores resistências à saída de água da folha e nem apresentam extração suficiente para suprir a demanda em potencial.

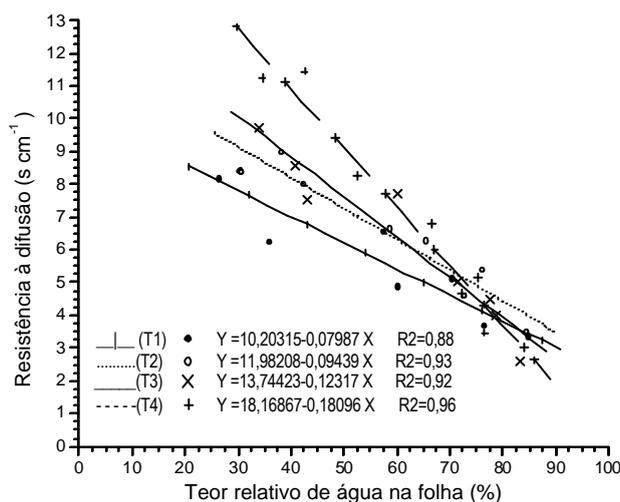


Figura 19. Correlação entre Resistência à difusão ( $R_d$ ) e Teor Relativo de Água na Folha (TRA) das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

As relações entre a transpiração com as características Rd, TRA e  $\Psi_f$ , são apresentadas nas Figuras 20b, 20c e 20d, respectivamente, onde é possível se verificar um comportamento mais restritivo à perdas de água pelas plantas dos tratamentos 3 e 4, principalmente em relação ao tratamento 4, onde as respostas são bastante evidentes.

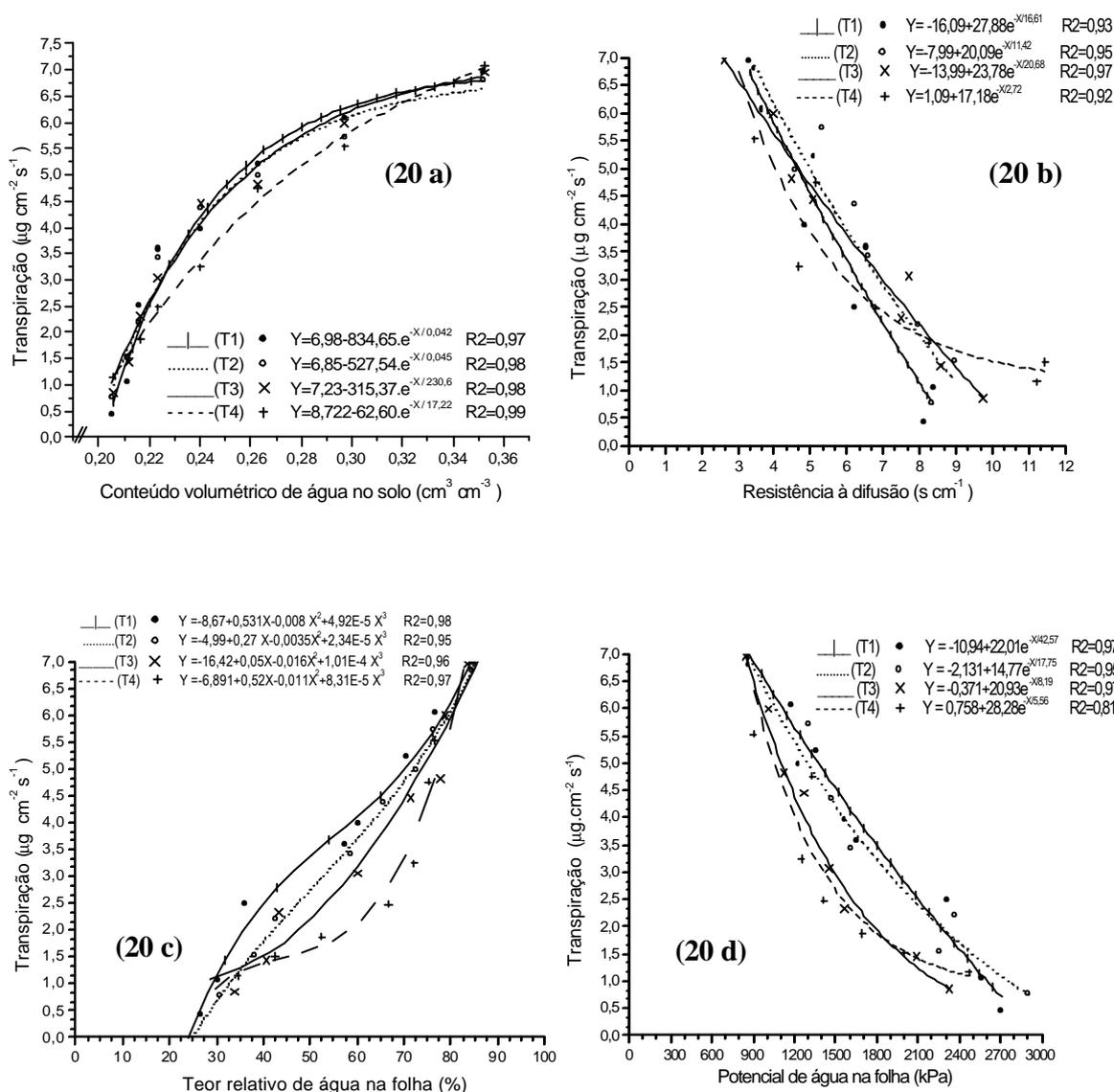


Figura 20. Variações da transpiração nas plantas em função da redução do conteúdo de água do solo (20a); Correlações entre Transpiração e Resistência a difusão de vapor d'água (20b); Teor Relativo de água na folha (20c) e, Potencial de água na folha (20d) das plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

Considerando o comportamento geral das plantas e o efeito dos tratamentos, é importante ressaltar, que além das alterações morfo-fisiológicas observadas, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas deve ter grande influência sobre as diferenças observadas entre os tratamentos, principalmente na fase final do experimento II. Não se pode deixar de salientar que tendo sido submetidos a reduzidos potenciais de água no solo, provavelmente as plantas dos tratamentos irrigados a 1500 kPa estandi mais pré-condicionadas às estas condições, tenham expandido mais o sistema radicular em relação à parte aérea e, em maior profundidade no solo, tendo assim, condições de explorar melhor a água presente no perfil do solo, em relação às plantas dos tratamentos irrigados a 50 kPa.

Todavia, é importante que se delimite estas inferências, com relação à avaliação do nível do estresse experimentado e às alterações sofridas pelas plantas dos diferentes tratamentos, pois os resultados evidenciam claramente que em ambos os tratamentos as plantas foram drasticamente afetadas pela severidade da deficiência hídrica desenvolvida durante o Experimento II.

Constata-se através dos resultados (Figura 20a) que a diminuição da disponibilidade de água no solo, ocasionou efetivas reduções nas taxas de transpiração, porém, mesmo em níveis muito reduzidos, as plantas continuaram apresentando transpiração inclusive nas condições de déficit hídrico severo a que foram submetidas.

Observando comportamento similar em plantas de arroz, Tomar & O'Toole (1982) descrevem que em condições de deficiência hídrica severa é provável que a resistência à difusão seja extremamente aumentada e a transpiração seja substancialmente reduzida, porém, não completamente paralisada, a menos que a senescência da folha esteja em estágio amplamente avançado.

Através das avaliações realizadas, pode-se salientar que o efeito dos tratamentos de irrigação, ocasionou alterações no crescimento e produção das plantas dos tratamentos 3 e 4, que foram submetidos a ciclos de deficiência hídrica durante o Experimento I. Sendo que tais efeitos foram mais pronunciados sobre as plantas do tratamento 4, em função

da não utilização da cobertura sobre o solo, que amenizou os efeitos das restrições hídricas nas plantas do tratamento 3. Entretanto, os ciclos de deficiência hídrica, ocasionaram alterações morfo-fisiológicas, que indicam o desenvolvimento de características de “endurecimento” nas plantas destes tratamentos, as quais demonstraram maior habilidade para suportar a severidade da deficiência hídricas a que foram submetidas durante o Experimento II.

Tais características de endurecimento, segundo Turner (1986), estão relacionadas com a capacidade das plantas em suportar determinadas condições de deficiência hídrica, sendo menos estressadas em relação a plantas não endurecidas. Desta forma pode-se inferir que possivelmente durante o Experimento II, até dados limites de redução da disponibilidade de água no solo, as plantas dos tratamentos irrigados a 1500 kPa tenham experimentado menores níveis de estresse, em comparação às plantas bem irrigadas. Assim, sendo a enzima peroxidase, relacionada com situações de estresse em vegetais (Siegel, 1993), uma avaliação de seus níveis nas plantas, nas condições do experimento, pode ser de grande importância, no sentido de se definir a possibilidade de utilização desta como um indicativo de estresse hídrico em plantas de pimentão.

#### **4.6.3 Atividade de peroxidase e Proteína solúvel total**

As avaliações de atividade da enzima peroxidase (POD) foram realizadas durante o período do Experimento II. Neste período foram realizadas oito determinações de atividade da enzima, com intervalo médio de oito dias entre determinações.

Na figura 21 são apresentadas as variações da POD durante o período, e na figura 22, apresenta-se a correlação entre os dados de POD e conteúdo de água no solo. Através destas figuras e dos Quadros 17 e 18, onde são apresentados índices da análise estatística para os resultados, se pode fazer uma avaliação com relação aos efeitos dos tratamentos sobre os níveis de atividade da enzima, enfocando uma possível correlação entre a POD e algumas alterações metabólicas ocasionadas nas plantas pela deficiência hídrica no solo.

Através da figura 21 verifica-se que a amplitude das médias da POD ocorreu entre aproximadamente 0,04 e 0,09 ( $\mu\text{moles decompostos } gmv^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) nas respectivas condições de elevado e reduzido conteúdo de água no solo, sendo similar entre os tratamentos.

Observa-se que mesmo quando o conteúdo de água disponível às plantas é elevado, como nas circunstâncias do início Experimento II, a atividade da peroxidase é por volta de 0,035 ( $\mu\text{moles decompostos } gmv^{-1} \text{ min}^{-1}$ ). Neste caso, os valores similares para as plantas de ambos os tratamentos, indicam que os fatores que estão desencadeando a produção de peróxidos ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) nas plantas estão atuando de forma similar para as plantas dos diferentes tratamentos, o que indica condições experimentais homogêneas, sendo que as possíveis diferenças na atividade da enzima que venham a ser verificadas no transcorrer do período de avaliações, podem ser interpretadas como efeito do fator redução da disponibilidade de água no solo.

Quadro 17. Valores médios e análise de variância para os valores de atividade de peroxidase (POD) e proteína solúvel total (PST) apresentado pelas plantas durante o Experimento II – (169 a 230 DAT).

DSI	CV%	DMS	Médias dos tratamentos							
			1		2		3		4	
<b>Variável: Atividade de peroxidase (<math>m\text{moles decomposto. } g.mv^{-1}.min^{-1}</math>)</b>										
2	15,39	0,0083	0,0359	a	0,0321	a	0,0383	a	0,0324	a
10	14,79	0,0081	0,0334	ab	0,0292	b	0,0397	a	0,0381	a
18	19,01	0,0145	0,0537	a	0,0557	a	0,0372	b	0,0363	b
27	13,66	0,0120	0,0554	ab	0,0625	a	0,0496	b	0,0445	b
38	16,50	0,0182	0,0878	a	0,0749	ab	0,0611	b	0,0568	b
46	12,30	0,0137	0,0835	a	0,0853	a	0,0893	a	0,0623	b
54	12,60	0,0166	0,0904	a	0,0838	a	0,0826	a	0,0872	a
62	23,90	0,0236	0,0874	a	0,0893	a	-	-	0,0908	a
<b>Variável: Proteína solúvel total (<math>\mu\text{g } gmv^{-1}</math>)</b>										
2	17,8	104,89	313,88	a	353,59	a	334,21	a	417,14	a
10	11,1	56,17	364,54	bc	421,53	a	338,30	c	394,84	ab
18	13,2	69,98	267,51	b	350,76	a	328,47	ab	367,72	a
27	12,5	52,73	247,50	bc	201,97	c	274,52	ab	313,13	a
38	17,7	51,61	158,16	bc	138,7	c	207,91	ab	218,86	a
46	19,50	50,81	130,87	b	129,93	b	186,68	a	198,57	ab
54	34,87	72,86	54,75	b	150,50	a	141,04	a	155,96	a
62	45,84	58,79	56,74	b	121,26	a	-	-	130,33	a

Graus de liberdade: tratamento = 3; erro = 20; total = 23  
Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey nível de 5% de probabilidade de erro.

Quadro 18. Análise de variância e desdobramento dos tratamentos em contrastes ortogonais para os resultados de Atividade de Peroxidase e Proteína Solúvel Total durante o experimento II, (169 a 230 DAT).

<b>Variável: Atividade de Peroxidase</b>					<b>Variável: Proteína solúvel total</b>				
<b>2 DSI</b>					<b>2 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,00125	1,44E-05	-0,3295	2,086 ns	-83,88	2644,767	-1,631	2,086 ns	
Contraste X2	0,01469	1,44E-05	3,8725	2,086 *	-122,64	2644,767	-2,385	2,086 ns	
Contraste X3	0,00299	1,44E-05	0,7880	2,086 ns	43,22	2644,767	0,840	2,086 ns	
<b>10 DSI</b>					<b>10 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	-0,01477	1,58E-05	-3,7138	2,086 *	52,93	957,133	1,7108	2,086 ns	
Contraste X2	0,00613	1,58E-05	1,54135	2,086 ns	-113,53	957,133	-3,669	2,086 *	
Contraste X3	0,00297	1,58E-05	0,74679	2,086 ns	-0,450	957,133	-0,014	2,086 ns	
<b>18 DSI</b>					<b>18 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,03596	5,21E-05	4,98216	2,086 *	-77,92	1582,4	-1,958	2,086 ns	
Contraste X2	-0,00093	5,21E-05	-0,12938	2,086 ns	-129,5	1582,4	-3,0794	2,086 *	
Contraste X3	-0,00290	5,21E-05	-0,40172	2,086 ns	-44,0	1582,4	-1,1061	2,086 ns	
<b>27 DSI</b>					<b>27 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,02376	4,25E-05	3,6452	2,086 *	-148,18	559,5	-6,2645	2,086 *	
Contraste X2	-0,00196	4,25E-05	-0,3015	2,086 ns	-3,080	559,5	-0,1302	2,086 ns	
Contraste X3	-0,0121	4,25E-05	-1,8558	2,086 ns	94,14	559,5	3,9799	2,086 *	
<b>38 DSI</b>					<b>38 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,04472	7,14E-05	5,2907	2,086 *	-129,71	704,266	-4,8877	2,086 *	
Contraste X2	0,01715	7,14E-05	2,0292	2,086 ns	8,710	704,266	0,3282	2,086 ns	
Contraste X3	0,00868	7,14E-05	1,0273	2,086 ns	30,21	704,266	1,1383	2,086 ns	
<b>46 DSI</b>					<b>46 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,0173	3,78E-05	2,8122	2,086 *	-104,45	723,90	-3,8821	2,086 *	
Contraste X2	0,0252	3,78E-05	4,1019	2,086 *	9,050	723,90	0,3364	2,086 ns	
Contraste X3	-0,0287	3,78E-05	-4,676	2,086 *	-7,17	723,90	-0,2665	2,086 ns	
<b>54 DSI</b>					<b>54 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,0044	6,42E-05	0,5493	2,086 ns	-91,75	2065,233	-2,0189	2,086 ns	
Contraste X2	0,0020	6,42E-05	0,2496	2,086 ns	-110,67	2065,233	-2,4352	2,086 *	
Contraste X3	0,0113	6,42E-05	1,4149	2,086 ns	-80,83	2065,233	-1,7786	2,086 ns	
<b>62 DSI</b>					<b>62 DSI</b>				
Contraste	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	$\otimes$	$\diamond(\otimes)$	$t_c$	$t_{5\%}(20)$	
Contraste X1	0,0037	0,00011	0,3506	2,086 ns	22,04	966,767	0,7088	2,086 ns	
Contraste X2	-0,0097	0,00011	-0,9193	2,086 ns	-220,48	966,767	-1,709	2,086 ns	
Contraste X3	0,0067	0,00011	0,6349	2,086 ns	91,44	966,767	1,9408	2,086 ns	

Contrastes ortogonais: **X1:** Manejo da irrigação. **X2:** Cobertura do solo. **X3:** Interação Irrigação x cobertura.  
 Parâmetros:  $\otimes$  Estimativa do contraste  $\diamond(\otimes)$  Estimativa da variância do contraste \* significativo 5% de probabilidade.

É importante salientar que a inexistência de diferenças significativas entre médias de POD verificadas na primeira determinação demonstra que, em condições adequadas de disponibilidade de água no solo, as plantas dos tratamentos 3 e 4, que foram submetidas a condições pouco favoráveis de manejo da irrigação durante o período de aplicação dos tratamentos do experimento I, conseguem estabelecer padrões fisiológicos similares aos apresentados pelas plantas dos tratamentos 1 e 2, que foram mantidas sob elevados níveis de disponibilidade de água no solo, durante o referido período.

Os resultados demonstram que a POD nas plantas apresentou diferenças entre os tratamentos (Quadros 17 e 18). A análise de regressão entre os dados de POD e conteúdo volumétrico de água no solo, mostra um ajuste exponencial entre estes fatores, (Figura 22). Verifica-se comportamento similar para as curvas das plantas que foram submetidas ao mesmo nível de irrigação.

Considerando-se os tratamentos 1 e 2, observa-se que as reduções da água disponível no solo ocasionaram progressivos aumentos na POD, o que pode ser visualizado graficamente através dos traçados das curvas, que se apresentam crescentes a partir da segunda determinação (10 DSI), quando o conteúdo volumétrico de água no solo é de

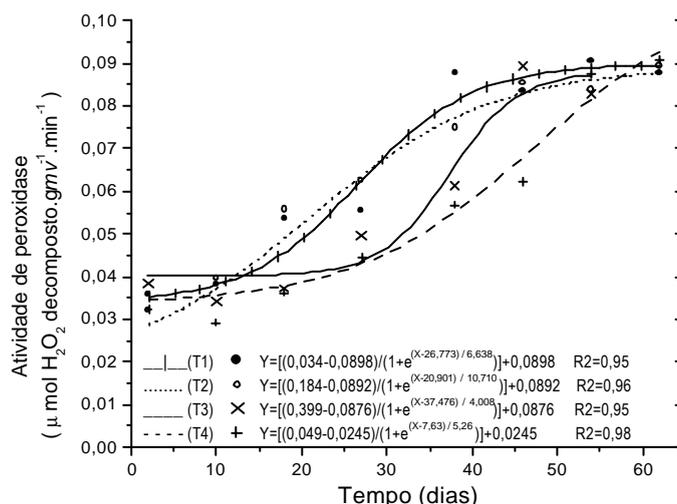


Figura 21. Atividade da enzima peroxidase nas plantas de pimentão durante o período de desenvolvimento do Experimento II (169 a 230 DAT).

aproximadamente  $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (100 kPa). No entanto, as diferenças estatísticas entre os tratamentos são evidenciadas nas determinações posteriores (18 DSI). No caso dos tratamentos 3 e 4, as alterações na POD começam a ser evidenciadas a partir da quarta determinação (27 DSI), quando o conteúdo volumétrico de água no solo reduz-se para valores próximos a  $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (400 kPa).

Com estes resultados verifica-se que os sintomas de estresse por deficiência hídrica são mais rapidamente desenvolvidos nas plantas dos tratamentos 1 e 2, demonstrando menor resistência destas às condições de deficiência hídrica frente as plantas dos tratamentos 3 e 4. Pode-se salientar que as menores taxas de elevação da atividade da enzima, apresentadas pelas plantas do tratamento 4, nos estágios mais avançados do processo de secamento do solo (Figura 21), podem estar relacionadas ao melhor condicionamento destas para as situações mais rígidas de deficiência hídrica no solo.

A atividade de peroxidase nas plantas mostrou a tendência de estabilizar a um nível máximo de aproximadamente  $0,09 \text{ (}\mu\text{moles decompostos } \text{gmv}^{-1} \text{ min}^{-1}\text{)}$ , o que ocorreu aos 38 DSI para o tratamento 1, 46 DSI para os tratamentos 2 e 3 e aos 54 DSI

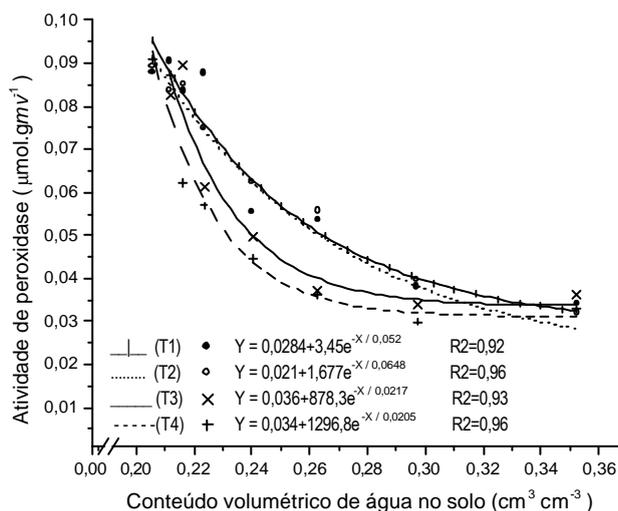


Figura 22. Variações da atividade da enzima peroxidase (POD) em função da redução do conteúdo de água no solo durante o período de desenvolvimento do Experimento II (169 a 230 DAT).

para o tratamento 4 (Figura 21). Confrontando-se estes resultados com as condições de umidade do solo, verifica-se que para o tratamento 1, os referidos níveis máximos de POD foram estabelecidos no momento em que o conteúdo de água no solo foi reduzido para valores muito próximos à  $0,225 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (1500 kPa) e para os demais tratamentos em condições de disponibilidade hídrica ainda mais inferiores, destacando-se o tratamento 4.

Considerando a POD como uma atividade metabólica de defesa das plantas (Cordeiro & Sá, 2001; Lima et al, 1999), estes resultados evidenciam que as plantas, principalmente do tratamento 4, continuam aumentando os níveis de POD visando a degradação de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , mesmo em condições severas de deficiência hídrica no solo, neste caso próximo ao ponto de murcha permanente (PMP). E considerando a POD como uma enzima relacionada ao estresse em plantas (Chen & Vierling, 2000; Chang & Kao, 1998), pode-se inferir que estas variações das curvas de atividade da enzima demonstram que as plantas dos diferentes tratamentos, desenvolveram diferentes níveis de estresse por efeito do déficit hídrico. Zhang & Kirkhan (1994), verificaram aumento da POD em plantas de trigo sob deficiência hídrica.

Através de uma avaliação cronológica dos resultados, observa-se que as plantas do tratamento 1 foram as primeiras a apresentarem expressivas reduções no IAF devido à senescência de folhas ocasionada pela deficiência hídrica no solo. Também foram estas plantas as que antes atingiram os níveis máximos de atividade da enzima. Por outro lado, as plantas do tratamento 4 foram as últimas a apresentarem os referidos resultados. Nesta seqüência salienta-se posição intermediária para as plantas dos tratamentos 2 e 3.

É preciso ressaltar, que com a intensificação do nível de senescência as folhas se desprendiam com facilidade, sendo poucas as que chegavam a apresentar o amarelecimento completo ainda sobre a planta. Sendo assim, presume-se que mesmo nas últimas determinações, quando o nível de senescência era crescente, o IAF das plantas era composto pelas folhas mais ativas fisiologicamente, sendo possível obter resultados que demonstram atividade metabólica mesmo quando as plantas se apresentavam altamente senescentes, especialmente para o tratamento 1, como no caso da última avaliação.

Neste caso, a POD estaria, provavelmente, atuando como um indicador do estado metabólico do tecido (senescente), já que nesta fase, diversos fatores podem promover o aumento da atividade da enzima, como o aumento da síntese de etileno (Morgan & Drew, 1997).

Estes resultados sugerem uma possível relação entre a ocorrência dos máximos níveis de POD com a elevação da senescência da folha. As explicações fisiológicas referentes à senescência de tecidos foliares em plantas sob estresse hídrico, geralmente relacionam o processo como tentativa de defesa da planta frente as perdas de água (Taiz e Zeiger, 1998). No caso de estresse, estes autores supõem relações positivas entre a via de síntese de etileno (catalisada pela enzima ACC) e o incremento da síntese de peroxidase. Morgan & Drew (1997) ressaltam que, embora o processo de elevação do etileno em situações de estresse não esteja esclarecido, sabe-se que este atua juntamente com outros reguladores vegetais na senescência dos tecidos.

A correlação positiva entre as vias de síntese de POD e etileno seria mantida sendo evidente a atuação da enzima como uma atividade metabólica de defesa nas plantas, tanto na já elucidada atuação na degradação de  $H_2O_2$ , como colaborando também, na tentativa de salvamento das plantas injuriadas, através do estímulo à senescência para reduzir a necessidade de água em condições severas de estresse por deficiência hídrica. É importante salientar, que de acordo com Kairong et al. (1999), a peroxidase está envolvida em inúmeros processos na planta, não somente na degradação de peróxidos.

Elaborando-se uma dedução mais simplificada, enfocando diretamente a peroxidase, pode-se inferir que com o aumento da concentração de radicais livres no meio celular, em função do estresse desencadeado pela deficiência de água no solo, a atividade da enzima esteja sendo aumentada como uma tentativa de defesa da planta de pimentão no intuito de manter a integridade celular.

No caso, como as plantas não são re-irrigadas, o estresse tende a ser intensificado, e a geração de peróxidos também. Porém, nas condições do final do

experimento, a atividade da enzima não continua aumentando, pelo simples fato de estar sendo reduzido o número de células fisiologicamente ativas, devido ao avanço da senescência nos tecidos da folha. Neste caso as diferenças entre os tratamentos podem ser, em parte, atribuídas a um possível “endurecimento” das plantas que foram submetidas anteriormente a ciclos de deficiência hídrica, tomando-se mais “aclimatadas” a estas condições.

Considerando a complexidade das relações fisiológicas nas plantas e principalmente em condições de estresse, salientadas por diversos autores, dentre eles Kramer & Boyer (1995), a insistência em uma tentativa de elaboração de inferências mais aprofundadas sobre as relações fisiológicas ocorridas nas plantas nas condições do experimento, sem ampliar o número de variáveis analisadas, principalmente a nível dos reguladores vegetais, poderia culminar em grandes equívocos. Nepomuceno et al. (2001) ressaltam que embora parte das causas e efeitos principais possam ser evidenciados, as relações fisiológicas em plantas sob estresse não são uma simples resposta ao efeito de um fator, mas sim uma relação complexa em desequilíbrio.

As relações da atividade de peroxidase com algumas características fisiológicas são apresentados nas figuras 23a e 23b. Verifica-se que as plantas do tratamento 4 associam maior  $R_d$  e menor transpiração com menor atividade da enzima. Demonstrando, desta forma, que estas plantas exercem maior controle para evitar as perdas excessivas de água por transpiração, e que nas condições de deficiência hídrica em que estão submetidas, as alterações no metabolismo são menos intensas em relação às plantas dos demais tratamentos. Este comportamento pode ser considerado como uma indicação clara de que através da atividade da enzima são evidenciadas diferenças no estresse desenvolvido nas plantas.

Os resultados da análise dos teores de proteína total solúvel (PST) presentes na folha (Quadros 17 e 18) e (Figura 24), podem ser adicionados aos resultados da POD, na tentativa de se interpretar o estado fisiológico e, por conseguinte, o nível de estresse apresentado pela planta.

As curvas exponenciais decrescentes demonstram redução dos teores de PST com o aumento da deficiência hídrica experimentada pela planta. Sendo que a intensidade com que este processo é desencadeado, ocasiona diferenças no traçado das curvas para os diferentes tratamentos. Contudo, verificam-se similaridades entre as variações na PST e o comportamento apresentado pelas plantas em relação a POD, podendo-se destacar a ocorrência de taxas mais elevadas de degradação da PST nas folhas das plantas dos tratamentos 1 e 2.

As reduções no teor de PST inicialmente podem ser atribuídas ao estado fisiológico das plantas, pois as proteínas são uma das características de crescimento e desenvolvimento celular (Lima, 1994). Considerando que tais reduções são mais pronunciadas nas plantas que se apresentam mais afetadas pela deficiência hídrica, não se pode deixar de descartar a hipótese de estar ocorrendo degradação da PST para a liberação de aminoácidos, como um artifício utilizado pela planta para reduzir o potencial osmótico das células e com isso buscar elevar sua capacidade de absorção e translocação de água (Bray, 1993).

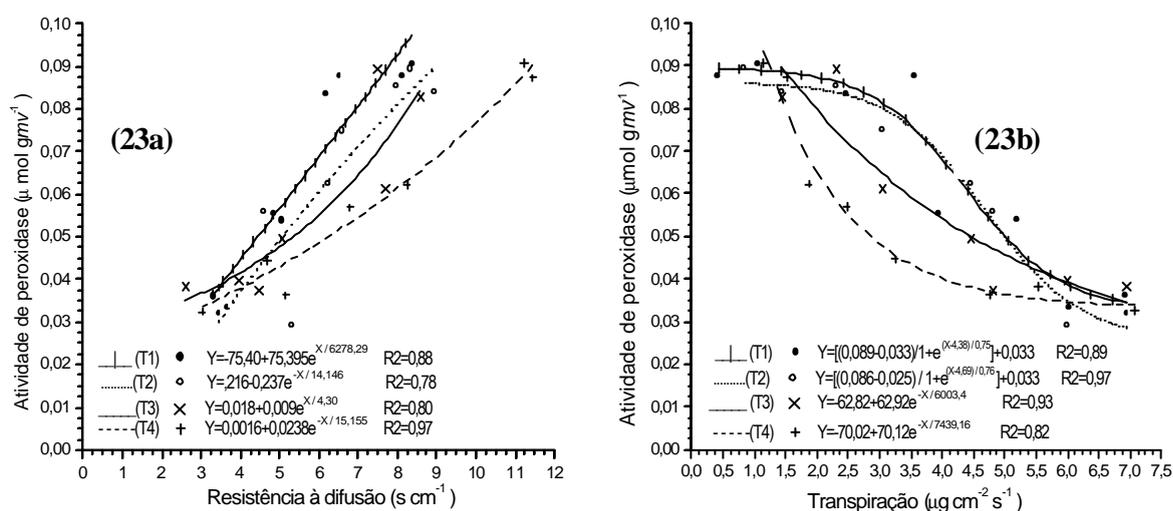


Figura 23. Correlação entre atividade de peroxidase (POD) e Rd (23a) e entre POD e transpiração (23b) nas plantas de pimentão durante o período de suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

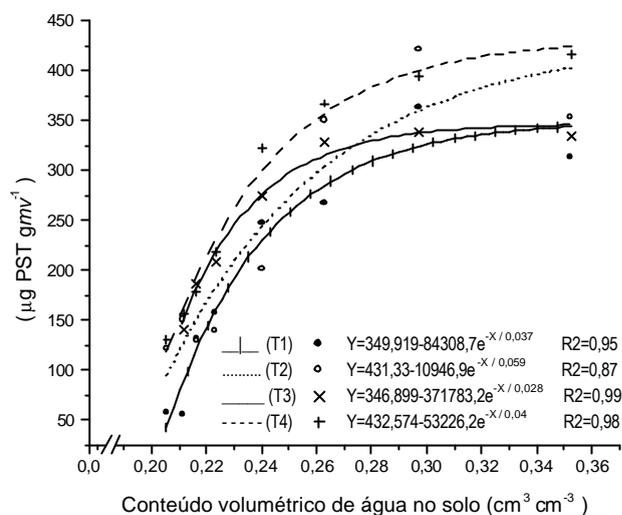


Figura 24. Variações dos teores de proteína solúvel total (PST) em função da redução do conteúdo de água no solo durante o período suspensão das irrigações no experimento (169 a 230 DAT).

Com relação ao ajustamento osmótico, Malone & Tomos (1992) e Stone & Walker (1995) salientam que o acúmulo acentuado de aminoácidos, sobretudo sob déficit hídrico severo, ocorre pela paralisação do crescimento das folhas e da síntese de proteínas, associado à hidrólise e destas.

Outros trabalhos relatam a utilização da degradação protéica pela planta em condições de estresse hídrico. Para Mudgett & Clarke (1994), o fato da degradação de proteínas ser geralmente alta durante a desidratação celular por deficiência hídrica é um claro indicativo do estresse sentido pela planta. De acordo com Navari-Izzo et al. (1990), a hidrólise de proteínas contribui para o ajuste osmótico, considerando que um maior teor de aminoácidos livres pode ser um importante mecanismo de tolerância à seca. Inferências similares são relatadas por Hare et al. (1996).

Contudo, as alterações como síntese, solubilização, hidrólise e degradação de proteínas nos vegetais, podem ocorrer como resposta a diversos fatores, inerentes a alterações fisiológicas e bioquímicas nas plantas. A produção de frutos, por

exemplo, é um fator que de forma geral é acompanhada por alterações nos níveis de proteínas da planta. Stone & Walker (1995) assinalam diversos fatores relacionados com as alterações nas proteínas dos tecidos vegetais, salientando evidências de que determinados grupos de proteínas e enzimas estão relacionados com a sinalização de estresse em plantas. Para os resultados do presente trabalho, o comportamento das curvas de variação da PST (figura 24) permitem concluir que os resultados estão relacionados com os efeitos da deficiência hídrica, porém, além dos efeitos diretos, é provável que a deficiência hídrica tenha afetado outras características metabólicas das plantas e que tenham como consequência a degradação protéica, que neste caso ocorre de forma indireta. Mizuno (1994) salienta correlações entre alterações nos reguladores vegetais e a constituição protéica das plantas.

Estes resultados, em adição aos apresentados anteriormente, evidenciam que as plantas do tratamento 3 e mais claramente do tratamento 4, apresentam características morfo-fisiológicas que expressam maior capacidade de conviver mais naturalmente sob condições de menores teores de água disponível no solo e, maior vulnerabilidade a tais condições às plantas do tratamento 1, e são ainda, evidências básicas que sugerem uma relação positiva entre a POD e o estresse hídrico na planta. Reforçando a tese de que a atividade de peroxidase pode ser utilizada como um indicativo de estresse em plantas, inclusive quando este é ocasionado por deficiência hídrica.

Em conformidade com estes resultados, Marur et al. (1994) relatam que os tecidos vegetais mostram diversas alterações das vias metabólicas em resposta ao déficit hídrico, e se apresentam de forma geral na forma de: a) perturbações nas vias metabólicas levando ao acúmulo ou perda de metabólitos; b) alterações das vias enzimáticas; c) alterações dos padrões protéicos. Upadhyaya et al. (1985) descrevem que grande parte dos fatores ambientais causadores de estresse, afetam a atividade da enzima peroxidase que, por isso, pode ser usada como um indicativo de estresse nas plantas.

As diferenças observadas entre as plantas dos tratamentos 3 e 4 podem ser atribuídas a cobertura de polietileno sobre o solo, que foi utilizado nas parcelas do tratamento 3, desde que, com a devida ressalva de ser a cobertura um agente indireto, cuja presença induziu as alterações nas relações hídricas que afetaram o metabolismo das plantas. Nos casos dos tratamentos 1 e 2, as grandes similaridades nos resultados observados indicam que em condições de elevada disponibilidade de água no solo o efeito da cobertura sobre o comportamento das plantas foi pouco expressivo.

## **5. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Com base nos resultados obtidos no trabalho, podem ser salientadas as seguintes considerações, enfatizando os principais resultados observados:

A utilização da cobertura de polietileno preto sobre o solo mostrou-se uma técnica eficaz para reduzir as perdas de água por evaporação direta através da superfície do solo. Entretanto, sua influência foi reduzida na medida em que diminui o conteúdo de água do solo.

Quando o manejo da irrigação foi efetuado a 50 kPa, a produtividade e a qualidade da produção, medida pelas dimensões e peso dos frutos, foram independentes da utilização de cobertura sobre o solo e superiores quando comparados ao manejo a 1500 kPa.

O manejo da irrigação a 1500 kPa reduziu a produtividade da cultura, porém, na presença de cobertura de polietileno sobre o solo os valores de produção obtidos foram superiores aos verificados em solo sem cobertura, devido a sustentação de maior número de frutos pelas plantas.

As plantas irrigadas a 1500 kPa e sem utilização de cobertura sobre o solo, apresentaram menor crescimento em altura e menor índice de área foliar em relação ao manejo da irrigação a 50 kPa.

Para o pimentão híbrido Elisa, cultivado no sistema de condução livre, os parâmetros número de hastes e de internódios nas plantas, demonstraram ser pouco influenciados pelo manejo da irrigação e pela utilização de cobertura sobre o solo.

O horário entre aproximadamente 12:00hs e 14:00hs demonstrou ser adequado para avaliações fisiológicas visando diferenciação da capacidade de resistência a deficiência hídrica das plantas.

O manejo da irrigação a 1500 kPa, submetendo-se a cultura a um pré-condicionamento através de consecutivos ciclos de deficiência hídrica, induziu aumento da capacidade das plantas em resistir à períodos de deficiência hídrica (endurecimento), em relação à plantas não pré-condicionadas. Tais características foram mais expressivas quando não se utilizou cobertura de polietileno sobre o solo.

O “endurecimento” das plantas aumentou o controle das perdas de água para a atmosfera através de redução no desenvolvimento vegetativo, regulação estomática e aumento da resistência à difusão do vapor de água na folha.

Condições de deficiência hídrica severa ocasionaram elevada senescência e abscisão das folhas das plantas.

O aumento do estresse hídrico desencadeou redução dos teores de proteína solúvel total e aumento na atividade da enzima peroxidase nas folhas das plantas.

A atividade da enzima peroxidase demonstrou estar relacionada com o nível de estresse experimentado pelas plantas, constituindo-se em uma avaliação eficiente para diferenciar a capacidade de resistência à deficiência hídrica em plantas de pimentão.

## **6. CONCLUSÃO**

Com base nos resultados obtidos no trabalho, pode ser evidenciada a seguinte conclusão:

O manejo da água de irrigação e a utilização de cobertura de polietileno sobre a superfície do solo ocasionam alterações em características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas de pimentão.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE JÚNIOR, A., BASTOS, E. A. RODRIGUES, B. H. N. Efeito de uso na uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento. *Irriga*, v.2, n.3, p.135-38, 1997.
- ANDREEVA, I. V. Membrane permeability and peroxidase activity in soy cultivars differing in resistance to mosaic virus. *Fisiol. Rast. (Mosc.)* v.36, n.4, p.810-17, 1989.
- BATAL, G. P. A., SMITTLE, D. A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population. *J. Am. Soc. Sci.*, v.106, n.3, p.259-62, 1981.
- BEGG, J. E., TURNER, N. C. Crop water deficits. *Advanc. Agron.*, v.28, p.161-207, 1976.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6 ed. Viçosa-MG: Imprensa Universitária, 1996. 596p.
- BÔAS, R. L. V. *Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através de fertirrigação*. Botucatu 2001. 123p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BÔAS, R. L. V. *Recomendação de adubação para a cultura do pimentão em cultivo protegido*. Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Departamento de produção vegetal – Solos, 1999. “não pag”, (Bol. Téc.).

- BOYER, J. S. *Measuring the water status of plants and soils*. Academic Press, New York, 1995. 177p.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. *Anal. Biochem.*, v.72, p.248-54, 1976.
- BRAY, E. A. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiol.* v.103, p.1035-40. 1993.
- BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Sci.* v.2, p.48-54, 1997.
- BRUNINI, O., ANGELOCCI, L. R. Resistência ao fluxo de água no sistema solo-planta e recuperação do potencial de água na folha após estresse hídrico em mudas de cafeeiro. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* v.10, n.1, p.45-50, 1998.
- BURIOL, G., STRECK, N. A., SHNEIDER, F. M., HELDWEIN, A. B. Temperature and moisture regime of a soil covered with transparent mulches. *Rev. Bras. Agrometeor.* v.4, n.2, p.1-6, 1996.
- CAIXETA, T. J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu.* v.10, n.113, p.35-7, 1984.
- CAMARGO FILHO, W. P., MAZZEI, A. R. Hortaliças prioritárias no planejamento da produção orientada: estacionalidade da produção e dos preços. *Inf. Econômico*, v.24, p.9-54, 1994.
- CARBON, B. A. Diurnal water stress in plants grown on a coarse soil. *Aust. J. Agric. Res.*, v.24, p.33-42, 1973.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas. Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ciênc. Rural*, v.25, n.1, p.183-88, 1995.
- CARLSON, R. E., MOMEN, N. N., ARJMAND, O., SHAN, R. H. Leaf conductance and leaf-water potential relationship for two soybean cultivars grown under controlled irrigation. *Agron. J.*, v.71, p.321-5, 1979.
- CARMEÑO, Z. S. Pimento. In: \_\_\_\_ *Cultivo de plantas hortícolas em estufa*. Lisboa: Litexa, 1977. cap.17, p.261-75.

- CARTER, P. R., SHEAFFER, C. C. Alfafa response to soil water deficits. II. Plant water potential, leaf conductance, and canopy temperature relationship. *Crop Sci.*, v.23, p.676-80, 1983.
- CARVALHO, J., SANTANA, M., QUEIROZ, T. M., SEDO, C., NANNETTI, D. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico e de doses de nitrogênio sobre a produção de pimentão. *Eng. Agríc.*, v.21, n.3, p.262-9, 2001.
- CARVALHO, W. A. P. et al. *Boletim Científico*. Botucatu, n.1, p.9-13, 1983.
- CASALI, V. W. D., Origem e botânica de capsicum. *Inf. Agropecu.*, v.10, n.113, p.8-10, 1984.
- CASELS, A. C., LONG, R. D., MOUSDALE, D. M. A. Endogenous IAA and morphogenesis in tobacco petiole cultures. *Physiol. Plantarum*. v.56, p.507-12, 1982.
- CASTILO, F. J. Extracelular peroxidases as markers of stress? In: GREPPIN, H., PENEL, C., GASPAR, T.H.(Eds). *Molecular and Physiol. Aspects of plant peroxidases*. Université de Genève, p.419-26, 1986.
- CHANDA, S., SINGH, Y. D. Changes in peroxidase and IAA oxidase activities during wheat grain development. *Plant Physiol. Biochem.*, v.35, n.3, p.245-50, 1997.
- CHANG, C. J., KHAO, C. H. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> metabolism during senescence of rice leaves: changes in enzyme activities in light and darkness. *Plant Growth Reg.* v.25, p.11-15, 1998.
- CHEN, H., VIERLING, R. Molecular cloning and characterization of soybean peroxidase gene families. *Plant Sci*, v.150, p.129-37, 2000.
- CONVERSO, D. A., FERNANDEZ, M. E., TOMARO, M. L. Effect of development and salt stress the activity and expression of wheat peroxidases. *Phyton*, v.61,p.147-56, 1997.
- CORDEIRO, M. C. R., SÁ, M. F. G. Interação planta-patógenos e uso da biotecnologia na obtenção de plantas resistentes. *Bio Tecnol. Ciênc. & Desenv.* n.23, p.34-9, 2001.
- CUNHA, A. R. *Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (Capsicum annum L.) em ambiente protegido e campo*. Botucatu, 2001. 128p. Tese (Doutorado/Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Estadual Paulista.

- CUTLER, J. M., RAINS, D. W., Effect of irrigation history on responses of cotton to subsequent water stress. *Crop Sci.*, v.17, p.329-35, 1977.
- DAVIES, W. J., ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol Mol. Biol.* v.2, p.55-76, 1991.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221p. (Trad).
- DOURADO NETO, D., LIER, Q. J. V., BOTREL, T. A. LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva característica de retenção de água do solo utilizando o modelo de Genuchten. *Eng. Rural*, v.1, n.2, p.94-101, 1990.
- DUBÉ, P. A., STEVENSON, K. R., THURTELL, G. W. Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential. *Can. J. Plant Sci.*, v.54, p.765-770, 1974.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro:Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Serviço de produção de informação/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília: 1999, 412p.
- FARIA, M. A., ZANOTO, M. D., CATÂNEO, A. KLAR, A. E. Comportamento de seis cultivares de cevada (*Hordeum vulgare* L.) sob regime de irrigação em Botucatu, Estado de São Paulo. *Científica*, v.21, n.1, p.97-111, 1993.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso da estufa plástica. *Rev. Bras. Agrometeor.* v.1, n.1, p.51-62, 1992.
- FERNANDEZ, C.J., McINNIS, K. J., COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water and nitrogen-stressed cotton. *Crop Sci.*, v.36, p.1224-33, 1996.
- FERREYRA, R. E. Efecto de diferentes alturas de água sobre el cultivo Del pimiento (*Capsicum annuum* L.) II. Relacion água-rendimento. *Agric. Técnica*. v.45, p.235-9, 1985.

- FERRI, M. G. *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU, 1985. v.1, 362p.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Manual de olericultura*. 2ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. v.2, 357p.
- GARDNER, W. R. Dynamics aspects of water availability to plants. *Soil Sci.*, v.89, p. 63-73, 1960.
- GASPAR, T., PENEL, C., CASTILLO, F. J., GREPPIN, H. A two step control of basic and acid peroxidase and its significance for growth and development. *Physiol. Plantarum*, v.64, p.418-423, 1985.
- GASPAR, T., PENEL, C., THORPE, T. GREPPIN, H. *Peroxidases 1970 - 1980*. A survey on their biochemical and physiological roles in higher plants. Univerite de Genève Press, 1982. 324p.
- GAVANDE, S. A., TAYLOR, S. A. Influence of soil water potential and atmospheric evaporative demand on transpiration and the energy status of water in plants. *Agron. J.*, v.59, p.4-7, 1967.
- GETHMEY, C. O., HALL, A. E. Adaptation to medseason drought of cowpea genotypes with contrasting senescence traits. *Crop Sci.*, v.32, p.773-78, 1992.
- GLENN, D. M., SCORZA, R. BASSETT, C. Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach. *Hortsci.*, v.35, n.7, p. 1241-43, 2000.
- GOMES, P. F. *Curso de Estatística experimental*. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- GOTO, R., TIVELLI, S. W. (Orgs.) *Produção em ambiente protegido: Condições subtropicais*. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319p.
- HALEUX, D., DELTOUR, J., NIJSKENS, J. Dynamic simulation of heat fluxes and temperatures in horticultural and low emissivity glass-covered greenhouses. *Acta Hortic.* v.170, p.91-6, 1985.
- HARE, P. D., PLESSIES, S. D., CRESS, W., STADEN, J. V. Stress-induced changes in plant gene expression. *S. Afric. J. Sci.*, v.92, p. 431-39, 1996.

- HARTZ, T. K., LesTRANGE, M., MAY, D. M. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. *Hortsci.*, v.28, n.11, p.1097-99, 1993.
- HASIO, T. C. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* v.24, p.519-70, 1973.
- HAYNES, R. J. The use of polyethylene mulches to change soil microclimate as revealed by enzyme activity and biomass nitrogen, sulphur and phosphorus. *Biology and fertility soil.* v.5, n.3, p.235 – 40, 1987.
- HEDGE, D. M. Effect of soil moisture and nitrogen on plant water relations, mineral composition and productivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) *Indian J. agron.*, v.34, n.1, p.30-4, 1989.
- HEITHOLT, J. J., JOHNSON, R. C., FERRIS, D. M. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen and drought-stressed wheat. *Crop Sci.*, v.31, p.133-39, 1991.
- HILLEL, D. *Solo e água, fundamentos e princípios físicos*. Porto alegre: Dep. Solos/FAV/UFRGS, 1970. 231p.
- INGRAN. J., BARTELS, D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant mol. Biol.* v. 47, p. 377-403, 1996.
- JADOSKI, S. O., ANDRADE, A. R. S. Influência do tempo de contagem na calibração da sonda de nêutrons. In: I SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA. 1999. Botucatu. Anais... Botucatu: FCA-UNESP, p. 283-88, 1999.
- JAMAUX, I., STEINMETZ, A., BELHASSEM, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. *New Phytol.* v.137, p.117-27, 1997.
- JENSEN, C. R. Influence of water and SALT stress on water relationships and carbon dioxide exchange of top and roots in beans. *New Phytol.*, v.87, p.285-95, 1981.
- JONES, J. W., ZUR, B., BOOTE, J. K., HAMMOND, L. C. Plant resistance to water flow in field soybeans: I. Non-limiting soil moisture. *Agron. J.* v.74, p.92-105, 1982.
- JORDAN, W. R., RITCHIE, J. T. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption and internal water status of cotton. *Plant Physiol.* v.48, p.783-88, 1971.
- JUNQUEIRA, A. H. Hortaliças, novos caminhos no ambiente protegido. In: ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: Agros, 1999. p.35-8.

- KAIRONG, C., GENESHENG, X., XINMIN, L., GENGMEI, X., YAFU, W. Effect of hydrogen peroxide on somatic embryogenesis of *Lycium barbarum* L. *Plant Sci.* v.146, p.9-16, 1999.
- KAISER, W. M. Effects of water deficits on photosynthetic capacity. *Physiol. Plantarum*, v.71, n.2, p.142-49, 1987.
- KATAN, J., DEVAY, J. E. *Soil solarization*. Florida: CRC Press, 1991. 267 p.
- KAUFMANN, M. R., HALL, A. E. Plant water balance – its relationship to atmospheric and edaphic conditions. *Agric. Meteorol.* v.14, p.85-98, 1974.
- KLAR, A. E. *Água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo, Nobel, 1984. 408p.
- KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. *Irriga*, v.5, n.1, p.52-82, 2000.
- KLAR, A. E., CATÂNEO, A., DENADAI, I. A. M., SAAD, J. C. C., PICARELLI, M. Medidas da adaptação de plantas de trigo à déficits hídricos. *Científica*, v.13, p.117-27, 1985.
- KLAR, A. E., USBERTI, J. A., HENDERSON, W. D. Differential responses of guinea grass populations to drought stress. *Crop Sci.*, v.18, p.853-7, 1978.
- KLEIN, V. A., LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. *Ciência Rural*, v.30, n.6, p.959-64, 2000.
- KOVALCHUCK, S. Record pepper yields. *Am. Veget. Grower*. v.31, n.2, p.44-7, 1987.
- KRAMER, P. J., BOYER, J. S. *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic, 1995. 495p.
- KRUDEV, T. G. *Água, vida das plantas*. São Paulo: Ícone, 1994. 178p.
- LARCHER, W. *Physiological plant ecology*. 3 ed. New York: Springer-verlag, 1995. 505p.
- LEA, P. J., AL-SULAIT, A., PALMER, S., DAVIE, W. J. Absorção e metabolismo de nitrogênio sobre estresse hídrico. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995. Belo Horizonte, MG. Anais... EMBRAPA/CNPMS, 1995. v.1, p.163-94, 1995.

- LEOPOLDO, P. R., MATSUI, E., FOLONI, L. L. Variação dos valores de  $\delta d$  e  $d^{18}O$  em água de folha durante o processo de evapotranspiração. *Energ. Nucl. Agric.* v.6, n.1, p.3-18, 1984.
- LEVITT, J. *Responses of plants to environmental stress*. New York: Academic Press, 1972. 697p.
- LIBARDI, P. L., REICHARDT, K., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.44, p.3-7, 1980.
- LIKATAS, A., CLARCK, J. A., MONTEITH, J. L. Measurements of the heat balance under plastic mulches. *Agric. Forest Meteorol.* v.36, p.227-239, 1986.
- LIMA, G. P. P., BRASIL, O. G. OLIVEIRA, A. M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. *Scient. Agríc.*, v.56, n.1, p.21-5, 1999.
- LIMA, G. P. P., ROSSI, C., HARKVOORT, D. M. R. Atividade de peroxidases (E. C. 1.1.1.7) e teor de prolina no embrião e cotilédone de feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L. em condições de salinidade. *Scient. Agríc.*, n.54, v.3, p.217-20, 1997.
- LIMA, J. P. P. *Efeito do cálcio sobre o teor de Poliaminas, Peroxidase e Nitrato redutase em calos de arroz (Oryza sativa L. cv IAC 4440)*. Botucatu, 1994. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia/Botânica vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.
- LIPPERT, L. F., TAKATORI, F. H., WHITING, F. L. Soil moisture under bands of petroleum and polyethylene mulches. *Proceedings of Am. Soc. for Hortic. Sci.* v.85, p.541-46, 1964.
- LOCASCIO, S. J., STALL, W. M. Bell pepper yield influenced by plant spacing and row arrangement. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, v. 119, p. 899-902, 1994.
- MACHADO NETO, N. B. *Respostas de diferentes cultivares de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) à estresses térmicos durante a germinação*. Rio Claro, 1999. 105p. Tese (Doutorado/Agronomia) Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

- MADAN, S. NAINAWATEE, H. S., JAIN, R. K. CHOWDHURY, J. B. Proline and proline metabolizing enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. *Ann. Bot.* v.76, p.51-7, 1995.
- MALONE, M. TOMOS, A. D. Measurement of gradients of water potential in elongating pea stem by pressure probe and picolitre osmometry. *J. Exp. Bot.*, v.43, p.1325-31, 1992.
- MARQUELLI, W., SILVA, W., MORETTI, C. Lucro com gotejamento. *Cultivar Horti & Fruti*, n.3, p.24-6, 2002.
- MARTINS, D. O clima da região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU. 1989. Botucatu. Anais... Botucatu: FCA-UNESP, p. 8-19, 1989.
- MARUR, C. J., SODEK, L., MAGALHÃES, A. C. Free amino acids in leaves of cotton plants under water deficit. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, v.6, n.2, p. 103-08, 1994.
- MASS, E. V., HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance – Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div.*, v.103, p.115-34, 1977.
- McCREE, K., FERNANDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. *Crop Sci.* v.29, p.353-60, 1989.
- MEDEIROS, J. F., CRUCIANI, D. E., MINAMI, K., FOLEGATTI, M. V., NEGREIROS, M. A. Efeito da salinidade na água e lâmina excedente de irrigação sobre a cultura do pimentão cultivado em estufa. I desenvolvimento vegetativo. *Hortic. Bras.* v.16, n.1, 1998. (resumo expandido).
- MEDINA, C. L., MACHADO, E., MENEZES, M. Condutância estomática e fotossíntese em laranjeira ‘valência’ sob deficiência hídrica. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* v.11, n.1, p.29-34, 1999.
- MELO, A. M. T. *Análise genética de caracteres de frutos de híbridos de pimentão*. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- MILLAR, A. A. Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Brasília: PRONI/IICA, 1989. 57p.

- MIZUNO, K. Inhibition of gibberellin-induced elongation, reorientation of cortical microtubules, and change of isoform of tubulin in epicotyl segments of azuki bean protein kinase inhibitors. *Plant Cell Physiol.*, v.35, p.1149-57, 1994.
- MORGAN, P. W., DREW, M. C. Ethylene and plant responses to stress. *Physiol. Plantarum*. v.100, p.620-30, 1997.
- MUDGETT, M. B., CLARKE, S. Hormonal and environmental responsiveness of a developmentally regulated protein repair L-isoaspartyl methyltransferase in wheat. *J. Biol. Chem.*, v.269, p. 25605-12, 1994.
- NAVARI-IZZO, F., QUARTACCI, M. F., IZZO, R. Water stress-induced changes in protein and free aminoacids in field-grown maize and sunflower. *Plant Physiol. Biochem.*, v.28, p.531-37, 1990.
- NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N., FARIAS, J. R. B , OYA, T. Tolerância à seca em plantas. *Bio Tecnol. Ciênc. & Desenv.* n.23, p. 12-8, 2001.
- NEPOMUCENO, A. L., STEWART, J. M., OOSTHUIS, D. M., TURLEY R., NEUMAIER, N. FARIAS, J. R. B. Isolation of a cotton NADP(H) oxidase homologue induced by drought stress. *Pesqui. Agropecu. Bras.* v.35, n.7, p.1407-16. 2000.
- NEUMANN, P. M. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. *Crop Sci.* v.35, p.1258-66, 1995.
- NG, T. T., WILSON, J. R., LUDLOW, M. M. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C<sub>4</sub>) grass, *Panicum maximum var. trichoglume*. *Aust. J. Plant Physiol.*, v.2, p.581-95, 1978.
- NÓBREGA, J. Q., TANTRAVAHU, V. R., RAO, N. E.B, FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, v.5, p.437-43, 2001.
- O'SULLIVAN, J. Response of peppers to irrigation and nitrogen. *Can. J. Plant Sci.*, v.59, p.1085-91, 1979.
- PADILLA, W. Fertirrigacion bajo condiciones de invernadero em el Ecuador. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997. Botucatu. Anais... Botucatu: Tipomic, 1997. p.263-81.

- PÁDUA, J. G., CASALI, V. W. D., PINTO, C. M. F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu.* v10, n.113, p.11-3, 1984.
- PANDEY, R. K. HERRERA, W. A. T., PENDLETON, J. W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. II – Plant water status and canopy temperature. *Agron. J.* 76: 553 – 7, 1984.
- PASSIOURA, J. B. Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.*, v.7, p. 265-80, 1983.
- PEREIRA, A., VILLA NOVA, N. Parâmetros fisiológicos e produtividade da batateira (*Solanum tuberosum* L.) submetida a três níveis de irrigação. *Eng. Agríc.* v.22, n.1, p.127-37, 2002.
- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesqu. Agropec. Bras.*, v.34, n.11, p.2021-27, 1999
- PIMENTEL, C., HÉRBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* v.11, n.1, p.7-11, 1999.
- PIMENTEL, C., PEREZ, A. J. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. *Pesqu. Agrpec. Bras.* v.35, n.1, p.46-58, 2000.
- PINTO, C. M. F., PADUA, J. G., CASALI, V. W. D. Produção de mudas, plantio e espaçamento em pimentão e pimenta. *Inf. Agropec.*, v.10, n.113, p.31-4. 1984.
- PIRES, N. M., SOUZA, I. R., PRATES, H. T. et al. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* v.13, p.55-65, 2001.
- RAIJ, B. Van., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. *Boletim Técnico n° 100*. Instituto Agrônômico, 1996. 285p.
- RAIJ, B. Van., QUAGGIO, J. A., CANTARELLA, H., FERREIRA, M. E., LOPES, A. S. BATAGLIA, O. C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RATCLIFF, L. F., RITCHIE, J. T., CASSEL, D. K. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory measured properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.47, p.770-75, 1983.

- REGINA, M., CARBONNEAU, A. Trocas gasosa em *Vitis vinífera* sob regime de estresse hídrico III. Ácido abscísico e comportamento varietal. *Pesqui. Agropec. Bras.* v.32, n.6, p. 36-42, 1997.
- REID, J. B., HASHIM, O., GALLAGHER, J. N. Relations between available and extractable soil water and evapotranspiration from a been crop. *Agric. Water Manag.*, v.9, p.193-209, 1984.
- REIS, N. V. B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C. A. S. BOITEUX, L. S., LOPES, J. F. Influência da temperatura graus-dia sobre a produção do pepino sob cultivo protegido e a céu aberto. *Hortic. Bras.*, v.10, n.1, p.133-7, 1998.
- RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, v.68, p.95-112, 1949.
- RITCHIE, J. T. Atmospheric and soil water influences on the plant balance. *Agric. Meteorol.* v.14, p.183-98, 1974.
- RITCHIE, J. T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere stem. *Plant and Soil*, v.58, p.81-96, 1981.
- ROCHA, P. K., PEREIRA, E. R., COELHO, R. D. Custo do bombeamento de água no Brasil. *Irriga*, v.6, n.3, p.190-203, 2001.
- RODRIGUES, D. S. *Lâminas de água e diferentes tipos de cobertura de solo na cultura do pimentão amarelo sob cultivo protegido*. Botucatu 2001. 106p. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- RODRIGUES, J. D. *A influência de diferentes regimes de umidade do solo em gladiolos*. 1973. 105p. Tese (Doutorado/fisiologia vegetal) – Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1973.
- ROSENBERG, N. J., MCKENNEY, M. S., MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. *Agric. Forest Meteorol.* v.47, p.303–20, 1989.
- ROSENTHAL, W. D., ARKIN, G. F., SHOUSE, P. J. et al. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agron. J.* v.79, p.1019-26, 1987.

- SANTOS, R. F. *Híbridos de pimentão cultivados em ambiente protegido e convencional, fertirrigado com doses de N+K, e avaliação da distribuição da evaporação*. Botucatu, 2001. 165p. Tese (Doutorado/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista.
- SANTOS, R. F., CARLESSO, R. Influência da textura e profundidade do solo na calibração da sonda de nêutrons. *Irriga*, v.3, n.1, p.23-34, 1998.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento - SAA. Programa paulista para melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. *Classificação de Pimentão*. São Paulo, 1998. “não pag.” (Boletim Técnico).
- SATO, Y., SUGIYAMA, M., GORECKI, R. J., FUKUDA, H., KOMAMINE, A. Interrelationship between lignin deposition and the peroxidase isoenzymes in differentiating tracheary L- $\alpha$ -aminooxy- $\beta$ -phenylpropionic acid and 2-aminoindan-2-phosphonic acid. *Planta*, v.189, p.584-89, 1993.
- SCARCELLI IRRIGAÇÃO. *Chapim*. Avaré-SP, 1998. 11p. (Folheto)
- SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D., HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Sci.*, v.148, p.339-46, 1965.
- SCHULTZ, H. R., MATTHEWS, M. A. Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Sci.*, v.33, p.287-94, 1993.
- SCIVITARO, W. B., MELO, A. M. T., TAVARES, M., AZEVEDO FILHO, J. A. Caracterização de híbrido de pimentão em cultivo protegido. *Hortic. Bras.* v.17, n.2, p.147-50, 1999.
- SGANZERLA, E. Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos. 5ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342p.
- SHARP, R. E., HSIAO, T. C., SILK, W. K. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiol.*, v.93, p.1337-46, 1990.
- SHRIVASTAVA, P. K., PARIKH, M. M., SAWANI, N. G., RAMAM, S. Effect of drip irrigation and mulch on tomato. *Agric. Water Manag.* v.25, p.179-84, 1994.

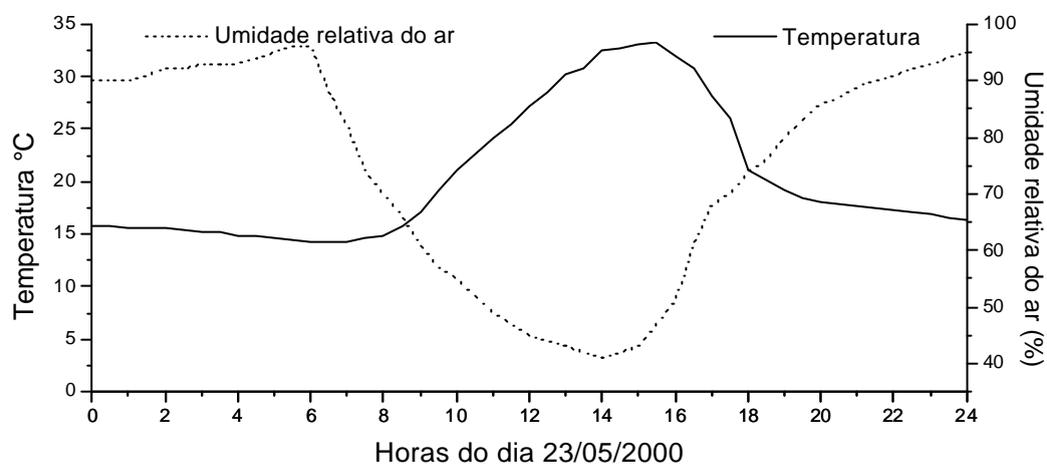
- SHULTZ, H. R., MATTHEWS, M. A. Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Sci*, v.33, p. 287-94, 1993.
- SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases – an organic perspective. *Plant Growth Regulation*, v.12, p.303-12, 1993.
- SILVA, L. C., FIDELES, J. F., BELTRÃO, N. M., RAO, T. V. Variação diurna da resistência estomática à difusão de vapor de água em amendoim irrigado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.33, n.3, p.269-76, 1998.
- SINCLAIR, T. R., BIGHAMN G. B., LEMON, E. R., ALLEN, R. H. J. Water use efficiency of field-grown maize during moisture stress. *Plant Physiol.*, v.56, p.245-49, 1975.
- SINCLAIR, T. R., LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Austr. J. Agric. Res.* v.13, p.329-41, 1986.
- SIRJACOBS, M. SLAMA, A. Irrigation localisé d'une culture de poivrons sous serre en région aride. Approche pratique de la gestion des apports d'eau *Buul. Res. Agron.*, v.18, n.2, p.137-48, 1983.
- SIVAKUMAR, M. V. K., SHAW, R. H. Relative evaluation of water stress indicators for soybeans. *Agron. J.*, v.70, p.619-23, 1978.
- SIVIERO, P., GALLERANI, M. *La coltivazione del peperone*. Verona: Edizione L'Informatore Agrario, 1992. 217p.
- SOUZA, C. R., SOARES, A. M., REGINA, M. A. Trocas gasosa de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.36, n.10, p.1221-30, 2001.
- SRIVASTAVA, S., DWIVEDI, U. Plant regeneration from callus of *Cuscuta reflexa* – an angiospermic parasite - and modulation of catalase and peroxidase activity by salicylic acid and naphthalene acetic acid. *Plant Physiol. Biochem.*, v.39, p.529-38, 2001.
- STONE, J. M., WALKER, J. C. Plant protein kinase families and signal transduction. *Plant Physiol.* v.108, p.451-57, 1995.
- STRECK, N. A., SCHNEIDER, F. M., BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. *Rev. Bras. Agrometeorol.* v.2, p.131-42, 1994.

- STRECK, N. A., SCHNEIDER, F. M., BURIOL, G. A., HELDWEIN, A. B. Effect of black polyethylene mulch on the thermal regime of a soil. *Rev. Bras. Agrometeorol.* v.4, n.1, p.15 – 20, 1996.
- SUBARAO, G. V., JOHANSEN, A. C., SLINKARD, R. C., RAO, N., SAXENA, N. P., CHAUHAN, Y. S. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critic. Rev. Plant. Sci.* v.14, p. 469-529, 1995.
- SUNDSTRON, F. J., PEZESHKI, S. R. Reduction of *Capsicum annuum* L. growt and seed quality by soil flooding. *Hortsci.*, v.23, p.574-6, 1988.
- SUTCLIFFE, J. *As plantas e a água.* (trad. MACIEL, H. E. T.) São Paulo: EPU/EDUSP. 1980. 126p. (Temas de Biologia, 26).
- TAIZ, L., ZEIGER, E. *Plant Physiology.* California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1998. 565p.
- TEODORO, R. E. F. OLIVEIRA, A. S., MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. *Scient. Agric.*, v.50, p.327-43, 1993.
- THINDALL, J. A., BEVERLY, R. B., RADCLIFFE, D. E. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. *Agron. J.* v. 83, p.1028 – 34, 1991.
- THOMAS, J. C., BROWN, K. W., JORDAN, W. R. Stomatal response to leaf water potential as affected by preconditioning water stress in the field. *Agron. J.*, v.68, p.706-08, 1976.
- THOMPSON, H. C., PLATENIUS, H. Results of paper mulch experiments with vegetable crops. *Proc. Am. Soc. for Hortic. Sci.* v.28, p.305-08, 1931.
- TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: Goto, R., \_\_\_\_ (Org) *Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais.* São Paulo: Fundação Editora da Unesp, p.15 – 30, 1998. 319 p.
- TIVELLI, S. W. *Sistemas de cultivo na produção do pimentão (Capsicum annuum L.) vermelho em ambiente protegido.* Botucatu, 1999. 157p. Tese (Doutorado/Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista.

- TIVELLI, S. W., OLIVEIRA, J. A. S., GOTO, R. Caracterização morfológica de híbridos de pimentão vermelho indicados para ambiente protegido. *Hortic. Bras.* v.16, n.1, 1998. (resumo 351)
- TOMAR, V. S., O'TOOLE, J. C. A field study on leaf water potential, transpiration and plant resistance to water flow in rice. *Crop Sci.*, v.22, n.1, p.5-10, 1982.
- TRIPATHI, R. P., KATIYAR, T. P. S. Effect of mulches on the thermal regime of soil. *Soil and Tillage Res.*, v.4, p.381-90, 1984.
- TSEKLEEV, G., BOYADJIEVA, N., SOLAKOV, Y. Influence of photo-selective mulch films on tomatoes in greenhouses. *Plasticulture*, v.95, p.45-9, 1993.
- TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* v.13, n.1, p.175-90, 1986.
- TURNER, N. C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiol.*, v.53, p.360-65, 1974.
- UPADHYAYA, A., SANKHLA, D., DAVIES, T. D., SAKHLA, N., SMITH, B. N. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. *J. Plant Physiol.* v.121, p.453-61, 1985.
- URCHEI, M. A., RODRIGUES, J. D. Status de água em plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L.), submetidas à diferentes potenciais de água no solo. *Eng. Agríc.* v.14, p.13-18, 1994.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Am. J.*, v.44, p.892-8, 1980.
- VANDERWERKEN, J. E., WILCOX-LEE, D. Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. *Hortsci.*, v.20, p.985-8, 1988.
- VOLPE, C. A., BRUNINI, O., CAMARGO, M. B. P. Resistência estomática à difusão de vapor de água de folhas de milho em função da radiação solar fotossinteticamente ativa em condições de campo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.25, n.6, p.915-24, 1990.
- WILLIAMSON, C. L. SLOCUM, R. D. molecular cloning and evidence for osmoregulation of the pyrroline-5-carboxylate reductase (ProC) gene in Pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Physiol.*, v.100, p.1464-70, 1992.

- WU, Y., KUSMA, J., MARÉCHAL, E., GRAEF, R., LEE, H. C., FOSTER, R., CHUA, N. Abscisic acid signaling through cyclic ADP-ribose in plants. *Sci.*, v.278, p.2126-30, 1997.
- XING, W., RAJASHEKAR, C. B. Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. *Plant Sci*, v.148, p.185-95, 1999.
- YATAPANAGE, K. G., SO, H. The relationship between leaf potential and stem diameter in sorghum. *Agron. J.*, v.93, p.1341-43, 2001.
- ZHANG, J., KIRKHAN, M. B. Drought stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase and peroxidase in wheat species. *Plant Cell Physiol.* v.35, p.785-91, 1994.
- ZUR, B., JONES, J. W., BOOTE, K. J. HAMMOND, L. C. Total resistance to water flow in field soybeans. II. Limiting soil moisture. *Agron. J.* v.74, p99-105, 1982.

## **APÉNDICE**



Apêndice 1. Variações da temperatura e umidade relativa do ar registradas no interior da estufa cultivada com pimentão, durante o dia 13/03/2000, em condições atmosféricas de céu claro.