

JURANDI GONÇALVES DE OLIVEIRA

ACOMPANHAMENTO DA FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA E  
DA CINÉTICA DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA  
CLOROFILA *a* DE PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)  
SUBMETIDAS A UM CICLO DE SUSPENSÃO E  
RESTABELECIMENTO DA IRRIGAÇÃO

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Fisiologia  
Vegetal, para Obtenção do Título de  
“Magister Scientiae”.

MINAS GERAIS - BRASIL  
DEZEMBRO - 1995

**Aos meus pais José Faustino e Iza.**

**Aos meus irmãos e irmãs.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais José Faustino de Oliveira e Iza Gonçalves de Oliveira, por uma vida de amor e dedicação.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Professor Moacyr Maestri, pela orientação sempre segura, pela amizade, pela compreensão e pela consideração pessoal.

Aos Professores Paulo Roberto Mosquim, Paulo Roberto Cecon, Marco Aurélio Pedron e Silva e Hermínia Emília Prieto Martinez, pelas críticas e pelas sugestões.

A todos os Professores do curso de Fisiologia Vegetal, que contribuíram para minha formação.

Ao pesquisador Antônio Teixeira Cordeiro, pela amizade, pela valiosa colaboração e pela consideração pessoal.

Ao colega e amigo Carlos Alberto Martinez Y Huaman, pelas valiosas sugestões, pelo apoio e pela amizade.

Aos meus amigos Ademar, Alessandra, Cláudio, Cláudio Scipioni, Éder Jaime, Fernando, Hermes Augusto, Ivanete, Marta, Ninéia, Patrícia, Paulo Henrique, Soraia, Tânia e Valéria pelo apoio e pela amizade.

À minha namorada Tércia Láuar de Barros, pelo reconhecimento e pela compreensão.

**Aos** colegas do curso de Pós-Graduação, pela amizade, pelo convívio e pela colaboração.

Ao Técnico de Laboratório Oswaldo Santos Filho, pela amizade e pela inesgotável colaboração.

**Aos** funcionários do Departamento, pelo apoio e pela colaboração.

A todos aqueles que, na grandeza do anonimato, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Jurandi Gonçalves de Oliveira, filho de José Faustino de Oliveira e Iza Gonçalves de Oliveira, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, em 12 de outubro de 1966.

Cursou o segundo grau em Belo Horizonte (MG), formando-se no curso técnico de Mecânica pelo CEFET-MG em dezembro de 1984.

De janeiro de 1985 a fevereiro de 1986, serviu ao Exército na 4ª Cia de Polícia do Exército.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 1987, obtendo o título de Engenheiro-Agrônomo em abril de 1992. Nesse mesmo mês iniciou o Curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal, na mesma instituição.

# CONTEÚDO

	Página
EXTRATO .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. MATERIAL E METODOS .....	4
2.1. Material Vegetal e Condições de Cultivo .....	4
2.2. Medição do Potencial Hídrico Foliar .....	6
2.3. Medição da Taxa Fotossintética Líquida .....	6
2.4. Acompanhamento da Cinética de Emissão de Fluorescência da Clorofila <i>a</i> .....	7
2.5. Delineamento Experimental .....	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	9
3.1. Taxa Fotossintética Líquida .....	9
3.1.1. Taxa da Suspensão da Irrigação Sobre o Potencial Hídrico Foliar e a Taxa Fotossintética Líquida .....	9
3.1.2. Efeitos do Restabelecimento da Irrigação Sobre o Potencial Hídrico Foliar e a Taxa Fotossintética Líquida .....	18

3.2. Cinética de Emissão de Fluorescência da Clorofila <i>a</i> .....	26
3.2.1. Efeitos da Suspensão da Irrigação Sobre os Sinais de Fluorescência .....	26
3.2.2. Efeitos do Restabelecimento da Irrigação Sobre os Sinais de Fluorescência .....	41
4. RESUMO E CONCLUSÕES .....	46
BIBLIOGRAFIA .....	48
APÊNDICE .....	52
APÊNDICE A .....	53

## EXTRATO

OLIVEIRA, Jurandi Gonçalves de, M.S. , Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1995. **Acompanhamento da Fotossíntese Líquida e da Cinética de Emissão de Fluorescência da Clorofila *a* de Plantas de Café (*Coffea arabica* L.) Submetidas a um Ciclo de Suspensão e Restabelecimento da Irrigação.** Professor Orientador: Moacyr Maestri. Professores Conselheiros: Paulo Roberto Mosquim e Paulo Roberto Cecon.

Foram acompanhadas a taxa fotossintética líquida e a cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, de plantas de café da espécie *Coffea arabica* cv. Catuaí-vermelho cultivadas em vasos plásticos (PVC) e mantidas, sombreadas, sob casa de vegetação. Foram feitas medições em folhas intactas, em dois períodos de amostragens (8:30 às 9:30 e 13:30 às 14:30 h), correspondentes aos períodos de maior e menor condutância estomática, respectivamente, acompanhando-se o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) foliar, durante um ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação. O tratamento de suspensão da irrigação reduziu a taxa fotossintética líquida (*A*) apenas no período de 13:30 às 14:30 h. A queda na taxa fotossintética líquida coincidiu no tempo com o início da queda no valor médio do  $\Psi_w$  foliar. Aparentemente, porém, a queda nos valores da taxa fotossintética



líquida, a partir da suspensão da irrigação, é uma consequência da conjunção de fatores como  $\Psi_w$  foliar, condutância estomática ( $g_s$ ) e os níveis de radiação (PAR) predominantes no período da amostragem. Durante o ciclo de restabelecimento da irrigação não se verificou uma recuperação plena da atividade fotossintética para o período de 8:30 às 9:30 h, talvez como consequência dos níveis de radiação predominantes quando das amostragens, limitantes para essa espécie. Para o período de 13:30 às 14:30 h, com o restabelecimento da irrigação, foram verificadas as recuperações de  $A$  e de  $g_s$  com taxas constantes ao longo do período de amostragem, atingindo níveis iguais ao controle, próximo ao quinto dia após início do restabelecimento da irrigação. Houve uma associação entre os sinais de fluorescência,  $F_o$  e  $F_M$  e a variação do  $\Psi_w$  foliar, durante o ciclo de suspensão da irrigação, apenas para o período de medição relativo à maior condutância estomática. Assim sendo, a variação desses sinais não se apresenta consistente o bastante para permitir considerá-los, para *Coffea arabica*, como um bom indicador do “status” hídrico da planta. Já o tratamento de restabelecimento da irrigação causou pouca variação nos sinais de fluorescência e suas razões, em relação ao controle (irrigado). Como a maioria dos sinais de fluorescência não havia respondido à suspensão da irrigação, não se pode afirmar, com segurança, que o ciclo de restabelecimento da irrigação tenha afetado esses sinais.

## I. INTRODUÇÃO

A falta d'água é o mais simples e importante fator limitante da distribuição e produtividade vegetal pelo mundo (McWILLIAM, 1986). As plantas desenvolveram várias respostas ou mecanismos fisiológicos e morfológicos para suportar períodos de tensão hídrica. Características tanto da parte aérea quanto da parte do sistema radicular podem influenciar a resposta da planta à seca (JEFFERIES, 1993). Aquelas consideradas resistentes à seca possuem mecanismos que maximizam a absorção d'água minimizando a perda ou uma combinação de ambos. Plantas tipicamente de deserto, minimizam a perda d'água com o rápido fechamento dos estômatos a partir da queda no teor de umidade atmosférica (NAGARAJAH e SHULZE, 1983) ou no "status" hídrico foliar (LUDLOW e IBARAKI, 1979; NOBEL, 1977) ou por meio de características morfológicas de redução da área foliar (menor exposição) ou maior desenvolvimento do sistema radicular.

Em contraste, plantas cujos tecidos são tolerantes à desidratação e que têm apenas moderados mecanismos compensatórios, são conhecidas como tolerantes à seca. Estas plantas dependem de um ajustamento

osmótico para sobreviverem à seca (LUDLOW et al., 1985). O ajustamento osmótico ajuda a manter a turgescência e, conseqüentemente, ajuda a sustentar a atividade metabólica durante a seca; os estômatos permanecem parcialmente abertos (FLOWER e LUDLOW, 1986), o que mantém a continuidade da fotossíntese, mesmo a taxas reduzidas (ACKERSON e HEBERT, 1980).

O café é uma espécie de relativa tolerância à seca em que a fotossíntese foliar permanece pouco afetada por potenciais hídricos na faixa de -1,5 MPa, sob condições de campo (GOLBERG et al., 1988). Segundo esses mesmos autores, o déficit hídrico pode reduzir a atividade fotossintética a partir da redução na abertura estomática e pode reduzir-se também por efeitos em níveis de reações associadas aos cloroplastídeos. Realmente, sob luz não saturante, o fotossistema II (PS<sub>II</sub>) limita o processo de fotossíntese e as observações de fluorescência fornecem um indicador do fluxo de elétrons por meio desse fotossistema e conseqüentemente sua atividade (GOLBERG et al., 1988).

O fechamento estomático, associado com tensão hídrica, restringe a assimilação do carbono. Conseqüentemente, a absorção de energia luminosa pode ocorrer em excesso naquela requerida para fixação de carbono, podendo resultar em danos no aparelho fotossintético, limitando o processo da fotossíntese como um todo e, conseqüentemente, a produtividade. O aumento na fotorrespiração (THOMAS e ANDRÉ, 1982; CORNIC e BRIANTAIS, 1991) e a maior oxidação a partir da rota das pentoses monofosfatadas (SCHEUERMANN et al., 1991) foram sugeridos como possíveis mecanismos de dissipação do excesso de energia fotoquímica em plantas sob tensão hídrica. Ambos mecanismos podem gerar CO<sub>2</sub> e prover o ciclo que deve consumir o excesso de energia e

manter altas taxas de transporte de elétrons, protegendo o fotossistema de danos.

O presente trabalho teve como objetivo central acompanhar a queda na taxa fotossintética líquida, de plantas de café, quando submetidas a uma condição de tensão hídrica, e avaliar as possíveis mudanças ocorridas na cinética de fluorescência da clorofila *R*, tanto no período de suspensão da irrigação, como no restabelecimento da irrigação a que foram submetidas posteriormente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material Vegetal e Condições de Cultivo

Foram utilizadas neste trabalho plantas de café (*Coffea arabica* L.) da cultivar Catuaí-Vermelho (LCH 2077-2-5-15). As sementes foram tratadas em água morna (30-40°C) por 24 horas para quebra de dormência e, imediatamente, semeadas em bandejas com areia lavada, previamente desinfetada, via fumigação, com brometo de metila por 24 horas. Após 45 dias, da semeadura, com a germinação das sementes, iniciou-se a adubação com solução nutritiva (CLARK, 1975), com intervalo de um dia entre as aplicações. As bandejas foram irrigadas diariamente.

AS plântulas, no estágio de “orelha de onça”, foram transplantadas para vasos plásticos (PVC), de 20 cm de diâmetro por 80 cm de altura. Os vasos foram preenchidos com uma mistura de solo, esterco de curral curtido, calcário dolomítico, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de amônia. A dosagem do calcário dolomítico foi obtida por meio do método do alumínio trocável enquanto os outros adubos foram quantificados com base na 4ª Aproximação da Recomendação para o Uso

de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1989), a partir do resultado da análise de solo, sempre corrigindo as dosagens para o volume dos vasos. Procedeu-se a adubações de cobertura (0,25 g de N por vaso) e foliar (sulfato de zinco 0,2%, cloreto de potássio 0,2%, oxiclreto de cobre 0,2%, ácido bórico 0,3% e Agril 0,02%) com intervalo de 45 dias entre aplicações.

Inicialmente, foram transplantadas três mudas por vaso. Após 90 dias fez-se o primeiro desbaste, deixando-se duas mudas por vaso. Com mais 90 dias eliminou-se a segunda muda, permanecendo assim, uma planta por vaso. Cuidados fitossanitários foram efetuados durante todo o período de formação do material vegetal.

A partir de 18 meses de idade as plantas foram mantidas sob casa de vegetação, até o final do processo experimental. A casa de vegetação consistia em uma estrutura de madeira coberta com lona plástica transparente e com laterais teladas.

Com 24 meses de idade as plantas foram submetidas a tensões hídricas crescentes: mediante a suspensão da irrigação. Quando as folhas atingiram o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de antemanhã na faixa de -3,0 MPa, o solo foi irrigado novamente, completando-se um ciclo de desidratação e iniciando-se um período de reidratação que se seguiu até a recuperação plena da atividade fotossintética.

Durante o ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação acompanharam-se a progressão do potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), a taxa de fotossíntese líquida e a cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, com períodos de quatro dias entre as medições, para o ciclo de suspensão da irrigação, e dois dias quando do restabelecimento da irrigação.

### 2.1. Medição do Potencial Hídrico Foliar

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi determinado em dois períodos; antemanhã e no período de 13:30-14:30 h. A medição foi realizada por meio da bomba de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), utilizando-se uma folha (por medição) do terceiro par foliar, completamente expandida, a partir do ápice do terceiro ou quarto ramo plagiogeotrópico, a contar do nível do solo. A folha, após ser envolvida em filme plástico, era seccionada na base do pecíolo e transportada, imediatamente, para o local de medição abrigada dentro de caixa de isopor.

### 2.3. Medição da Taxa Fotossintética Líquida

A taxa fotossintética líquida foi acompanhada nos períodos correspondentes à máxima (8:30-9:30 h) e mínima (13:30-14:30 h) condutância estomática.

As medições foram feitas na própria casa de vegetação, em plantas intactas, sombreadas, com o emprego do analisador de gás carbônico a infravermelho portátil, modelo LCA-2, da ANALYTICAL DEVELOPMENT Co. Ltd.

As folhas opostas àquelas das medições do potencial hídrico foliar foram utilizadas para as determinações da taxa fotossintética líquida.

Dentre os dados lidos, processados e fornecidos pelo equipamento, foram objetos de análise: a condutância estomática ( $g_s$ ), a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ).

## 2.4. Acompanhamento da Cinética de Emissão de Fluorescência da Clorofila *a*

A cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a* foi acompanhada nos mesmos períodos de medição da taxa fotossintética líquida, isto é, quando da máxima (8:30-9:30 h) e mínima (13:30-14:30 h) condutância estomática.

As medições foram realizadas na própria casa de vegetação, com plantas intactas, com a utilização de um fluorômetro portátil (Plant Efficiency Analyser - PEA - modelo P02.002, da HANSATECH INSTRUMENTS Ltd.), cuja fonte de luz possui intensidade máxima na superfície da folha de  $\sim 3.000 \mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , com comprimento de onda na faixa de 580 a 700 nm e pico em 650 nm.

As folhas utilizadas para as medições foram as mesmas empregadas no estudo da taxa fotossintética líquida, após pré-condicionamento no escuro, por 30 minutos. A adaptação das folhas no escuro, na realidade, corresponde a apenas uma área circular do limbo foliar, de 4 mm de diâmetro, obtida por meio de pinças com um sistema de janela que permite a sua abertura, quando da medição, ou fechamento para adaptação ao escuro.

## 2.5. Delineamento Experimental

As variáveis  $A$ ,  $g_s$  e PAR, referentes às medições da taxa fotossintética líquida e  $F_0$ ,  $F_M$ ,  $F_V$ ,  $F_V/F_M$ ,  $F_V/F_0$  e área sob a curva de fluorescência, referentes à cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, além do  $\Psi_W$  foliar, foram estudadas, considerando o delineamento experimental em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, tendo na parcela os tratamentos: irrigação na capacidade de campo do solo



(controle) e suspensão da irrigação (desidratação), ou restabelecimento da irrigação do solo (reidratado), e na subparcela os tempos (sete para o ciclo de suspensão da irrigação, com exceção de  $F_O$ ,  $F_M$  e  $F_V$  com cinco ou cinco para o ciclo de restabelecimento da irrigação), com três repetições.

Os resultados foram interpretados estatisticamente por meio de análises de variância e de regressão. As médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelo teste F, adotando-se 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Taxa Fotossintética Líquida

##### 3.1.1. Efeitos da Suspensão da Irrigação Sobre o Potencial Hídrico Foliar e a Taxa Fotossintética Líquida

Durante o processo de desidratação, o potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ), no período de 8:30 às 9:30 h, mostrou-se relativamente estável até o quinto dia da suspensão da irrigação, com valores entre 0 e -0,5 MPa, quando, a partir desse dia, apresentou queda constante atingindo um valor mínimo ( $\cong$  -3,0 MPa) em torno do vigésimo dia de desidratação (Figura 1). Em valores médios, o  $\Psi_f$  foliar registrado nesse período foi ligeiramente maior que aquele do período de 13:30 às 14:30 h (Quadros 1 e 2). Com relação ao período de menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h) o  $\Psi_f$  foliar apresentou uma tendência semelhante ao período de maior condutância, mas com valores ligeiramente inferiores, entre -0,5 e -1,0 MPa, nos primeiros cinco dias da suspensão da irrigação (Figura 2).

Não houve neste trabalho diferenças significativas entre as médias dos tratamentos (irrigado e sob tensão hídrica), pelo teste F a 5% de

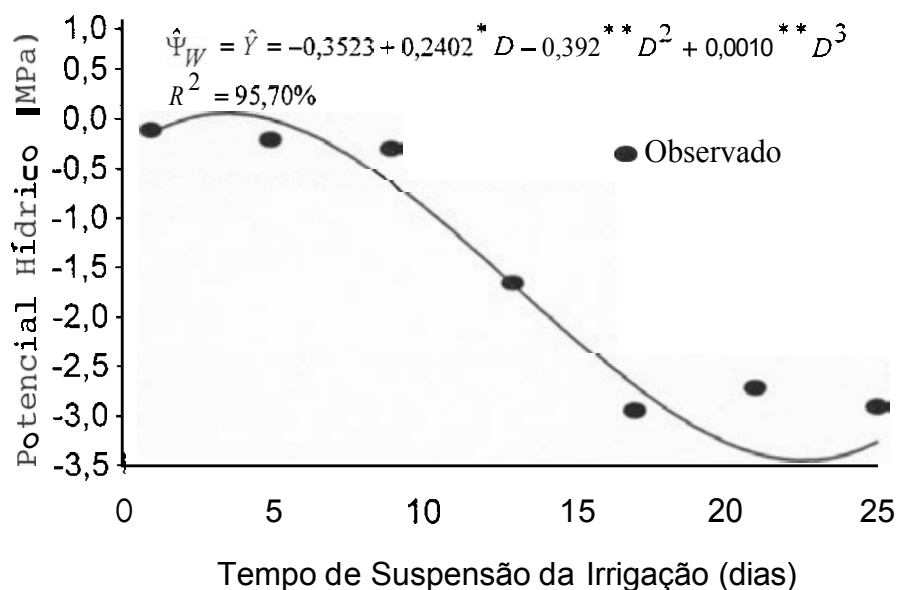


FIGURA 1 - Estimativa do potencial hídrico foliar em café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h, para o tratamento desidratado.

QUADRO 1 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$A$ ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
$T_1^2$	-0,16	198	120a <sup>1</sup>	2,1
$T_2$	-1,54	213	60b	1,6

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 18 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Suspensão da irrigação).

QUADRO 2 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$A$ ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
$T_1^1$	-0,51	437	100	2,9
$T_2$	-1, a5	434	50	1,7

1. Médias de 18 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Suspensão da irrigação).

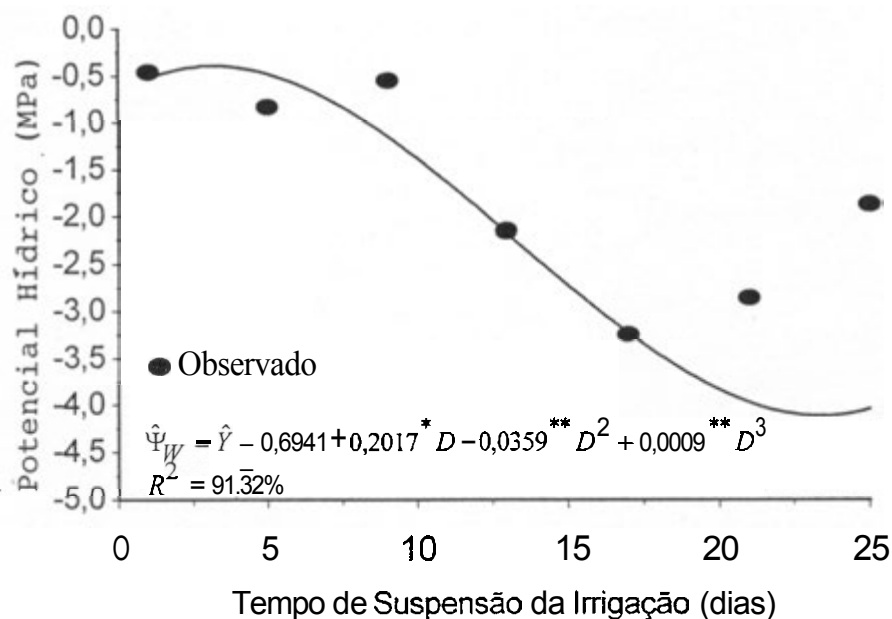


FIGURA 2 - Estimativa do potencial hídrico foliar em café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h, para o tratamento desidratado.

probabilidade, para a taxa de fotossíntese líquida durante um ciclo de desidratação, com amostragens realizadas no período de maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h) (Quadro 3). Ainda com relação a essas amostragens (8:30 às 9:30 h), verificou-se que houve uma queda na taxa fotossintética líquida com o tempo de desidratação ( $P < 0,05$ ). Analisando-se a Figura 3, verifica-se que a queda na taxa fotossintética líquida se iniciou a partir do quinto dia da suspensão da irrigação, com taxa constante, até o final das amostragens no 25<sup>o</sup> dia, quando atingiu o valor mais baixo ( $\approx 0,4 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Esse tempo de cinco dias corresponde àquele do início do processo de queda no potencial hídrico foliar (Figura 1) e, ao que parece, esse teria sido o fator preponderante, juntamente com os baixos níveis da radiação fotossinteticamente ativa (Figura 4), para explicar a queda na taxa fotossintética líquida, uma vez que a condutância estomática, neste tempo (cinco dias), ainda se encontrava, em valores médios, alta ( $\approx 100 \text{mmol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) (Figura 5). Em trabalho desenvolvido por LEIDI et al. (1993), observou-se, que há, para a taxa fotossintética líquida e para a condutância estomática, um máximo inicial que decresce, em seguida, acompanhando a disponibilidade de água no solo.

Para o período de menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h), a suspensão da irrigação afetou a taxa fotossintética líquida (Quadro 4). Em média, a taxa fotossintética líquida foi menor que a da suspensão da irrigação em relação ao controle (Quadro 2). Conforme a Figura 6, que representa o comportamento da taxa fotossintética líquida em função do tempo de desidratação, apesar de apresentar uma tendência diferente daquela obtida para o período de 8:30 às 9:30 h (Figura 3), o processo de queda, também, na taxa fotossintética iniciou-se a partir do 5<sup>o</sup> dia da suspensão da irrigação. Contudo, apresenta duas taxas para o decréscimo,

QUADRO 3 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente Ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	PAR	$g_s$	$A$
Bloco	2	0,219	450,583	2,88	0,148
Trat.	1	12,591*	2224,694 <sup>ns</sup>	34,20**	2,300 <sup>ns</sup>
Erro (a)	2	0,199	6147,694	0,65	0,274
Tempo	5	2,760**	29421,520**	2,86*	2,028**
Trat. x Tempo	5	2,586**	7025,694*	1,55 <sup>ns</sup>	0,809*
Erro (b)	20	0,137	2202,472	0,78	0,213

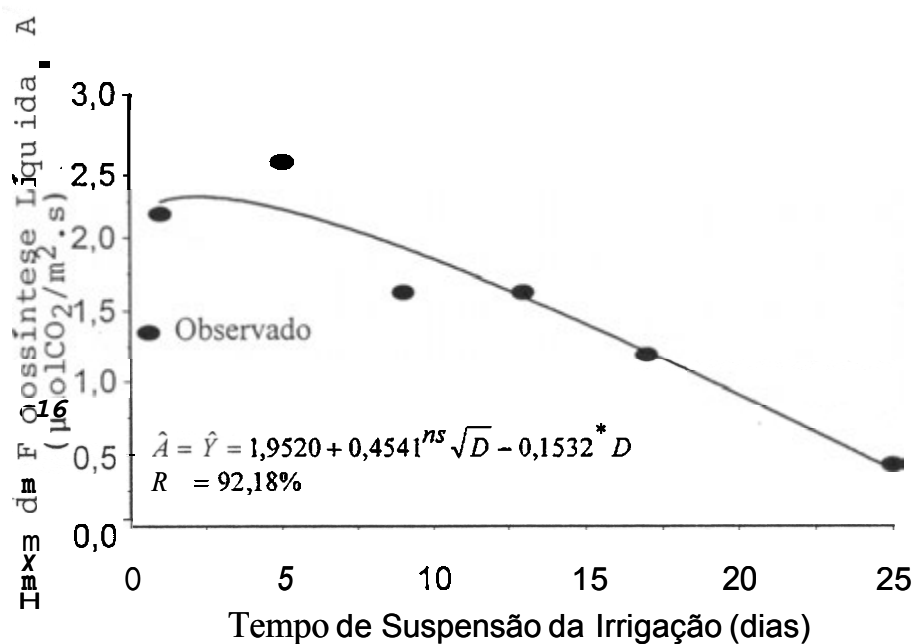


FIGURA 3 - Estimativa da taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h, para o tratamento desidratado.

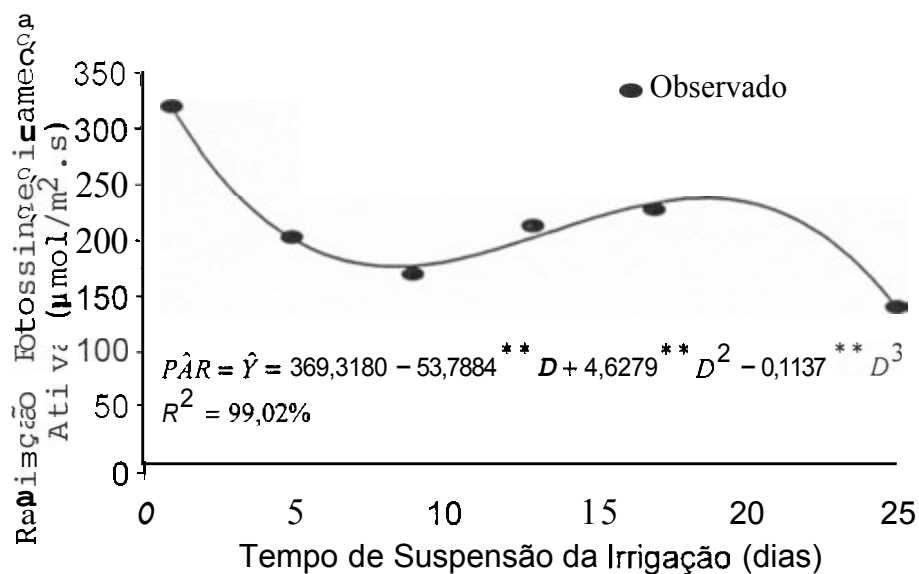


FIGURA 4 - Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h, para o tratamento desidratado.

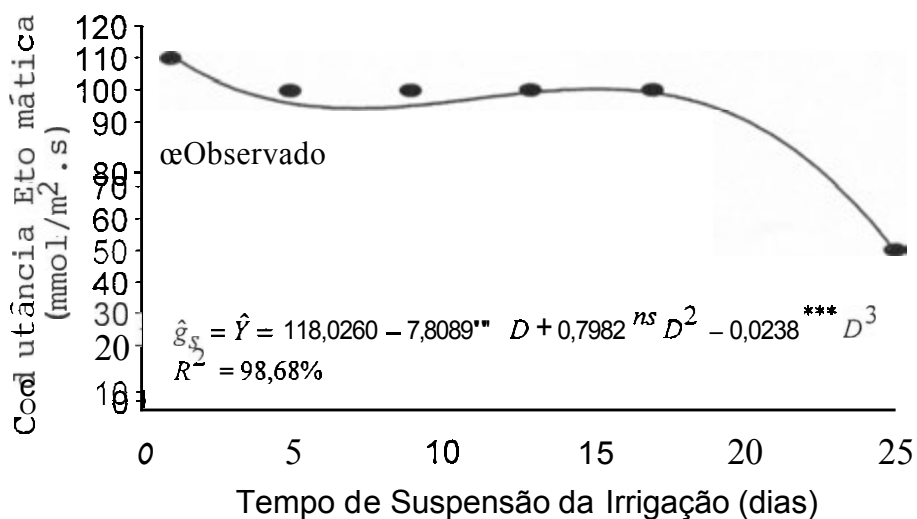


FIGURA 5 - Estimativa da condutância estomática ( $g_s$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

QUADRO 4 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida (**A**), ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	PAR	$g_s$	<b>A</b>
Bloco	2	0,069	36395,200	0,83	0,277
Trat.	1	11,937*	69,444 <sup>ns</sup>	23,50*	14,951*
Erro (a)	2	0,157	20286,030	0,71	0,402
Tempo	5	2,297**	23911,110 <sup>ns</sup>	2,21**	3,619**
Trat. x Tempo	5	2,446**	102678,800*	1,53**	2,652*
Erro (b)	20	0,126	29690,250	0,29	0,397

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.  
 ns = F não-significativo a 5%.  
 Trat. = Tratamento.

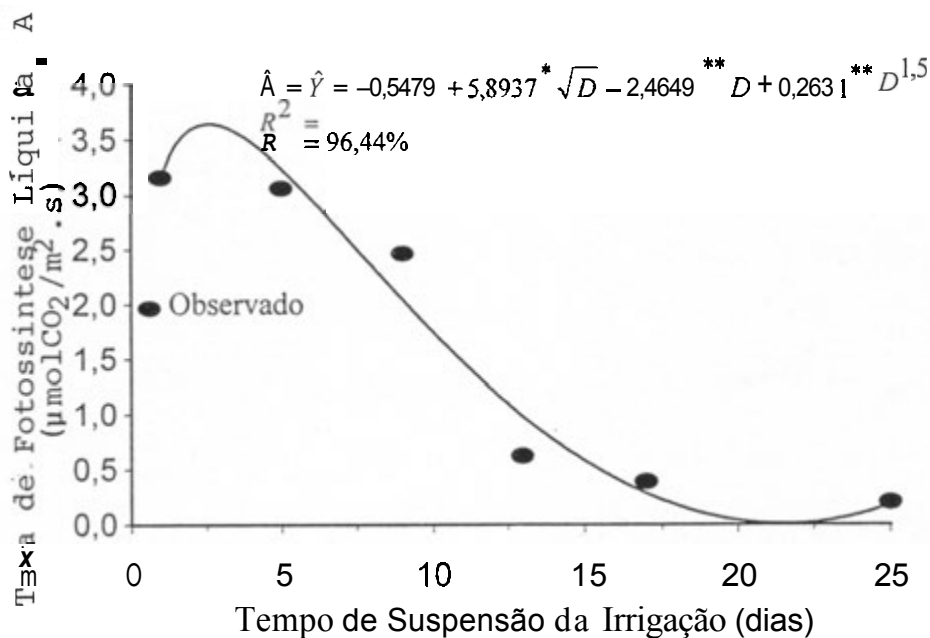


FIGURA 6 - Estimativa da taxa fotossintética líquida (**A**) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h, para o tratamento desidratado.



uma mais intensa, do 5<sup>o</sup> ao 17<sup>o</sup> dia e outra, de menor intensidade, até o final das medições (25<sup>o</sup> dia) quando a taxa fotossintética líquida atinge valores mínimos, próximos de zero, inferiores àqueles registrados durante o período de 8:30 às 9:30 h (Figuras 3 e 6).

Em valores médios, a taxa fotossintética líquida para o tratamento submetido à tensão hídrica não diferiu em relação ao período de amostragem (8:30 às 9:30 ou 13:30 às 14:30 h). Todavia para o controle a taxa fotossintética registrada no período de 13:30 às 14:30 h foi ligeiramente superior àquela do período de 8:30 às 9:30 h, ao que parece, não em razão exclusivamente da condutância estomática, cujas médias, mesmo com pequenas diferenças, não permitem justificar tal comportamento. A Figura 7 mostra o comportamento da condutância estomática em função do tempo de suspensão da irrigação. A queda nos valores de  $g_s$  iniciou-se próximo ao 5<sup>o</sup> dia (da suspensão da irrigação), semelhantemente ao comportamento de  $A$  (Figura 6), com taxa constante (mais acentuada) até próximo ao 15<sup>o</sup> dia quando, mesmo com taxas menores, ainda se mostrou decrescente até o final das determinações (25<sup>o</sup> dia). Um fator que deve ter contribuído para o comportamento de  $A$  foi em nível de radiação significativamente superior, para o período de 13:30 às 14:30 h (Quadros 1 e 2).

Os valores médios de condutância estomática entre os tratamentos (irrigado e sob tensão hídrica) diferiram significativamente entre si, ( $P < 0,05$ ), para as leituras realizadas tanto no período de maior (8:30 às 9:30 h) (Quadro 3) e de menor (13:30 às 14:30 h) (Quadro 4) condutância estomática, com menores valores de  $g_s$  para o tratamento sob tensão hídrica quando comparado com o controle.

Para SHARKEY (1990), a maquinaria fotossintética pode tolerar altos níveis de deficiência hídrica foliar, sendo a inibição da fixação de

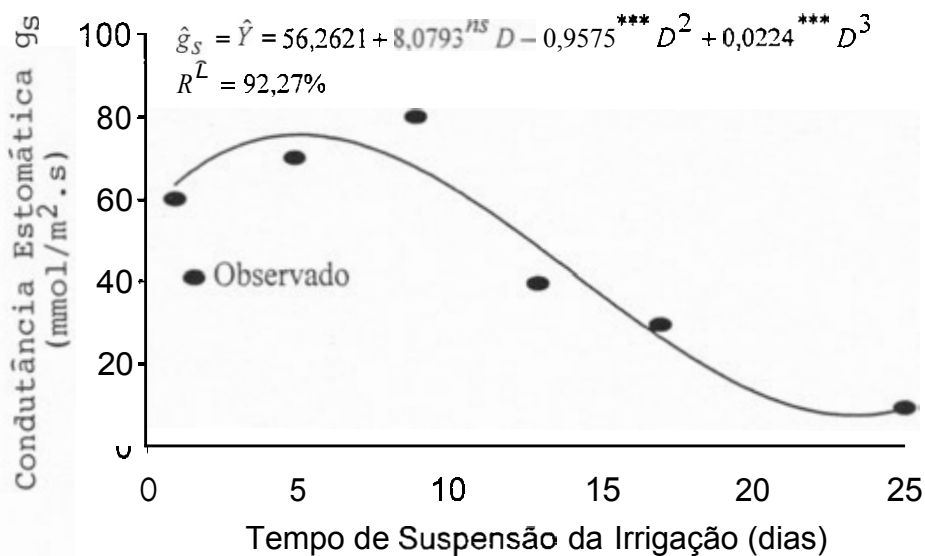


FIGURA 7 . Estimativa da condutância estomática ( $g_s$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da Irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.

$C_{O_2}$  tipicamente observada em folhas sob tensão hídrica, em virtude exclusivamente da redução no suprimento de  $CO_2$ , como resultado do fechamento estomático. Não se pode, contudo, atribuir a apenas um fator (p.ex. PAR) o comportamento da taxa fotossintética, uma vez que para as médias entre tratamentos sob tensão hídrica, mesmo sob altos níveis de radiação (mais que o dobro), os valores médios de  $A$ , para os dois períodos de medições (Quadros 1 e 2), estão muito próximos. Talvez esse comportamento seja resultante da interação entre o potencial hídrico foliar, a condutância estomática (menores para o período de 13:30 às 14:30 h.) (Quadro 2) e a radiação fotossinteticamente ativa. De acordo com SHARKEY (1990), a inibição das reações primárias da fotossíntese observadas em trabalhos anteriores, de tensão hídrica, eram, provavelmente,

resultado de fotoinibição para a qual plantas sob tensão hídrica estão sensíveis. Para o autor, acima citado, está claro que a redução na atividade de fixação de CO<sub>2</sub> associada com déficit hídrico causará um decréscimo na demanda por NADPH e ATP nos cloroplastos, o que pode causar uma queda na regulação do sistema de transporte de elétrons fotossintético. GRIEU et al. (1988), CORNIC et al. (1987), EPRON e DREYER (1990) observaram que o declínio gradual na assimilação líquida de CO<sub>2</sub> com o decréscimo no  $\Psi_w$  foliar, ocorrido a altas concentrações intercelulares de CO<sub>2</sub>, calculadas, põe em dúvida, se o fechamento estomático apenas limitaria a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, indicando que podem estar contribuindo para esta redução, durante a seca, tanto fatores estomáticos como não-estomáticos. O possível decréscimo na condutância mesofílica durante a seca é muito pouco documentado, mas pode resultar de um decréscimo no volume intercelular, como um resultado da perda da turgescência nas células do mesófilo (CORNIC et al., 1989), acidificação do apoplasto ou mudança na solubilidade do CO<sub>2</sub> (EPRON e DREYER, 1993).

### 3.1.2. **Efeitos do Restabelecimento da Irrigação Sobre o Potencial Hídrico Foliar e a Taxa Fotossintética Líquida**

A partir do início do processo de reidratação, em tempo relativamente rápido (três dias), o potencial hídrico foliar já se aproximava de valores médios considerados altos, para plantas túrgidas, sendo registrados valores próximos de -0,2 MPa para o período de medição correspondente à maior (8:30 às 9:30 h) e -0,5 MPa para o período de menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h) (Figuras 8 e 9). Em valores médios (Quadros 5 e 6), o  $\Psi_w$  foliar do tratamento de restabelecimento da irrigação foi maior do que o controle para ambos os períodos de medição ( $P < 0,05$ ), mas já permitindo atribuir-se a estas plantas a condição de túrgidas, ou

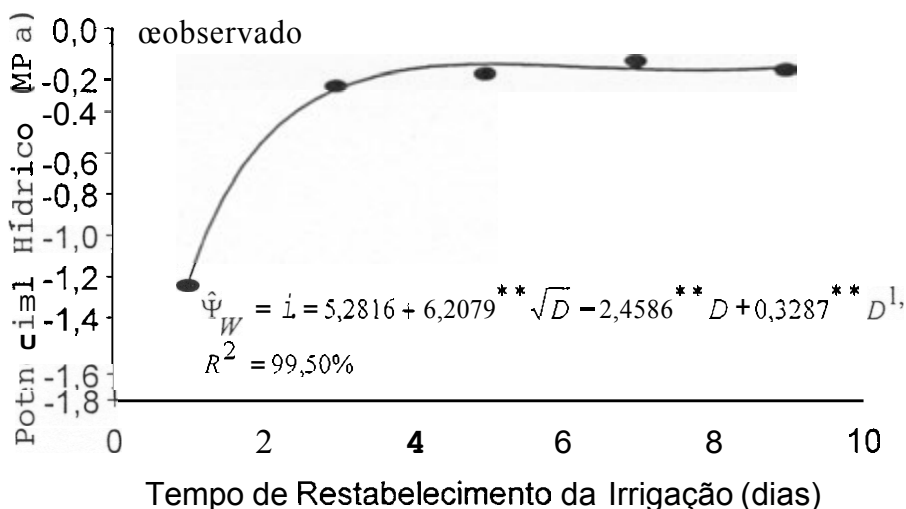


FIGURA X - Comportamento do potencial hídrico de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação, para o período de medição, de 8:30 às 9:30 h, para o tratamento reidratado.

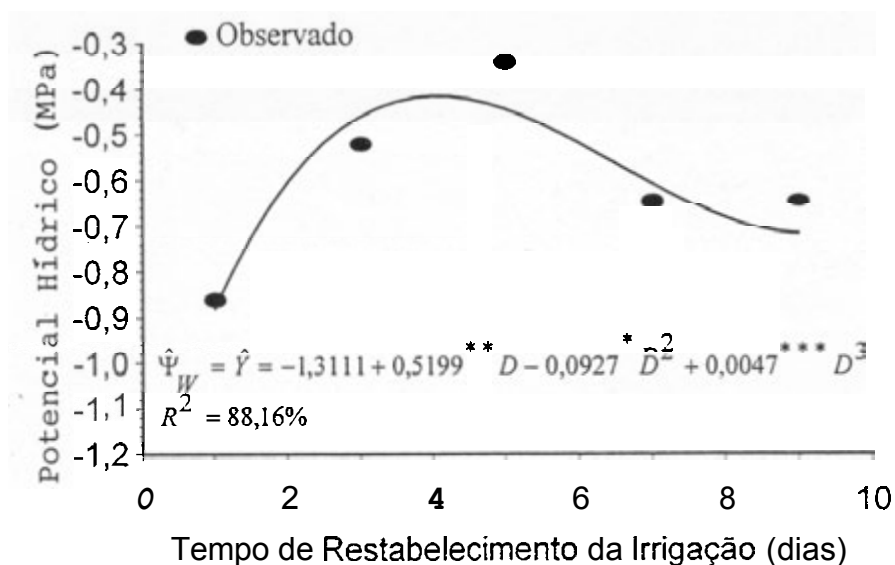


FIGURA 9 - Estimativa do potencial hídrico foliar de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h, para o tratamento reidratado.

QUADRO 5 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), durante um processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$A$ ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
T <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-0,13	210a <sup>1</sup>	70a	2,2
T <sub>2</sub>	-0,41	177b	50a	1,8

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.
2. Médias de 15 observações para T<sub>1</sub> (Controle) e T<sub>2</sub> (Restabelecimento da irrigação).

QUADRO 6 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), durante um processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$A$ ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
T <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-0,42	237	70	2,4a <sup>1</sup>
T <sub>2</sub>	-0,60	a10	60	1,9a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.
2. Médias de 15 observações para T<sub>1</sub> (Controle) e T<sub>2</sub> (Restabelecimento da irrigação).

seja, plena recuperação do “status” hídrico. GOLBERG et al. (1988) observaram, semelhantemente, uma rápida recuperação do  $\Psi_W$  foliar de plantas de café sob déficit hídrico, dois dias após reidratação.

Avaliando-se os dados referentes às amostragens do período de 8:30 às 9:30 h, verifica-se que, para esse período de medição, a taxa fotossintética líquida não se recuperou plenamente a partir do restabelecimento da irrigação, uma vez que há diferenças ( $P < 0,05$ ) entre as médias dos dois tratamentos (reidratado e controle) (Quadro 7). Ao que parece, a resposta da taxa fotossintética líquida, para esse período de medição, estaria sendo determinada pela radiação fotossinteticamente ativa, com comportamento semelhante ao longo desse período de restabelecimento da irrigação (Figuras 10 e 11). Talvez esse nível de radiação ( $\cong 200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) esteja na faixa de insaturação da atividade fotossintética por luz. Reforçando este raciocínio, pode-se verificar, com vista às Figuras 8, 10 e 11, que o terceiro dia da reidratação, quando o  $\Psi_W$  foliar atingiu valores mais altos, correspondeu ao ponto de menor taxa fotossintética líquida, juntamente com a radiação que equivale ao nível mais baixo registrado ao longo da reidratação. Em média, os níveis de radiação do tratamento foram inferiores ( $P < 0,05$ ) àqueles do controle (Quadro 5). A condutância estomática não seria fator de interferência (limitação da assimilação de  $\text{CO}_2$ ) da atividade fotossintética, haja vista o seu comportamento registrado pela Figura 12, crescente ao longo do período de restabelecimento da irrigação, com média igual ao controle ( $P < 0,05$ ), cuja taxa fotossintética líquida média foi superior ( $P < 0,05$ ) ao tratamento de restabelecimento da irrigação (Quadro 5).

Para as amostragens efetuadas no período de 13:30 às 14:30 h, pode-se verificar uma notável recuperação da atividade fotossintética. A Figura 13 ilustra o comportamento da taxa fotossintética líquida a partir do

QUADRO 7 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), ao longo do processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	PAR	$g_s$	$A$
Bloco	2	0,003	562,300	0,80	0,084
Trat.	1	0,523*	7873,200*	3,41 <sup>ns</sup>	1,496*
Erro (a)	2	0,014	299,100	1,56	0,069
Tempo	4	0,300**	27103,880**	1,59*	1,428**
Trat. x Tempo	4	0,265**	910,117**	0,68 <sup>ns</sup>	0,526**
Erro (b)	16	0,002	2876,701	0,45	0,287

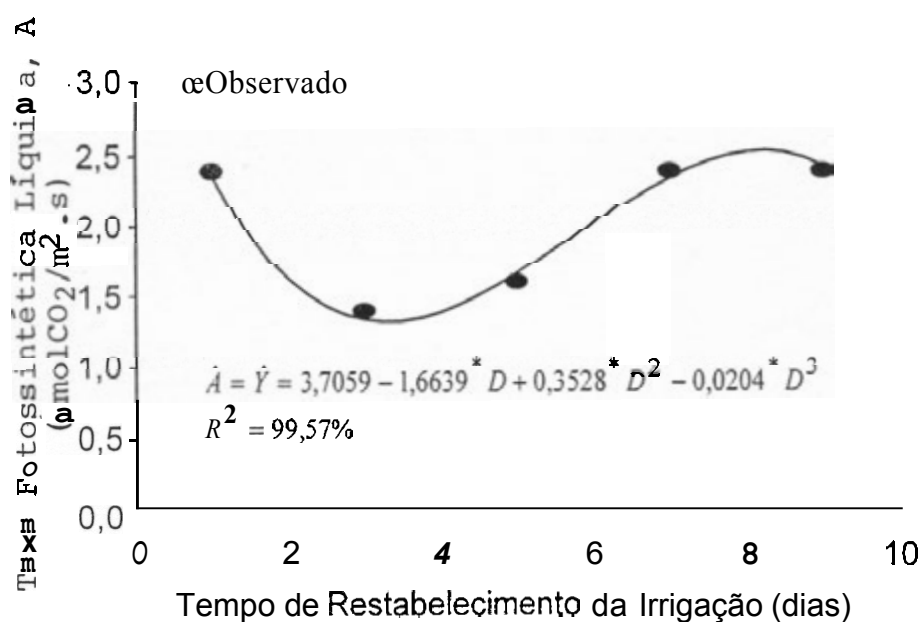


FIGURA 10 - Estimativa da taxa fotossintética líquida ( $A$ ) de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

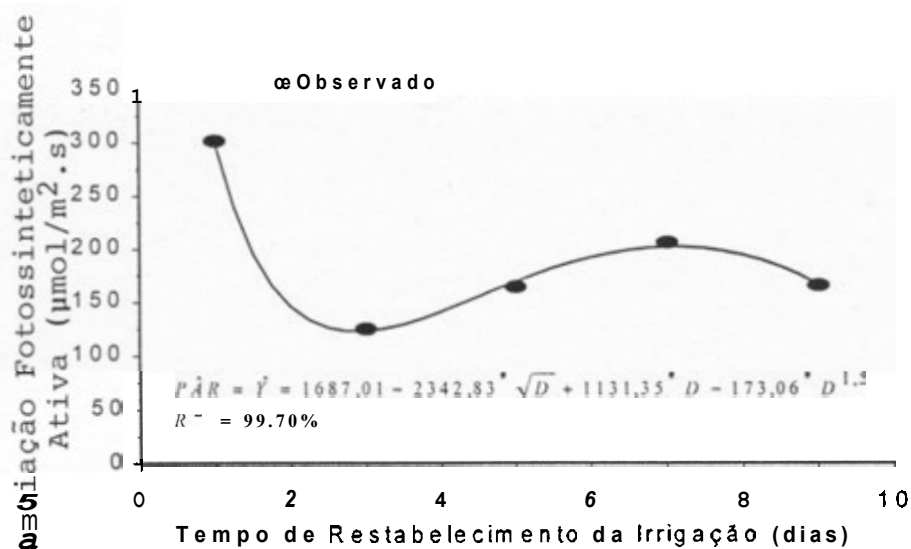


FIGURA 11 - Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de folhas de café em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

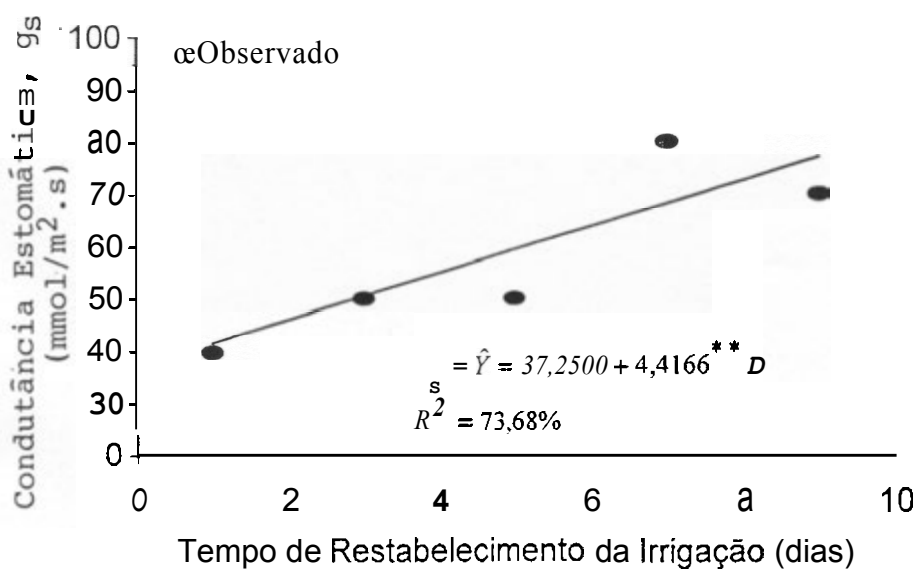


FIGURA 12 - Estimativa da condutância estomática ( $g_s$ ) de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.



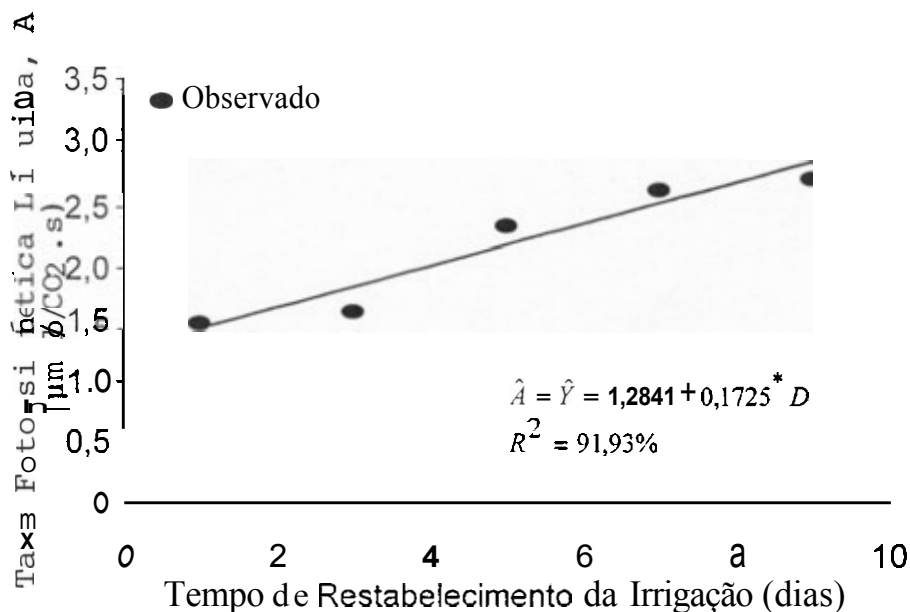


FIGURA 13 - Estimativa da taxa fotossintética líquida ( $A$ ) de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.

restabelecimento da irrigação, em que se nota a tendência linear e crescente da taxa fotossintética com o tempo de reidratação. O Quadro 6 mostra que, em média, os valores da taxa fotossintética líquida do tratamento de restabelecimento da irrigação não diferiram ( $P < 0,05$ ) daqueles do controle (irrigado). Isto, aparentemente, seria resultado de uma completa recuperação da atividade fotossintética, mesmo que o  $\Psi_w$  foliar apresentasse, em média, valores inferiores, daqueles do controle, quiçá compensado pelo maior nível médio de radiação registrado para o tratamento de restabelecimento da irrigação se comparado com o controle (Quadro 6). A recuperação da atividade fotossintética (expressa pela taxa fotossintética líquida) se deu ao longo do tempo de restabelecimento da irrigação ( $P < 0,05$ ) (Quadro 8).

QUADRO 8 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ), ao longo do processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	PAR	$g_s$	$A$
Bloco	2	0,067	3704,933	0,21	0,737
Trat.	1	0,273*	224986,800*	2,25 <sup>ns</sup>	1,541***
Erro (a)	2	0,008	6049,600	0,86	0,329
Tempo	4	0,089**	31627,280**	1,14**	1,942**
Trat. x Tempo	4	0,110**	49741,210**	0,47*	0,580**
Erro (b)	16	0,011	4368,474	0,15	0,195

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.

ns = F não-significativo a 5%.

Trat. = Tratamento.

A condutância estomática em valores médios não diferiu ( $P < 0,05$ ) entre o tratamento de restabelecimento da irrigação e o controle, comprovando a recuperação do "status" hídrico da planta, anterior à suspensão da irrigação, correspondente ao mesmo estado do material que permaneceu irrigado (controle) (Quadro 6). A curva representativa do comportamento da  $g_s$ , para o tratamento de restabelecimento da irrigação (Figura 14), assemelha-se muito à curva obtida para a taxa fotossintética líquida (Figura 13), com tendência linear e crescente, aparentemente demonstrando uma estreita relação entre a  $g_s$  e a  $A$ . A condutância estomática, tal qual a taxa fotossintética líquida, recuperou-se com o tempo de restabelecimento da irrigação (Quadro 8).

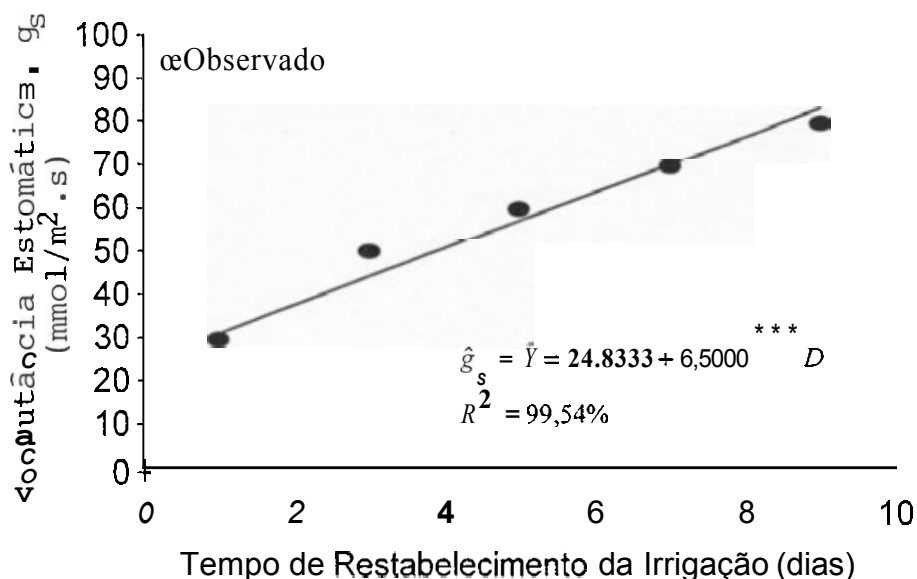


FIGURA 14 - Estimativa da condutância estomática ( $g_s$ ) de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.

### 3.2. Cinética de Emissão de Fluorescência da Clorofila $a$

#### 3.2.1. Efeitos da Suspensão da Irrigação Sobre os Sinais de Fluorescência

Durante a suspensão da irrigação, conforme se verifica pelos Quadros 9 e 10, referentes às medições realizadas no período de maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h), nenhum dos sinais de fluorescência, bem como as razões que os envolvem, foram afetados. Não houve diferença ( $P < 0,05$ ) em relação ao controle irrigado, demonstrando que não se alterou o fluxo de elétrons ao longo da cadeia de transporte de elétrons fotossintéticos. Para esse período de medição (8:30 às 9:30 h), o processo de suspensão da irrigação a que as plantas foram submetidas, no

QUADRO 9 - Valores médios de alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila  $a$ , durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$F_o$	$F_M$	$F_V$
$T_1^2$	514a <sup>1</sup>	2428a	1913a
$T_2$	497a	2419a	1922a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra , na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 18 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Suspensão da irrigação).

QUADRO 10 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila  $a$ , durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (MPa)	Área	$F_V/F_M$	$F_V/F_o$
$T_1^2$	-0,16	70507a <sup>1</sup>	0,787a	3,72a
$T_2$	-1,54	69798a	0,794a	3,86a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra , na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 21 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Suspensão da irrigação).

nível a que chegou, não foi suficiente o bastante para afetar os fotossistemas ( $PS_{II}$  e  $PS_I$ ). Isso vem comprovar os resultados da taxa fotossintética líquida ( $A$ ), obtidos para esse período, em que não houve variação em relação ao controle (Quadro 3).

Ainda em relação ao período de medição referente à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h), segundo os Quadros 11 e 12, verifica-se que os sinais de fluorescência variaram, com relação ao tempo de suspensão da irrigação. De acordo com a Figura 15, verifica-se que o sinal de fluorescência inicial ( $F_o$ ) teve uma ascensão a partir do quinto dia da suspensão da irrigação, atingindo um valor máximo próximo ao 20º dia, quando então, ao que parece, houve uma tendência de queda. Essa ascensão de  $F_o$  (Figura 15), que está relacionada com um aumento na emissão de fluorescência pelo sistema antena do  $PS_{II}$ , coincide com a queda na taxa fotossintética líquida verificada para esse período de medição (Figura 3), demonstrando a dependência da taxa fotossintética líquida com a fase fotoquímica da fotossíntese.

O sinal de fluorescência máxima ( $F_M$ ) não foi afetado pelo processo de suspensão da irrigação nas medições efetuadas no período de 8:30 às 9:30 h (Quadro 9). De acordo com a Figura 16 observa-se, a partir do quinto dia, uma ascensão do sinal de fluorescência máxima, seguindo-se de nítida queda a partir do 17º dia do início da suspensão da irrigação, talvez devida a um menor fluxo de elétrons, em termos globais, através dos fotossistemas quando do material sob tensão hídrica, reforçado pelas condições de limitação de  $CO_2$ . Limitação essa que se intensifica a partir desse tempo (17º dia) com a queda na condutância estomática (Figura 5). Para GENTY et al (1987), o tempo para a fluorescência atingir  $F_M$ , a partir de  $F_o$ , não é afetado pela tensão hídrica.

QUADRO 11 - Resumo das análises de variância para alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios		
		F <sub>o</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>V</sub>
Bloco	2	997,528	4242,694	4481,333
Trat.	1	2040,028 <sup>***</sup>	981,778 <sup>***</sup>	148,028 <sup>***</sup>
<b>Erro (a)</b>	2	319,528	9578,527	7385,444
Tempo	5	2292,695 <sup>**</sup>	150773,600 <sup>**</sup>	124344,000 <sup>**</sup>
Trat. x Tempo	5	888,294 <sup>***</sup>	21460,980 <sup>***</sup>	14661,090 <sup>***</sup>
<b>Erro (b)</b>	20	447,961	11829,610	9836,489

QUADRO 12 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	Área	F <sub>V</sub> /F <sub>M</sub>	F <sub>V</sub> /F <sub>o</sub>
Bloco	2	0,319	,1104752E+09	0,261E-03	0,145
Trat.	1	19,955 <sup>*</sup>	6640238,000 <sup>ns</sup>	0,408E-03 <sup>ns</sup>	0,201 <sup>***</sup>
<b>Erro (a)</b>	2	0,280	,8891024E+08	0,388E-04	0,022
Tempo	6	2,685 <sup>**</sup>	,3454154E+09 <sup>**</sup>	0,753E-03 <sup>**</sup>	0,362 <sup>**</sup>
Trat. x Tempo	6	2,557 <sup>**</sup>	,6920413E+08 <sup>ns</sup>	0,251E-04 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>
<b>Erro (b)</b>	24	0,123	,6575691E+08	0,746E-04	0,035

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.

ns = F não-significativo a 5%

Trat. = Tratamento.

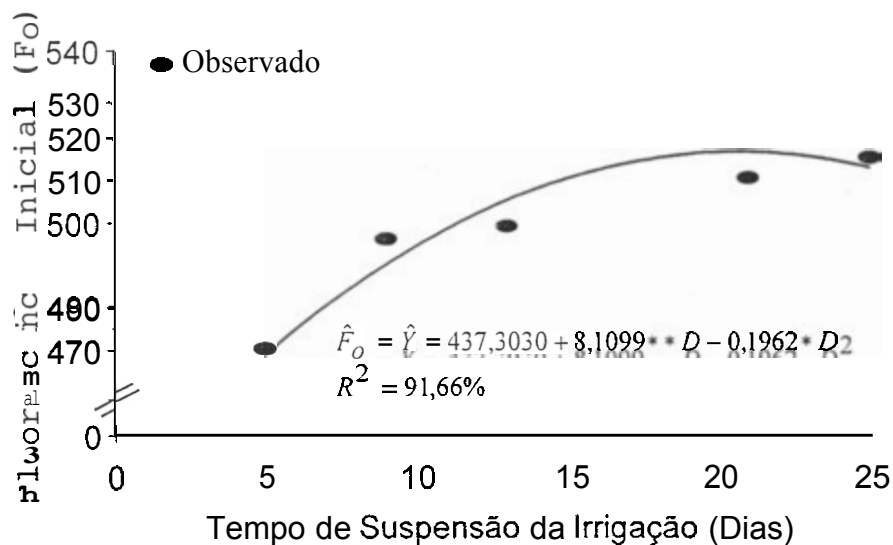


FIGURA 15 - Estimativa da fluorescência inicial ( $F_o$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

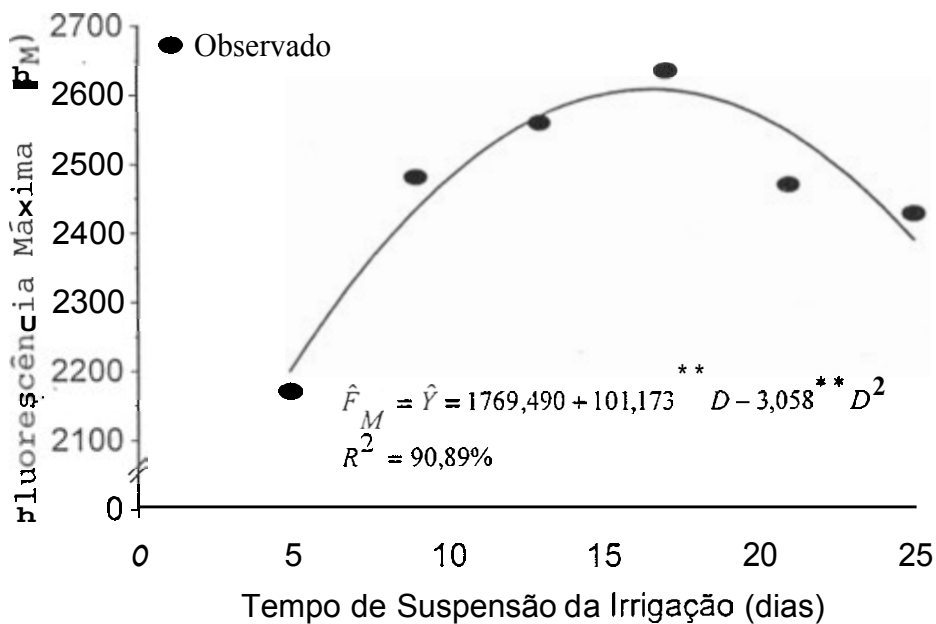


FIGURA 16 - Estimativa da fluorescência máxima ( $F_M$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

Semelhante à  $F_M$ , o sinal  $F_V$  para o período de medição de 8:30 às 9:30 h não foi afetado quando da irrigação (Quadro 9), o que demonstra, reforçando os dados de  $F_o$ , que a suspensão da irrigação, no nível a que chegou, não causou danos nos tilacóides. A Figura 17 apresenta a evolução do sinal de fluorescência variável ( $F_V$ ) em função do tempo de suspensão da irrigação. Verifica-se, para essas condições experimentais, que  $F_V$  ( $F_M - F_o$ ), influenciado por aqueles dois sinais, está mais estreitamente relacionado à  $F_M$ . Há uma forte semelhança entre a tendência das curvas referentes à  $F_V$  e  $F_M$  em função do tempo de suspensão da irrigação (Figuras 16 e 17), para o período de medição referente à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h). De acordo com KRAUSE e WEIS (1984), a tensão ambiente que causa danos nos tilacóides geralmente reduz a produção de fluorescência variável,  $F_V$ , da mesma forma que  $F_M$ .

A partir da suspensão da irrigação, a razão  $F_V / F_M$  (Quadro 10), também denominada eficiência quântica, não apresentou variação significativa em relação ao controle para o período de medição de maior condutância estomática. Em se tratando do tempo de permanência sob crescente tensão hídrica, houve variação significativa dentro do período de medição correspondente à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h.) (Figura 18). De acordo com a Figura 18 observa-se que  $F_V/F_M$  teve uma tendência ascendente, atingindo o ponto máximo no 15<sup>o</sup> dia após o início do processo de desidratação, decrescendo em seguida. Baseado nesta curva de regressão, conclui-se que a atividade do  $PS_{II}$  não sofreu uma queda logo no início da imposição do déficit hídrico, mas sim um ligeiro aumento em sua atividade quando da variação do  $\Psi_W$  de -0,1 a aproximadamente -2,0 MPa. Só então, a partir desse  $\Psi_W$  houve uma pequena queda da atividade do  $PS_{II}$  até o  $\Psi_W$  de -3,0 MPa. Ao que tudo indica, em valores médios, a razão  $F_V/F_M$  (eficiência quântica da fotossíntese) não



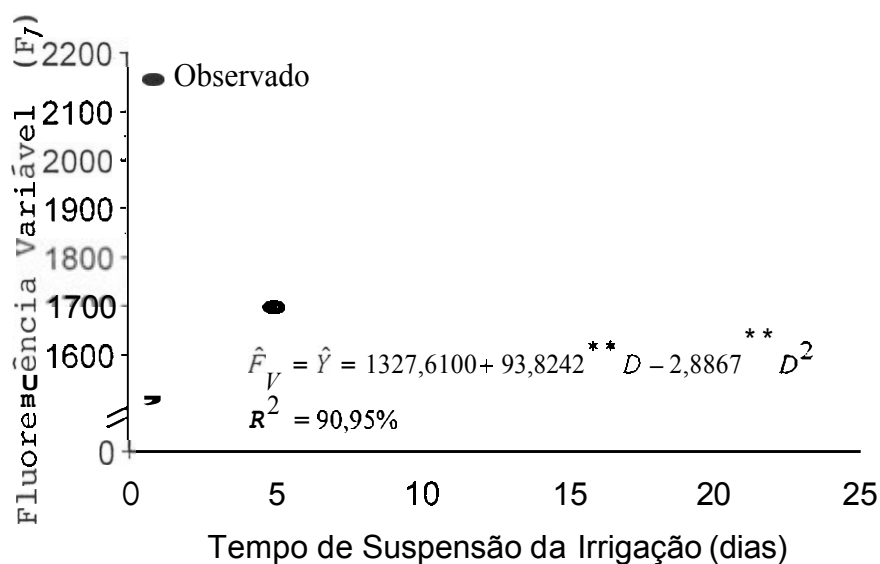


FIGURA 17 - Estimativa da fluorescência variável ( $F_v$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da Irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

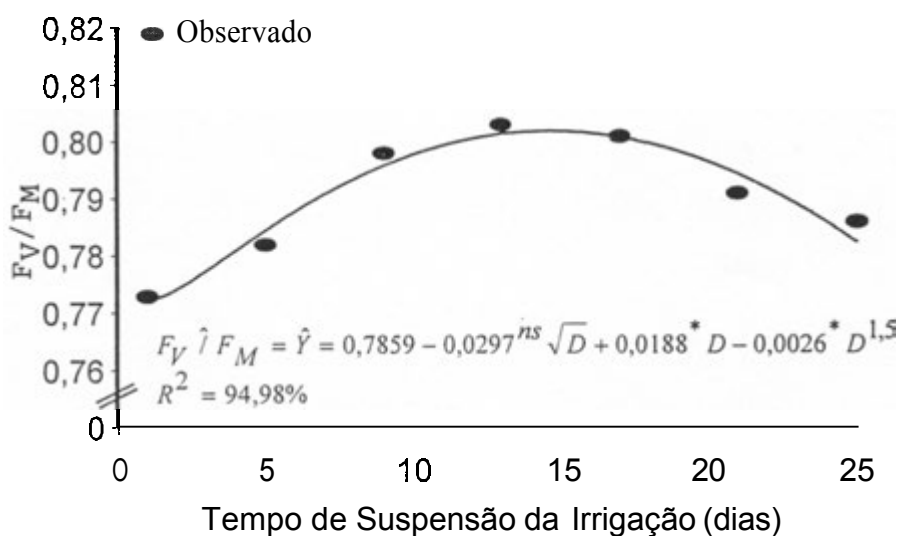


FIGURA 18 - Estimativa da razão  $F_v/F_M$  de folhas de café, em função do tempo de suspensão da Irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

foi significativamente afetada quando da imposição do déficit hídrico, haja vista que os valores registrados não diferem muito dos valores médios registrados na literatura para plantas superiores, da ordem de  $0,800 \pm 0,030$  (VONSHAK et al., 1994). A atividade do PSII, ao que parece para o período de medição correspondente à maior condutância estomática, não foi significativamente afetada. Sob tensão hídrica severa (-2,0 a -3,0 MPa), HAVAUX (1992) verificou que a eficiência quântica “máxima” do PSII foi apenas ligeiramente afetada, permanecendo virtualmente inalterada durante as primeiras 24 horas de tensão hídrica e ligeiramente reduzida para tratamentos mais longos. Ainda de acordo com esse autor, um tratamento mais drástico de desidratação (-4,0 MPa) por três dias causou um pequeno decréscimo de apenas 15% na eficiência quântica máxima do PSII, sugerindo uma alta tolerância do PSII ao desenvolvimento da tensão hídrica.

A razão  $F_V/F_0$ , mencionada por GOLBERG et al. (1988) como sendo dependente do “status” hídrico da planta, teve um comportamento semelhante a  $F_V/F_M$ , ou seja, não houve efeito ( $P < 0,05$ ), quando da suspensão da irrigação, para o período de medição de 8:30 às 9:30 h (Quadro 10). Para esse período de medição correspondente à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h), foi registrado uma curva (Figura 19) de tendência muito semelhante àquela da razão  $F_V/F_M$  (Figura 18). Segundo KRAUSE e WEIS (1984), sob altas irradiâncias, a razão  $F_V/F_0$  pode se elevar a valores entre 4 e 5. Nos presentes resultados, os valores médios de  $F_V/F_0$  variam entre 3 e 4 ao longo dos 25 dias de desidratação a que foi submetido o material vegetal. Assim sendo, houve uma pequena associação entre  $F_V/F_0$  e  $\Psi_W$  foliar durante o período de desidratação, mas a relação não foi próxima o bastante para permitir que se considerasse  $F_V/F_0$  como um bom indicador do “status” hídrico da planta, o que

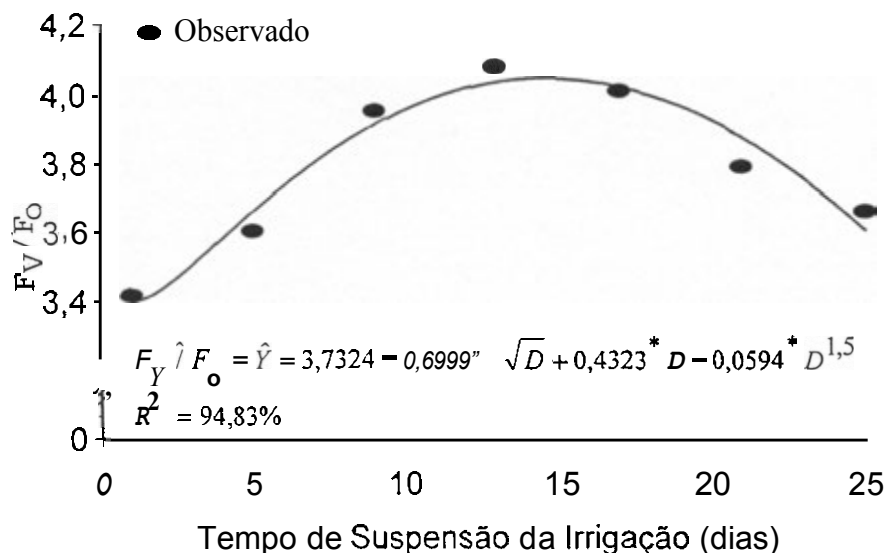


FIGURA 19 - Estimativa da razão  $F_v/F_o$  de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

também foi demonstrado por GOLBERG et al. (1988).

O processo de suspensão da irrigação não afetou a área sob a curva de fluorescência (Quadro 10) para o período de medição de 8:30 às 9:30 h. A curva ajustada, que melhor representa a variação da área sob a curva de fluorescência, para o período de maior condutância estomática, em função do tempo, de desidratação, é representada por uma reta que corta o eixo das ordenadas no valor de  $\bar{Y}$  (média) (Figura 20).

Para as medições efetuadas no período correspondente à menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h) (Quadros 13, 14 e 15), apenas os sinais  $F_o$  e  $F_M$  foram afetados pela suspensão da irrigação.

O sinal de fluorescência inicial,  $F_o$ , em valores médios, foi menor quando da suspensão da irrigação (Quadro 13) em relação ao controle. A

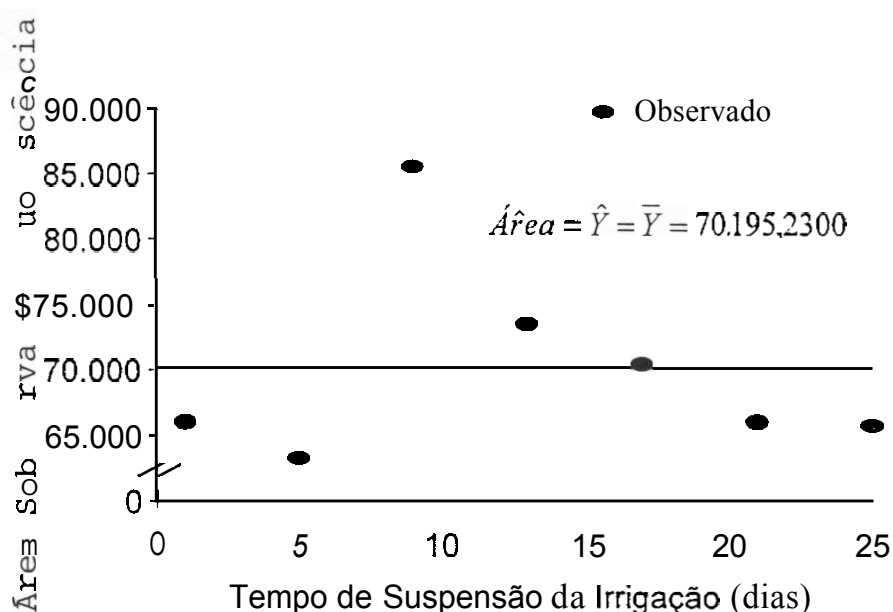


FIGURA 20 - Estimativa da área abaixo da curva de fluorescência de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 8:30 às 9:30 h.

QUADRO 13 - Valores médios de alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$F_o$	$F_M$	$F_v$
$T_1^2$	516	2331a <sup>1</sup>	1815a
$T_2$	497	2228b	1730a

1. **As** médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 18 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Suspensão da irrigação).

QUADRO 14 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila  $a$ , durante um processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (MPa)	Área	$F_V/F_M$	$F_V/F_O$
T <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-0,51	59771a <sup>1</sup>	0,775a	3,46a
T <sub>2</sub>	-1,85	60962a	0,775a	3,47a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 21 observações para T<sub>1</sub> (Controle) e T<sub>2</sub> (Suspensão da irrigação).

QUADRO 15 - Resumo das análises de variância para alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila  $a$ , ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios		
		F <sub>o</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>V</sub>
Bloco	2	1086,778	4918,111	10180,030
Trat.	1	3211,111*	95481,000*	63756,250***
Erro (a)	2	143,444	4980,333	3451,583
Tempo	5	3028,245**	113248,700**	82643,480**
Trat. x Tempo	5	2029,911*	23819,130***	14811,580 <sup>ns</sup>
Erro (b)	20	738,077	16028,390	13512,100

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.  
 ns = F não-significativo a 5%.  
 Trat. = Tratamento.

Figura 21 ilustra a variação de  $F_o$  em função do tempo de suspensão da irrigação. Observa-se nessa figura uma tendência ascendente, com taxa constante, do sinal  $F_o$  com o tempo de suspensão da irrigação. Com base nesses resultados referentes ao período de menor condutância estomática, ao que tudo indica, a tensão hídrica a que as plantas foram submetidas foi suficiente o bastante para causar alterações estruturais ao nível do  $PS_{II}$ . Alterações essas, na fase fotoquímica da fotossíntese, que podem estar envolvidas, juntamente com limitações na fase bioquímica (menor condutância estomática) da fotossíntese (Quadro 2) com a queda na taxa fotossintética líquida, observada para esse período de medição (13:30 às 14:30 h) (Quadro 2). Para KRAUSE e WEIS (1984), o nível  $F_o$  é afetado por tensão ambiente que causa alterações estruturais ao nível do  $PS_{II}$ .

A fluorescência máxima,  $F_M$ , quando da suspensão da irrigação, apresentou valores médios inferiores àqueles do controle (Quadro 13) para as medições efetuadas durante o período de menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h). Era de se esperar que, no tratamento de tensão hídrica, os valores médios de  $F_M$  fossem superiores ao controle (irrigado), haja vista que sob aquelas condições haveria um menor nível de reoxidação do acceptor  $Q_A$  e, conseqüentemente, o “desvio” da energia de excitação para a forma de emissão de fluorescência (no caso, fluorescência máxima). A Figura 22 representa a variação de  $F_M$  em função do tempo de suspensão da irrigação, para o período de 13:30 às 14:30 h. Verifica-se uma semelhança muito grande, em termos de tendência da curva, entre as Figuras 22 (menor condutância estomática) e 16 (maior condutância estomática). A Figura 22 apresenta um valor máximo para  $F_M$  próximo ao 17<sup>o</sup> dia após o início da suspensão da irrigação, quando tem início uma tendência de queda. Segundo KRAUSE e WEIS (1984), limitações nos transportadores localizados nas membranas dos tilacóides, sob condições

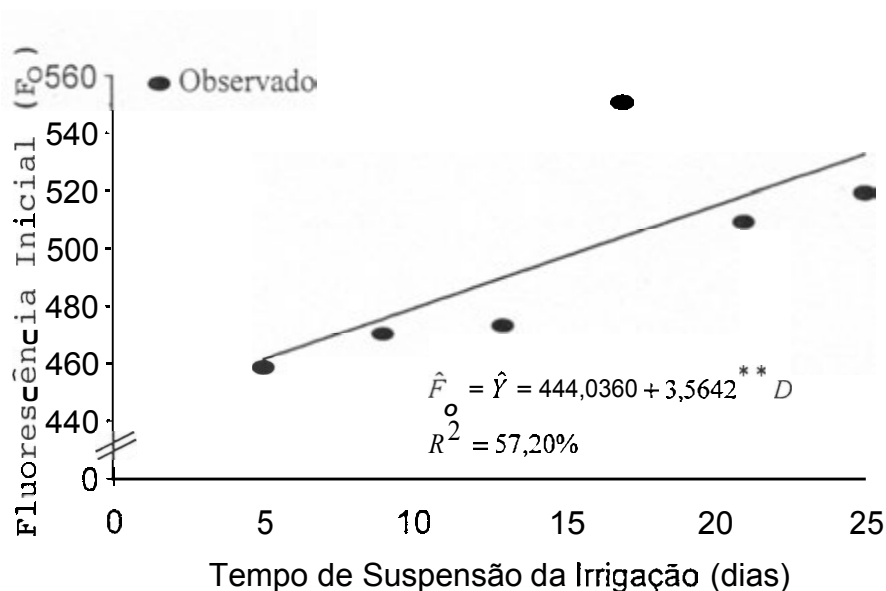


FIGURA 21 - Estimativa da fluorescência inicial ( $F_0$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h, para o tratamento desidratado.

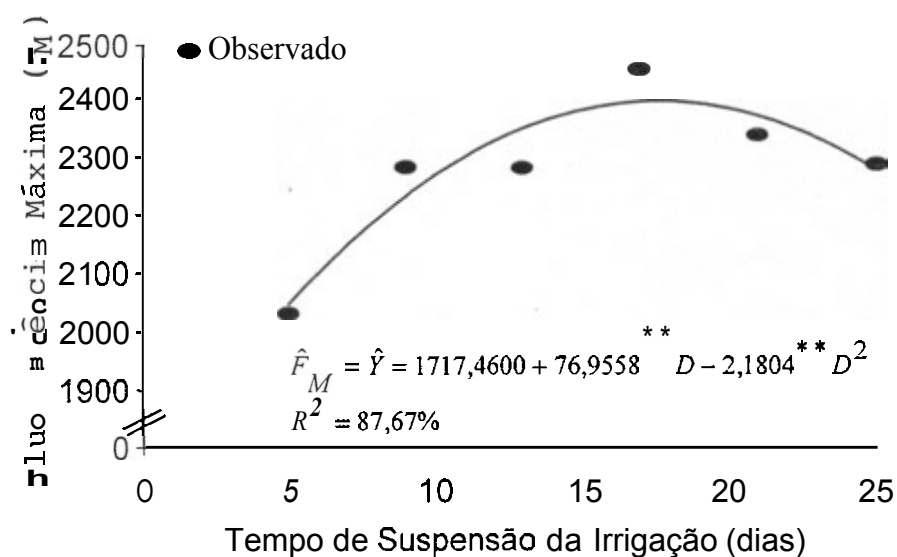


FIGURA 22 - Estimativa da fluorescência máxima ( $F_M$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.

de tensão ambiente, justificariam a queda nos valores de  $F_M$ .

O sinal  $F_V$ , para as medições referentes ao período de menor condutância estomática, não foi afetado pelo tratamento de tensão hídrica (Quadro 13), não diferindo, em valores médios, do controle (irrigado). O tempo de suspensão da irrigação afetou o sinal de fluorescência variável (Quadro 15), o que pode ser observado pela Figura 23. Ainda com relação à Figura 23, verifica-se que  $F_V$  apresentou uma ascensão a partir do quinto dia da suspensão da irrigação atingindo um valor máximo próximo ao 17º dia, seguida de queda até o término das medições, comportamento semelhante àquele do período de maior condutância estomática (Figura 17).

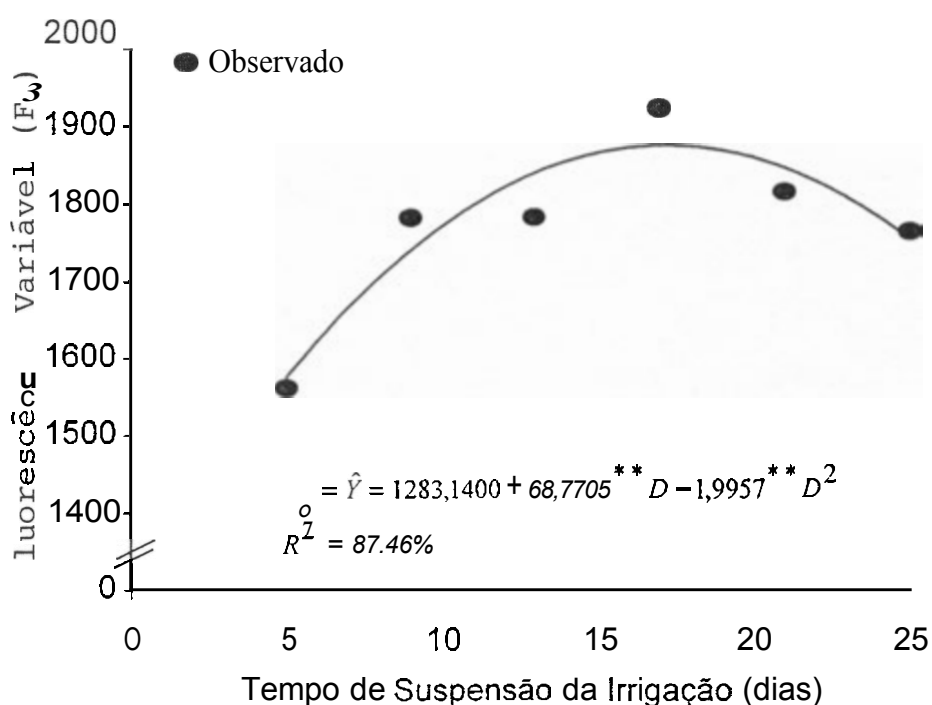


FIGURA 23 - Estimativa da fluorescência variável ( $F_V$ ) de folhas de café, em função do tempo de suspensão da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.



Com relação à área sob a curva de fluorescência, à eficiência quântica fotossintética ( $F_V/F_M$ ) e à razão  $F_V/F_o$ , não foi verificada qualquer diferença do tratamento ou mesmo do tempo de suspensão da irrigação em relação ao controle irrigado, para o período de medição de 13:30 às 14:30 h (Quadros 14 e 16).

QUADRO 16 - Resumo das análises de variância para potencial hídrico e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, ao longo do processo de suspensão da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios			
		$\Psi_w$	Área	$F_V/F_M$	$F_V/F_o$
Bloco	2	0,103	,6505524E+08	0,306E-03	0,125
Trat.	1	19,001'	,1488095E+08 <sup>ns</sup>	0,138E-06 <sup>ns</sup>	0,472E-03 <sup>ns</sup>
Erro (a)	2	0,196	,4887524E+08	0,877E-05	0,002
Tempo	6	2,112 <sup>**</sup>	,8960390E+08 <sup>ns</sup>	0,359E-03 <sup>ns</sup>	0,139 <sup>ns</sup>
Trat. x Tempo	6	2,431 <sup>**</sup>	,9663373E+08 <sup>ns</sup>	0,203E-03 <sup>ns</sup>	0,073 <sup>ns</sup>
Erro (b)	24	0.108	,3991357E+08	0,151E-03	0,060

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.  
 ns = F não-significativo a 5%.  
 Trat. = Tratamento.

### 3.2.2. Efeitos do Restabelecimento da Irrigação Sobre os Sinais de Fluorescência

Durante o processo de restabelecimento da irrigação, para ambos os períodos de medição, quase nenhum dos sinais de fluorescência e conseqüentemente as razões que envolvem tais sinais, foram afetados ( $P < 0,05$ ).

Para as medições realizadas no período de maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h), verifica-se a partir do Quadro 17 que os sinais  $F_O$ ,  $F_M$  e  $F_V$ , as razões  $F_V/F_M$  e  $F_V/F_O$  e a área sob a curva de fluorescência não diferiram ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos de restabelecimento da irrigação e controle (irrigado). Contudo, apesar desse comportamento, não se pode afirmar que houve uma recuperação desses sinais (e da atividade dos fotossistemas,  $PS_{II}$  e  $PS_I$ ) com o restabelecimento da irrigação, haja vista que os mesmos não haviam respondido à suspensão da irrigação (Quadros 9 e 10). Desta forma, não se observou efeito, quando do processo de restabelecimento da irrigação, sobre a fase fotoquímica da fotossíntese (demonstrado a partir do estudo da cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*), para o período de medição referente à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h). GOLBERG et al. (1988) atribuíram um pequeno aumento em  $F_V/F_O$ , principalmente a um aumento em  $F_V$  após restabelecimento da irrigação, uma vez que  $F_O$  permaneceu inalterado até o quinto dia do período de reidratação.

Para as medições realizadas no período de 13:30 às 14:30 h, os sinais  $F_O$  e  $F_M$  responderam ao tratamento de restabelecimento da irrigação. De acordo com o Quadro 18 verifica-se que não há diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos de restabelecimento da irrigação e controle. Isso demonstra que houve uma recuperação de  $F_O$  e  $F_M$  a níveis iguais ao do controle (irrigado), uma vez que esses sinais quando da suspensão da

QUADRO 17 - Valores médios do Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, durante um processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	$F_o$	$F_M$	$F_v$	Area	$F_v/F_M$	$F_v/F_o$
$T_1^2$	-0,13	511a <sup>1</sup>	2404a	1893a	59207a	0,787a	3,71a
$T_2$	-0,41	509a	2365a	1856a	64940a	0,784a	3,65a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 15 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Restabelecimento da irrigação).

QUADRO 18 - Valores médios do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, durante um processo de restabelecimento da irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h), para os tratamentos 1 e 2

	$\Psi_w$ (Mpa)	$F_o$	$F_M$	$F_v$	Área	$F_v/F_M$	$F_v/F_o$
$T_1^2$	-0,42	509a <sup>1</sup>	2339a	1829a	53120a	0,782a	3,60a
$T_2$	-0,60	511a	2222a	1711a	55367a	0,769a	3,35a

1. As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.
2. Médias de 15 observações para  $T_1$  (Controle) e  $T_2$  (Restabelecimento da irrigação).

irrigação apresentaram valores médio inferiores ao controle (Quadro 9). Em média, o sinal  $F_V$  as razões  $F_V/F_M$  e  $F_V/F_0$  e a área sob a curva de fluorescência (Quadro 18) não diferiram ( $P < 0,05$ ) quanto ao tratamento de restabelecimento da irrigação em relação ao controle irrigado. Contudo não se pode inferir quanto ao efeito do restabelecimento da irrigação sobre esses sinais, uma vez que os mesmos já não diferiam do controle ( $P < 0,05$ ) quando da suspensão da irrigação (Quadros 13 e 14) no período de medição de 13:30 às 14:30 h.

O tempo de restabelecimento da irrigação teve efeito apenas sobre o sinal de fluorescência variável,  $F_V$  (Quadro 19). O sinal de fluorescência variável ( $F_V$ ) elevou-se rapidamente, já a partir do primeiro dia do restabelecimento da irrigação, atingindo o pico ( $\cong 1850$ ) entre o 4<sup>o</sup> e o 5<sup>o</sup> dia a partir do início da reidratação, quando registrou uma queda, permanecendo, porém, com valores superiores àqueles do início do restabelecimento da irrigação (Figura 24).

Baseando-se no comportamento dos sinais  $F_0$  e  $F_M$ , para o período de medição referente à menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h), parece que o dano sofrido pelo tilacóide quando da suspensão da irrigação não foi permanente, sendo restabelecida a atividade dos transportadores das membranas do tilacóide, a partir do restabelecimento da irrigação do material vegetal. Ou seja, com o restabelecimento da irrigação (para o período de 13:30 às 14:30 h) o fluxo de elétrons através dos fotossistemas ( $PS_{II}$  e  $PS_I$ ), fase fotoquímica da fotossíntese, recuperou-se plenamente. O que pode ser comprovado pelos valores médios da taxa fotossintética líquida ( $A$ ) (Quadro 6), que não diferem entre os tratamentos de restabelecimento da irrigação e controle. Houve o restabelecimento pleno da atividade fotossintética do material vegetal. De acordo com GOLBERG et al. (1988), a recuperação da atividade do  $PS_{II}$ , em *C.*

QUADRO 19 - Resumo das análises de variância para Potencial Hídrico e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *a*, ao longo do processo de restabelecimento da Irrigação, obtidos no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios						
		$\Psi_w$	$F_o$	$F_M$	$F_V$	Área	$F_V/F_M$	$F_V/F_o$
Bloco	2	0,049	91,733	42474,130	38450,540	,1136893E+09	0,3293-03	0,103
Trat.	1	0,238*	24,300 <sup>ns</sup>	102901,600 <sup>ns</sup>	104902,500 <sup>ns</sup>	,3785633E+08 <sup>ns</sup>	0,123E-02 <sup>ns</sup>	0,444 <sup>ns</sup>
Erro (a)	2	0,004	338,800	28684,930	34525,730	,3068133E+08	0,623E-03	0,263
Tempo	4	0,093**	119,333 <sup>***</sup>	32069,000 <sup>***</sup>	33779,000*	,2576550E+08 <sup>ns</sup>	0,467E-03 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>***</sup>
Trat. x Tempo	4	0,088**	579,300 <sup>***</sup>	22168,460 <sup>ns</sup>	16738,200 <sup>ns</sup>	,3721217E+08 <sup>ns</sup>	0,105E-03 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>
Erro (b)	16	0,015	722,267	11368,160	10885,800	,6216408E+08	0,191E-03	0,078

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.  
 ns = F não-significativo a 5%.  
 Trat. = Tratamento.

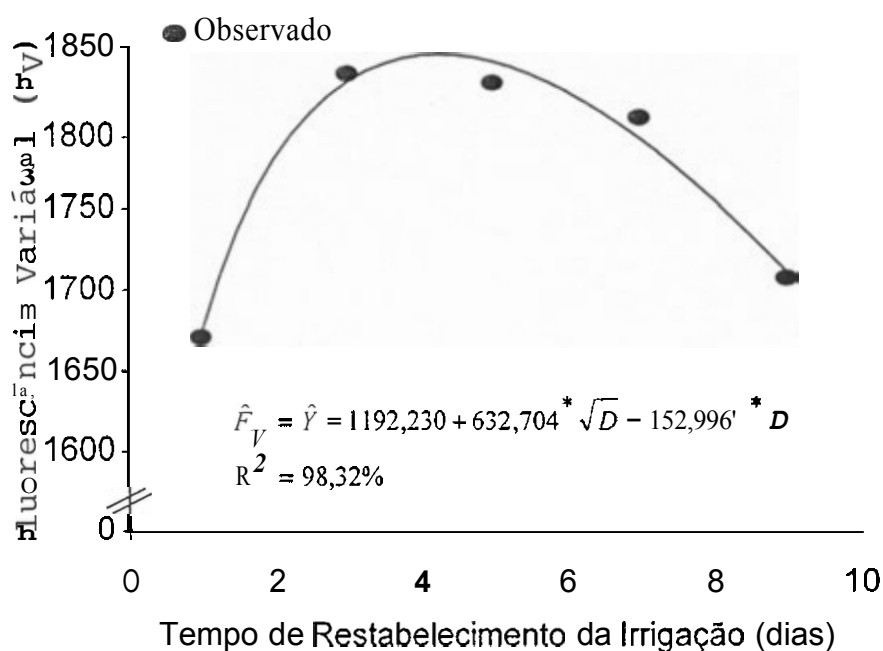


FIGURA 24 - Estimativa da fluorescência variável ( $F_V$ ) de folhas de café, em função do tempo de restabelecimento da irrigação (dias), para o período de medição de 13:30 às 14:30 h.

*canephora* e *C. arabusta*, representada por  $F_V/F_0$  é baixa e ainda incompleta, dez dias após o início do restabelecimento da irrigação. Para esses autores, o efeito do tempo é altamente significativo.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Plantas de café (*C. arabica*) de dois anos de idade, cultivadas em vasos plásticos (PVC) e mantidas, sombreadas, sob casa de vegetação, foram submetidas a um período de suspensão da irrigação até que atingissem o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) foliar de antemanhã, na faixa de -3,0 MPa, sendo então restabelecida a irrigação. Durante a suspensão da irrigação foram acompanhadas a taxa de fotossíntese líquida ( $A$ ) e a cinética de emissão de fluorescência da clorofila  $a$ , por meio de medições em folhas intactas, realizadas em dois períodos do dia, correspondentes aos períodos de máxima (8:30 às 9:30 h) e mínima (13:30 às 14:30 h) condutância estomática; sempre acompanhadas do potencial hídrico foliar, com intervalo entre as medições de quatro dias. O restabelecimento da irrigação foi acompanhado das mesmas medições com intervalos de dois dias, prosseguindo até a recuperação plena da taxa fotossintética líquida.

Iniciado o tratamento de suspensão da irrigação, o  $\Psi_w$  foliar ainda permaneceu relativamente estável até o quinto dia, quando a partir daí apresentou queda constante atingindo um valor mínimo (-3,0 MPa) próximo ao vigésimo dia da suspensão da irrigação.

O tratamento de suspensão da irrigação, com referência ao período de medição relativo à maior condutância estomática (8:30 às 9:30 h), não afetou a assimilação de  $\text{CO}_2$  (fase bioquímica), bem como a atividade dos fotossistemas,  $\text{PS}_{\text{II}}$  e  $\text{PS}_{\text{I}}$  (fase fotoquímica da fotossíntese). Com o tempo de suspensão da irrigação houve uma queda em  $A$ .

Para o período de medição referente à menor condutância estomática (13:30 às 14:30 h), o tratamento de suspensão da irrigação provocou uma queda em  $A$ , com redução nos níveis de  $F_o$  e  $F_M$ .

Com o restabelecimento da irrigação, o  $\Psi_w$  foliar, num tempo relativamente curto (três dias), se recuperou, atingindo valores médios próximos do controle (irrigado).

As alterações ocorridas ao nível dos  $\text{PS}_{\text{II}}$  e  $\text{PS}_{\text{I}}$ , quando da suspensão da irrigação, não foram permanentes, sendo verificada a recuperação plena da atividade fotossintética a partir do restabelecimento da irrigação.



## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- ACKERSON, R. C. & HEBERT, R. R. Osmoregulation in cotton in response to water stress: alteration in photosynthesis, leaf conductance, translocation, ultrastructure. **Plant Physiol.**, **67**:484-488, 1980.
- CLARCK, R. D. Characterization of phosphatase of intact maize root. **J. Agric. Food Chem.**, **233**:458-60, 1975.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 4ª aproximação. Belo Horizonte, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 1989. 159p.
- CORNIC, G. & BRIANTAIS, J.M. Partitioning of photosynthetic CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in a C<sub>3</sub> leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO<sub>2</sub> concentrations during drought stress. **Planta**, **183**:178-184, 1991.
- CORNIC, G. ; PAPAGIORGIU I. ; LOUASON, G. Effect of a rapid and a slow drought cycle followed by rehydration on stomatal and non stomatal components of leaf photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. . **J. Plant Physiol.**, **126**:309-318, 1987.
- CORNIC, G. ; Le GOUALLEC, J. L. ; BRIANTAIS, J. M. ; HODGES, M. Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two C<sub>3</sub> plants (*Phaseolus vulgaris* L. , *Elatostema repens* (Lour) Hall f.). **Planta**, **177**:84-90, 1989.

- EPRON, D. & DREYER, E. Stomatal and non stomatal limitation of photosynthesis by leaf water deficits in three oak species; comparison of gas exchange and chlorophyll a fluorescence data. **Ann. Sci. For.**, **47**:435-450, 1990.
- EPRON, D. & DREYER, E. Photosynthesis of oak leaves under water stress; maintenance of high photochemical efficiency of photosystem II and occurrence of non-uniform CO<sub>2</sub> assimilation. **Tree Physiol.**, **13**:107-117, 1993.
- FLOWER, D. J. & LUDLOW, M. M. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves. **Plant Cell Environ.**, **9**:33-40, 1986.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; SILVA, J. B. V. da Effects of drought on primary photosynthetic processes of cotton leaves. **Plant Physiol.**, **83**:360-364, 1987.
- GOLBERG, A. D. ; RENARD, C. ; LANNOYE R. ; LEDENT, J.F. Effects and after-effects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabusta* Capot and Aké Assi. **Café Cacao Thé**, **32(1)**:11-16, 1988.
- GRIEU, P. ; GUEHL, J. M. ; AUSSENAC, G. The effects of soil and atmospheric drought photosynthesis and stomatal control of gas exchange in three coniferous species. **Physiol. Plant.**, **73**:97-104, 1988.
- HAVAUX, M. Stress tolerance of photosystem II in vivo. Antagonistic effects of water, heat, and photoinhibition stresses. **Plant Physiol.** , **100**:424-432, 1992.
- JEFFERIES, R. A. Cultivar responses to water stress in potato; effects of shoot and roots. **New Phytol.**, **123**:491-498, 1993.
- KRAUSE, G. H. & WEIS, E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals. **Photosynth. Res.**, **5**:139-157, 1984.
- LEIDI, E. O. ; LÓPEZ, J. M. ; LÓPEZ, M. ; GUTIERREZ, J. C. Searching for tolerance to water stress in cotton genotypes; photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. **Photosynthetica**, **28(3)**:383-390, 1993.

- LUDLOW, M. M. & IBARAKI, K. Stomatal control of water loss in siratro [*Macropitium atropurpureum* (DC) Urb.], a tropical pasture legume. *Ann. Bot.*, **43**:639-647, 1979.
- LUDLOW, M. M. ; FISHER, M. J. ; WILSON, J. R. Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legumes grown in controlled conditions and in the field. *Austral. J. Plant Physiol.*, **12**:131-149, 1985.
- McWILLIAM, J. R. The national and international importance of drought and salinity effects on agricultural production. *Austral. J. Plant Physiol.*, **35**:1-13, 1986.
- NAGARAJAH, S. & SHULZE, E.D. Responses of in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. to atmospheric and soil drought. *Austral. J. Plant Physiol.*, **10**:384-394, 1983.
- NOBEL, P. S. Water relations and photosynthesis of barrel cactus. *Oecologia*, **27**:117-133, 1977.
- SCHEUERMANN, R. ; BIEHLER, K. ; STUHLFAUTH, T. ; FOCK, H. Simultaneous gas exchange and fluorescence measurements indicate differences in response of sunflower, bean and maize to water stress. *Photosynth. Res.*, **27**:189-197, 1991.
- SCHOLANDER, P. E. ; HAMMEL, H. T. ; BRADSTREET, E. D. ; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148**:339-346, 1965.
- SHARKEY, T. D. Water stress effects on photosynthesis. *Photosynthetica*, **24**:651, 1990.
- THOMAS, D. A. & ANDRÉ, M. The response of oxygen and carbon dioxide exchanges and root activity to short term water stress in soybean. *J. Exp. Bot.*, **33**:393-405, 1982,
- VONSHAK, A. ; TORZILLO, G. ; TOMASELI, L. Use of chlorophyll fluorescence to estimate the effect of photoinhibition in outdoor cultures of *Spirulina platensis*. *J. Appl. Phycol.*, **6**:31-34, 1994.

## APÉNDICE

## APÊNDICE A

**QUADRO IA** - Resumo das análises de variância para potencial hídrico e alguns sinais da cinética de fluorescência da clorofila *R*, ao longo do processo de reidratação, obtidos no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

FV	GL	Quadrados Médios						
		$\Psi_w$	$F_o$	$F_M$	$F_V$	Área	$F_V/F_M$	$F_V/F_o$
Bloco	2	0,001	96,633	14286,400	11908,930	,4746633E+08	0,442E-04	0,018
Trat.	1	0,577*	22,533***	11059,200 <sup>ns</sup>	10267,500***	,2465333E+09 <sup>ns</sup>	0,514E-04 <sup>ns</sup>	0,026***
Erro (a)	2	0,013	742,233	20074,800	23114,800	,2303433E+08	0,371E-03	0,183
Tempo	4	0,341**	41,917 <sup>ns</sup>	5113,883***	4534,883***	,6956467E+08 <sup>ns</sup>	0,291E-04 <sup>ns</sup>	0,016***
Trat. x Tempo	4	0,304**	707,783***	27840,450***	23048,080 <sup>ns</sup>	,4147667E+08 <sup>ns</sup>	0,145E-03 <sup>ns</sup>	0,068 <sup>ns</sup>
Erro (b)	16	0,004	617,100	13479,520	13344,910	,7346741E+08	0,194E-03	0,090

\* e \*\* = F significativo a 5 e 1%.  
 ns = F nao-significativo a 5%.  
 Trat. = Tratamento.

QUADRO 2A - Equações ajustadas de fatores relacionados à fotossíntese, em função do tempo (D), durante um processo de suspensão da irrigação, no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

Fator	Equações	R <sup>2</sup> (%)
PAR <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{P}\hat{A}R = \hat{Y} = 367,15 - 41,1403^* D + 2,70278^{***} D^2 - 0,057569^{***} D^3$	60,49
A <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{A} = \hat{Y} = \bar{Y} = 2,1056$	
Ψ <sub>w</sub> <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{\Psi}_w = \hat{Y} = \bar{Y} = -0,1567$	

QUADRO 3A - Equações ajustadas de fatores relacionados à fotossíntese, em função do tempo (D), durante um processo de suspensão da irrigação, no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

Fator	Equações	R <sup>2</sup> (%)
g <sub>s</sub> <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{g}_s = \hat{Y} = 102,3220 - 7,42975^{ns} D + 1,15474^* D^2 - 0,03679^{**} D^3$	98,51
PAR <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{P}\hat{A}R = \hat{Y} = \bar{Y} = 436,7777$	
PAR <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{P}\hat{A}R = \hat{Y} = \bar{Y} = 434,0000$	
A <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{A} = \hat{Y} = \bar{Y} = 2,9444$	
Ψ <sub>w</sub> <sup>Ⓢ</sup>	$\hat{\Psi}_w = \hat{Y} = \bar{Y} = -0,5057$	

- Ⓢ = Controle.  
 Ⓢ = Suspensão da Irrigação.  
 \*\* e \*\*\* = Significativo a 5, 1 e 10% de probabilidade, pelo teste "t".  
 ns = Não-significativo.  
 g<sub>s</sub> = Condutância Estomática (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).  
 Ψ<sub>w</sub> = Potencial Hídrico (MPa).  
 PAR = Radiação Fotossinteticamente Ativa (μmol fótons m<sup>-2</sup> S<sup>-1</sup>).  
 A = Taxa de Fotossintética Líquida (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

QUADRO 4A - Equação ajustada de potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), em função do tempo (D), durante um processo de restabelecimento da irrigação, no período de maior condutância estomática (8:30-9:30 h)

Fator	Equação
$\Psi_w^{\text{©}}$	$\hat{\Psi}_w = \hat{Y} = \bar{Y} = -0,1347$

QUADRO 5A - Equações ajustadas de fatores relacionados à fotossíntese, em função do tempo (D), durante um processo de restabelecimento da irrigação, no período de menor condutância estomática (13:30-14:30 h)

Fator	Equações	R <sup>2</sup> (%)
$g_s^{\text{©}}$	$\hat{g}_s = \hat{Y} = 100,1570 - 35,0040^* D + 8,9134^* D^2 - 0,5902^* D^3$	99,68
PAR <sup>©</sup>	$\hat{P}AR = \hat{Y} = 138,373 + 45,2857^* D - 3,8869^* D^2$	67,16
PAR <sup>®</sup>	$\hat{P}AR = \hat{Y} = 1061,99 - 597,436^{**} D + 125,559^{**} D^2 - 7,38169^{**} D^3$	99,20
$\Psi_w^{\text{©}}$	$\hat{\Psi}_w = \hat{Y} = \bar{Y} = -0,4207$	

© = Controle.

® = Restabelecimento da irrigação.

\* e \*\* = Significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste "t".

$g_s$  = Condutância estomática (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

$\Psi_w$  = Potencial hídrico (MPa).

PAR = Radiação fotossinteticamente ativa (μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).