

CARLOS RODRIGUES PEREIRA

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA
[*Glycine max* (L.) Merrill] SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

T
602.84
14700
1998

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de "Magister Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
ABRIL - 1998

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Pereira, Carlos Rodrigues, 1967-

P436c

1998

Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja
[*Glycine max* (L.) Merrill] sob deficiência hídrica / Carlos
Rodrigues Pereira. - Viçosa : UFV, 1998.

97 : il.

Orientador: Luiz Cláudio Costa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
1997

1. Soja - Déficit hídrico. 2. Soja - Crescimento. 3. Soja -
Desenvolvimento. 4. Plantas e água. 5. Água - Uso. I. Uni-
versidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 633.34

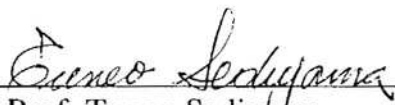
CDD 20.ed. 633.34

CARLOS RODRIGUES PEREIRA

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA
[*Glycine max* (L.) Merrill] SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

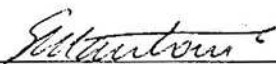
APROVADA: 28 de agosto de 1997.



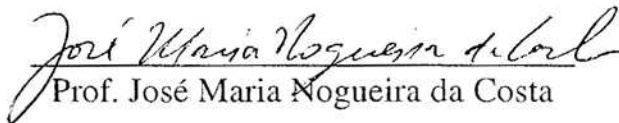
Prof. Tuneco Sedyama
(Conselheiro)



Prof. Aristides Ribeiro



Prof. Everardo Chartuni Mantovani



Prof. José Maria Nogueira da Costa



Prof. Luiz Cláudio Costa
(Orientador)

Aos meus pais, Nelson e Hermênia.

À minha filha, Carolina (*in memoriam*).

Aos meus irmãos, Charles e Jobes.

Aos meus sobrinhos, Raquel e Vitor.

À Adriana E. Confalone.

Aos meus afilhados, Liliane e Cristiano.

Aos meus amigos, Tiago e Aline.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Luiz Cláudio Costa, pela orientação, pela confiança e pela amizade.

Aos professores Tuneo Sedyama e Marco Antônio Oliva Cano, pela orientação, pelas sugestões e pela amizade.

Aos professores Paulo José Hamakawa, Evandro Ferreira Passos, Carlos Sigureyuki Sedyama, Aristίδes Ribeiro, Gilberto Chohaku Sedyama, José Maria Nogueira da Costa, José Eduardo Prates, Adil Rainier Alves e Everardo Chartuni Mantovani, pelas sugestões e pela amizade.

Aos professores Laércio Zambolim e Paulo César Rezende Fontes, pelo empréstimo do medidor de área foliar.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo e do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFV, pela colaboração e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, Gino e seus companheiros, pelo apoio durante a realização do experimento.

Ao Rogério Mauro Gomide, Assis José e demais técnicos e funcionários do Departamento de Biologia Vegetal e Fitotecnia da UFV, pelo apoio e pela colaboração.

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola, especialmente a Carlos Henrique, Carlos Antônio e Lucimar, pelo auxílio durante a coleta de dados. A Fátima, Fernanda, Edna, Maria Célia, José Galinári, Antônio Nicácio Teixeira, Jurandir, José Coelho, Joel, Daniel Mill, Evaristo e demais funcionários, pela amizade.

Aos técnicos da Central de Processamento de Dados (CPD), pelo apoio e pela amizade.

Ao Maurício Canarinho e família, pela confiança e amizade.

Ao Sr. Osvaldo de Castro, que sempre me recebeu como filho; a D. Ana, Lúcia Helena, Eva Maria, Adão Vitório e Toninho, pelo incentivo e pelo relacionamento fraterno e amigo; e à Maria das Graças Castro e Maria Aparecida Castro e famílias, pela consideração e amizade.

À Silvana, pelo auxílio na utilização do programa SAEG.

Aos amigos Adailson (DFT), Francisco (DBV), Geraldo Cançado (DFT), Gilberto Miranda (DEF), Jorge (DZO) e Luiz Lopes, pelas sugestões, pela colaboração e pelo apoio.

Aos colegas Wagner, Alexandre, Raffi, Marcelo Cid, Silvando, Celinha, Delton e demais amigos do Curso de Meteorologia Agrícola, pela sincera amizade.

Em especial, à Adriana Elizabeth Confalone, pelo apoio e pela colaboração na montagem e condução do experimento e na discussão dos resultados e, especialmente, pela sincera amizade.

Ao amigo Paulo Afonso da Silva, pelo auxílio na editoração deste trabalho.

Aos meus pais, pelo grande incentivo, pelo amparo econômico nas horas difíceis e, principalmente, por seu amor.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CARLOS RODRIGUES PEREIRA, filho de Nelson Cândido Rodrigues e Hermênia Pereira Rodrigues, nasceu em 23 de fevereiro de 1967, em Caratinga, Estado de Minas Gerais.

Em março de 1988, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, concluindo-o em agosto de 1994.

No período de 1989 a 1991, foi diretor promocional da COOPASUL - Cooperativa de Alunos e Servidores da UFV Ltda.

Em 1993, foi diretor do Diretório Central dos Estudantes da Universidade Federal de Viçosa-DCE-UFV.

Em março de 1995, iniciou o Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, nesta mesma Universidade.

Em 1996, foi diretor da Associação dos Estudantes de Pós-Graduação da UFV-APG-UFV.

Entre junho de 1996 e junho de 1997, foi monitor II da disciplina Meteorologia e Climatologia do Departamento de Engenharia Agrícola.

Em agosto de 1998, defendeu a tese, recebendo o título de "Magister Scientiae" em março de 1998.

Em agosto de 1997, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xviii
EXTRATO	xxii
ABSTRACT	xxiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Clima e cultura da soja	1
1.2. Veranico e estresse hídrico	2
1.3. Partição de fotoassimilados e estresse hídrico	3
1.4. Crescimento, morfologia e produção de matéria seca na cultura da soja sob estresse hídrico	5
1.5. Água como recurso limitado	7
1.6. As plantas e a eficiência do uso da água	7
1.7. A cultura da soja e a eficiência do uso da água	9
1.8. Objetivos deste trabalho.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. Introdução	11

	Página
2.2. Cultura	11
2.3. Solo	12
2.4. Dados meteorológicos	12
2.5. Experimento	13
2.5.1. Semeadura e adubação	13
2.5.2. Crescimento inicial	13
2.5.3. Tratamentos e delineamento experimental	14
2.6. Fenologia	15
2.7. Tratos culturais	15
2.8. Sistema de irrigação	17
2.9. Medidas de estresse hídrico	17
2.10. Medidas de umidade no solo	17
2.11. Amostras e medidas de crescimento	18
2.12. Produtividade de grãos	19
2.13. Taxas de crescimento absoluto e relativo e de área foliar específica	19
2.14. Balanço hídrico no solo	20
2.15. Eficiência do uso da água	21
2.16. Análise estatística	21
3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS	22
3.1. Introdução	22
3.2. Condições física e química do solo	22
3.2.1. Resultados e discussão	22
3.3. Condições de umidade no solo	24
3.3.1. Resultados e discussão	24
3.4. Dados meteorológicos e climáticos	28
3.4.1. Resultados e discussão	28
3.5. Condições gerais de tempo e clima durante o experi- mento	33
3.6. Conclusão	36

	Página
4. CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO	37
4.1. Introdução	37
4.2. Desenvolvimento da cultura da soja	37
4.2.1. Resultados e discussão	37
4.3. Crescimento e partição de fotoassimilados no período inicial da cultura	38
4.3.1. Resultados e discussão	38
4.4. Partição de fotoassimilados	40
4.4.1. Resultados e discussão	40
4.5. Produtividade e características agronômicas	42
4.5.1. Resultados e discussão	42
4.6. Matéria seca e índice de área foliar.....	47
4.6.1. Resultados e discussão	47
4.7 Taxas de crescimento.....	48
4.7.1. Resultados e discussão	48
4.8. Resumo e conclusões	49
5. EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	52
5.1. Introdução	52
5.2. Eficiência do uso da água nas fases fenológicas	52
5.2.1. Resultados e discussão	52
5.3. Resumo e conclusões	60
6. RESUMO E CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	69

LISTA DE QUADROS

	Página
1 Esquema completo do sistema de classificação dos estádios fenológicos da cultura da soja, proposto por FEHR e CAVINESS (1977)	16
2 Análises química e física de amostras de solo retiradas do local dos ensaios	23
3 Médias por fase das temperaturas máxima (\bar{T} máx.), mínima (\bar{T} mín.) e média (\bar{T} md.), umidade relativa média (\bar{UR} md.), precipitação total por fase (PPT), insolação média (n) e média de dez anos para as fases	35
4 Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase vegetativa (PMSRVG), partição de matéria seca para caule na fase vegetativa (PMSCVG) e partição de matéria seca para folhas na fase vegetativa (PMSFVG) ..	41
5 Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase de florescimento (PMSRFR), partição de matéria seca para caule na fase de florescimento (PMSCFR), partição de matéria seca para folhas na fase de florescimento (PMSFFR), partição de matéria seca para flores na fase de florescimento (PMSFRFR) e partição de matéria seca para vagens na fase de florescimento (PMSVFR)	41

6	Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase de enchimento de grãos (PMSRGR), partição de matéria seca para caule na fase de enchimento de grãos (PMSCGR), partição de matéria seca para folhas na fase de enchimento de grãos (PMSFGR), partição de matéria seca para flores na fase de enchimento de grãos (PMSFRGR) e partição de matéria seca para vagens na fase de enchimento de grãos (PMSVGR)	42
7	Valores médios de número de vagens do caule principal (NVGPP), número de vagens dos ramos (NVGRS) e número de vagens total por planta (NVGT)	43
8	Valores médios do número de grãos do caule principal (NGRPP), número de grãos dos ramos (NGRRS) e número de grãos total por planta (NGRT)	44
9	Valores médios de produtividade de grãos, em toneladas por hectare, e do peso de 100 grãos, em gramas	45
10	Valores de taxa de crescimento absoluto (TCA) ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$), taxa de crescimento relativo (TCR) ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$) e área foliar específica (AFE) ($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$), nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, para os tratamentos irrigado por todo período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado todo o período (NITP)	49
11	Matéria seca (MS) produzida pela cultura da soja nas diferentes fases fenológicas e de produção de grãos (ciclo total, Gr.), nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP) ($\text{g}\cdot 10^6\cdot\text{ha}^{-1}$)	55

12	Água agregada (irrigação mais precipitação) à cultura da soja nas diferentes fases fenológicas e por todo o período, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP) ($\text{kg} * 10^6 * \text{ha}^{-1}$)	56
13	Eficiência do uso da água (EUA) para os tratamentos IPTP, NIFV, NIFF, NIFG e NITP, nas fases fenológicas vegetativa, de florescimento, de enchimento de grãos e de produção de grãos (g de MS/kg de água)	56
1A	Valores médios de altura de inserção da primeira vagem (AIV1), altura final de plantas (AFPL) e número de ramos por planta (NUMRS)	70
2A	Resumo da análise de variância dos dados de altura de inserção da primeira vagem (AIV1), altura final de plantas (AFPL) e número de ramos por planta (NUMRS).	70
3A	Valores médios de distância entre os nós do caule principal (DNCP), distância entre os nós do grupo de nós de 1 a 6 (DN16), distância entre os nós do grupo de nós de 6 a 11 (DN611) e distância entre os nós do grupo de nós de 11 a 15 (DN1115)	71
4A	Resumo da análise de variância dos dados de distância entre nós do caule principal (DNCP), distância entre os nós do grupo de nós de 1 a 6 (DN16), distância entre os nós do grupo de nós de 6 a 11 (DN611) e distância entre os nós do grupo de nós de 11 a 15 (DN1115)	71
5A	Valores médios de distância entre os nós do ramo 1 (DNR1), distância entre os nós do ramo 2 (DNR2), distância entre os nós do ramo 3 (DNR3) e distância entre os nós do ramo 4 (DNR4)	72
6A	Resumo da análise de variância dos dados de distância entre os nós do ramo 1 (DNR1), distância entre os nós do ramo 2 (DNR2), distância entre os nós do ramo 3 (DNR3) e distância entre os nós do ramo 4 (DNR4)	73

7A	Valores médios de distância entre os nós do ramo 5 (DNR5), distância entre os nós do ramo 6 (DNR6), distância entre os nós do ramo 7 (DNR7) e distância entre os nós do ramo 8 (DNR8)	73
8A	Resumo da análise de variância dos dados de distância entre os nós do ramo 5 (DNR5), distância entre os nós do ramo 6 (DNR6), distância entre os nós do ramo 7 (DNR7) e distância entre os nós do ramo 8 (DNR8)	73
9A	Valores médios de número de nós do caule principal (NNCP), número de nós do ramo 1 (NNR1), número de os nós do ramo 2 (NNR2) e número de nós do ramo 3 (NNR3)	74
10A	Resumo da análise de variância dos dados de número de nós do caule principal (NNCP), número de nós do ramo 1 (NNR1), número de nós do ramo 2 (NNR2) e número de nós do ramo 3 (NNR3)	74
11A	Valores médios de número de nós do ramo 4 (NNR4), número de nós do ramo 5 (NNR5), número de nós do ramo 6 (NNR6) e número de nós do ramo sete (NNR7) ..	75
12A	Resumo da análise de variância dos dados de número de nós do ramo 4 (NNR4), número de nós do ramo 5 (NNR5), número de nós do ramo 6 (NNR6) e número de nós do ramo 7 (NNR7)	75
13A	Resumo da análise de variância dos dados de número de vagens do caule principal (NVGPP), número de vagens dos ramos (NVGRS) e número de vagens total (NVGT), por planta	76
14A	Resumo da análise de variância dos dados de número de grãos do caule principal (NGRPP), número de grãos dos ramos (NGRRS) e número de grãos total por planta (NGRT)	76
15A	Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase vegetativa (PMSRVG), partição de matéria seca para caule na fase vegetativa (PMSCVG) e partição de matéria seca para folhas na fase vegetativa (PMSFVG)	77

16A	Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase de florescimento (PMSRFR), partição de matéria seca para caule na fase de florescimento (PMSCFR), partição de matéria seca para folhas na fase de florescimento (PMSFFR), partição de matéria seca para flores na fase de florescimento (PMSFRFR) e partição de matéria seca para vagens na fase de florescimento (PMSVFR)	77
17A	Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase de enchimento de grãos (PMSRGR), partição de matéria seca para caule na fase de enchimento de grãos (PMSCGR), partição de matéria seca para folhas na fase de enchimento de grãos (PMSFGR), partição de matéria seca para flores na fase de enchimento de grãos (PMSFRGR) e partição de matéria seca para vagens na fase de enchimento de grãos (PMSVGR)	78
18A	Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de matéria seca total.....	79
19A	Valores médios de matéria seca total	80
20A	Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de índice de área foliar (IAF)	81
21A	Valores médios de IAF	82
22A	Resumo da análise de variância e da regressão dos dados da produtividade de grãos, em toneladas por hectare, e do peso de 100 grãos, em gramas	82
23A	Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de evolução do índice de colheita (IC)	83
24A	Valores médios de IC	84
25A	Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de número de flores (NUMFLOR)	85
26A	Valores médios de NUMFLOR	86

27A	Tabela de DAE (dia após a emergência), DAS (dia após a semeadura), data, temperatura, GD (graus-dia) e fases da cultura durante o ciclo de cultivo	87
-----	--	----

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Croqui do campo experimental, representando as parcelas, o desnível do terreno e os pontos de localização de instrumentos utilizados para auxiliar no manejo da cultura	14
2 Umidade no solo no dia 31 de janeiro (54 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (final da fase vegetativa).	25
3 Umidade no solo no dia 8 de fevereiro (62 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de florescimento)	25
4 Umidade no solo no dia 17 de fevereiro (71 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de florescimento)	26
5 Umidade no solo no dia 21 de fevereiro (75 DAS) em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de enchimento de grãos)	26
6 Umidade no solo no dia 8 de março (91 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de enchimento de grãos)	27

7	Curva característica de retenção de umidade do solo do local do experimento	27
8	Radiação solar global incidente no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.....	29
9	Razão de insolação para o período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG	29
10	Temperaturas máxima, mínima e média no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG	31
11	Umidade relativa ocorrida no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG	31
12	Saldo de radiação disponível para a cultura no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG	32
13	Precipitação pluviométrica no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG	33
14	Pressão de vapor real média (e) ao longo da estação de cultivo de 1995/96	34
15	Pressão de vapor de saturação média (e_s) ao longo da estação de cultivo de 1995/96	34
16	Déficit de pressão de vapor médio ($e-e_s$) ao longo da estação de cultivo de 1995/96	35
17	Evolução da matéria seca de diferentes partes e total da cultura da soja no período de crescimento inicial, em experimento de campo	39
18	Evolução da partição de fotoassimilados no período inicial do crescimento da cultura da soja, em experimento de campo	39
19	Evolução do acúmulo de matéria seca total (MS) de todos os tratamentos, ao longo do ciclo da cultura.....	47

20	Evolução do índice de área foliar (IAF) de todos os tratamentos, ao longo do ciclo da cultura	48
21	Gráfico do excesso de água em cada fase, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP)	57
22	Gráfico de deficiência de água em cada fase, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP)	57
23	Potencial osmótico (PO) dos tratamentos irrigados (Irr) e não-irrigados (nIrr) nas fases fenológicas vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos	59
1A	Evolução da matéria seca total para cada tratamento	90
2A	Matéria seca total, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si	91
3A	Evolução do índice de área foliar para cada tratamento ...	92
4A	Índice de área foliar, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si	93
5A	Índice de colheita para cada tratamento, ao longo da fase de enchimento de grãos	94
6A	Índice de colheita, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si	95
7A	Número de flores para cada tratamento	96
8A	Número de flores, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Ψ_a	Potencial hídrico das folhas.
A	Absorção de CO ₂ .
AFE	Área foliar específica.
AFPL	Altura final das plantas.
AIV1	Altura de inserção da primeira vagem.
BOC	Balanço de ondas curtas.
BOL	Balanço de ondas longas.
C ₃	Plantas nas quais o primeiro produto estável de fixação do carbono é um composto de três carbonos.
C ₄	Plantas nas quais o primeiro produto estável de fixação do carbono é um composto de quatro carbonos.
CAD	Capacidade máxima de água disponível.
cmol _c	Centimol de carga.
COT	Cotilédone.
CRA	Conteúdo relativo de água nas folhas.
CTC efetiva	Capacidade efetiva de troca de cátions (SB + Al ³⁺).
CTC total	Capacidade de troca de cátions a pH 7,0.
Da	Densidade aparente.
DAE	Dias após a emergência.
Dag	Decagrama.
DAS	Dias após a semeadura.

δ	Declinação do sol.
DN1115	Distância entre os nós do grupo de nós de 11 a 15.
DN16	Distância entre os nós do grupo de nós de 1 a 6.
DN611	Distância entre os nós do grupo de nós de 6 a 11.
DNR1	Distância entre os nós do ramo 1.
DNR2	Distância entre os nós do ramo 2.
DNR3	Distância entre os nós do ramo 3.
DNR4	Distância entre os nós do ramo 4.
DNR5	Distância entre os nós do ramo 5.
DNR6	Distância entre os nós do ramo 6.
DNR7	Distância entre os nós do ramo 7.
DNR8	Distância entre os nós do ramo 8.
DNCP	Distância entre os nós do caule principal.
e	Pressão parcial de vapor d'água.
EGr.	Fase de enchimento de grãos.
EP	Evapotranspiração potencial diária.
e_s	Pressão de vapor de saturação.
$e_s - e$	Déficit de pressão de vapor.
ETc	Evapotranspiração da cultura.
Flor.	Fase de florescimento.
GD	Graus-dia.
Gr.	Produção de grãos.
h	Profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.
IAF	Índice de área foliar.
IC	Índice de colheita.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
IPTP	Irrigado por todo o período.
Irr	Tratamentos irrigados.
Kc	Coeficiente da cultura.
ϕ	Latitude.
Md	Média para a fase em estudo.
MJ	Megajoule.
MPa	Megapascal.

MS	Matéria seca.
MST	Matéria seca total.
n	Brilho solar ou insolação.
N	Comprimento astronômico do dia.
n/N	Razão de insolação.
n'	Dia juliano.
NGRRS	Número de grãos dos ramos por planta.
NGRPP	Número de grãos do caule principal por planta.
NGRT	Número de grãos total por planta.
NIFF	Não-irrigado na fase de florescimento.
NIFG	Não-irrigado na fase de enchimento de grãos.
NIFV	Não-irrigado na fase vegetativa.
nIrr	Tratamentos não-irrigados.
NITP	Não-irrigado por todo o período.
NNR1	Número de nós do ramo 1.
NNR2	Número de nós do ramo 2.
NNR3	Número de nós do ramo 3.
NNR4	Número de nós do ramo 4.
NNR5	Número de nós do ramo 5.
NNR6	Número de nós do ramo 6.
NNR7	Número de nós do ramo 7.
NNCP	Número de nós do caule principal.
NUMRS	Número de ramos por planta.
NVGRS	Número de vagens dos ramos por planta.
NVGPP	Número de vagens do caule principal por planta.
NVGT	Número de vagens total por planta.
PMSCFR	Partição de matéria seca para caule na fase de florescimento.
PMSCGR	Partição de matéria seca para caule na fase de enchimento de grãos.
PMSCVG	Partição de matéria seca para caule na fase vegetativa.
PMSFFR	Partição de matéria seca para folhas na fase de florescimento.
PMSFGR	Partição de matéria seca para folhas na fase de enchimento de grãos.
PMSFRFR	Partição de matéria seca para flores na fase de florescimento.

PMSFRGR	Partição de matéria seca para flores na fase de enchimento de grãos.
PMSFVG	Partição de matéria seca para folhas na fase vegetativa.
PMSRFR	Partição de matéria seca para raiz na fase de florescimento.
PMSRGR	Partição de matéria seca para raiz na fase de enchimento de grãos.
PMSRVG	Partição de matéria seca para raiz na fase vegetativa.
PMSVFR	Partição de matéria seca para vagens na fase de florescimento.
PMSVGR	Partição de matéria seca para vagens na fase de enchimento de grãos.
PO	Potencial osmótico.
PPT	Precipitação.
PROF.	Profundidade do solo.
R _g	Radiação solar global.
R _n	Saldo de radiação.
R _o	Radiação solar incidente no topo da atmosfera.
T	Transpiração.
T _b	Temperatura base
TCA	Taxa de crescimento absoluto.
TCR	Taxa de crescimento relativo.
Temp.	Temperatura.
T _{máx}	Temperatura máxima.
T _{méd}	Temperatura média.
T _{mín}	Temperatura mínima.
TRAT.	Tratamento.
EUA	Eficiência de uso da água.
UR	Umidade relativa.
UR _{md}	Umidade relativa média.
Veg.	Fase vegetativa.

EXTRATO

PEREIRA, Carlos Rodrigues, M.S., Universidade Federal de Viçosa, abril de 1998. **Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] sob deficiência hídrica.** Orientador: Luiz Cláudio Costa. Conselheiros: Tuneso Sedyama e Marco Antônio Oliva Cano.

Objetivando avaliar o comportamento da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], variedade Capinópolis, sob estresse hídrico, foi conduzido um experimento de campo na área experimental Vila Chaves, na Universidade Federal de Viçosa. Neste experimento, foram estudadas as características da cultura em relação ao crescimento, à morfologia, ao acúmulo de matéria seca e à partição de fotoassimilados, em condições de estresse hídrico induzido durante os estádios vegetativo, de florescimento e de enchimento de grãos. As variações em crescimento, morfologia e partição de fotoassimilados foram pequenas, embora tenha havido uma nítida tendência a menor acúmulo de matéria seca nas plantas com deficiência hídrica. No entanto, a cultura mostrou-se capaz de recuperar do estresse hídrico, aplicado nas diferentes fases, quanto ao acúmulo de matéria seca. Foi, porém, mais sensível à deficiência de água na fase de florescimento. Foi analisado, ainda, o uso eficiente da água em condições de déficit hídrico.

Os resultados mostraram diferentes respostas na eficiência de uso da água pela variedade, nos estádios fenológicos estudados. Quando a cultura esteve sob estresse hídrico, os valores do uso eficiente da água foram 0,41; 3,43; e 5,43 g de matéria seca acumulada, por quilograma de água evapotranspirada, para as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente. A variedade Capinópolis mostrou capacidade de adaptação ao déficit hídrico. Nos tratamentos sob estresse hídrico nas fases de florescimento e enchimento de grãos, observaram-se aumentos de 60 e 100% no uso eficiente da água, respectivamente, em comparação com o tratamento irrigado durante todo o período. A produção de grãos foi pouco afetada, exceto para o tratamento não-irrigado durante todo o período experimental.

ABSTRACT

PEREIRA, Carlos Rodrigues, M.S., Universidade Federal de Viçosa, April 1998. **Growth and development of soybean crop [*Glycine max* (L. Merrill) under water deficit.** Adviser: Luiz Cláudio Costa. Committee Members: Tuneo Sedyama and Marco Antônio Oliva Cano.

Aiming to evaluate the behavior of soybean crop [*Glycine max* (L.) Merrill], Capinópolis variety, under water stress, an experiment was carried out in the experimental area of Chaves Village at the Federal University of Viçosa. In the experiment, the crop characteristics were studied in relation to growth, morphology, dry matter accumulation and photoassimilate partition under water stress conditions applied over the vegetative, flowering and grain filling stages. Variation on growth, morphology and photoassimilate partition were small, even though there was a clear tendency to a minor dry matter accumulation in plants with water deficit. However, the soybean crop showed to be able to recovering from the water stress applied at different phases, concerning to dry matter accumulation. But, it was more sensitive to water deficit during the flowering phase. It was also analyzed the water use efficiency under water deficit conditions. The results showed different responses to the water

efficient use by crop over the phenological stages under study. When cropping was under water stress, the values of water efficient use were 0.41, 3.43 and 5.43 g of accumulated dry matter, per kilogram of evaporated water, for the vegetative, flowering and grain filling phases, respectively. The soybean crop, Capinópolis variety, showed to be well adapted to water deficit. In the water stress experiments over the flowering and grain filling phases, it were observed a 60 and 100% increase in the water efficient use, respectively, comparing to the treatment irrigated along all the period. Grain yield was somewhat little affected, except for non-irrigated cropping, over all the experimental period.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Clima e cultura da soja

Ao longo dos anos, os estudos têm mostrado o efeito dos elementos climáticos sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Quanto ao efeito na produtividade, a precipitação destaca-se como o principal fator responsável pelas oscilações observadas entre localidades, ou em uma mesma localidade, de ano para ano.

Estudos têm mostrado que períodos de ausência de chuva, durante o desenvolvimento da soja, podem levar à situação de diminuição do teor de água no solo, com conseqüente redução na produtividade (HUNTER e ERICKSON, 1952). Apesar disso, ainda existem controvérsias sobre a interação déficit hídrico, estágio de desenvolvimento e produtividade, ou seja, em qual estágio fenológico a soja é mais sensível ao déficit hídrico.

Diferentes estudos acerca da influência da falta de água na cultura da soja têm apresentado os mais diversos resultados. Hunter e Erickson (1952), citados por MIYASAKA e MEDINA (1981), relataram que as fases mais sensíveis da cultura são a germinação e a emergência, enquanto para outros autores estas fases são o florescimento e o enchimento de grãos (ARRUDA et al., 1976, SIONIT e KRAMER, 1977, KORTE et al., 1983 a, b).

Uma definição mais clara do período do ciclo da cultura da soja em que a falta de água pode levar a grandes prejuízos para a produtividade final de grãos é de grande importância para o manejo, no sentido de obter maiores ganhos econômicos.

1.2. Veranico e estresse hídrico

Para a compreensão dos efeitos da deficiência hídrica sobre a cultura da soja, torna-se necessário conhecer as características da precipitação, durante a estação de cultivo. A interação de várias características leva a um fenômeno conhecido como veranico.

De acordo com Linsley et al. (1959), citados por PALEG e ASPINAL (1981), o veranico pode ser definido como um período de tempo mantido sem a ocorrência de chuva significativa. Porém, as definições de veranico referem-se tanto a termos meteorológicos quanto a termos agronômicos (KATZ e GLANTZ, 1977). Em termos meteorológicos, o veranico pode ser definido como aquele período de tempo em que a quantidade de precipitação é menor do que uma determinada percentagem das normais climatológicas (média de 30 anos). Numa definição agronômica, seria a ausência de precipitação durante o desenvolvimento das culturas. Assim, em termos agrometeorológicos, o veranico pode ser definido como um intervalo de tempo sem a ocorrência de precipitação, durante o período compreendido como estação de cultivo, ou seja, o período esperado como chuvoso. Um período de ausência de precipitação, ocorrendo dentro da estação de cultivo, não necessariamente necessita ser um período longo para afetar a produção de uma cultura. Um veranico de apenas um dia pode causar danos à cultura, dependendo de sua intensidade (PALEG e ASPINAL, 1981).

KRAMER (1983) definiu estresse hídrico como a situação na qual o potencial hídrico e o turgor nas células da planta são reduzidos o suficiente para interferir em seu funcionamento normal, devendo-se ressaltar que o potencial no

qual tal fato ocorre depende da espécie de planta, do estágio de desenvolvimento da planta e do processo considerado.

HSIAO (1973) classificou estresse suave como uma diminuição do potencial hídrico (Ψ_a) nas folhas, de somente décimos de um megapascal (MPa) (-0,1 MPa a -0,8 MPa), com redução do conteúdo relativo de água (CRA) de 8 a 10%; estresse moderado como sendo a redução do Ψ_a em -1,2 a -1,5 MPa e a do CRA entre 10 e 20%; e estresse severo como sendo uma redução do Ψ_a superior a -1,5 MPa e a do CRA de mais de 20%. Caso o CRA seja diminuído em mais de 50%, ou seja, se a planta perde mais da metade da água de seus tecidos, diz-se que ela está dissecada ou seca.

O estresse suave de -0,2 a -0,4 MPa leva à interrupção da expansão celular, embora o fechamento estomático só ocorra quando os níveis de estresse atingem de -0,8 a 1,0 MPa (HALE e ORCUTT, 1987).

A resistência da cultura da soja à deficiência hídrica depende da variedade, sendo as variedades com maior potencial produtivo mais sensíveis ao estresse hídrico que aquelas com menor potencial (BUTTERY et al., 1993). Esta resistência varia, ainda, ao longo do ciclo da cultura (DOSS et al., 1974).

1.3. Partição de fotoassimilados e estresse hídrico

Em muitas culturas, a produção de partes economicamente importantes depende da translocação de fotoassimilados, das folhas ou de outros tecidos fotossintéticos. As raízes, o caule, as folhas jovens e os frutos dependem desses fotoassimilados, que, em sua maioria, são produzidos pelas folhas completamente expandidas (HAY e WALKER, 1989; COSTA et al., 1997a). Em geral, os fotoassimilados distribuem-se entre esses diversos drenos, em uma rota coordenada, conforme as mudanças no requerimento de cada um deles, ao longo do ciclo da cultura (HAY e WALKER, 1989).

A partição de fotoassimilados é influenciada por diversos fatores ambientais, que agem sobre a cultura ao longo do ciclo, sendo a água um dos que mais afetam a partição. Essencial ao crescimento e desenvolvimento da planta,

sem dúvida, a água é um dos fatores mais importantes na cultura da soja (MIYASAKA e MEDINA, 1981).

A ocorrência de estresse hídrico mais severo na fase vegetativa induz ao desvio de fotoassimilados para outras partes da planta, que se tornam drenos preferenciais, ocasionando decréscimos na eficiência de interceptação da radiação solar, podendo, ainda, afetar a conversão de matéria seca total (MUCHOW et al., 1986).

A ocorrência de estresse hídrico no estágio de florescimento faz com que a intensidade de fotoassimilados desviados para o sistema radicular seja maior em relação àquela que ocorre na fase vegetativa, permitindo, portanto, que este sistema tenha uma taxa de crescimento mais acentuada nessa fase. Tal fato influenciará, negativamente, a produção, em virtude do aumento do abortamento floral e da diminuição no número total de vagens. Nesse estágio, a expansão foliar também é afetada, embora não acarrete grandes prejuízos para a cultura quanto à captura de energia solar, uma vez que o sistema fotossintético já está suficientemente constituído, caso a cultura tenha tido uma fase vegetativa sem limitações de água (HEITHOLT et al., 1986; HOOGENBOOM et al., 1987).

Na fase de enchimento de grãos, evidencia-se a existência de apenas um dreno preferencial (os grãos), que recebe todos os fluxos de fotoassimilados, não sendo possível a ocorrência de desvio destes para nenhuma outra parte da planta (TAIZ E ZEIGER, 1991).

A translocação de fotoassimilados é afetada, indiretamente, por estresse moderado, por causa da alteração da relação fonte/dreno. Com a expansão celular reduzida, ocorre diminuição da fonte (folhas) e, conseqüentemente, dos fotossintatos disponíveis para translocação em direção aos drenos, resultando numa diminuição no tamanho dreno. Caso o estresse ocorra após a expansão foliar, haverá diminuição da competição entre folhas e frutos pelos fotossintatos, sendo o dreno prejudicado somente pela menor disponibilidade destes, ou seja, pela diminuição na taxa fotossintética (HALE e ORCUTT, 1987).

Apesar da estreita relação existente entre o número de sementes e, ou, vagens e a taxa de crescimento da cultura da soja (EGLI, 1988), a partição de

assimilados tem papel fundamental na percentagem desviada para a parte comercial, ou melhor, na dimensão do índice de colheita da cultura (HAY e WALKER, 1989).

A alteração na partição de fotoassimilados, na cultura da soja, está estreitamente relacionada à fase de desenvolvimento da cultura, na qual ela sofre o estresse (SILVIUS et al., 1977).

1.4. Crescimento, morfologia e produção de matéria seca na cultura da soja sob estresse hídrico

Conhecimentos sobre o comportamento da cultura da soja, relacionado ao crescimento, à morfologia e à produção de matéria seca em condições de estresse hídrico, são de grande importância na previsão da produtividade da cultura, até mesmo na condução de projetos de manejo que visem o aumento do rendimento econômico da soja.

O déficit hídrico conduz ao fechamento estomático, o que leva à redução na transpiração (MILLAR e GARDNER, 1972) e, conseqüentemente, à diminuição da fotossíntese líquida (BOYER, 1970).

Quando submetida a estresse hídrico, a cultura da soja tende a ter menor área foliar, menor número de nós e menos matéria seca total (MUCHOW et al., 1986) e plantas com altura menor (HOOGENBOOM et al., 1987).

A diminuição de matéria seca total poderá levar à diminuição da produção final de grãos (FOROUD et al., 1993).

Embora disponha de um sistema radicular extenso, que lhe garante certa resistência ao estresse hídrico, a soja poderá sofrer uma queda no rendimento, mediante a ocorrência de longos períodos de deficiência hídrica durante determinados estádios de seu desenvolvimento (ARANTES e SOUZA, 1992). Assim, de modo geral, pode-se dizer que desde a germinação até a maturidade o crescimento da planta é proporcional à disponibilidade de água no solo (MOTA, 1978).

O grau de estresse e o estágio de desenvolvimento da cultura no qual esse estresse venha a ocorrer produzirão maior ou menor efeito sobre o crescimento da cultura, assim como diferentes reações nas plantas de soja, ocasionando diferenças na produtividade final (SILVIUS et al., 1977; SIONIT e KRAMER, 1977).

Na fase vegetativa, a expansão foliar tem importância primordial, pois é quando o aparelho fotossintético é formado. Uma redução no teor de água do solo, nessa fase, poderá levar a diminuições na área foliar, ocasionando menor eficiência na captura de energia radiante e CO₂, durante um dos momentos mais importantes da vida da planta, ou seja, a formação de sua estrutura como um todo (COSTA et al., 1997a).

O estresse hídrico na fase vegetativa conduz também ao aumento na taxa de crescimento radicular, ocorrendo, então, diminuição na relação parte aérea/raiz em virtude do maior crescimento radicular, no sentido de aumentar a captura de água. Este fato pode tornar-se positivo para a cultura, caso a deficiência hídrica ocorrida seja apenas suficiente para aumentar a taxa de crescimento radicular e não afete de modo irreversível a parte aérea e desde que, nas próximas fases, não venham a ocorrer estresses de grande intensidade. Nessa fase, a cultura poderá recuperar-se de fortes estresses, mediante a reposição da umidade do solo em tempo hábil. Tal fato é mais evidente nas variedades tardias, por ser sua fase vegetativa mais longa (HOOGENBOOM et al., 1987).

As plantas irrigadas durante a fase vegetativa, no entanto, desenvolvem mais a parte aérea em detrimento da parte radicular, em termos de alongamento (HOOGENBOOM et al., 1987).

Na fase de enchimento dos grãos, desde o início a taxa de crescimento radicular é nula. Nesta fase, o estresse hídrico causa diferentes problemas, como restrição na duração da área foliar, maior indução ao abortamento de legumes e aceleração da senescência das folhas, ocorrendo diminuição no peso e no número dos grãos, como resultado da falta de água, o que, obviamente, resultará na queda de produção da cultura (HUCK et al., 1983; KORTE et al., 1983 a, b; HOOGENBOOM et al., 1987; ARANTES e SOUZA, 1992).

1.5. Água como recurso limitado

A água é um recurso localmente escasso, apesar de sua abundância em termos globais, devendo-se ressaltar que essa escassez agrava-se a cada dia. Até mesmo em regiões onde não há problemas de disponibilidade hídrica, ocorrem deficiências sazonal e regional de água (ROSEGRANT, 1996).

No Estado de Minas Gerais, cerca de 90% de toda a água utilizada destina-se às atividades agrícolas ou à irrigação de cultivos, restando 10% para o abastecimento humano, o consumo por animais e o consumo industrial. Em diversos países do mundo, a média de água utilizada pela agricultura chega a 80% do total utilizado em todos os setores (FREITAS, 1997).

Dessa forma, o aumento na eficiência de utilização da água, nas atividades agrícolas, é essencial para o atendimento à crescente demanda por produção de alimentos. Um mal uso da água implica seu elevado consumo, levando à degradação de outros recursos naturais, bem como da própria água, além de implicar a necessidade de grandes subsídios, o que pode resultar em desvio de incentivos de outras áreas (ROSEGRANT, 1996).

1.6. As plantas e a eficiência do uso da água

A habilidade de uma planta em moderar a perda de água, enquanto mantém uma absorção suficiente de CO₂ para fotossíntese, pode ser analisada por um parâmetro denominado razão de transpiração (TAIZ e ZEIGER, 1991), ou requerimento de água (KRAMER e BOYER, 1995), definido como a quantidade de água transpirada pela planta dividida pela quantidade de dióxido de carbono assimilado pela fotossíntese.

Para plantas típicas, nas quais o primeiro produto estável de fixação do carbono é um composto de três carbonos, denominadas plantas C₃, aproximadamente 500 moléculas de água são perdidas para cada molécula de CO₂ fixado pela fotossíntese, resultando em uma razão de transpiração igual a 500.

Uma maior razão de efluxo de H_2O e influxo de CO_2 depende de dois fatores. Primeiro, o gradiente de concentração que dirige a perda de água é aproximadamente 50 vezes maior que aquele que dirige a entrada de CO_2 . Tal fato se deve à baixa concentração de CO_2 no ar (~0,03%) e à alta concentração de vapor de água dentro dos espaços foliares. Segundo, o CO_2 difunde-se mais lentamente, através do ar, em relação à água (a molécula de CO_2 é maior que a molécula de água e tem menor coeficiente de difusão). Além disso, o CO_2 tem uma rota de difusão mais longa, porque ele deve atravessar a membrana citoplasmática, o citoplasma e a dupla membrana do envelope do cloroplasto, antes de ser assimilado no cloroplasto. Estas membranas aumentam, substancialmente, a resistência do caminho para a difusão do CO_2 .

As plantas com fotossíntese C_4 , ou seja, aquelas nas quais um composto de quatro carbonos é o primeiro produto estável da fotossíntese, geralmente transpiram menos água por CO_2 fixado. Uma razão de transpiração, normalmente encontrada para plantas C_4 , é cerca de 250 g de água por grama de CO_2 fixado.

O inverso da razão de transpiração é denominado eficiência de uso da água (EUA). Assim a razão de transpiração para C_3 e C_4 , transformada em EUA, será em torno de 1/500 ou 0,002 e 1/250 ou 0,004, respectivamente (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Dessa forma, a EUA é definida como unidade de matéria seca produzida por planta, por unidade de água utilizada. (KRAMER e BOYER, 1995).

Existem várias formas para calcular a EUA, como, por exemplo, a massa de CO_2 líquido absorvido por massa de água perdida ou transpirada (KRAMER, 1983; NOBEL, 1991).

Em termos de unidade de massa de água, utilizada para a produção de uma unidade de massa seca de grão, o agricultor pode considerar a água adicionada desde o plantio até o ponto de colheita da cultura. Assim, também, é possível definir a EUA como sendo a produção de grãos dividida pela quantidade de água agregada durante o período de cultivo. Portanto, por ser a EUA uma relação entre a absorção de CO_2 (A) e a transpiração (T), em princípio, pode-se dizer que, se a disponibilidade de água é reduzida, os estômatos se

fecham e a transpiração diminui, levando ao aumento da EUA (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Existem grandes evidências de que a EUA varia entre espécies, no mesmo ambiente, e entre climas, para uma mesma espécie (KRAMER e BOYER, 1995).

A EUA é muito estudada no sentido de verificar a produção de massa de grãos, em relação ao consumo de água durante todo ciclo (Briggs e Shantz, 1914; Brown e Simmons, 1979; Garrity et al., 1982; Hanks e Taylor, 1983; Kawamitsu et al., 1987, citados por KRAMER e BOYER, 1995). Porém, poucos trabalhos direcionados para o acompanhamento da EUA, em cada fase de desenvolvimento da cultura, estão disponíveis na literatura (BONGIORNO e NAVARRO DUJMOVICH, 1977).

1.7. A cultura da soja e a eficiência do uso da água

Por ser uma das culturas mais difundidas no Brasil, a soja desempenha um papel de grande importância, tanto econômica quanto socialmente. Por sua característica C3, esta cultura apresenta baixa eficiência no uso da água, em relação a outras culturas, como, por exemplo, o sorgo (BOLTON, 1981). Sabe-se que a cultura da soja possui grande plasticidade e reage diferentemente à deficiência hídrica, em fases distintas de seu ciclo (HUNTER e ERICKSON, 1952; ARRUDA et al., 1976; SIONIT e KRAMER, 1977; KORTE et al., 1983b).

O conhecimento da EUA, em diferentes fases fenológicas, é muito importante para o manejo do ambiente, como, por exemplo, a aplicação de água em épocas distintas do ciclo da cultura. Sabendo-se em que fase a cultura seria mais susceptível ao déficit hídrico, ou em que fase do ciclo ocorre melhor uso da água, a aplicação de complemento de chuva terá maior eficácia e, assim, haverá maior retorno em produção de matéria seca de interesse econômico (grãos). Dessa forma, tais conhecimentos podem fundamentar as técnicas de manejo, a fim de aumentar a EUA na cultura da soja.

Considerando que, no Brasil, a época de cultivo da soja coincide com as grandes variações de temperatura e que esta cultura caracteriza-se por apresentar um descontrole estomatal crescente com o aumento de temperatura (BOLTON, 1981), o estudo sobre as modificações da EUA, nas diferentes fases fenológicas, torna-se relevante.

Fisiologicamente, por sua característica C₃, a cultura da soja possui menor habilidade na eficiência de utilização da água (EUA), ou seja, produz menos matéria seca por quantidade de água evapotranspirada, em relação às outras culturas tipo C₄ (TEARE et al., 1973); a EUA difere, ainda, entre variedades de soja (BUTTERY et al., 1993), quando expostas a condições de estresse hídrico.

1.8. Objetivos deste trabalho

Conforme discutido no item 1.2., o efeito do estresse hídrico sobre a cultura da soja depende de fatores como a época de ocorrência, a intensidade e o processo considerado. Considerando tal efeito em nível de cultura, verifica-se que o estresse hídrico pode afetar, diferentemente, dois fatores altamente relacionados à produtividade, ou seja, a eficiência de captura e a eficiência na utilização de recursos como a água, os nutrientes, o CO₂ e a radiação.

Algumas variedades de soja melhoradas na Universidade Federal de Viçosa, como a Capinópolis, possuem características agrônômicas que lhes conferem maior resistência ao estresse hídrico, maior índice de colheita (IC) e ciclo mais precoce, o que resultará em maior produtividade da cultura.

Os objetivos específicos deste estudo foram:

1) Verificar o comportamento dos mecanismos de captura e utilização de recursos da variedade Capinópolis, em diferentes fases fenológicas.

2) Verificar o comportamento da soja, variedade Capinópolis, em relação à eficiência do uso da água (EUA), em condições de estresse hídrico, em diferentes fases fenológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Introdução

Este estudo analisou as condições ambientais e a resposta da cultura da soja à falta de água, em diferentes fases fenológicas. Realizaram-se medidas de dados climáticos, de acúmulo de matéria seca, de partição de fotoassimilados e de eficiência de uso da água. Os detalhes sobre o material e os métodos utilizados neste estudo são apresentados a seguir.

2.2. Cultura

A variedade de soja utilizada neste experimento foi a Capinópolis (UFV-16). Esta variedade, de crescimento determinado e ciclo precoce, apresenta boa estabilidade de produtividade, sendo seu melhor desempenho nas regiões compreendidas entre os paralelos 17 e 21° S (SEDIYAMA et al., 1995).

2.3. Solo

O solo do campo experimental foi classificado como Podzólico Amarelo-Vermelho Câmbico, fase terraço (COSTA, 1973) (Ultisol na classificação

americana). As análises química e física foram realizadas a partir de amostras compostas, oriundas de 25 amostras simples e coletadas no local do experimento. As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e no Laboratório de Física do Solo da UFV.

2.4. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos de temperatura do ar (Temp.), precipitação (PPT) e umidade relativa (UR) foram obtidos, diariamente, em um posto meteorológico instalado no campo experimental. Os dados de brilho solar (n) foram obtidos na estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 2 km da área experimental, no campus da UFV.

A PPT foi medida em um pluviômetro tipo Ville de Paris. Os valores de temperatura média (T_{med}) e umidade relativa média (UR_{med}) foram obtidos de um termohigrógrafo, calculando-se a média aritmética por meio dos valores máximos e mínimos atingidos em 24 horas.

Os valores da razão de insolação (n/N) foram obtidos ao dividir o valor do brilho solar do dia (n) pelo valor do comprimento astronômico do dia (N), o qual foi estimado por meio de equações que levam em conta a declinação do sol (δ), a latitude (ϕ) e o dia juliano (n').

A pressão de vapor parcial (e) foi calculada por meio dos valores de pressão de vapor de saturação (e_s) e dos valores de UR. Os valores de e_s foram obtidos por meio da equação proposta por TETENS (1930).

Os valores da radiação global (R_g) foram estimados mediante o uso do modelo proposto por ÅNGSTRÖM (1924) e modificado por PRESCOTT (1940). Os coeficientes a e b deste modelo foram ajustados para Viçosa, Minas Gerais, sendo 0,236, 0,233, 0,256, 0,275 e 0,235 os valores de a para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, respectivamente, e os de b , para os mesmos meses, 0,334, 0,363, 0,361, 0,321 e 0,373 (ALVES et al., 1981).

O saldo de radiação (Rn) foi estimado pela soma do balanço de ondas curtas (BOC) e do balanço de ondas longas (BOL). Para determinar o BOC, utilizou-se um albedo médio para soja, com valor de 25%, seguindo as determinações feitas por BLAD e BAKER (1972). O balanço de ondas longas foi estimado mediante o uso do modelo proposto por BRUNT (1932).

2.5. Experimento

2.5.1. Semeadura e adubação

O experimento foi conduzido na estação experimental Vila Chaves, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - Minas Gerais, Brasil (latitude 20° 45' S, longitude 42° 51' W, altitude 650 m), durante a época de cultivo 1995/96, em um local de topografia plana.

A semeadura ocorreu no dia 8 de dezembro de 1995, à alta densidade de 100 plantas.m⁻², em fileiras com 0,7 m de espaçamento. Aos 16 dias após a semeadura (DAS), realizou-se o desbaste da cultura, até atingir a densidade de 22 plantas.m⁻². Os sulcos de semeadura foram adubados com 30 kg de K₂O/ha e 60 kg de P₂O₅/ha, na forma de cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SS), respectivamente. As sementes foram tratadas com fungicida e inoculadas com cepa 2.930 de *Bradyrhizobium japonicum*.

2.5.2. Crescimento inicial

A partição de fotoassimilados e o acúmulo de matéria seca (MS) no período de crescimento inicial da cultura, desde a emergência até o estabelecimento completo no campo (6/1/1996), foram verificados, coletando-se dez plantas a cada dois dias.

2.5.3. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento constou de cinco tratamentos: a) irrigado durante todo o período em que a cultura permaneceu no campo (IPTP); b) não-irrigado no estágio vegetativo (NIFV); c) não-irrigado no estágio de florescimento (NIFF); d) não-irrigado no estágio de enchimento de grãos (NIFG); e e) não-irrigado durante todo o período (NITP) (Figura 1).

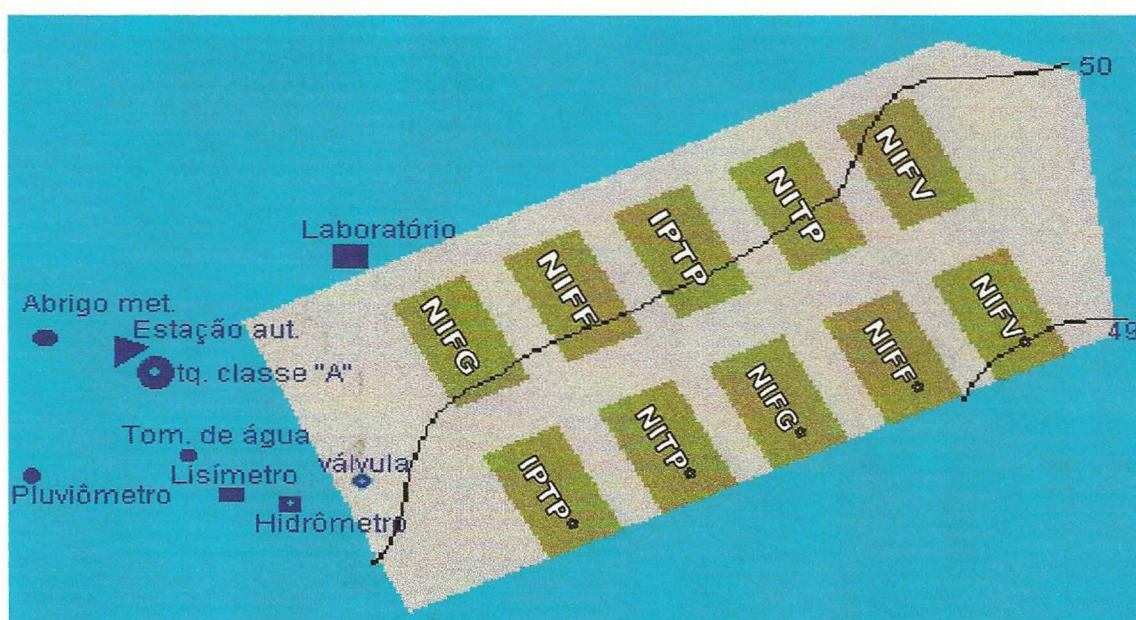


Figura 1 - Croqui do campo experimental, representando as parcelas, o desnível do terreno e os pontos de localização de instrumentos utilizados para auxiliar no manejo da cultura.

Os tratamentos foram aplicados após o período de estabelecimento completo da cultura no campo, ou seja, no dia 8/1/1996.

Utilizou-se o delineamento experimental, em blocos casualizados, com duas repetições.

As unidades experimentais, medindo 6,0 m por 10,5 m, separadas por uma bordadura de 3,0 m, foram agrupadas em dois blocos, separados entre si por uma bordadura de 3,5 m.

Para verificar a evolução do acúmulo de matéria seca (MS), o índice de área foliar (IAF), a partição de fotoassimilados e o número de flores, utilizou-se um delineamento experimental de parcelas subdivididas. As parcelas principais foram os tratamentos e as subparcelas, as épocas de amostragem. Para a estimativa da produtividade final de grãos e do peso de 100 grãos, utilizou-se um delineamento experimental de repetição dentro de blocos. Para as demais características analisadas, utilizou-se apenas o delineamento em blocos casualizados, com duas repetições, sendo as repetições uma média de dez plantas, amostradas em linha contínua, por unidade experimental.

2.6. Fenologia

Para determinar o final de um estágio de desenvolvimento e o início de outro, utilizou-se o sistema de classificação do estágio de desenvolvimento, proposto por FEHR e CAVINESS (1977), apresentado no Quadro 1. O final do estágio vegetativo e o início do estágio de florescimento foram determinados quando se verificou a ocorrência de 50% de plantas com pelo menos uma flor aberta (R1). O final do estágio de florescimento e o início do estágio de enchimento de grãos foram determinados quando se observou a ocorrência de 50% de plantas com sementes de 3 mm de comprimento, localizadas em um dos quatro nós superiores do caule principal (R5).

2.7. Tratos culturais

O controle de ervas daninhas foi realizado, manualmente, em duas capinas, aos 18 e 45 DAS. Durante todo o ciclo da cultura, não se observou incidência de pragas e doenças.

Quadro 1 - Esquema completo do sistema de classificação dos estádios fenológicos da cultura da soja, proposto por FEHR e CAVINESS (1977)^{1/}

Estádio (Nº)	Descrição
Estádios vegetativos	
VE (emergência).....	Os cotilédones estão acima da superfície do solo.
VC (cotilédone).....	As folhas unifolioladas estão estendidas, os bordos das mesmas não estão se tocando.
V1 (primeiro nó).....	Folhas completamente desenvolvidas nos nós das folhas unifolioladas.
V2 (segundo nó).....	Folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V3 (terceiro nó).....	Três nós sobre a haste principal, com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com os nós das folhas unifolioladas.
Vn (enésimo nó).....	n número de nós sobre o caule principal com folhas completamente desenvolvidas.
Estádios Reprodutivos	
R1 (início da floração).....	Uma flor aberta em qualquer nó do caule principal.
R2 (floração plena)	Flor aberta em um dos dois últimos nós do caule principal.
R3 (início da formação de vagem)	Vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores do caule principal.
R4 (vagem completamente desenvolvida)	Vagem com 2 cm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores do caule principal.
R5 (início da formação da semente)	Semente com 3 mm de comprimento localizada em um dos quatro nós superiores do caule principal.
R6 (semente completamente desenvolvida).....	Vagem contendo semente verde, que preencha a cavidade da vagem localizada em um dos quatro nós superiores do caule principal.
R7 (início da maturação)	Uma vagem normal sobre o caule principal que tenha atingido a cor da vagem madura (amarela).
R8 (maturação plena)	95% de vagens tenham atingido a cor da vagem madura (palha ou marrom).

^{1/} Quadro retirado de FEHR e CAVINESS (1977).

Nota: Cada estágio se inicia quando 50% das plantas em estudo correspondem à descrição do mesmo. Entende-se por último nó, o nó mais alto localizado na parte distal do caule principal.

2.8. Sistema de irrigação

O complemento de chuva foi aplicado por meio de um sistema de microaspersão (Santeno Irrigações do Nordeste S.A.), em que as linhas laterais se distanciavam 1,4 m entre si. Este sistema de irrigação funcionou com uma vazão de aproximadamente 0,08 litro por minuto, por metro, o que corresponde a uma pressão de serviço em torno de 2 mca, permitindo uma aplicação bem localizada e adequada uniformidade. A lâmina de água a ser aplicada foi calculada mediante o uso do tanque classe A, instalado no campo experimental, onde foi obtida a evapotranspiração potencial diária (EP). Desta EP multiplicada pelos valores do coeficiente da cultura (kc), recomendados pela Food Agriculture Organization (FAO), resultaram os valores da evapotranspiração da cultura (ETc) (DOORENBOS e PRUITT, 1977). Os tratamentos, durante os períodos em que não estavam sob estresse hídrico, foram mantidos próximo à capacidade de campo (CC), com a reposição da ETc ao final de todos os dias.

2.9. Medidas de estresse hídrico

O estresse hídrico foi verificado pelo método de SLAVIK (1974), por meio de medições do potencial osmótico do suco celular, extraído de amostras de folhas (duas de cada parcela) de todos os tratamentos, em um refratômetro de mesa. Para tal, utilizou-se a última folha, totalmente expandida. O estresse hídrico foi verificado a intervalos de quatro dias.

2.10. Medidas de umidade no solo

A umidade no solo foi verificada aos 54, 62, 71, 75 e 91 DAS, utilizando-se uma sonda de nêutrons, que foi calibrada pelo método das pesagens. Os resultados obtidos foram comparados àqueles de uma curva característica de retenção de umidade no solo do campo experimental. Os dados, para a curva característica de retenção de umidade, foram obtidos

no Laboratório de Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola, com amostras coletadas, variando-se a profundidade e o ponto (local), no campo experimental. Os pontos utilizados na elaboração da curva foram 0,0001, 0,06, 0,10, 0,30, 1,0, 3,0, 5,0, 10,0 e 15,0 bars, sendo 0,30 e 15,0 bars os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente.

2.11. Amostras e medidas de crescimento

Para verificar a evolução de MS, foram coletadas dez plantas por parcela, a cada sete dias, a partir de 8/1/1996. Cada parcela foi dividida em 24 subparcelas, dentre as quais a coleta era sorteada a cada amostragem. A subparcela consistiu de dez plantas, tendo como bordadura três plantas em cada extremidade e uma fileira de cada lado da linha de amostragem. Cavando-se trincheiras com o auxílio de um enxadão, as plantas foram retiradas com todo o sistema radicular, que foi então lavado, para retirada do solo aderido às raízes. A partição de fotoassimilados foi verificada ao separar as plantas em raiz, caule e folhas, durante o estágio vegetativo. Nos estádios seguintes, a separação incluiu flores, vagens e grãos, além das partes mencionadas anteriormente. Após a separação, as plantas foram secas em estufa, por 72 horas, e depois pesadas. Para cada parte separada, realizou-se um estudo comparativo entre tratamentos, em termos de evolução ao longo do ciclo; ao final de cada período, os dados de partição de cada tratamento foram apresentados em uma tabela. Em cada coleta, a área foliar de cada tratamento foi obtida por meio de um integrador de área foliar, marca LI-COR e modelo LI-3100.

Determinou-se a altura final das plantas em cada tratamento, no estágio fenológico de enchimento de grãos (R6), medindo o comprimento, desde o nível do solo até o ápice, de dez plantas por unidade experimental; em seguida, calculou-se a média das dez plantas por parcela, para representar o bloco.

A altura de inserção da primeira vagem foi obtida, no estágio reprodutivo R8, da média de dez plantas por unidade experimental, medindo-se a distância do nível do solo ao ponto de inserção da primeira vagem no caule.

Foram determinados o número de nós e a distância entre os nós, tanto no caule principal como nos brotos, assim como o número de brotos para cada tratamento. O total de nós do caule principal foi dividido em três grupos de nós, isto é, nós de 1 a 6, nós de 6 a 11 e nós de 11 a 15, e comparou-se a média de distância, dos grupos de nós, entre os tratamentos. Estas características foram verificadas em plantas coletadas (dez plantas por parcela) no estágio reprodutivo R8.

O número de flores foi verificado para cada tratamento, a cada dois dias, a partir do início do estágio de florescimento. Os dados de cada observação desta característica foram somados de forma cumulativa, até que grandes variações não foram detectadas.

2.12. Produtividade de grãos

Verificou-se a contribuição do caule principal e dos ramos na produção final, medindo-se a produção dessas partes em dez plantas, por unidade experimental, e calculando-se a média.

A produção final de grãos e o peso de 100 grãos foram estimados pela amostragem em 10 m de fileira, por unidade experimental.

2.13. Taxas de crescimento absoluto e relativo e de área foliar específica

Os valores de taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) foram calculados, utilizando-se as seguintes relações entre MS e tempo:

$$TCA = (MS_2 - MS_1) / (t_2 - t_1) \quad (\text{equação 1})$$

em que

MS_2 = matéria seca no tempo 2;

MS_1 = matéria seca no tempo 1; e

t_2 e t_1 = tempo 2 e tempo 1, respectivamente.

$$TCR = (\ln(MS_2) - \ln(MS_1)) / (t_2 - t_1) \quad (\text{equação 2})$$

em que

\ln = logaritmo neperiano.

Os demais termos são idênticos aos da equação 1.

A área foliar específica (AFE) foi obtida da relação entre área foliar e peso foliar.

Para cada fase fenológica estudada, calculou-se a média entre os valores obtidos em cada coleta. Os valores obtidos após 99 DAS não foram utilizados nos cálculos das características mencionadas, no estágio de enchimento de grãos.

2.14. Balanço hídrico no solo

O excesso e a deficiência de água, que ocorreram em cada período estudado, foram determinados a partir do balanço hídrico, utilizando-se a ETc da cultura.

Para efetivação do balanço hídrico, foi calculada a capacidade máxima de água disponível (CAD) utilizada, empregando-se os valores de capacidade de campo (CC), de ponto de murcha permanente (PMP), de densidade aparente (D_a) e profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (h), devendo-se ressaltar que CC e PMP, expressos em porcentagem de massa, foram retirados da curva de retenção de umidade. A densidade aparente, expressa em g/cm^3 , foi retirada de análises efetuadas com dados de amostras do solo do campo experimental, enquanto h (expressa em cm) assumiu um valor igual a 30 cm, por considerar que até esta profundidade encontra-se 80% do sistema radicular da cultura da soja. A ETc utilizada foi obtida no tanque classe A, conforme explicado anteriormente.

2.15. Eficiência do uso da água

O valor do volume de água, aplicado em cada período, foi calculado ao somar o valor da precipitação e o valor da água aplicada por irrigação. Para o ciclo total, a água aplicada constituiu o somatório das aplicações, juntamente com as precipitações, a partir da data de semeadura até 120 DAS.

Calculou-se a eficiência de uso da água, dividindo o valor da matéria seca acumulada no período estudado pelo valor do volume de água aplicado no mesmo período.

Para determinação da EUA, quanto à produção de grãos, dividiu-se o valor da MS de grãos (g) pelo valor da massa de água (kg) aplicada durante todo o período.

A EUA, para a cultura da soja, foi determinada nas fases vegetativa, (Veg.), de florescimento (Flor.), de enchimento de grãos (EGr.) e de produção de grãos (Gr).

2.16. Análise estatística

A análise estatística foi realizada mediante o uso do programa estatístico SAEG, desenvolvido pelo Departamento de Zootecnia da UFV.

Para as características evolução de matéria seca, evolução do índice de área foliar, evolução do índice de colheita e número de flores cumulativo, foi efetuado o ajuste das curvas de regressão.

As médias das demais características obtidas nos tratamentos foram testadas entre si, pelo teste de Tukey.

3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

3.1. Introdução

Neste capítulo, são apresentadas as condições de solo, em termos de fertilidade, aspectos físicos e conteúdo de umidade. São, também, discutidas as condições ambientais, em termos do curso da radiação solar média, umidade do ar, insolação média e precipitação pluviométrica ao longo do ciclo da cultura.

Os dados de umidade do solo tiveram como referência a curva característica de retenção de umidade no campo experimental. Os dados climáticos foram comparados às médias de dez anos, para a região onde o experimento foi conduzido.

3.2. Condições física e química do solo

3.2.1. Resultados e discussão

As análises química e física do solo revelaram fertilidade média e textura argilosa (Quadro 2). Quanto à fertilidade, a uniformidade entre parcelas fez-se necessária em razão do tipo de solo Amarelo-Vermelho Câmbico. A fertilidade foi corrigida, conforme explicado no item 2.5.1. As condições de fertilidade do solo

Quadro 2 - Análises química e física de amostras de solo retiradas do local dos ensaios^{1/}

Característica	Resultados	Interpretação ^{2/}
* Análise Química		
pH em água 1:2,5	6,16	Acidez fraca
pH em KCl 1:2,5	5,51	Acidez fraca
P (mg/dm ³) ^{3/}	4,58	Baixo
K ⁺ (mg/dm ³) ^{3/}	170,50	Alto
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³) ^{4/}	0,04	Baixo
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{4/}	3,18	Médio
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{4/}	1,20	Alto
H+Al (cmol _c /dm ³) ^{4/}	3,39	Médio
SB (cmol _c /dm ³) ^{4/}	4,81	Médio
CTC Efetiva (cmol _c /dm ³) ^{4/}	4,85	Médio
CTC Total (cmol _c /dm ³) ^{4/}	8,20	Médio
V (%)	58,34	Médio
m (%)	0,95	Baixo
Zn (mg/dm ³) ^{3/}	2,53	-
Fe (mg/dm ³) ^{3/}	67,76	-
Mn (mg/dm ³) ^{3/}	44,08	-
Cu (mg/dm ³) ^{3/}	3,70	-
Matéria orgânica (dag/kg) ^{5/}	3,16	Alto
Fertilidade		Média
* Análise Textural^{6/}		
Areia grossa (%)	16,00	-
Areia fina (%)	7,00	-
Silte (%)	20,00	-
Argila (%)	57,00	-
Classificação textural ^{7/}		Argiloso

^{1/} Análises realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e no Laboratório de Física do Solo da UFV.

^{2/} Segundo as recomendações do uso de fertilizantes para o Estado de Minas Gerais.

^{3/} Extrator de Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

^{4/} Extrator KCl 1 mol/L (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

^{5/} Carbono determinado pelo processo de Walkley-Black (JACKSON, 1958).

^{6/} Laboratório de Física do Solo da UFV.

^{7/} Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

* Análises química e textural feitas em 30/10/1995.

onde se realizou o experimento estavam dentro da faixa de exigências da variedade estudada (SEDIYAMA et al., 1995).

3.3. Condições de umidade no solo

3.3.1. Resultados e discussão

Ao longo do ciclo da cultura, o teor de umidade no solo (Figuras de 2 a 6), analisado comparativamente à curva característica de retenção de umidade no solo do campo experimental (Figura 7), não apresentou grandes diferenças entre os tratamentos NIFF e NIFG. Os demais tratamentos evidenciaram algumas diferenças, discutidas a seguir.

Em todos os tratamentos, na camada de 60 cm de profundidade, o teor de água no solo esteve próximo à CC, devendo-se ressaltar que em camadas mais profundas tendeu à saturação, não atingindo, porém, a saturação plena, o que demonstra a boa capacidade de drenagem interna do solo. Assim, as maiores variações restringiram-se às camadas de 10, 20 e 40 cm.

O tratamento IPTP apresentou teor de umidade sempre elevado, em todos os níveis, tendo as maiores variações ocorrido na camada de 10 cm (Figuras de 2 a 6), cujos teores de umidade chegaram a afastar-se da CC (Figuras de 4 a 6). Tal fato, possivelmente, foi devido a uma diminuição na eficiência de aplicação de água, pelo sistema de irrigação utilizado, agravado pela concentração radicular na superfície do solo, aumentando a retirada de água nesse perfil.

O tratamento NIFV chegou no final da fase vegetativa com baixo teor de umidade em todas as camadas de solo analisadas, em comparação com os tratamentos irrigados (Figura 2). Ao longo do restante do ciclo, o teor de água nesse tratamento tendeu a aproximar-se daquele dos tratamentos irrigados, embora apresentando, em todas as camadas, uma tendência a teores menores, possivelmente por causa da melhor distribuição radicular em níveis mais profundos, o que implicou maior retirada de água em todo o perfil (Figuras de 3 a 6).

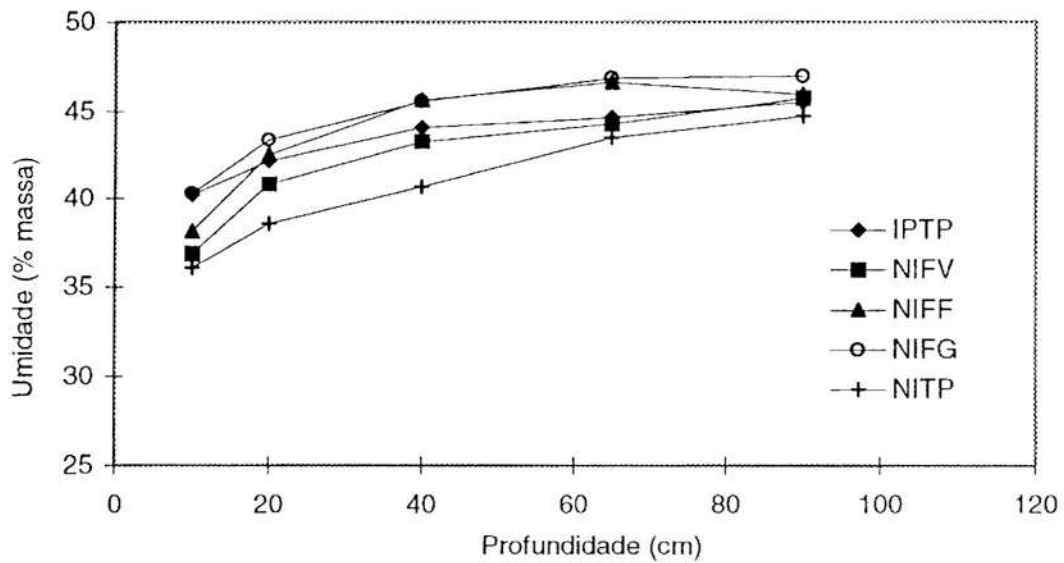


Figura 2 - Umidade no solo no dia 31 de janeiro (54 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (final da fase vegetativa).

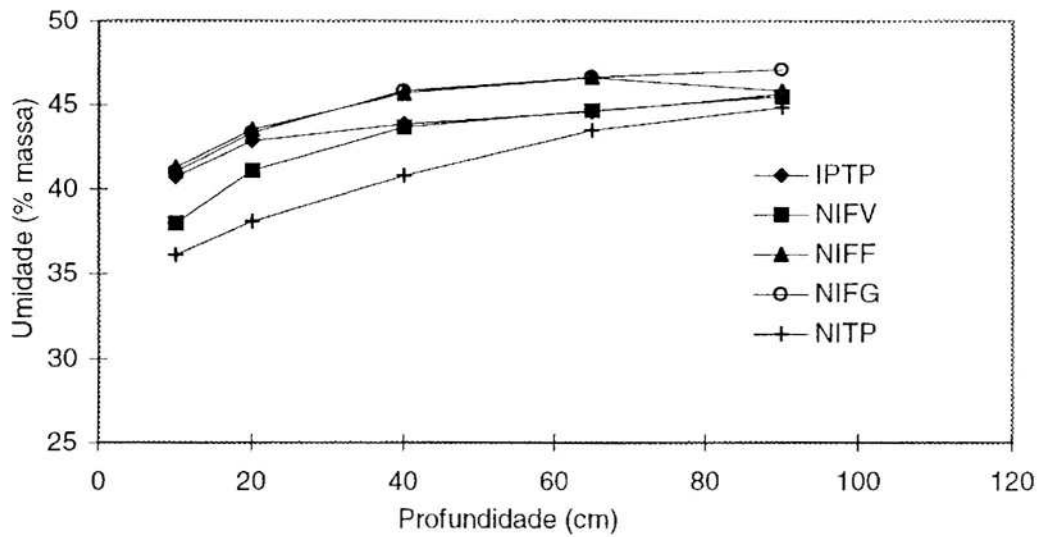


Figura 3 - Umidade no solo no dia 8 de fevereiro (62 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de florescimento).

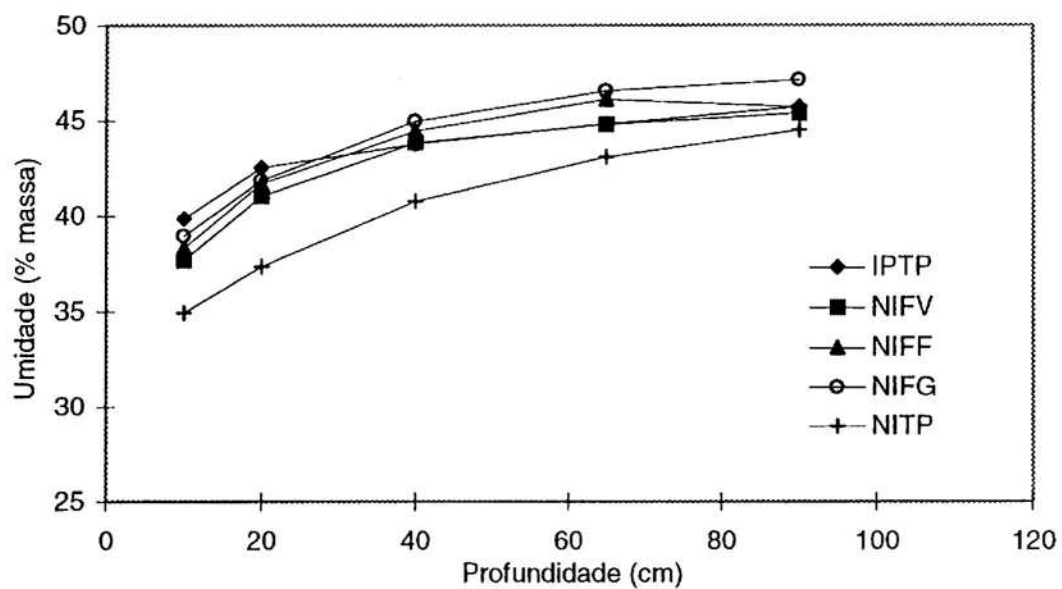


Figura 4 - Umidade no solo no dia 17 de fevereiro (71 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de florescimento).

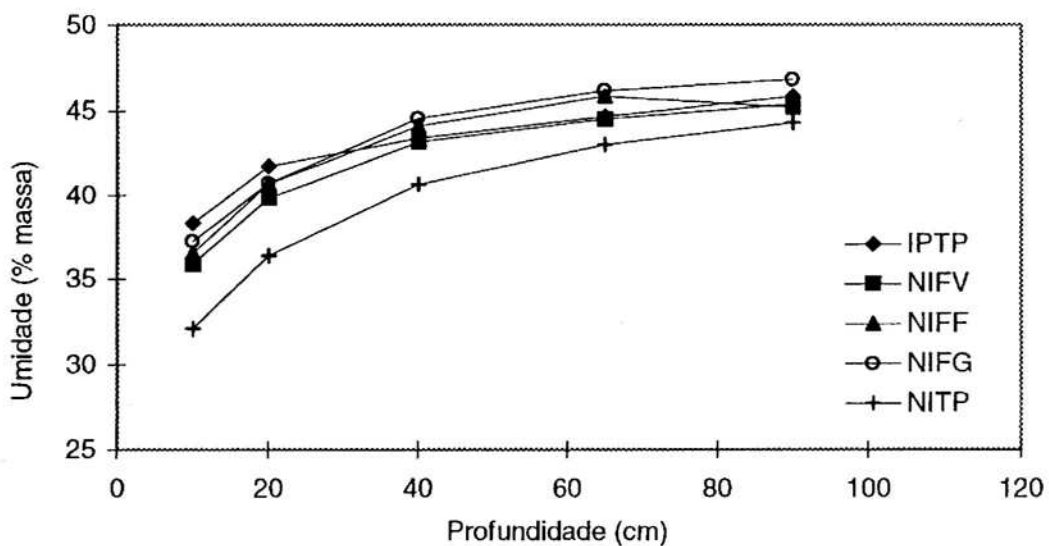


Figura 5 - Umidade no solo no dia 21 de fevereiro (75 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de enchimento de grãos).

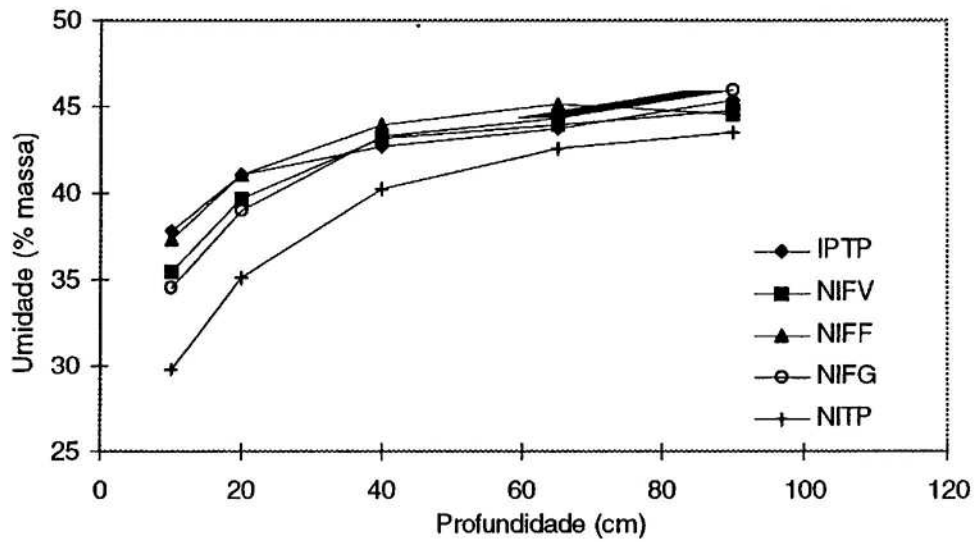


Figura 6 - Umidade no solo no dia 8 de março (91 DAS), em todos os tratamentos, nas diferentes profundidades (fase de enchimento de grãos).

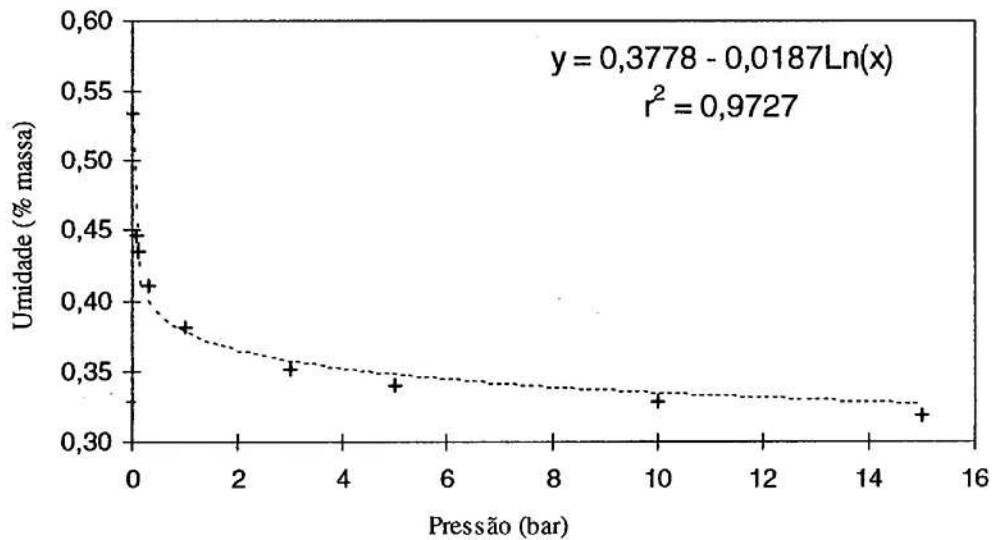


Figura 7 - Curva característica de retenção de umidade no solo do local do experimento.

O NIFF sofreu pouca variação no teor de umidade do solo, ao longo de todo o ciclo (Figuras de 2 a 6).

O NIFG teve seu teor de água no solo afetado somente no final do ciclo (Figura 6).

Maiores problemas de água no solo foram observados no tratamento NITP (Figuras de 2 a 6). Neste tratamento, os teores de água foram menores, do início ao fim do cultivo (para as datas em que o teor de água no solo foi medido), havendo indicação de tendências a teores abaixo do ponto de murcha permanente na camada de 10 cm, no final do ciclo (Figura 6).

3.4. Dados meteorológicos e climáticos

3.4.1. Resultados e discussão

A radiação solar global média durante os períodos vegetativo (Veg.), de florescimento (Flor.) e de enchimento de grãos (EGr.), analisados neste experimento, foi de 16, 20 e 17 MJ.m⁻².dia⁻¹, respectivamente (Figura 8). No entanto, grandes oscilações foram observadas durante o período estudado. Observou-se, na primeira parte do estágio vegetativo, que a radiação global (Rg) esteve quase sempre abaixo da média de Rg e que, na segunda metade do período, houve uma inversão. Tal fato demonstra que a média pode não ser uma boa representação deste elemento climático. Tais resultados podem ser explicados pela alta nebulosidade no período de implantação da cultura, representado pela baixa razão de insolação (n/N) e alta n/N, na segunda metade dessa fase (Figura 9). As médias de n/N foram 0,4, 0,6 e 0,6, respectivamente, nas três fases.

A fase de florescimento (Flor.) apresentou uma média mais elevada de Rg, em razão da alta luminosidade ocorrida nesse período, de modo mais uniforme.

Na fase de enchimento de grãos, houve uma queda na média de Rg, principalmente em decorrência de grandes oscilações na própria Rg, que, por sua vez, também decorreu da grande variação em n/N, causada pela grande nebulosidade, em determinadas épocas desse período.

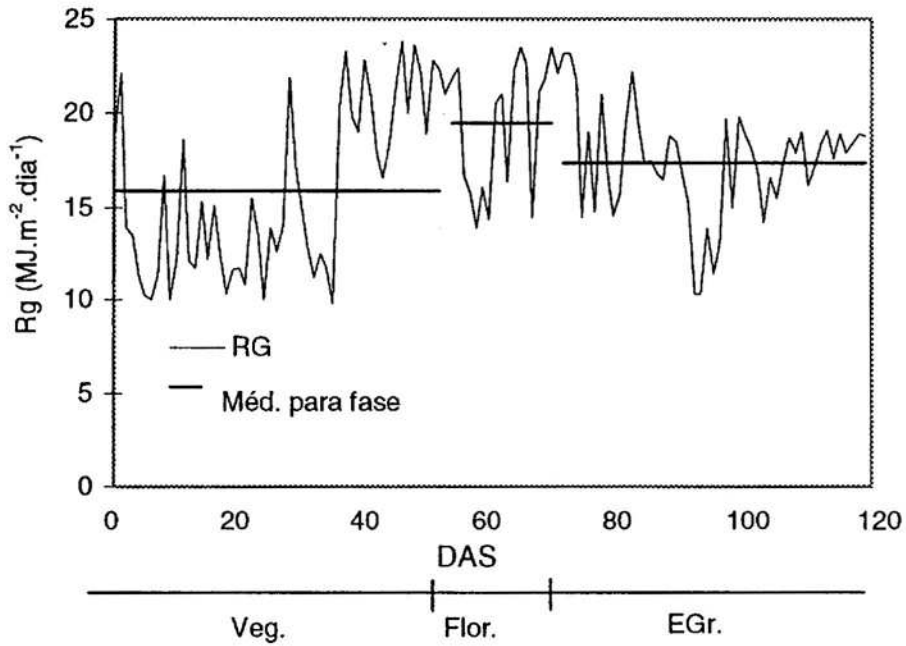


Figura 8 - Radiação solar global incidente no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

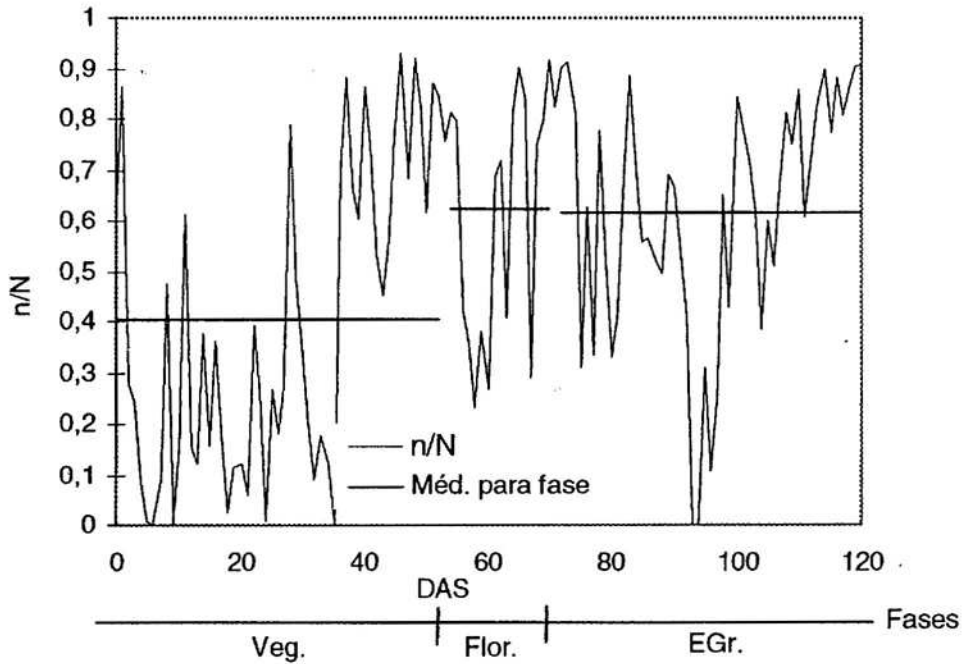


Figura 9 - Razão de insolação para o período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

Em termos gerais, para todo o ciclo da cultura, a quantidade de radiação incidente na superfície do solo aumentou, tendo, depois, uma leve tendência à queda. Tal fato foi devido à alta nebulosidade ocorrida no período inicial da época de cultivo, refletida na razão de insolação (Figura 9) e no aumento da declinação solar no final do período de cultivo. A influência da declinação solar pôde ser visualizada quando a R_g foi comparada para uma n/N semelhante, no meio e no final do ciclo da cultura (Figuras 8 e 9).

As temperaturas máximas apresentaram valores médios de 28, 31 e 30°C, nas três fases, enquanto as temperaturas mínimas apresentaram 19, 19 e 18°C e as médias, 23, 25 e 24°C (Figura 10). Considerando estes valores, observou-se que a cultura da soja esteve, durante todo o período, sob uma faixa de temperatura tida como adequada para seu desenvolvimento. Pascale (1969), citado por MIYASAKA e MEDINA (1981), relatou que as melhores áreas produtoras de soja, no mundo, apresentam temperaturas médias do mês mais quente variando entre 23 e 25°C, embora a temperatura ótima para seu rendimento máximo seja 30°C (Van SCHAIK e PROBST, 1958; BROWN, 1960; BROWN e CHAPMAN, 1960).

A umidade relativa do ar, como era de se esperar, seguiu tendência inversa à temperatura, apresentando valores médios de 83, 77 e 80%, para as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento dos grãos, respectivamente (Figura 11).

O saldo de radiação nas três fases, em média, foi 9, 10 e 9 MJ.m⁻².dia⁻¹, para as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente (Figura 12).

O período de florescimento coincidiu com os momentos nos quais as condições climáticas eram favoráveis ao abortamento de flores e de legumes, tomando como base as condições atmosféricas daquele período, discutidas anteriormente (SHAW e LAING, 1965; DOSS, et al., 1974; SIONIT e KRAMER, 1977).

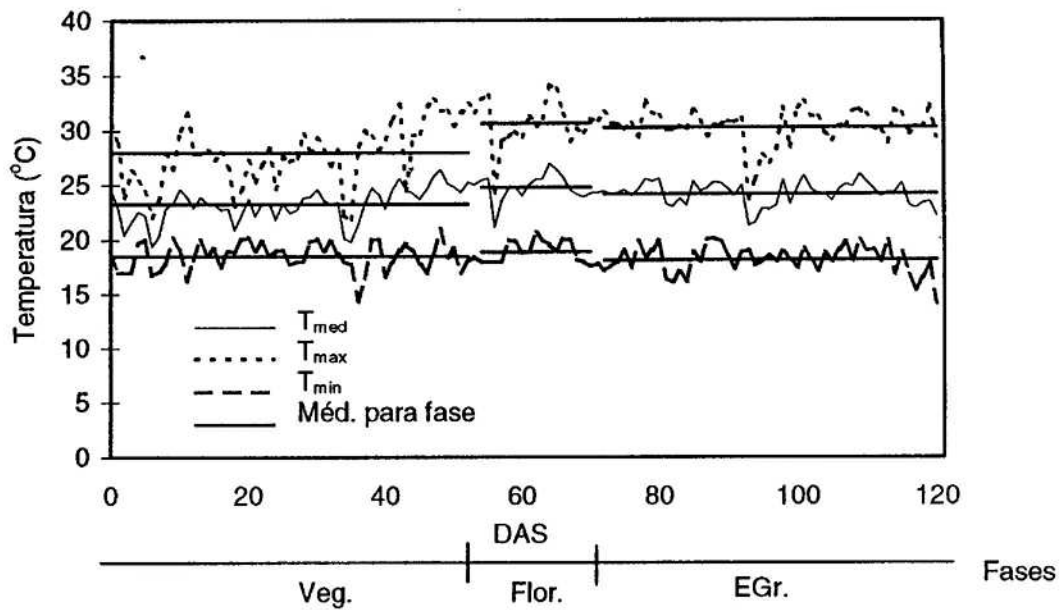


Figura 10 - Temperaturas máxima, mínima e média no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

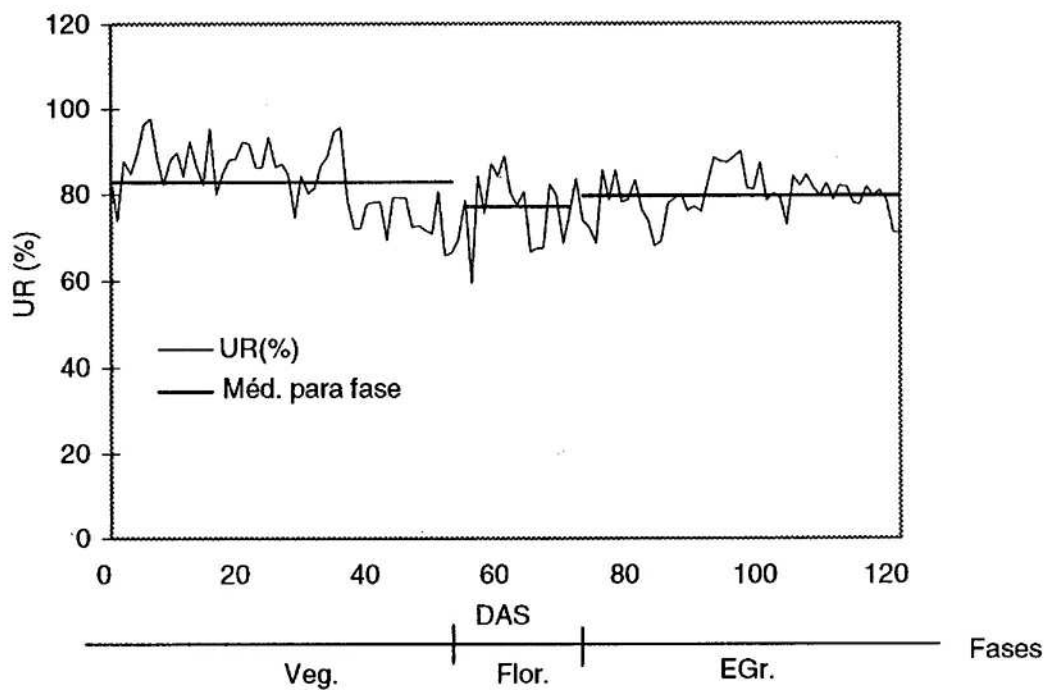


Figura 11 - Umidade relativa no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

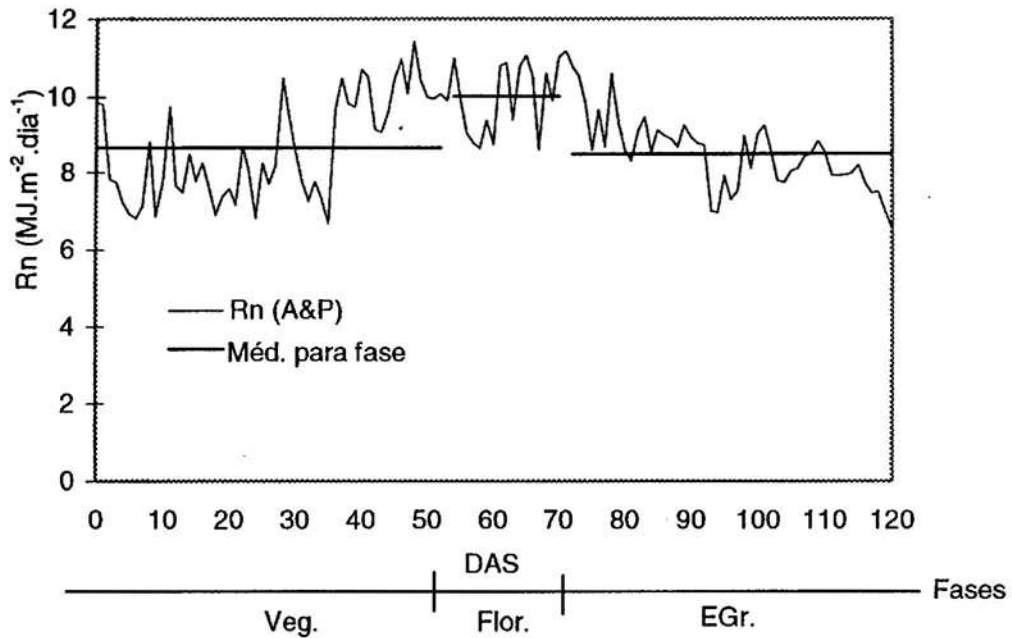


Figura 12 - Saldo de radiação disponível para a cultura no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

A precipitação pluvial apresentou uma distribuição altamente irregular, ao longo do ciclo da cultura, com alta concentração no período inicial de cultivo e chuvas esparsas no restante do ciclo, quando ocorreram veranicos variando entre 1 a 19 dias, o que significa que o fornecimento de água para a cultura, por meio da precipitação, foi insuficiente para atender ao mínimo exigido, que seria cerca de 5 mm diários (JENSEN, 1973) (Figura 13).

O rendimento da cultura da soja está estritamente ligado à disponibilidade hídrica. Sempre que ocorre boa distribuição pluvial, ocorre também maior rendimento, em termo econômicos. BERLATO e BERGAMASHI (1978) encontraram uma necessidade diária de água, em ótimas condições, de 5,8 mm, devendo-se ressaltar que a cultura da soja consome pouca água no início do ciclo, ocorrendo depois um aumento no consumo, que, ao aproximar o final do ciclo, volta a cair. Daí sua maior susceptibilidade durante a fase reprodutiva.

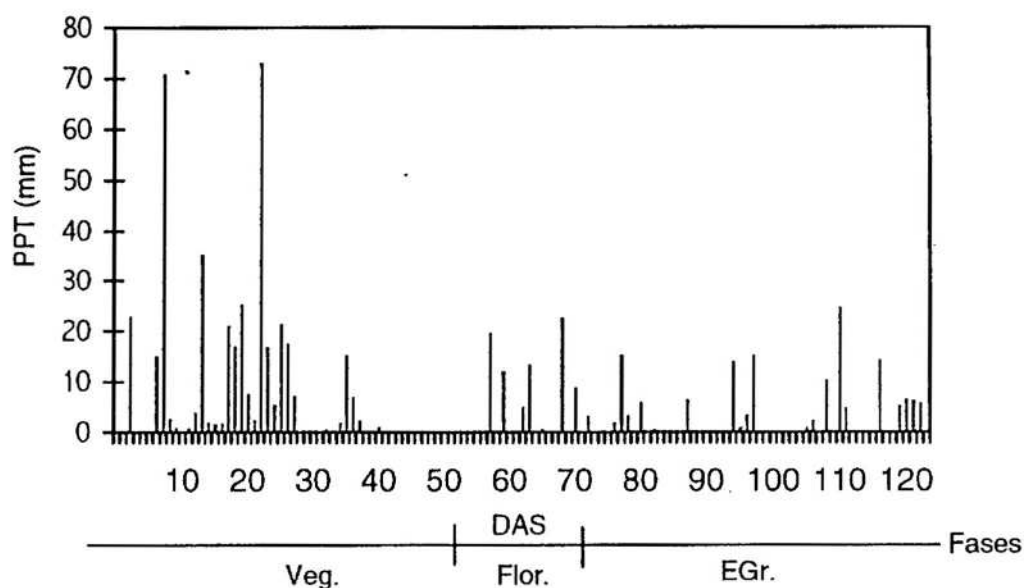


Figura 13 - Precipitação pluviométrica no período de 8/12/1995 a 6/4/1996, nas condições do ensaio, em Viçosa - MG.

A pressão parcial de vapor (e), nos períodos estudados, apresentou valores em torno de 18 hPa, enquanto e_s apresentou valor médio de 29 hPa na fase vegetativa, elevando-se ligeiramente nos dois períodos seguintes, sendo 31 e 30 hPa, para as fases de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente. Variação semelhante, como já era esperado, foi observada no déficit de pressão de vapor ($e_s - e$), cujos valores médios, nas três fases, foram 11, 13 e 12 (Figuras de 14 a 16).

3.5. Condições gerais de tempo e clima durante o experimento

Em geral, durante a realização do ensaio no campo, as condições meteorológicas foram favoráveis à ocorrência de estresse ambiental na cultura da soja, quando comparadas à média de dez anos, nos períodos coincidentes com as fases da cultura, anteriores a essa época de plantio (Quadro 3).

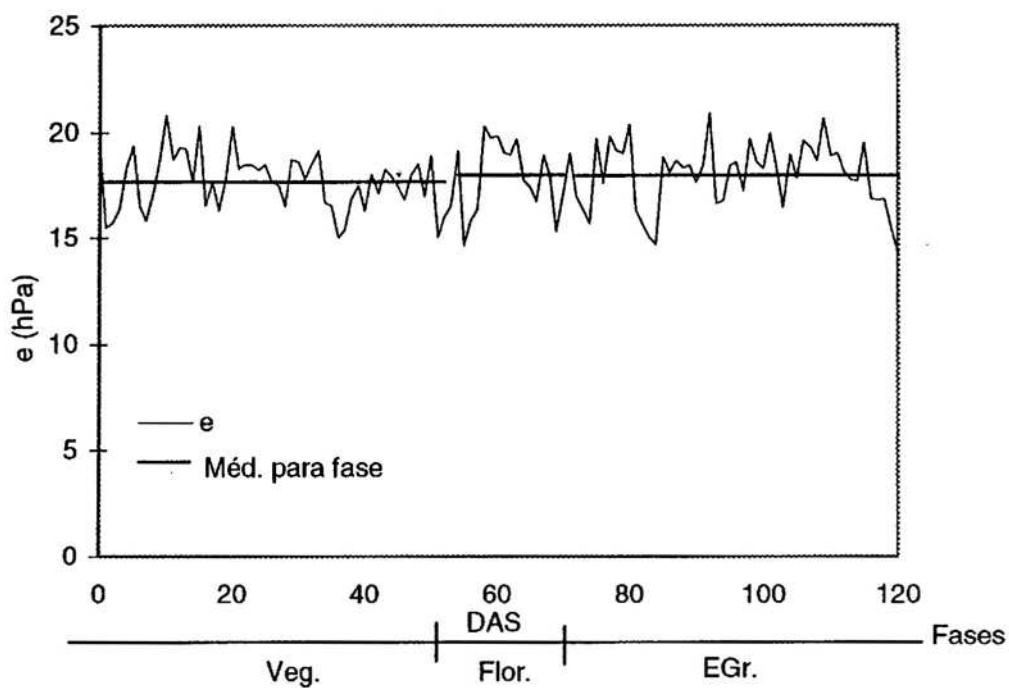


Figura 14 - Pressão de vapor real média (e) ao longo da estação de cultivo de 1995/96.

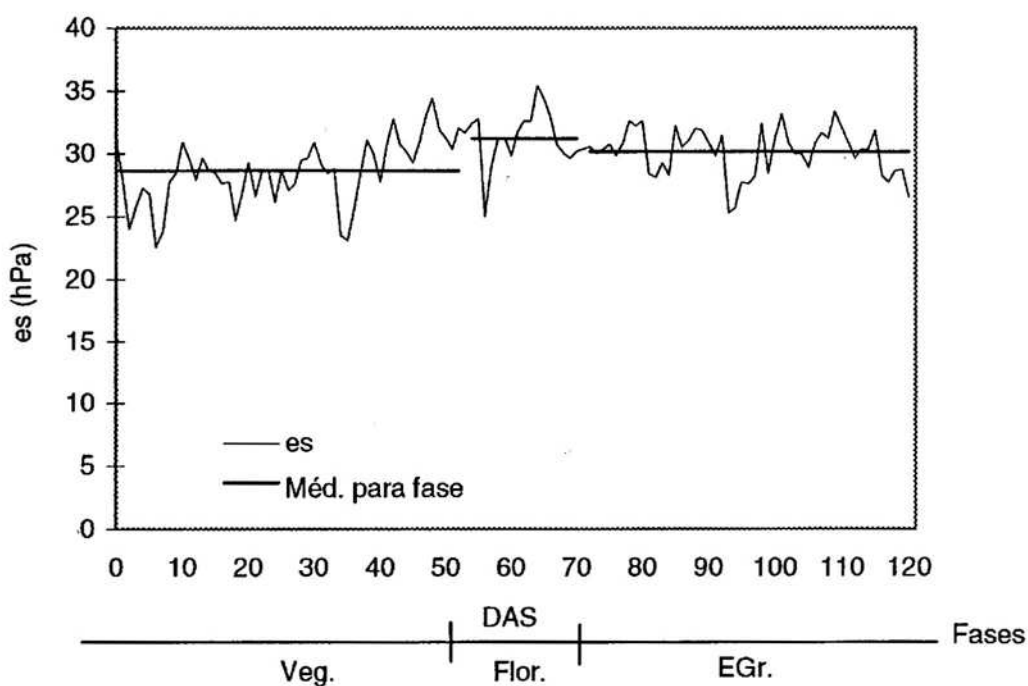


Figura 15 - Pressão de vapor de saturação média (e_s) ao longo da estação de cultivo de 1995/96.

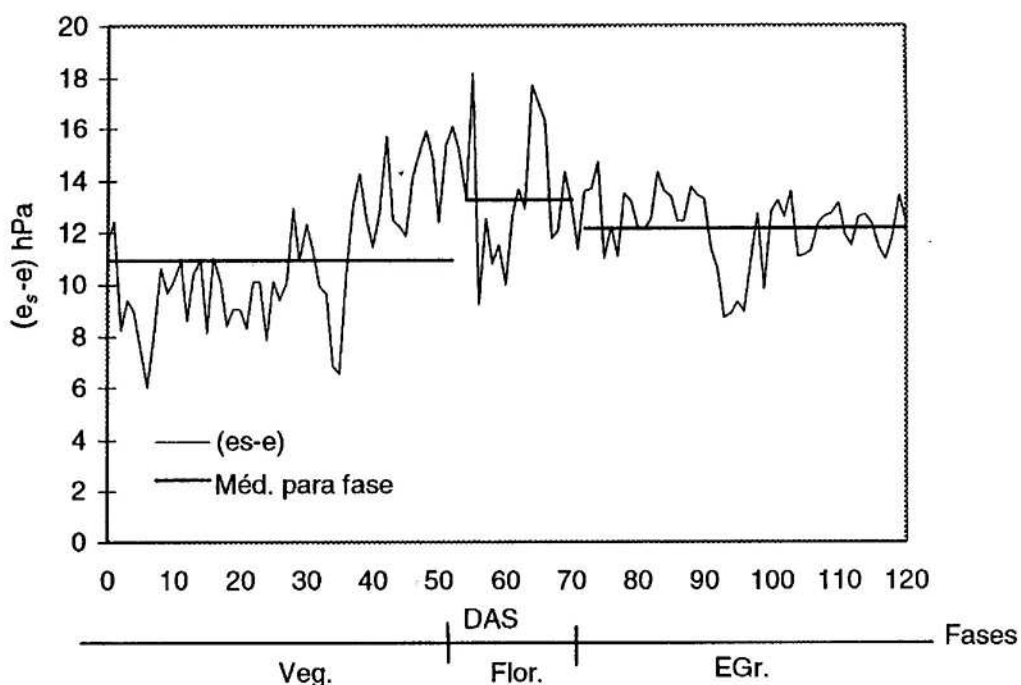


Figura 16 - Déficit de pressão de vapor médio ($e - e_s$) ao longo da estação de cultivo de 1995/96.

Quadro 3 - Médias por fase das temperaturas máxima (\bar{T} máx.), mínima (\bar{T} mín.) e média (\bar{T} md.), umidade relativa média (\overline{UR} md.), precipitação total por fase (PPT), insolação média (n) e média de dez anos para as fases

Elementos do Clima	Fases		
	Veg.	Flor.	EGr.
\bar{T} máx. (Méd. 10 anos)	28,2	28,9	28,7
T máx (Exp)	27,9	30,6	30,2
\bar{T} mín. (Méd. 10 anos)	18,7	18,7	18,1
T mín (Exp)	18,5	18,9	18,1
\bar{T} méd. (arit) (Méd. 10 anos)	23,3	23,8	23,4
T méd.(arit) (Exp)	23,2	24,7	24,1
\overline{UR} méd. (Méd. 10 anos)	81,4	81,5	81,8
UR méd. (Exp)	82,8	77,1	79,6
\bar{T} méd (Méd. 10 anos)	420,4	220,1	172,6
PPT (Exp)	403,0	86,0	145,0
\bar{n} (Méd. 10 anos)	5,3	5,8	6,4
n (Exp)	5,4	8,2	7,2

3.6. Conclusão

A falta de complemento de irrigação afetou a umidade do solo e, portanto, a quantidade de água disponível para a cultura da soja nos tratamentos estressados. Com a fertilidade do solo corrigida e, assim, garantindo-se maior homogeneidade, em termos de fertilidade para a cultura, esta foi afetada em função dos tratamentos de estresse hídrico, os quais foram auxiliados pela física do solo, permitindo boa drenagem interna.

Os elementos climáticos exerceram papel fundamental, pois a maior intensidade de radiação, a maior temperatura, o maior déficit de pressão de vapor e a menor intensidade de precipitação coincidiram com a fase de florescimento e enchimento de grãos.

As condições meteorológicas durante a estação de cultivo foram propícias à ocorrência de estresse ambiental na cultura da soja, em relação à média dos dez anos anteriores ao cultivo.

4. CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

4.1. Introdução

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados dos tratamentos de estresse hídrico sobre a cultura da soja. Seus efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura foram analisados, observando-se a variação em habilidade para capturar e utilizar recursos. Esta habilidade foi analisada de acordo com a variação no acúmulo de matéria seca; as variações morfológicas, como alongamento de partes da planta e expansão foliar; a partição de fotoassimilados; as taxas de crescimento; e o número de estruturas reprodutivas (por exemplo, flores).

Foram analisados, ainda, o crescimento e a partição de fotossintatos no período inicial da cultura, desde a emergência até a implantação da cultura. Esta é a primeira abordagem feita neste capítulo.

4.2. Desenvolvimento da cultura da soja

4.2.1. Resultados e discussão

A emergência das plântulas foi verificada no dia 13 de dezembro de 1995.

Em todos os tratamentos, a cultura da soja, variedade Capinópolis, atingiu a fase de florescimento no dia 1^o de fevereiro, ou seja, 54 DAS. A fase de enchimento de grãos iniciou-se no dia 20 de fevereiro, ou seja, 74 DAS, e a maturação fisiológica completou-se no intervalo de 1^o a 6 de abril, em todos os tratamentos.

Os estádios vegetativo, de florescimento e de enchimento de grãos transcorreram durante 54, 19 e 41 dias, respectivamente. A fase vegetativa transcorreu entre 8 de dezembro, data de semeadura, e 1^o de fevereiro, ou 54 DAS, enquanto a fase de florescimento estendeu-se de 1^o de fevereiro até 20 de fevereiro, ou 74 DAS, e a fase de enchimento de grãos, de 20 de fevereiro até 1^o de abril, ou 115 DAS.

A cultura da soja não apresentou variação em sua fenologia, para nenhum dos tratamentos aplicados.

4.3. Crescimento e partição de fotoassimilados no período inicial da cultura

4.3.1. Resultados e discussão

No período de seu estabelecimento, a cultura da soja apresentou rápido aumento na acumulação de matéria seca. Todavia, esse acúmulo foi pequeno nos primeiros cinco dias após a emergência e rápido, posteriormente, mostrando tendência de grande eficiência de captação de recursos, como água, nutrientes, CO₂ e radiação (Figura 17). A partição de fotoassimilados aumentou, rapidamente, para as folhas e teve um período de duração maior. Para o sistema radicular e caule, o aumento da percentagem de fotoassimilados foi mais suave e menos duradouro. Ao mesmo tempo em que a percentagem de fotoassimilados elevou-se na raiz, no caule e nas folhas, ocorreu diminuição drástica do percentual de reservas, nos cotilédones (Figura 18). Essa diminuição estabilizou-se, provavelmente, em razão da fotossíntese realizada pelos cotilédones, mais tarde.

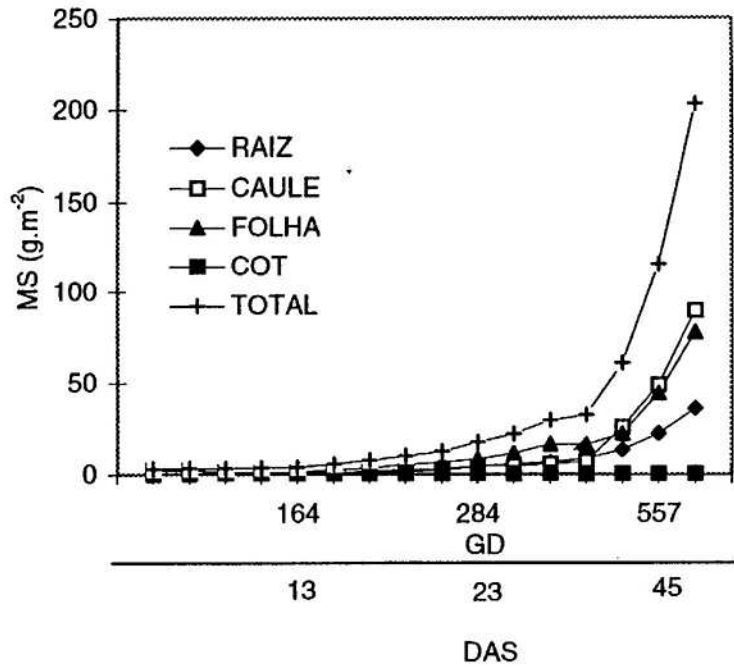


Figura 17 - Evolução da matéria seca de diferentes partes e total da cultura da soja no período de crescimento inicial, em experimento de campo.

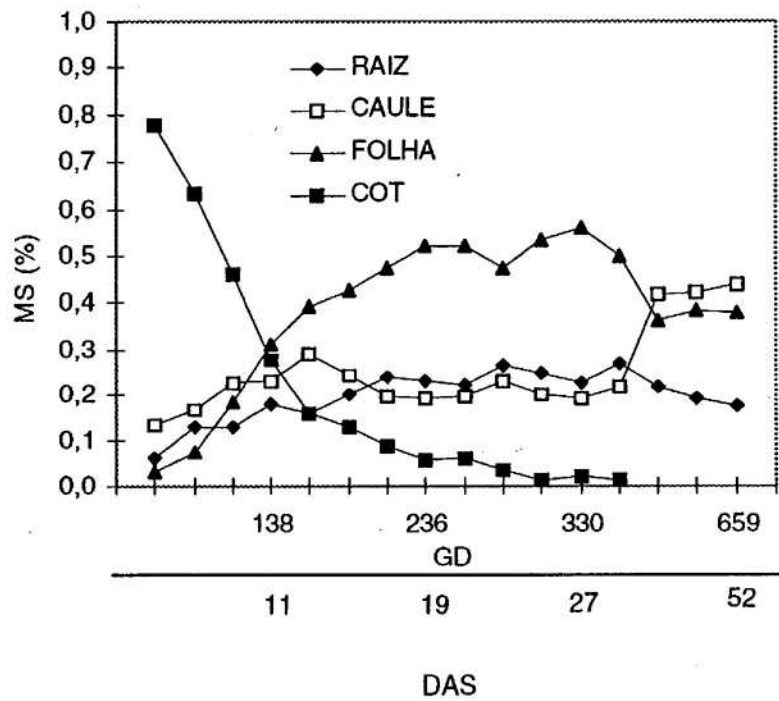


Figura 18 - Evolução da partição de fotoassimilados no período inicial do crescimento da cultura da soja, em experimento de campo.

A maior partição, e de forma rápida, para as folhas pode ter ocorrido por causa da alta nebulosidade no período inicial, visando uma maior captura de luz. Estes resultados estão coerentes com aqueles encontrados por HARRIS et al. (1986).

As folhas detiveram maior preferência no recebimento de fotoassimilados até, aproximadamente, o final do período de estabelecimento da cultura no campo, quando, em virtude de seu crescimento, a planta foi forçada a reforçar a estrutura e passou a enviar maior quantidade de fotoassimilados para o caule, à custa das folhas e raízes.

4.4. Partição de fotoassimilados

4.4.1. Resultados e discussão

A partição de matéria seca não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, em nenhuma das partes da cultura estudada (Quadros de 4 a 6). Observou-se que os tratamentos não-irrigados durante a fase vegetativa (NITP e NIFV) apresentaram tendência a alocar mais fotoassimilados nas folhas, em relação aos outros tratamentos (IPTP, NIFF e NIFG) analisados, que apresentaram tendência de maior alocação para o caule. A razão de partição parte aérea/raiz apresentou resultados contrários àqueles observados por FINN e BRUN (1980) e HOOGENBOOM et al. (1987).

Observou-se, na fase de florescimento, que o crescimento rápido da parte aérea no NIFV teve contribuição de uma maior partição de fotoassimilados para as folhas, visando recomposição do aparelho fotossintético.

O NITP continuou com alta translocação de fotoassimilados para as folhas, porém fez uma destacada partição, objetivando maior emissão de flores, em relação aos outros tratamentos, seguido pelo NIFF e NIFV. Quanto maior o estresse, maior foi a alocação de fotoassimilados para a estrutura reprodutiva.

Na fase de enchimento de grãos, a partição foi toda direcionada para os grãos, em detrimento do restante da planta. Nesta fase, os dados coletados não mostraram uma tendência clara.

Quadro 4 - Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase vegetativa (PMSRVG), partição de matéria seca para caule na fase vegetativa (PMSCVG) e partição de matéria seca para folhas na fase vegetativa (PMSFVG)

Tratamento	PMSRVG	PMSCVG	PMSFVG
IPTP	18,48 a	43,52 a	38,01 a
NIFV	18,21 a	43,03 a	38,76 a
NIFF	18,95 a	43,88 a	37,17 a
NIFG	16,33 a	45,57 a	38,11 a
NITP	16,98 a	43,21 a	39,81 a
Média	17,79	43,84	38,37

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Quadro 5 - Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase de florescimento (PMSRFR), partição de matéria seca para caule na fase de florescimento (PMSCFR), partição de matéria seca para folhas na fase de florescimento (PMSFFR), partição de matéria seca para flores na fase de florescimento (PMSFRFR) e partição de matéria seca para vagens na fase de florescimento (PMSVFR)

Tratamento	PMSRFR	PMSCFR	PMSFFR	PMSFRFR	PMSVFR
IPTP	12,34 a	53,02 a	31,10 a	1,14 a	2,39 a
NIFV	13,66 a	49,75 a	32,72 a	1,56 a	2,30 a
NIFF	12,49 a	53,23 a	30,82 a	1,59 a	1,87 a
NIFG	11,42 a	55,21 a	30,00 a	1,28 a	2,09 a
NITP	12,96 a	49,84 a	32,27 a	2,22 a	2,71 a
Média	12,57	52,21	31,38	1,56	2,27

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Quadro 6 - Valores médios de partição de matéria seca para raiz na fase de enchimento de grãos (PMSRGR), partição de matéria seca para caule na fase de enchimento de grãos (PMSCGR), partição de matéria seca para folhas na fase de enchimento de grãos (PMSFGR), partição de matéria seca para flores na fase de enchimento de grãos (PMSFRGR) e partição de matéria seca para vagens na fase de enchimento de grãos (PMSVGR)

Tratamento	PMSRGR	PMSCGR	PMSFGR	PMSVGR	PMSGRGR
IPTP	9,53 a	31,99 a	2,87 a	19,76 a	35,83 a
NIFV	9,51 a	29,93 a	5,24 a	16,61 a	35,71 a
NIFF	7,66 a	30,51 a	5,18 a	16,49 a	40,16 a
NIFG	10,60 a	33,55 a	2,28 a	18,41 a	35,16 a
NITP	12,51 a	29,70 a	2,54 a	20,68 a	34,56 a
Média	9,96	31,14	3,62	18,39	36,88

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

A maior capacidade de enchimento de grãos foi verificada no tratamento NIFV, o qual apresentou tendência de maior índice de colheita (IC), que se refletiu na produção final de grãos e no peso de 100 grãos (Quadro 9).

Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por HOONGEBOOM et al. (1977), que verificaram grande capacidade de recuperação na cultura da soja, após passar por um período de estresse hídrico, alocando maior quantidade de fotoassimilados para a parte radicular, nos estádios vegetativo e de florescimento, adquirindo, assim, maior capacidade produtiva.

4.5. Produtividade e características agronômicas

4.5.1. Resultados e discussão

De acordo com o Quadro 7, a cultura da soja não apresentou variações significativas para a característica altura de inserção da primeira vagem (AIV1). Os valores encontrados foram superiores àquele relatado no “folder”, que apresenta o valor de 14 cm para AIV1 (SEDIYAMA et al., 1995).

Quadro 7 - Valores médios do número de vagens do caule principal (NVGPP), número de vagens dos ramos (NVGRS) e número de vagens total por planta (NVGT)

Tratamento	NVGPP	NVGRS	NVGT
IPTP	31,35 a	42,19 a	73,54 a
NIFV	30,05 a	50,35 a	80,40 a
NIFF	24,90 a	39,30 a	64,20 a
NIFG	25,35 a	42,60 a	67,95 a
NITP	22,20 a	30,85 a	53,05 a
Média	26,77	41,06	67,83

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

A altura final das plantas (AFPL) foi igual em termos estatísticos (Quadro 1A), embora tenha havido tendência de menor altura nas plantas estressadas por todo o período (NITP). Estes resultados, muito próximos aos relatados por SEDIYAMA et al. (1995), mostraram, também, a mesma tendência de resposta da cultura aos tratamentos aplicados, observada por HOOGENBOOM et al. (1987).

As distâncias entre os nós não apresentaram diferenças significativas (Quadros 3A, 5A e 7A), o mesmo ocorrendo para o número de nós por planta e por broto (Quadros 9A e 11A). As diferenças encontradas em número de nós, nos brotos 1 (NNBR1) e 6 (NNBR6), podem ser devido a erros amostrais, uma vez que os resultados não estão coerentes com os tratamentos hídricos aplicados, nem com a literatura (MUCHOW et al., 1986).

O número de brotos emitidos, também, não foi afetado pelos tratamentos hídricos (Quadro 1A).

Esses resultados tendem a concordar com os encontrados por MUCHOW et al. (1986), que verificaram menor número de nós em plantas de soja estressadas, e com aqueles de HOOGENBOOM et al. (1987), que observaram menor altura final de plantas, quando submetidas a estresse hídrico.

O número final de vagens por planta não foi afetado significativamente pelos tratamentos hídricos, nas diferentes fases fenológicas. Não foi observada alteração significativa nem no número de vagens e de grãos dos brotos, nem no número de vagens e de grãos do caule principal (Quadros 7 e 8). Entretanto, as tendências das diferenças observadas na produção de vagens e, conseqüentemente, de grãos coincidem com a ordem de produtividade final de grãos observada, em que as diferenças foram significativas (Quadro 9). Assim, verificou-se forte influência do número de vagens produzidas por planta sobre a produtividade final de grãos.

Quadro 8 - Valores médios de número de grãos do caule principal (NGRPP), número de grãos dos ramos (NGRRS) e número de grãos total por planta (NGRT)

Tratamento	NGRPP	NGRRS	NGRT
IPTP	57,50 a	72,75 a	130,25 a
NIFV	55,55 a	91,05 a	146,60 a
NIFF	41,65 a	65,80 a	107,45 a
NIFG	46,45 a	75,10 a	121,55 a
NITP	39,50 a	55,30 a	94,80 a
Média	48,13	72,00	120,13

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

O peso de 100 grãos foi afetado significativamente no tratamento NITP. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si, para esta característica (Quadro 9).

O número de grãos seguiu a mesma tendência do número de vagens, em todos os tratamentos.

Observou-se que o NIFV apresentou maior número de vagens total por planta (Quadro 7), seguido pelo IPTP. Os tratamentos NITP e NIFF produziram menos vagens por planta. A maior causa de queda na produção foi o estresse

Quadro 9 - Valores médios de produtividade de grãos, em toneladas por hectare, e do peso de 100 grãos, em gramas

Tratamentos	Produtividade	Peso de 100 Grãos
IPTP	3,30 ab	14,77 a
NIFV	3,51 a	14,23 a
NIFF	2,66 bc	13,50 a
NIFG	3,12 ab	14,08 a
NITP	2,07c	12,19 b

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

hídrico, durante a fase de florescimento, o que confirma os dados relativos à grande sensibilidade da cultura, nesta fase, encontrados na literatura (SIONIT e KRAMER, 1977). Fatores como alta temperatura (Figura 10), déficit de pressão de vapor (Figura 16) e baixa precipitação (Figura 13), na fase de florescimento, podem ter contribuído para a maior importância desta fase sobre a produtividade de grãos, no presente ensaio. No período estudado, possivelmente, a cultura sofreu grande abortamento de legumes, uma vez que ocorreu grande produção de flores (Figura 7A). O tratamento NITP foi o mais prejudicado, pelo fato de passar por um longo período de veranico, como pode ser verificado na Figura 13.

Contrariamente ao observado por ANDRIANI et al. (1991), o número de flores total, emitidas pelos tratamentos, não apresentou diferença significativa (Figura 8A). A cultura apresentou tendência para emitir mais flores quando estava sob estresse hídrico, do que quando não estava (Figura 7A).

Ao contrário do efeito causado na fase de florescimento, o estresse hídrico na fase vegetativa mostrou-se muito benéfico para a cultura da soja. O tratamento NIFV, que passou por um longo veranico na segunda metade da fase vegetativa, apresentou o maior índice de colheita (IC) (Figura 5A), talvez por ter tido um maior alongamento radicular, que lhe permitiu uma estrutura subterrânea com maior capacidade de exploração em termos de volume de solo (HUCK et al., 1983; HOOGENBOOM et al., 1987).

O estresse hídrico na fase de enchimento de grãos não afetou a cultura, possivelmente por este ter sido pequeno, amenizado pela razoável distribuição de chuvas e pela grande plasticidade da cultura. Outros fatores externos, como solo e temperatura, podem ter auxiliado a cultura, amenizando a falta de complemento de irrigação nesse período.

Os resultados demonstraram clara tendência de efeito do estresse hídrico sobre a expansão foliar e, conseqüentemente, sobre o acúmulo de matéria seca total (MST). O índice de área foliar foi altamente influenciado pelo estresse hídrico na fase vegetativa (Figura 20), embora as diferenças não tenham sido significativas (Figura 4A). Quando novamente irrigado, o tratamento NIFV demonstrou ótima capacidade de recuperação do aparato fotossintético.

A MST não foi afetada, significativamente, pelos tratamentos (Figura 2A). Entretanto, observou-se forte tendência à diminuição do acúmulo de MST, quando a cultura estava sob estresse hídrico (Figura 19). O NITP apresentou acúmulo de matéria seca muito inferior ao dos outros tratamentos. Estes resultados mostram tendências concordantes com a literatura (MUCHOW et al., 1986; FOROUD, 1993).

A baixa resposta aos tratamentos aplicados pode ter sido decorrente da grande capacidade de armazenagem de água no solo, que não apresentou grandes diminuições, capazes de induzir a níveis severos de estresse na cultura. Outro fator que possivelmente contribuiu para tal situação foi a distribuição de chuvas, que, embora irregular em virtude da grande plasticidade da cultura, pode ter amenizado os efeitos do estresse hídrico. Durante todo o ciclo, as temperaturas também podem ter auxiliado o satisfatório desempenho da cultura, pois estiveram sempre próximo ao ótimo exigido.

4.6. Matéria seca e índice de área foliar

4.6.1. Resultados e discussão

Não foi verificada a ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos, ao longo do cultivo, para acúmulo de matéria seca e índice de área foliar (IAF) (Figuras 2A e 4A). Entretanto, perceberam-se acentuadas tendências de efeito dos tratamentos ao longo do ciclo (Figuras 19 e 20).

A produção de matéria seca e o índice de área foliar, no final da fase vegetativa, apresentaram tendência para diferenças menores entre os tratamentos, em relação a outros pontos analisados, em idade mais avançada da cultura. Fatos como a ocorrência de longo período de nebulosidade e baixas temperaturas, no início da implantação da cultura, podem ter contribuído para o pequeno acúmulo de MST, apesar da ocorrência de alta precipitação no final da fase vegetativa. Também, a pequena quantidade de MS produzida em cada tratamento, decorrente do curto período com céu limpo, propiciando energia solar para a cultura, pode ter dificultado a evidência das diferenças entre os tratamentos.

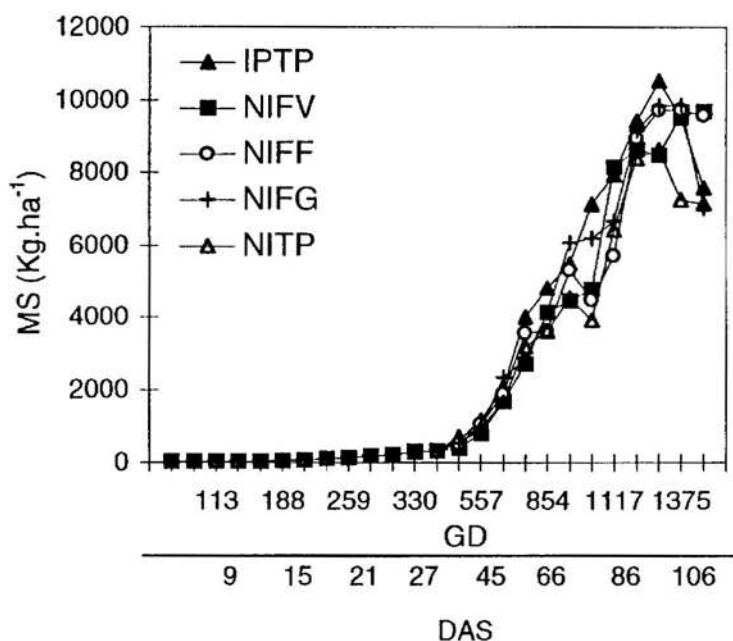


Figura 19 - Evolução do acúmulo de matéria seca total (MS) de todos os tratamentos, ao longo do ciclo da cultura da soja.

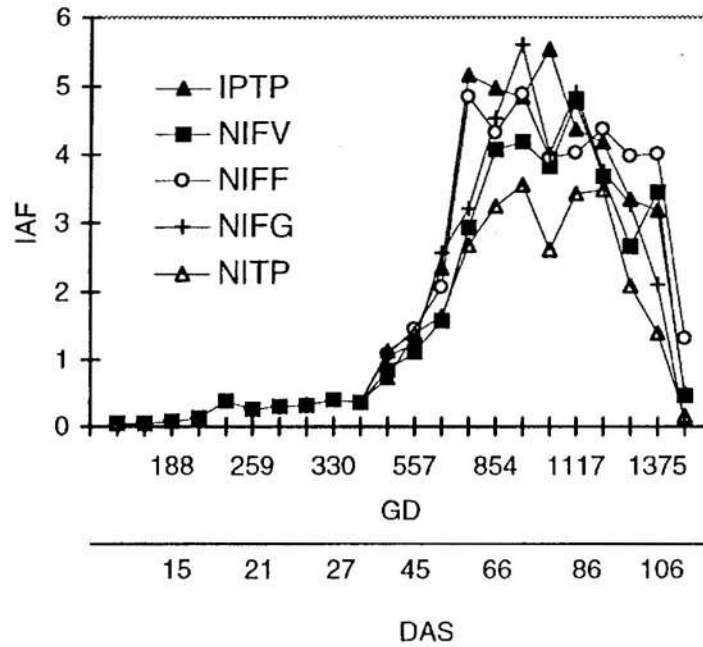


Figura 20 - Evolução do índice de área foliar (IAF) de todos os tratamentos, ao longo do ciclo da cultura da soja.

4.7. Taxas de crescimento

4.7.1. Resultados e discussão

As taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), bem como a área foliar específica (AFE), não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Quadro 10). Porém, observou-se tendência de aumento nos valores de TCA, em todos os tratamentos.

A TCR aumentou até a fase de florescimento, enquanto na fase de enchimento de grãos todos os tratamentos apresentaram diminuição nos valores de TCR.

A AFE apresentou tendência de declínio à medida que a cultura atingiu uma idade mais elevada, ou seja, as folhas de todos os tratamentos tenderam a tornar-se mais finas, com o decorrer do tempo. Assim, as folhas emitidas no início do ciclo tenderam a ser mais grossas ou a possuir mais massa por unidade de área.

Quadro 10 - Valores de taxa de crescimento absoluto (TCA) ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), taxa de crescimento relativo (TCR) ($\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e área foliar específica (AFE) ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$), nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, para os tratamentos irrigado por todo período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado todo o período (NITP)

Fases	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP
TCA					
Veg.	6,22	5,08	5,78	7,37	4,88
Flor.	16,43	13,26	16,32	17,75	13,50
EGr.	19,38	16,66	18,37	15,26	17,36
TCR					
Veg.	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06
Flor.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
EGr.	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
AFE					
Veg.	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
Flor.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
EGr.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Os resultados de TCA, TCR e AFE apontam na direção de que, no estudo dessas características, devem ser aplicadas metodologias de maior precisão, em condições mais controladas, que viabilizem resultados mais seguros. Talvez, os erros experimentais, decorrentes do tamanho da parcela em que as amostras eram sorteadas, sejam responsáveis pela grande variação entre as amostras, o que veio a mascarar o resultado dessas características, impedindo a nitidez das diferenças entre os tratamentos.

Outra possível causa poderia ser a falta de estresse hídrico com intensidade e, ou, duração suficientes.

4.8. Resumo e conclusões

Foram estudados o crescimento, a morfologia, a partição de fotoassimilados e a produção de matéria seca na soja [*Glycine max* (L.) Merrill],

variedade Capinópolis, sob estresse hídrico nas diferentes fases fenológicas, em condições de campo, em Viçosa - MG.

As amostragens foram realizadas, a cada dois dias, para verificação da partição de fotoassimilados no início da fase vegetativa, e a cada sete dias, para acompanhamento do acúmulo de matéria seca (MS) e do índice de área foliar (IAF). As características morfológicas de distância entre os nós, número de nós, número de brotos e número de grãos e vagens, por planta, foram verificadas em uma única amostragem, no final do ciclo da cultura. A produtividade final e o peso de 100 grãos foram estimados a partir da amostragem de 10 m, por unidade experimental.

A cultura não apresentou mudanças significativas entre os tratamentos, para nenhuma das características analisadas, exceto para produção de grãos e peso de 100 grãos. Entretanto, observou-se tendência de resposta ao estresse hídrico na morfologia das plantas, na área foliar, no acúmulo de matéria seca e no número de vagens e grãos por planta, ou seja, todos estes componentes mostraram tendência a aumentar com a disponibilidade hídrica.

A produção de flores tendeu a aumentar com a deficiência hídrica, bem como a partição de fotoassimilados para as mesmas.

O estresse hídrico na fase vegetativa aumentou a capacidade de captura de recursos da cultura, culminando com tendência a atingir uma produtividade de grãos mais elevada. A cultura estressada nessa fase demonstrou rápida e eficiente resposta à aplicação de água, após o período de estresse.

A produção de matéria seca total, atribuída à área foliar, foi menor nos tratamentos estressados.

A partição de fotoassimilados não diferiu entre os tratamentos, exceto na fase de florescimento, em que o tratamento não-irrigado por todo o período tendeu a aumentar a exportação de fotossintatos para as flores, seguido pelo tratamento não-irrigado na fase de florescimento.

O estresse hídrico na fase de florescimento mostrou-se mais prejudicial à cultura, ocorrendo o inverso na fase vegetativa. Nesta fase, apesar da diminuição na produção de matéria seca e área foliar, a cultura mostrou rendimento mais

alto, em termos de produção de grãos e índice de colheita, produzindo mais vagens e grãos por planta, além de apresentar um peso de 100 grãos elevado.

A variedade Capinópolis mostrou-se resistente à diminuição de água no solo, apresentando, mesmo em condições de grande falta de água, uma produtividade final de grãos compatível com a média nacional.

5. EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

5.1. Introdução

Por ser um recurso que a cada dia torna-se mais precioso, em virtude da sua disponibilidade mais ou menos constante, a água doce exige esforços voltados para a otimização de seu uso.

A agricultura, em geral, é responsável pelo consumo de aproximadamente 80% do total da água utilizada, em todos os aspectos. Portanto, torna-se imprescindível quantificar, o mais precisamente possível, a quantidade de água exigida por uma cultura.

Este capítulo apresenta os resultados da eficiência do uso da água (EUA) na cultura da soja, variedade Capinópolis. Os resultados e a discussão são apresentados a seguir.

5.2. Eficiência do uso da água nas fases fenológicas

5.2.1. Resultados e discussão

Durante todo o período de permanência da cultura da soja no campo, a quantidade de água fornecida pela precipitação pluvial foi 600 mm (Figura 13), o

que atende às exigências hídricas dessa cultura, conforme verificado por CARTTER e HARTWIG (1962), que encontraram um consumo de água que variava entre 508 e 762 mm.

Embora, teoricamente, o total de água fornecido para a cultura, durante todo o ciclo, tenha sido suficiente, esta precipitação foi mal distribuída, ou seja, o fornecimento concentrou-se no período inicial do ciclo da cultura, no qual cerca de 60% da água de todo o período foi agregada à cultura e os outros 40% foram, irregularmente, distribuídos no restante do ciclo. Assim, o tratamento não-irrigado por todo o período (NITP) teve à sua disposição 40% da precipitação do período para completar seu ciclo, passando pelas fases de florescimento e enchimento de grãos, que, somadas à parte da fase vegetativa com baixa precipitação, totalizou um período de 80 dias, aproximadamente.

A precipitação, por fase de desenvolvimento da cultura, foi altamente variável, correspondendo a 403, 86 e 70 mm, para as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente, sendo este total de água recebido pelo tratamento NITP.

O tratamento que recebeu complemento de precipitação durante todo o ciclo (IPTP) recebeu em torno de 870 mm, durante todo o período, isto é, um excesso de água, em relação à quantidade que a cultura exige para uma produtividade de grãos satisfatória. Considerando por fase, o tratamento IPTP recebeu 472, 164 e 171 mm nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente.

Os tratamentos não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) e não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) receberam, durante todo o ciclo, 811, 814 e 748 mm de água, isto é, todos receberam quantidades excessivas de água, em relação à quantidade exigida pela cultura da soja. Com a variação da precipitação ao longo da época de cultivo, esses tratamentos receberam 403, 472 e 472 mm, na fase vegetativa; 176, 100 e 164 mm, na fase de florescimento; e 171, 181 e 70 mm, na fase de enchimento de grãos, respectivamente.

Os tratamentos irrigados sempre tiveram excesso de água, em virtude das precipitações fortes e isoladas, que ultrapassaram a capacidade de armazenamento do solo. Como o balanço hídrico foi feito diariamente, esse excesso apareceu no final do ciclo. Já nos tratamentos sem irrigação, como no caso do NITP, que teve excesso e deficiência durante a fase vegetativa, isto foi possível em razão das precipitações fortes, ocorridas isoladamente no início da fase vegetativa, gerando tal excesso. A deficiência decorreu do forte veranico, durante a segunda metade da fase vegetativa (Figuras 13 e 16).

NITP e NIFV tiveram uma deficiência de 24 mm na fase vegetativa, após a ocorrência de um excesso de 352 mm, nesta mesma fase. Os demais tratamentos não apresentaram deficiência hídrica, pois foram irrigados nessa fase, tendo apresentado, ao contrário, um excesso de 371 mm.

Na fase de florescimento, com exceção do NITP, todos os tratamentos apresentaram pequeno excesso, ou seja, 55, 41, 7 e 55 mm, para IPTP, NIFV, NIFF e NIFG, respectivamente. Quanto ao excesso, a diferença entre NIFV e os tratamentos IPTP e NIFG foi devido à deficiência hídrica acumulada no período vegetativo, que foi repostada por irrigação.

O NIFF apresentou deficiência de 7 mm, em virtude da falta de irrigação. O NITP apresentou deficiência de 29 mm, superior à deficiência ocorrida durante a fase vegetativa.

Na fase de enchimento de grãos, somente os tratamentos irrigados apresentaram excesso, correspondendo a 85 mm, para IPTP e NIFV, e 87 mm, para NIFF.

As deficiências hídricas apresentadas por NIFG e NITP foram de 35 e 52 mm. O aumento crescente na deficiência de NITP, a cada fase, deveu-se ao aumento do negativo acumulado com a escassez de precipitação.

A produção de matéria seca (MS) na fase vegetativa foi maior nos tratamentos irrigados, ao passo que os tratamentos não-irrigados produziram, praticamente, a mesma quantidade. Na fase de florescimento, todos os tratamentos aumentaram a produção de matéria seca em, aproximadamente, 70%, exceto o NIFF, que aumentou cerca de 80%. Na fase de enchimento de grãos,

NIFG e NITP não tiveram, praticamente, variação na MS, em relação ao período anterior, ao passo que o NIFV aumentou em cerca de 80% seu peso de MS, tendo o IPTP aumentado apenas 15% e NIFF, 30% (Quadro 11).

Quadro 11 - Matéria seca (MS) produzida pela cultura da soja nas diferentes fases fenológicas e de produção de grãos (ciclo total, Gr.), nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP) ($g \cdot 10^6 \cdot ha^{-1}$)

Datas	Fase	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP
29/01	Veg.	2,03	1,67	1,88	2,33	1,67
19/02	Flor.	3,45	2,78	3,43	3,73	2,83
23/03	EGr.	4,02	5,14	4,43	3,80	2,73
01/04	Gr.	2,95	3,14	2,38	2,79	1,85

A cultura apresentou menor produção de matéria seca de grãos (peso da produtividade menos 10,5% de umidade dos grãos) nos tratamentos que sofreram estresse hídrico durante a fase de floração, ou seja, NIFF e NITP.

A eficiência de uso da água (EUA) na cultura da soja (valores do Quadro 11 divididos pelos valores do Quadro 12) variou entre os tratamentos e entre as fases fenológicas. Na fase vegetativa, não foram observadas grandes mudanças entre os tratamentos, ficando o NIFG com a maior eficiência no uso da água. Essa ausência de diferença pode ser devido à pouca diferença em área foliar entre os tratamentos (Figura 21), que não permitiu aos tratamentos irrigados perderem água de forma excessiva, ao passo que os tratamentos estressados, possivelmente pelo alto déficit de pressão de vapor (Figura 22), foram forçados a diminuir a abertura estomatal e, assim, aumentar a eficiência no uso da água (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Na fase de florescimento, as plantas dos tratamentos estressados fizeram melhor uso da água que as dos tratamentos irrigados. O NIFF e o NITP tiveram,

Quadro 12 - Água agregada (irrigação mais precipitação) à cultura da soja nas diferentes fases fenológicas e por todo o período, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP) ($\text{kg} * 10^6 * \text{ha}^{-1}$)

Datas	Fase	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP
29/01	Veg.	4,72	4,03	4,72	4,72	4,03
19/02	Flor.	1,64	1,76	1,00	1,64	1,00
23/03	EGr.	1,71	1,71	1,81	0,70	0,70
01/04	Gr.	8,68	8,11	8,14	7,48	6,02

Quadro 13 - Eficiência do uso da água (EUA) para os tratamentos IPTP, NIFV, NIFF, NIFG e NITP, nas fases fenológicas vegetativa, de florescimento, de enchimento de grãos e de produção de grãos (g de MS/kg de água)

Datas	Fase	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP
29/01	Veg.	0,43	0,41	0,40	0,49	0,41
19/02	Flor.	2,10	1,58	3,43	2,27	2,83
23/03	EGr.	2,35	3,00	2,44	5,43	3,90
01/04	Gr.	0,34	0,39	0,29	0,37	0,31

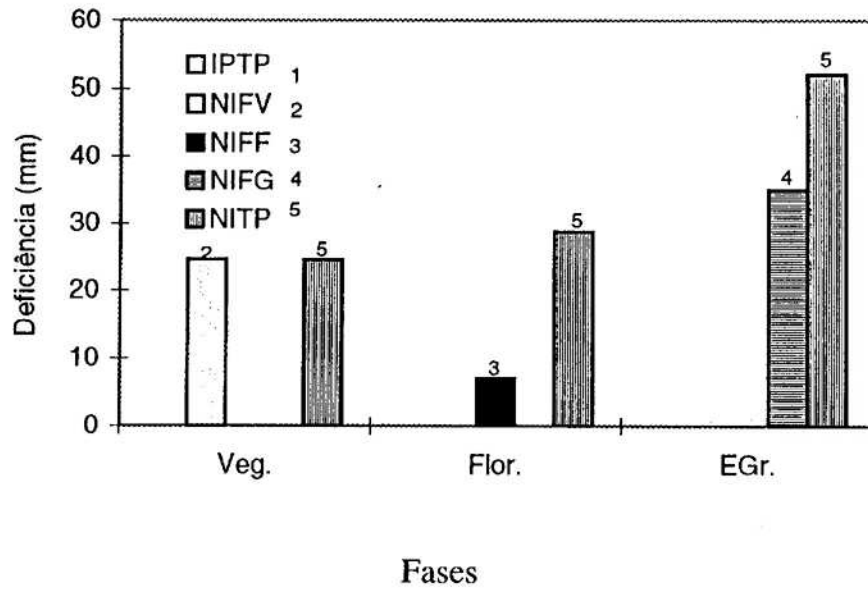


Figura 21 - Gráfico do excesso de água em cada fase, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP).

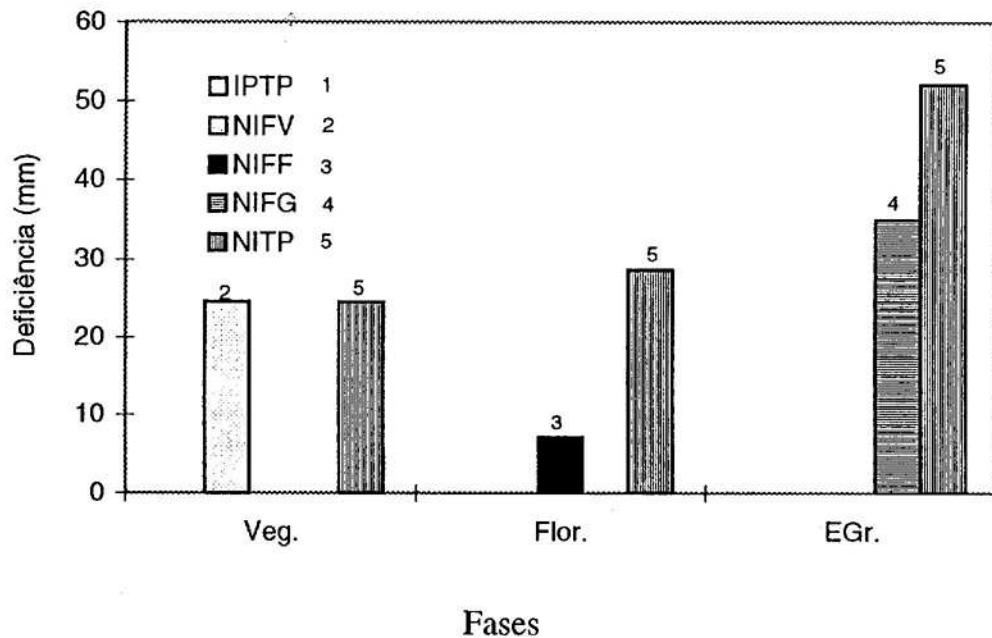


Figura 22 - Gráfico da deficiência de água em cada fase, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV), não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), não-irrigado na fase de enchimento de grãos (NIFG) e não-irrigado por todo o período (NITP).

praticamente, a mesma eficiência. Os tratamentos IPTP e NIFG tiveram rendimentos mais próximos entre si que o tratamento NIFV, que ficou com o menor rendimento dessa fase. A alta demanda evaporativa no final da fase vegetativa e durante a fase de florescimento, expressa no déficit de pressão de vapor (Figura 16) e associada à alta insolação (Figura 9) e à alta temperatura (Figura 10), levou as plantas dos tratamentos não-irrigados a sofrer estresse hídrico (Figura 23) e, possivelmente, a uma transpiração excessiva nas plantas irrigadas. Possivelmente, por dispor de pouca área foliar, o tratamento NIFV tinha também pouco auto-sombreamento, o que favorecia a ocorrência de grande perda de água por evaporação, ao passo que tal fato também implicava alta temperatura foliar, levando a um fechamento estomatal muito forte e prejudicando a absorção de CO₂ e a EUA (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Na fase de enchimento de grãos, os tratamentos estressados tiveram, novamente, uma melhor EUA. Essa fase teve um déficit de pressão de vapor, bem como menor temperatura. Mesmo assim, a ocorrência de muitos veranicos ao longo do período agravaram a situação de disponibilidade hídrica, no solo, para NITP (Figuras de 2 a 6). Embora a pressão de vapor real apresentasse pouca variação (Figura 14), a pressão de saturação do vapor d'água (Figura 15) variou muito, principalmente nos períodos de maior temperatura, fazendo com que o déficit de pressão de vapor fosse elevado. Na fase de enchimento de grãos, o déficit de pressão de vapor apresentou níveis que, possivelmente, forçaram as plantas estressadas a um maior fechamento estomatal. As plantas do NIFG foram mais eficientes no uso da água, possivelmente por causa do maior auto-sombreamento em relação ao NITP, podendo, assim, ter ocorrido um fechamento estomatal que não prejudicou a assimilação de CO₂ no NIFG. O tratamento IPTP quase não apresentou variações, em relação à fase de florescimento, embora tenha aumentado a EUA. O NIFV apresentou um pico em relação à fase de florescimento, mostrando um aumento de 90%, que também poderia ser atribuído ao crescimento foliar, principalmente em termos de expansão, que levou a diminuições de perda de água por evaporação do solo. Este aumento só foi menor que o do NIFG, que aumentou mais de 100 %. O NIFF teve uma queda na EUA.

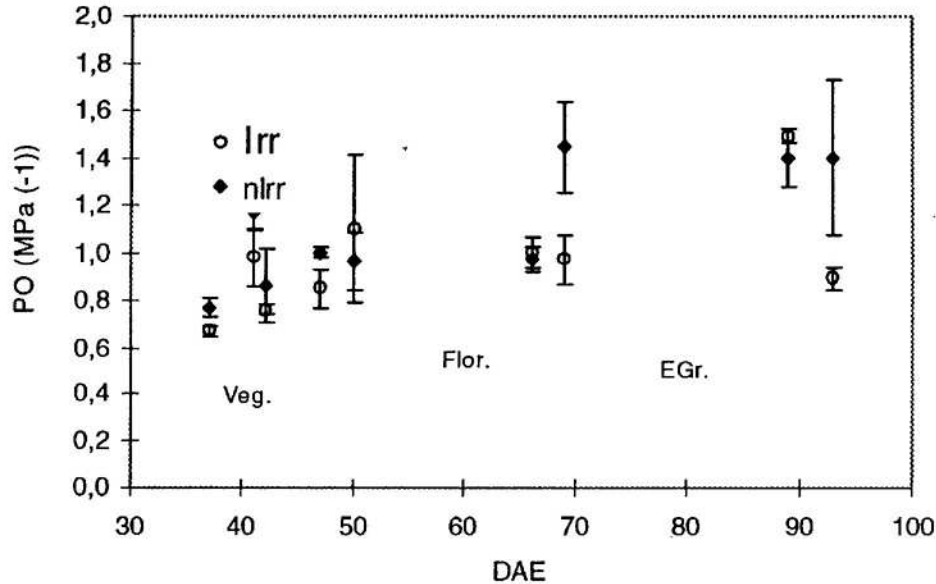


Figura 23 - Potencial osmótico (PO) dos tratamentos irrigados (Irr) e não-irrigados (nIrr) nas fases fenológicas vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos.

em relação à fase anterior, em virtude, talvez, de danos causados no período em que foi estressado na fase de florescimento.

Para produção de grãos, os tratamentos IPTP, NIFV e NIFG, praticamente, não mostraram diferenças significativas, ao passo que os tratamentos NIFF e NITP apresentaram eficiência, também sem grandes diferenças entre si. O grande destaque é o fato de NITP e NIFF apresentarem uma EUA muito menor que a dos demais, o que, possivelmente, foi devido ao estresse que eles sofreram durante o período de florescimento.

Durante os períodos em que a cultura esteve sob estresse, houve tendência para maior EUA, em virtude, talvez, de um controle estomatal melhor que aquele ocorrido quando a planta estava não-estressada. Aparentemente, quando irrigada e em condições de elevada temperatura e déficit de pressão de vapor, a cultura da soja apresenta maior descontrole estomatal.

Na fase reprodutiva, embora as culturas, geralmente, apresentem tendência a ter uma EUA maior que a da fase vegetativa, a cultura da soja, variedade

Capinópolis, apresentou resultados de alta eficiência no uso da água na fase reprodutiva, chegando, até mesmo, a superar os resultados obtidos por BONGIORNO e NAVARRO DUJMOVICH, (1997), para a cultura do milho, cujo estudo teve objetivos semelhantes.

5.3. Resumo e conclusões

A eficiência de utilização da água (EUA) na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], variedade Capinópolis, submetida a estresse hídrico em diferentes fases fenológicas, em condições de campo, foi estudada em Viçosa-MG. Procurou-se verificar a EUA, em cada fase fenológica e para a produtividade de grãos.

Os cálculos da EUA foram efetuados ao dividir o peso acumulado da MS em cada fase e a matéria seca final de grãos pela quantidade de água agregada à cultura, por precipitação e irrigação, durante o período considerado.

A cultura da soja, variedade Capinópolis, mostrou variações ao longo do ciclo, e entre os tratamentos, em relação à EUA. Entretanto, quando estressada, ela apresentou tendências a ter uma EUA maior, ou seja, exigiu menos água por grama de matéria seca produzida. Quando irrigada por todo o período, as variações entre as fases fenológicas foram menores, embora a EUA na fase reprodutiva tenha sido maior que a da fase vegetativa.

Quanto à produção de grãos, a EUA não variou para as condições de estresse hídrico na fase vegetativa e na fase de enchimento de grãos e quando os tratamentos foram irrigados por todo o período. Entretanto, os tratamentos que sofreram estresse durante a fase de florescimento, ou seja, o não-irrigado por todo o período e o não-irrigado na fase de florescimento, tiveram grande queda na EUA, para a produtividade de grãos.

A cultura da soja, variedade Capinópolis, teve a EUA, para produção de matéria seca, aumentada quando sob estresse hídrico, e para a produção de grãos teve a EUA diminuída, quando estressada na fase de florescimento e por todo o período.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], variedade Capinópolis, quando sob estresse hídrico na fase vegetativa, mostrou forte tendência a diminuir a área foliar e o acúmulo de matéria seca total, bem como obter uma morfologia menor.

A partição de fotoassimilados não foi alterada pelo estresse hídrico, na fase vegetativa, embora tenha mostrado uma leve tendência a alocar mais assimilados para as folhas. Na fase de florescimento, observou-se forte influência do estresse hídrico sobre a partição de fotoassimilados para flores. As plantas estressadas mostraram tendência a alocar mais assimilados para a estrutura floral. O número de flores, também, foi aumentado em plantas estressadas. Na fase de enchimento de grãos, a partição de fotoassimilados não apresentou variações significativas entre os tratamentos.

O uso eficiente da água não foi afetado pelo estresse hídrico, na fase vegetativa. O uso eficiente da água na fase de florescimento foi maior para os tratamentos estressados em relação aos irrigados. Na fase de enchimento de grãos, a cultura mostrou tendência a elevar o uso eficiente da água.

Para a produtividade final de grãos, a cultura mostrou sensibilidade ao estresse hídrico. O tratamento não-irrigado por todo o período teve uma queda de aproximadamente 40% no rendimento de grãos, em relação ao irrigado por todo

o período. Este foi seguido pelo tratamento não-irrigado na fase de florescimento, que teve uma queda de aproximadamente 20%, ou seja, a cultura mostrou-se mais sensível à falta de água no período de florescimento, ocorrendo o contrário com o estresse hídrico na fase vegetativa, que elevou a produtividade de grãos.

A cultura da soja respondeu bem à falta de água, atingindo, no tratamento estressado, uma produtividade de grãos em torno da média nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.R., VIANELLO, R.L., SEDIYAMA, G.C. Estimativa da radiação solar global diária a partir de dados de insolação, para Viçosa, Minas Gerais. **Rev. Exper.**, Viçosa-MG, v.10, n.27, p.211-222, 1981.
- ANDRIANI, J.M., ANDRADE, F.H., SUERO, E.E. et al. Water deficits during reproductive growth of soybeans. I. Their effects on dry matter accumulation, seed yield and its components. **Agron.**, Paris, v.11, p.737-746, 1991.
- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Q.J. Meteor. Soc.**, London, v.50, p.121-126, 1924.
- ARANTES, N.E., SOUZA, P.I. **Simpósio sobre cultura de soja nos cerrados**. Uberaba-MG: UFUB, 1992. p.268-285.
- ARRUDA, F.B., MASCARENHAS, H.A.A., VIEIRA, S.R. **Efeito hídrico na produção da soja**. Campinas: Instituto Agronômico, 1976. (Boletim, 38). 55p.
- BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I. Evapotranspiração estacional em ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1, 1978, Londrina. **Trabalho apresentado no I Seminário Nacional de Pesquisa da Soja**. Londrina: s.n., 1978. p. 23-34.
- BLAD, B.L., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agron. J.**, Madison, v.61, p.277-280, 1972.
- BOLTON, F.E. Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. **Plant and Soil**, New York, v.58, p.231-247, 1981.

- BONGIORNO, C., NAVARRO DUJMOVICH, M. Eficiencia en el uso del agua de lluvia por el cultivo de maíz en la producción de granos y biomasa total. In: REUNIÓN ARGENTINA, 7 Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 1, 1997, Buenos Aires. **Acta...** Buenos Aires, s.n., 1977. p.37-38.
- BOYER, J.S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiol.**, Rockville, v.46, p.236-239, 1970.
- BRIGGS, L.J., SHANTZ, H.L. Relative water requeriment of plants. **J. Agric. Res.**, Washington-DC, v.3, p.1-63, 1914.
- BROWN, D.M. Soybean ecology. I. Development - temperature relationships from controlled environment studies. **Agron. J.**, Madison, v.52, n.9, p.493-496, 1960.
- BROWN, D.M., CHAPMAN, C.J. Soybean ecology. II. Development - temperature-moisture relationship from field studies. **Agron. J.**, Madison, v.52, n.9, p.496-499, 1960.
- BROWN, R.H., SIMMONS, R.E. Photosynthesis of grass species differing in CO₂ fixation pathways. I. Water-use efficiency. **Crop Sci.**, New York, v.19, p.375-379, 1979.
- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Q.J. Meteor. Soc.**, London, v.58, p.389-420, 1932.
- BUTTERY, B.R., TAN, C.S., BUZZELL, R.I. et al. Stomatal numbers of soybean and response to water stress. **Plant and Soil**, New York, v.149, p.283-288, 1993.
- CARTTER, J.L., HARTWIG, E.E. The management of soybean. **Adv. Agr.**, New York, v.14, p.359-412, 1962.
- COMISSÃO DE FERTILIZANTES DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 4ª aproximação**. Lavras:1989.
- CONFALONE, A.E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja [*glycine max (l.) merrill*] com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento**. Viçosa-MG: UFV, 1998. 73p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- COSTA, L.C., MORISON, J., DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and growth of faba bean (*Vicia faba* L.) growing under field conditions. **Rev. Bras. Agromet.**, Santa Maria, v.5, n.1, p.9-16, 1997a.

- COSTA, L.C., MORISON, J., DENNETT, M. Effects of the weather on growth and radiation intercepted by faba bean. **Rev. Agrop. Bras.**, Brasília, v.32, n.3, p.277-281, 1997b.
- COSTA, L.M. **Caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos de terraços fluviais, na região de Viçosa, e sua interpretação para uso agrícola.** Viçosa-MG: UFV, 1973. 55p. Dissertação (Mestrado em Solos) Universidade Federal de Viçosa, 1973.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo** (Metodologia). Viçosa: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Necesidad de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 1977. 194p. (Série Riego y Drenaje, 24).
- DOSS, B.D., PEARSON, R.W., ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. **Agron. J.**, Madison, v.66, p.297-299, 1974.
- EGLI, D.B. Alterations in plant growth and dry matter distribution in soybean. **Agron. J.**, Madison, v.80, p.86-90, 1988.
- FEHR, W.R., CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development,** Ames: Iowa State University, 1977. 11p. (Special Report, 80).
- FINN, G.A., BRUN, W.A. Water stress effects on CO₂ assimilation, photosynthate partitioning, stomatal resistance, and nodule activity in soybean. **Crop Sci.**, New York, v.20, p.431-434, 1980.
- FOROUD, N., MÜNDEL, H.H., SAINDON, G. et al., Effect of level and timing of moisture stress on soybean yield, protein, and oil responses. **Field Crops Res.**, New York, v.31, p.195-209, 1993.
- FREITAS, A.J. Direito e outorga de uso de água. In: RECURSOS HÍDRICOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGRICULTURA. Brasília-DF: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa-MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p.15-36..
- GARRITY, D.P., WATTS, D.G., SULLIVAN, C.Y. et al. Moisture deficits and grain sorghum performance: Evapotranspiration-yield relationships. **Agron. J.**, Madison, v.74, p.815-820, 1982.
- HALE, M.G., ORCUTT, D.M. **The physiology of plants under stress.** New York: Academic Press, 1987. 206p.

- HARRIS, M., SMITH, D.L., MACKENDER, R.O. Growth analysis of soybean seedlings during the lifespan of the cotyledons. **Ann. Bot.**, London, v.57, p.69-79, 1986.
- HAY, R.K., WALKER, A.J. **An introduction to the physiology of crop yield.** London: Longman Scientific & Technical, 1989. 465p.
- HEITHOLT, J.J., EGLI, D.B., LEGGETT, J.E. et al. Role of assimilate and carbon-14 photosynthate partitioning in soybean reproductive abortion. **Crop Sci.**, New York, v.26, p.999-1004, 1986.
- HOOGENBOOM, G., PETERSON, C.M., HUCK, M.G. Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agron. J.**, Madison, v.79, p.598-607, 1987.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, New York, v.24, p.519-570, 1973.
- HUCK, M.G., ISHIHARA, K., PETERSON, C.M. et al. Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. **Plant Physiol.**, Rockville, v.73, p.422-427, 1983.
- HUNTER, J.R., ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agr. J.**, Madison, v.44, n.3, p.107-109, 1952.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis.** New York: Prentice Hall, 1958. 498p.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements.** New York: American Society of Civil Engineer, 1973. 215p.
- KATZ, R.W., GLANTZ, M.H. Rainfall statistics, droughts and desertification in the Sahel. In: GLANTZ, M.H. (Ed.) **Desertification.** Boulder: Westview Press, 1977. p.81-102.
- KAWAMITSU, Y., AGATA, W., MIURA, S. Effects of vapour pressure difference on CO₂ assimilation rate, leaf conductance and water use efficiency in grass species. **J. Fac. Agr. Kyushu Univ.**, Tokyo, v.31, p.1-10, 1987.
- KORTE, L.L., SPECHT, J.E., WILLIAMS, J.H. et al. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny II. Yield component responses. **Crop Sci.**, New York, v.23, p.528-533, 1983a.
- KORTE, L.L., WILLIAMS, J.H., SPECHT, J.E. et al. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses. **Crop Sci.**, New York, v.23, p.521-533, 1983b.

- KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.
- KRAMER, P.J., BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. London: Academic Press, 1995. 495p.
- LEVANTAMENTO sistemático da produção agrícola. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18, 1997, Uberlândia. **Ata e resumos...** Uberlândia: s.n., 1997. p.115.
- LINSLEY, R., KOHLER, M.A., PAULHUS, J.L.H. **Applied hidrology**. New York: McGraw-Hill, 1959. 451p.
- MILLAR, R.A., GARDNER, W.R. Effect of soil and plant water potentials of the dry matter production of snap beans. **Agron. J.**, Madison, v.64, p.559-561, 1972.
- MIYASAKA, S., MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. 1.063p.
- MOTA, F.S. **Soybean and weather**. Geneva-Switzerland: World Meteorological Organization, 1978. 498p.
- MUCHOW, R.C., SINCLAIR, T.R., BENNETT, J.M. et al. Response of leaf growth, leaf nitrogen, and stomatal conductance to water deficits during vegetative growth of field-grown soybean. **Crop Sci.**, New York, v.26, p.1190-1195, 1986.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. New York: Academic Press, 1991. 635p.
- PALEG, L.G., ASPINAL, D. **Drought resistance in plants**. Sidney: Academic Press, Australia, 1981.
- PASCALE, A.J. Agroclimatic types for soybean crop in Argentina. INTERNATIONAL BIOMETEOROLOGICAL CONGRESS, 3, 1969, Montreux, Switzerland. **Proceedings...** Montreux: s.n., 1969.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Trans. R. Soc. Aust.**, Sidney, v.64, p.114-118, 1940.
- ROSEGRANT, M.W. Water: A scarce resource. **Intern. Agric. Devel.**, New York, v.16, n.1, p.7-9, 1996.
- SEDIYAMA, T., GOMES, J.L.L., TEIXEIRA, R.C. et al. **'Capinópolis' ('UFV-16') Comportamento em Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 6p.1995. (Folder).

- SHAW, R.H., LAING, D.R. Moisture stress and plant response. In : PIERRE, W.H. et al. (Ed.) **Plants environment and effiience water use**. Madison: ASA, SSSA., 1965, p.73-94.
- SILVIUS, J.E., JOHNSON, R.R., PETERS, D.B. Effect of water stress on carbon assimilation and distribution in soybean plants at different stages of development. **Crop Sci.**, New York, v.17, p.713-716, 1977.
- SIONIT, N., KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agron. J.**, Madison, v.69, p.274-278, 1977.
- SLAVIK, B. **Methods of studying plant water relations**. Prague: Academy Publishing House of the Czechoslovak, 1974. 449p.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiol.**, Redwood: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991. 565p.
- TAYLOR, H.M., WILLATT, S.T. Shirinkage of soybean roots. **Agron. J.**, Madison, v.75, p.818-820, 1983.
- TEARE, I.D., SCHIMMELPFENNING, H., WALDREN, R.P. Rainout shelter and drainage lysimeters to quantitatively measure drought stress. **Agron. J.**, Madison, v.65, p.544-547, 1973.
- TETENS, O. Uber cinige meteorologische Begriffe. **Z. Geophys.**, New York, v.6, p.297-309, 1930.
- Van SCHAIK, P.II., PROBST, A.H. Effect of some environmental factors, on flower induction and reproductive efficiency in soybean. **Agron. J.**, Madison, v.50, n.2, p.192-197, 1958.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Valores médios de altura de inserção da primeira vagem (AIV1), altura final de plantas (AFPL) e número de ramos por planta (NUMRS)

Tratamento	AIV1	AFPL	NUMRS
IPTP	18,17 a	85,08 a	6,60 a
NIFV	17,85 a	84,02 a	7,65 a
NIFF	17,27 a	82,58 a	7,55 a
NIFG	18,87 a	83,32 a	6,35 a
NITP	17,70 a	75,82 a	6,70 a
Média	17,97	82,16	6,97

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Quadro 2A - Resumo da análise de variância dos dados de altura de inserção da primeira vagem (AIV1), altura final de plantas (AFPL) e número de ramos por planta (NUMRS)

FV	GL	Quadrados Médios		
		AIV1	AFPL	NUMRS
Blocos	1	7,9924	65,3825	0,1210
Tratamentos	4	0,7082 ns	26,8258 ns	0,6965 ns
Resíduo	4	1,3831	29,9477	1,6085
CV (%)		6,55	6,32	18,20

ns - Não-significativo.

Quadro 3A - Valores médios de distância entre os nós do caule principal (DNCP), distância entre os nós do grupo de nós de 1 a 6 (DN16), distância entre os nós do grupo de nós de 6 a 11 (DN611) e distância entre os nós do grupo de nós de 11 a 15 (DN1115)

Tratamento	DNCP	DN16	DN611	DN1115
IPTP	5,23 a	3,37 a	5,38 a	7,53 a
NIFV	5,09 a	3,09 a	5,26 a	7,68 a
NIFF	5,22 a	2,95 a	5,15 a	7,58 a
NIFG	5,02 a	3,00 a	5,10 a	7,68 a
NITP	4,79 a	3,36 a	5,20 a	7,55 a
Média	5,07	3,15	5,22	7,60

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Quadro 4A - Resumo da análise de variância dos dados de distância entre os nós do caule principal (DNCP), distância entre os nós do grupo de nós de 1 a 6 (DN16), distância entre os nós do grupo de nós de 6 a 11 (DN611) e distância entre os nós do grupo de nós de 11 a 15 (DN1115)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DNCP	DN16	DN611	DN1115
Blocos	1	0,4058	$0,2025 \cdot 10^{-1}$	$0,1225 \cdot 10^{-1}$	0,1823
Tratamentos	4	$0,6342 \cdot 10^{-1}$ ns	$0,7823 \cdot 10^{-1}$ ns	$0,2321 \cdot 10^{-1}$ ns	$0,9635 \cdot 10^{-2}$ ns
Resíduo	4	$0,5952 \cdot 10^{-1}$	$0,1795 \cdot 10^{-1}$	$0,5965 \cdot 10^{-1}$	$0,1788 \cdot 10^{-1}$
CV (%)		4,81	4,25	4,68	

ns - Não-significativo.

Quadro 5A - Valores médios de distância entre os nós do ramo 1 (DNR1), distância entre os nós do ramo 2 (DNR2), distância entre os nós do ramo 3 (DNR3) e distância entre os nós do ramo 4 (DNR4)

Tratamento	DNR1	DNR2	DNR3	DNR4
IPTP	8,77 a	8,52 a	8,38 a	7,61 a
NIFV	8,80 a	8,66 a	8,45 a	7,69 a
NIFF	8,62 a	8,81 a	8,37 a	7,59 a
NIFG	8,96 a	8,54 a	8,58 a	7,65 a
NITP	8,20 a	7,95 a	8,15 a	7,32 a
Média	8,67	8,50	8,39	7,57

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Quadro 6A - Resumo da análise de variância dos dados de distância entre os nós do ramo 1 (DNR1), distância entre os nós do ramo 2 (DNR2), distância entre os nós do ramo 3 (DNR3) e distância entre os nós do ramo 4 (DNR4)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DNR1	DNR2	DNR3	DNR4
Blocos	1	$0,9999 \cdot 10^{-5}$	2,1623	9,6432	7,5516
Tratamentos	4	0,1655 ns	0,2119 ns	$0,4886 \cdot 10^{-1}$ ns	$0,4256 \cdot 10^{-1}$ ns
Resíduo	4	0,1331	$0,5087 \cdot 10^{-1}$	$0,3940 \cdot 10^{-2}$	$0,9560 \cdot 10^{-2}$
CV (%)		4,21	2,66	0,75	1,29

ns - Não-significativo.

Quadro 7A - Valores médios de distância entre os nós do ramo 5 (DNR5), distância entre os nós do ramo 6 (DNR6), distância entre os nós do ramo 7 (DNR7) e distância entre os nós do ramo 8 (DNR8)

Tratamentos	DNR5	DNR6	DNR7	DNR8
IPTP	6,77 a	5,55 a	5,09 a	6,26 a
NIFV	6,90 a	5,64 a	5,28 a	4,77 a
NIFF	6,77 a	5,64 a	5,04 a	6,20 a
NIFG	6,83 a	6,27 a	4,96 a	6,23 a
NITP	6,68 a	5,32 a	4,75 a	5,90 a
Média	6,79	5,68	5,02	5,87

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Quadro 8A - Resumo da análise de variância dos dados de distância entre os nós do ramo 5 (DNR5), distância entre os nós do ramo 6 (DNR6), distância entre os nós do ramo 7 (DNR7) e distância entre os nós do ramo 8 (DNR8)

FV	GL	Quadrados Médios			
		DNR5	DNR6	DNR7	DNR8
Blocos	1	2,0521	20,6756	0,5476	13,6890
Tratamentos	4	$0,1332 \cdot 10^{-1}$ ns	0,2518 ns	$0,7426 \cdot 10^{-1}$ ns	0,7973 ns
Resíduo	4	$0,8165 \cdot 10^{-2}$	$0,4572 \cdot 10^{-1}$	$0,1948 \cdot 10^{-1}$	0,2968
CV (%)		1,33	3,76	2,78	9,28

ns - Não-significativo.

Quadro 9A - Valores médios de número de nós do caule principal (NNCP), número de nós do ramo 1 (NNR1), número de nós do ramo 2 (NNR2) e número de nós do ramo 3 (NNR3)

Tratamentos	NNCP	NNR1	NNR2	NNR3
IPTP	15,00 a	6,70 ab	6,10	5,30
NIFV	14,75 a	7,25 a	6,60	5,65
NIFF	15,25 a	6,25 ab	6,23	5,35
NIFG	15,05 a	5,90 b	6,20	5,11
NITP	14,75 a	6,70 ab	5,95	5,50
Média	14,96	6,56	6,22	5,44

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Quadro 10A - Resumo da análise de variância dos dados de número de nós do caule principal (NNCP), número de nós do ramo 1 (NNR1), número de nós do ramo 2 (NNR2) e número de nós do ramo 3 (NNR3)

FV	GL	Quadrados Médios			
		NNCP	NNR1	NNR2	NNR3
Blocos	1	0,3600.10 ⁻¹	0,1440	3,7823	6,5934
Tratamentos	4	0,9100.10 ⁻¹ ns	0,5235 *	0,1160 ns	0,3814.10 ⁻¹ ns
Resíduo	4	3,6599.10 ⁻¹	0,5150.10 ⁻¹	0,3600.10 ⁻¹	0,6044.10 ⁻¹
CV (%)		1,72	3,46	3,05	4,52

* Significativo a 5% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 11A - Valores médios de número de nós do ramo 4 (NNR4), número de nós do ramo 5 (NNR5), número de nós do ramo 6 (NNR6) e número de nós do ramo 7 (NNR7)

Tratamentos	NNR4	NNR5	NNR6	NNR7
IPTP	3,35	2,25	1,44 a	1,11 a
NIFV	3,00	2,05	1,11 b	1,10 a
NIFF	3,40	2,45	1,47 a	1,11 a
NIFG	3,43	2,14	1,37 ab	1,12 a
NITP	3,43	2,07	1,20 ab	1,00 a
Média	3,32	2,19	1,32	1,09

Em cada coluna, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Quadro 12A - Resumo da análise de variância dos dados de número de nós do ramo 4 (NNR4), número de nós do ramo 5 (NNR5), número de nós do ramo 6 (NNR6) e número de nós do ramo 7 (NNR7)

FV	GL	Quadrados Médios			
		NNR4	NNR5	NNR6	NNR7
Blocos	1	8,0640	3,6361	0,3481.10 ⁻¹	0,02304.10 ⁻¹
Tratamentos	4	0,6694.10 ⁻¹ ns	0,5356.10 ⁻¹ ns	0,4863.10 ⁻¹ *	0,4940.10 ⁻² ns
Resíduo	4	0,3214.10 ⁻¹	0,6739.10 ⁻²	0,3684.10 ⁻²	0,1854.10 ⁻¹
CV (%)		5,39	3,75	4,62	12,52

* Significativo a 5% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 13A - Resumo da análise de variância dos dados de número de vagens do caule principal (NVGPP), número de vagens dos ramos (NVGRS) e número de vagens total por planta (NVGT)

FV	GL	Quadrados Médios		
		NVGPP	NVGRS	NVGT
Blocos	1	55,2250	45,1988	200,3458
Tratamentos	4	29,0665 ns	98,6503 ns	211,1140 ns
Resíduo	4	24,1925	69,3785	133,0486
CV(%)		18,37	20,29	17,01

ns Não-significativo.

Quadro 14A - Resumo da análise de variância dos dados de número de grãos do caule principal (NGRPP), número de grãos dos ramos (NGRRS) e número de grãos total por planta (NGRT)

FV	GL	Quadrados Médios		
		NGRPP	NGRRS	NGRT
Blocos	1	214,3690	216,2249	861,1841
Tratamentos	4	131,0715 ns	345,2299 ns	803,7542 ns
Resíduo	4	65,1315	213,4285	393,7388
CV(%)		16,77	20,29	16,52

ns - Não-significativo.

Quadro 15A - Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase vegetativa (PMSRVG), partição de matéria seca para caule na fase vegetativa (PMSCVG) e partição de matéria seca para folhas na fase vegetativa (PMSFVG)

FV	GL	Quadrados Médios		
		PMSRVG	PMSCVG	PMSFVG
Blocos	1	21,6891	32,0886	1,0151
Tratamentos	4	2,3981 ns	2,0696 ns	1,9315 ns
Resíduo	4	7,9622	5,9774	2,5291
CV(%)		15,86	5,58	4,15

ns - Não-significativo.

Quadro 16A - Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase de florescimento (PMSRFR), partição de matéria seca para caule na fase de florescimento (PMSCFR), partição de matéria seca para folhas na fase de florescimento (PMSFFR), partição de matéria seca para flores na fase de florescimento (PMSFRFR) e partição de matéria seca para vagens na fase de florescimento (PMSVFR)

FV	GL	Quadrados Médios				
		PMSRFR	PMSCFR	PMSFFR	PMSFRFR	PMSVFR
Blocos	1	7,0122	7,1995	4,0142	0,5080	7,1887
Tratamentos	4	1,3600 ns	11,1622 ns	2,4372 ns	0,3475 ns	0,2003 ns
Resíduo	4	5,1601	3,8853	3,4891	0,03546	2,9968
CV(%)		18,07	3,78	5,95	38,21	76,16

ns - Não-significativo.

Quadro 17A - Resumo da análise de variância dos dados de partição de matéria seca para raiz na fase de enchimento de grãos (PMSRGR), partição de matéria seca para caule na fase de enchimento de grãos (PMSCGR), partição de matéria seca para folhas na fase de enchimento de grãos (PMSFGR), partição de matéria seca para flores na fase de enchimento de grãos (PMSFRGR) e partição de matéria seca para vagens na fase de enchimento de grãos (PMSVGR)

FV	GL	Quadrados Médios				
		PMSRGR	PMSCGR	PMSFGR	PMSVGR	PMSGRGR
Blocos	1	0,1148	12,6536	4,0450	5,5126	57,4178
Tratamentos	4	6,2969 ns	5,2373 ns	4,2976 ns	6,9660 ns	11,7580 ns
Resíduos	4	2,7694	2,5953	4,7370	1,5724	12,2416
CV(%)		16,70	5,17	60,07	6,82	9,48

ns - Não-significativo.

Quadro 18 A - Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de matéria seca total

FV	GL	QM
Blocos	1	288,8558
Tratamentos	4	72,1136 ns
Resíduo-A	4	148,8211
GD	10	2.147,3680 **
Devido à regressão	2	10.476,1200 **
Independente	8	65,1800 *
T x GD	40	17,3086 ns
GD/IPTP	10	442,1498 **
Devido à regressão	2	2.149,1020 **
Independente	8	15,4118 ns
GD/NIFV	10	472,5283 **
Devido à regressão	2	2.267,5760 **
Independente	8	23,7664 ns
GD/NIFF	10	464,7702 **
Devido à regressão	2	2.196,5800 **
Independente	8	31,8178 ns
GD/NIFG	10	495,7870 **
Devido à regressão	2	2.421,2540 **
Independente	8	14,4202 ns
GD/NITP	10	341,3667 **
Devido à regressão	2	1.545,5104 **
Independente	8	40,3308 ns
Resíduo-B	50	24,0333
CV parcela (%)		52,99
CV subparcela (%)		21,30

** Significativo a 1% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 19A - Valores médios de matéria seca total

GD	Tratamentos					Média
	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP	
463,3	2,79	1,87	2,32	2,40	3,18	2,51
556,8	5,28	3,59	4,81	4,15	4,36	4,44
658,5	9,31	7,65	8,64	10,70	7,68	8,80
752,6	18,26	12,37	16,31	12,94	14,61	14,90
853,6	21,97	18,96	16,60	18,88	16,49	18,58
946,1	25,13	20,42	24,35	27,79	20,68	23,67
1041,1	32,63	21,83	20,48	28,33	17,86	24,23
1117,3	36,35	37,27	26,15	30,53	29,37	31,93
1198,9	43,18	39,60	41,02	41,99	38,43	40,84
1282,9	48,26	38,85	44,52	45,11	39,53	43,25
1374,6	43,58	43,98	44,65	45,20	33,21	42,12
Média	26,07 A	22,40 A	22,71 A	24,36 A	20,49 A	23,21

Na linha, as médias seguidas de pelo menos uma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Quadro 20A - Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de índice de área foliar (IAF)

FV	GL	QM
Blocos	1	10,6648
Tratamentos	4	5,3618 ns
Resíduo-A	4	2,1915
GD	11	20,3281 **
Devido à regressão	2	101,7065 **
Independente	9	2,2440 ns
T x GD	44	0,6091 ns
GD/IPTP	(11)	6,2835 **
Devido à regressão	2	31,0094 **
Independente	9	0,7888 ns
GD/NIFV	(11)	4,2501 **
Devido à regressão	2	18,9592 **
Independente	9	0,9814 ns
GD/NIFF	(11)	4,1323 **
Devido à regressão	2	17,8990 **
Independente	9	1,0730 ns
GD/NIFG	(11)	5,6658 **
Devido à regressão	2	27,7932 **
Independente	9	0,7486 ns
GD/NITP	(11)	2,4327 **
Devido à regressão	2	11,2802 **
Independente	9	0,4666 ns
Resíduo-B	55	0,8816
CV parcela (%)		50,06
CV subparcela (%)		31,75

** Significativo a 1% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 21A - Valores médios de IAF

GD	Tratamentos					Média
	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP	
463,3	0,73	0,84	1,09	1,07	1,13	0,97
556,8	1,38	1,11	1,46	1,22	1,39	1,31
658,5	2,35	1,58	2,07	2,56	1,65	2,04
752,6	5,16	2,94	4,85	3,21	2,68	3,77
853,6	4,97	4,08	4,33	4,53	3,24	4,23
946,1	4,84	4,19	4,89	5,59	3,56	4,61
1041,1	5,53	3,82	3,95	4,01	2,61	3,98
1117,3	4,36	4,77	4,02	4,91	3,42	4,30
1198,9	4,18	3,68	4,37	3,75	3,48	3,89
1282,9	3,34	2,66	3,98	3,26	2,09	3,07
1374,6	3,18	3,44	4,01	2,10	1,39	2,82
1468,2	0,49	0,45	1,32	0,02	0,16	0,49
Média	3,38 A	2,80 A	3,36 A	3,02 A	2,23 A	2,96

Na linha, as médias seguidas de pelo menos uma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Quadro 22A - Resumo da análise de variância e da regressão dos dados da produtividade de grãos, em toneladas por hectare e do peso de 100 grãos, em gramas

FV	GL	Quadrados Médios	
		Produção	Peso de 100 Grãos
Blocos	1	7,4303	45,1450
Tratamentos	5	6,5481 **	19,3248 **
Resíduo	5	0,5896	2,1471
CV (%)	1	26,21	10,66

** Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 23A - Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de evolução do índice de colheita (IC)

FV	GL	QM
Blocos	1	130,0891
Tratamentos	4	46,5151 ns
Resíduo-A	4	89,3802
GD	(6)	2.711,6360 **
Devido à regressão	2	8.120,1860 **
Independente	4	7,3610 ns
T x GD	24	19,9819 ns
GD/IPTP	(6)	621,5426 **
Devido à regressão	2	1.828,5882 **
Independente	4	18,0198 ns
GD/NIFV	(6)	685,4012 **
Devido à regressão	2	1.988,9080 **
Independente	4	33,6478 ns
GD/NIFF	(6)	534,9303 **
Devido à regressão	2	1.573,8844 **
Independente	4	15,4532 ns
GD/NIFG	(6)	537,0957 **
Devido à regressão	2	1.590,3398 **
Independente	4	10,4736 ns
GD/NITP	(6)	412,5939 **
Devido à regressão	2	1.229,5744 **
Independente	4	4,1036 ns
Resíduo-B	30	13,1470
CV parcela (%)		48,99
CV subparcela (%)		18,79

** Significativo a 1% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 24A - Valores médios de IC

GD	Tratamentos					Média
	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP	
1041,1	0,97	0,78	0,40	0,26	0,25	0,53
1117,3	4,99	8,87	1,49	1,19	2,46	3,80
1198,9	9,24	12,87	7,75	11,09	7,77	9,74
1282,9	13,13	13,18	17,18	19,17	16,13	15,76
1374,6	24,84	26,06	22,99	25,70	23,51	24,62
1468,2	35,83	40,49	40,16	35,24	34,31	37,21
1500,0	48,99	51,96	38,38	42,92	34,83	43,42
Média	19,71 A	22,03 A	18,34 A	19,37 A	17,04 A	19,30

Na linha, as médias seguidas de pelo menos uma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Quadro 25A - Resumo da análise de variância e da regressão dos dados de número de flores (NUMFLOR)

	FV	GL	QM
Blocos		1	851,3137
Tratamentos		4	795,8951 ns
Resíduo-A		4	1.422,1130
Época		8	62.826,9308 **
Devido à regressão		2	243.276,0000 **
Independente		6	2.677,2410 **
T x E		32	54,3961 ns
E/IPTP		(8)	11.946,6910 **
Devido à regressão		2	46.057,2400 **
Independente		6	576,5080 **
E/NIFV		(8)	11.984,7656 **
Devido à regressão		2	46.232,6400 **
Independente		6	568,8074 **
E/NIFF		(8)	12.971,5344 **
Devido à regressão		2	50.085,6400 **
Independente		6	600,1658 **
E/NIFG		(8)	11.066,6690 **
Devido à regressão		2	43.153,8200 **
Independente		6	370,9520 **
E/NITP		(8)	15.074,8499 **
Devido à regressão		2	58.500,9000 **
Independente		6	599,4998 **
Resíduo-B		40	96,1917
CV parcela (%)			27,72
CV subparcela (%)			7,21

** Significativo a 1% de probabilidade.

ns Não-significativo.

Quadro 26A - Valores médios de NUMFLOR

Época	Tratamentos					Média
	IPTP	NIFV	NIFF	NIFG	NITP	
53	15,9	13,3	15,6	17,2	12,1	14,82
55	37,7	33,2	36,6	37,2	38,0	36,54
58	61,7	58,1	62,3	62,9	68,0	62,60
60	127,7	119,2	128,9	116,4	131,6	124,76
62	168,7	164,1	172,4	155,1	182,1	168,48
65	187,2	181,5	189,7	175,5	205,3	187,84
67	196,6	195,9	204,1	193,4	218,3	201,66
70	206,8	204,3	215,4	202,9	229,4	211,76
72	211,8	207,4	219,2	208,8	232,1	215,86
74	213,9	208,7	222,3	211,5	235,7	218,42
78	216,9	208,8	222,7	211,6	236,5	219,30
80	216,9	208,9	222,7	211,6	236,9	210,40
82	218,0	209,0	222,7	211,6	237,0	219,66
84	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
87	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
90	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
93	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
96	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
99	218,0	209,0	223,0	211,6	237,0	219,72
Média	178,31 A	171,92 A	182,77 A	172,91 A	193,95 A	179,97

Na linha, as médias seguidas de pelo menos uma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Quadro 27A - Tabela de DAE (dia após a emergência), DAS (dia após a semeadura), data, temperatura, GD (graus-dia) e fases da cultura durante o ciclo cultivo

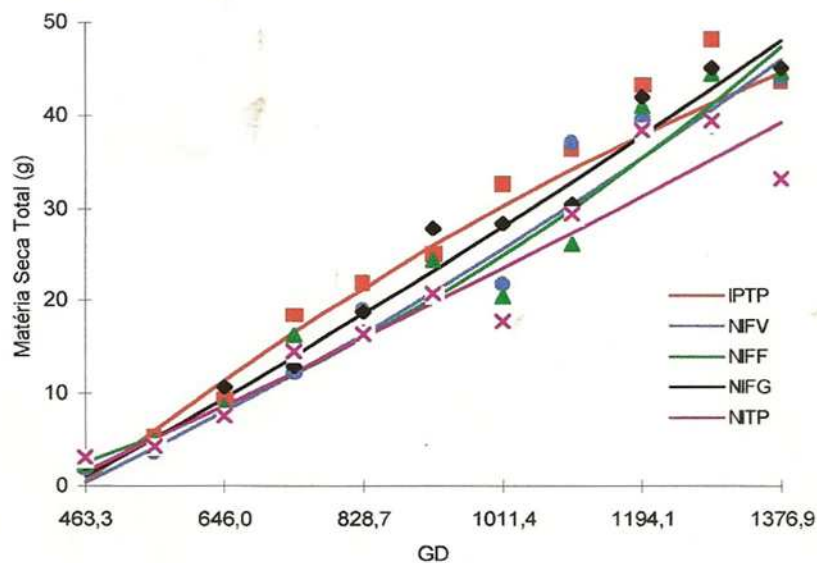
DAE	DAS	DATA	Tméd.	Tméd.-tb	GD	FASES
.	0	8	22,4	12,4	12,4	Plantio
.	1	9	21,8	11,8	24,2	
.	2	10	20,0	10,0	34,2	
.	3	11	21,2	11,2	45,4	
.	4	12	21,7	11,7	57,1	
0	5	13	21,8	11,8	68,9	Emergência
1	6	14	19,0	9,0	77,9	
2	7	15	20,2	10,2	88,1	
3	8	16	22,2	12,2	100,3	
4	9	17	23,0	13,0	113,3	
5	10	18	23,0	13,0	126,3	
6	11	19	22,0	12,0	138,3	
7	12	20	22,2	12,2	150,5	
8	13	21	23,3	13,3	163,8	
9	14	22	22,9	12,9	176,7	
10	15	23	21,6	11,6	188,3	
11	16	24	22,4	12,4	200,7	
12	17	25	22,6	12,6	213,3	
13	18	26	21,1	11,1	224,4	
14	19	27	21,7	11,7	236,1	
15	20	28	21,7	11,7	247,8	
16	21	29	21,3	11,3	259,1	
17	22	30	22,4	12,4	271,5	
18	23	31	22,4	12,4	283,9	
19	24	1	21,0	11,0	294,9	
20	25	2	21,6	11,6	306,5	
21	26	3	21,4	11,4	317,9	
22	27	4	22,2	12,2	330,1	
23	28	5	23,4	13,4	343,5	
24	29	6	22,6	12,6	356,1	
25	30	7	23,6	13,6	369,7	
26	31	8	22,3	12,3	382,0	Aplic. TRAT.
27	32	9	21,7	11,7	393,7	
28	33	10	21,7	11,7	405,4	
29	34	11	20,4	10,4	415,8	
30	35	12	19,0	9,0	424,8	
31	36	13	21,4	11,4	436,2	
32	37	14	23,3	13,3	449,5	
33	38	15	24,1	14,1	463,6	
34	39	16	22,1	12,1	475,7	
35	40	17	21,8	11,8	487,5	
36	41	18	24,3	14,3	501,8	
37	42	19	24,9	14,9	516,7	
38	43	20	23,9	13,9	530,6	

Quadro 27A, Cont.

DAE	DAS	DATA	Tméd.	Tméd.-tb	GD	FASES
39	44	21	23,5	13,5	544,1	
40	45	22	22,7	12,7	556,8	
41	46	23	24,5	14,5	571,3	
42	47	24	25,0	15,0	586,3	
43	48	25	25,0	15,0	601,3	
44	49	26	25,2	15,2	616,5	
45	50	27	23,2	13,2	629,7	
46	51	28	24,4	14,4	644,1	
47	52	29	24,4	14,4	658,5	
48	53	30	24,3	14,3	672,8	
49	54	31	24,2	14,2	687,0	
50	55	1	25,0	15,0	702,0	Flor.
51	56	2	21,0	11,0	713,0	
52	57	3	23,5	13,5	726,5	
53	58	4	22,8	12,8	739,3	
54	59	5	23,3	13,3	752,6	
55	60	6	22,9	12,9	765,5	
56	61	7	23,9	13,9	779,4	
57	62	8	24,4	14,4	793,8	
58	63	9	25,0	15,0	808,8	
59	64	10	25,1	15,1	823,9	
60	65	11	24,8	14,8	838,7	
61	66	12	24,9	14,9	853,6	
62	67	13	23,4	13,4	867,0	
63	68	14	23,0	13,0	880,0	
64	69	15	23,9	13,9	893,9	
65	70	16	23,2	13,2	907,1	
66	71	17	22,5	12,5	919,6	
67	72	18	23,5	13,5	933,1	
68	73	19	23,0	13,0	946,1	
69	74	20	24,6	14,6	960,7	EGr.
70	75	21	21,8	11,8	972,5	
71	76	22	23,4	13,4	985,9	
72	77	23	23,6	13,6	999,5	
73	78	24	24,6	14,6	1014,1	
74	79	25	24,0	14,0	1028,1	
75	80	26	23,0	13,0	1041,1	
76	81	27	21,9	11,9	1053,0	
77	82	28	22,5	12,5	1065,5	
78	83	29	22,4	12,4	1077,9	
79	84	1	22,9	12,9	1090,8	
80	85	2	23,2	13,2	1104,0	
81	86	3	23,3	13,3	1117,3	
82	87	4	23,8	13,8	1131,1	
83	88	5	24,3	14,3	1145,4	
84	89	6	24,1	14,1	1159,5	

Quadro 27A, Cont.

DAE	DAS	DATA	Tméd.	Tméd.-tb	GD	FASES
85	90	7	22,8	12,8	1172,3	
86	91	8	22,8	12,8	1185,1	
87	92	9	23,8	13,8	1198,9	
88	93	10	21,0	11,0	1209,9	
89	94	11	21,2	11,2	1221,1	
90	95	12	21,5	11,5	1232,6	
91	96	13	22,0	12,0	1244,6	
92	97	14	22,8	12,8	1257,4	
93	98	15	23,3	13,3	1270,7	
94	99	16	22,2	12,2	1282,9	
95	100	17	23,6	13,6	1296,5	
96	101	18	23,9	13,9	1310,4	
97	102	19	23,1	13,1	1323,5	
98	103	20	23,1	13,1	1336,6	
99	104	21	22,1	12,1	1348,7	
100	105	22	22,6	12,6	1361,3	
101	106	23	23,3	13,3	1374,6	
102	107	24	23,2	13,2	1387,8	
103	108	25	23,7	13,7	1401,5	
104	109	26	23,7	13,7	1415,2	
105	110	27	24,4	14,4	1429,6	
106	111	28	23,3	13,3	1442,9	
107	112	29	22,8	12,8	1455,7	
108	113	30	22,5	12,5	1468,2	
109	114	31	23,5	13,5	1481,7	
110	115	1	23,6	13,6	1495,3	
111	116	2	21,9	11,9	1507,2	
112	117	3	22,1	12,1	1519,3	
113	118	4	22,2	12,2	1531,5	
114	119	5	21,4	11,4	1542,9	
115	120	6	20,8	10,8	1553,7	Mat. Fisiol.



$$\text{IPTP} \rightarrow \hat{Y} = -32,2860 + 0,07815 **X - 0,00001619 **X^2 \quad R^2 = 0,972$$

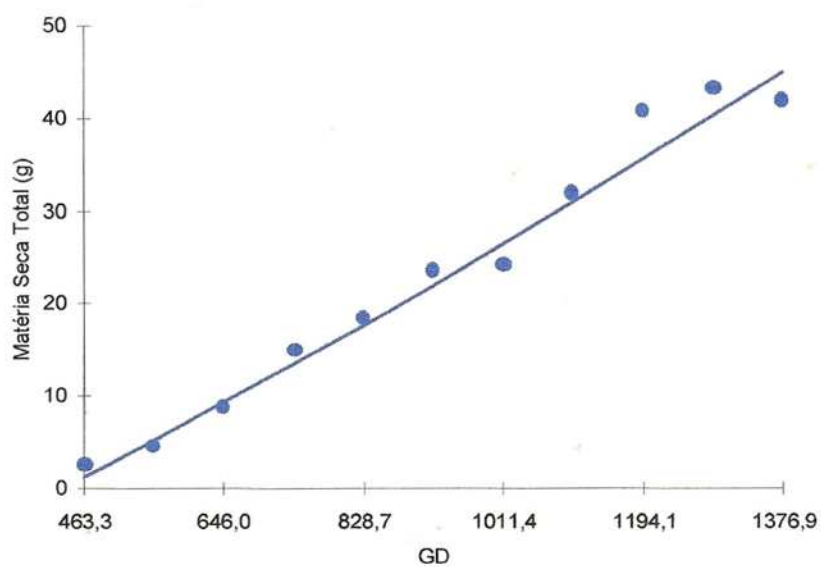
$$\text{NIFV} \rightarrow \hat{Y} = -15,7041 + 0,02974 **X + 0,00001095 **X^2 \quad R^2 = 0,960$$

$$\text{NIFF} \rightarrow \hat{Y} = -5,6410 + 0,007491 **X + 0,00002250 **X^2 \quad R^2 = 0,945$$

$$\text{NIFG} \rightarrow \hat{Y} = -18,9657 + 0,04022 **X + 0,000006175 **X^2 \quad R^2 = 0,976$$

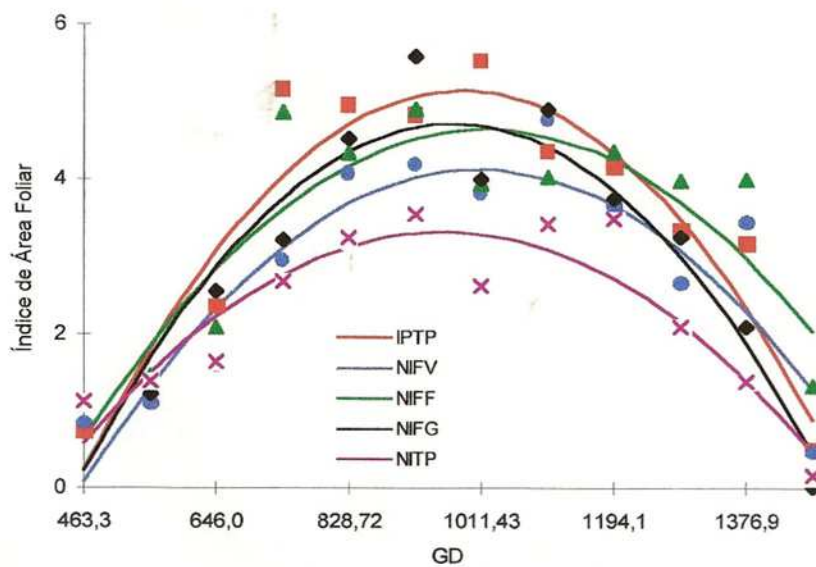
$$\text{NTP} \rightarrow \hat{Y} = -15,4693 + 0,03536 **X + 0,000003183 **X^2 \quad R^2 = 0,906$$

Figura 1A - Evolução da matéria seca total para cada tratamento.



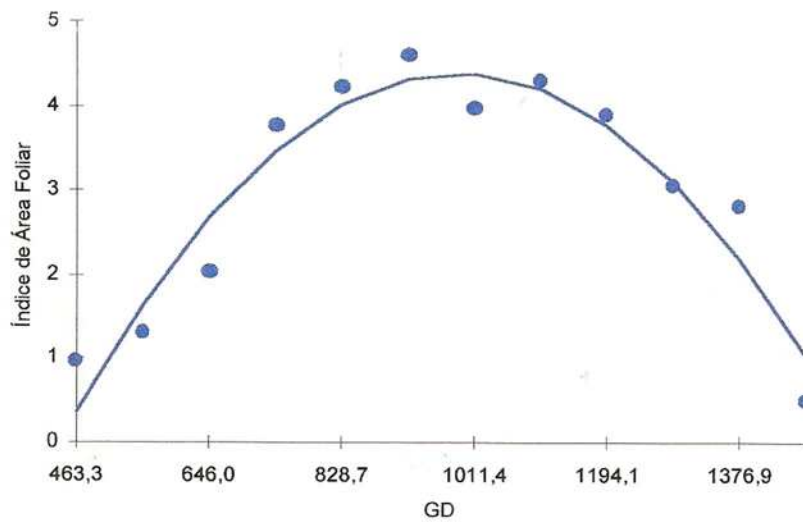
$$\hat{Y} = -17,6133 + 0,03819 **X + 0,000005323 **X^2 \quad R^2 = 0,976$$

Figura 2A - Matéria seca total, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si.



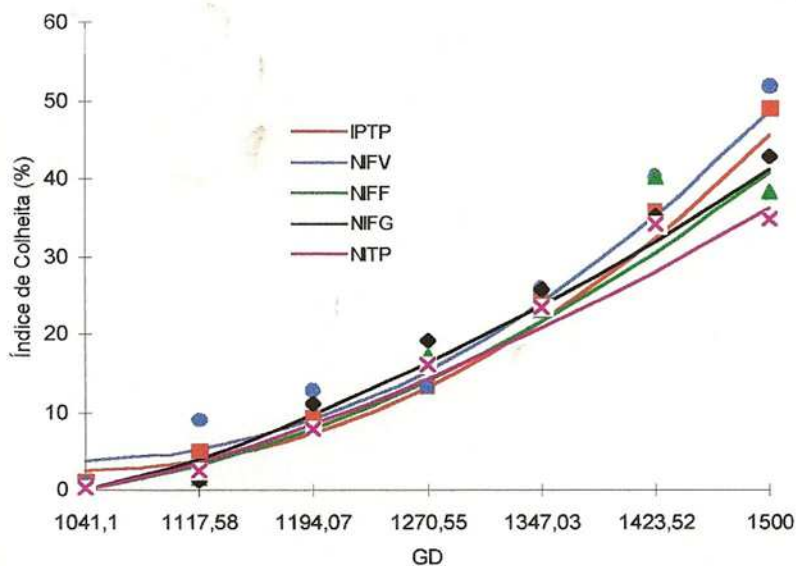
IPTP → $\hat{Y} = -12,3683 + 0,03561**X - 0,00001810**X^2$	$R^2 = 0,897$
NIFV → $\hat{Y} = -9,7189 + 0,02743**X - 0,00001358**X^2$	$R^2 = 0,811$
NIFF → $\hat{Y} = -8,7799 + 0,02635**X - 0,00001293**X^2$	$R^2 = 0,788$
NIFG → $\hat{Y} = -11,6137 + 0,03358**X - 0,00001727**X^2$	$R^2 = 0,892$
NITP → $\hat{Y} = -6,8597 + 0,02118**X - 0,00001102**X^2$	$R^2 = 0,843$

Figura 3A - Evolução do índice de área foliar para cada tratamento.



$$\hat{Y} = -9,8681 + 0,02883 ** X - 0,00001458 ** X^2 \quad R^2 = 0,909$$

Figura 4A - Índice de área foliar, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si.



$$\text{IPTP} \rightarrow \hat{Y} = 225,0390 - 0,4273 **X + 0,0002051 **X^2 \quad R^2 = 0,981$$

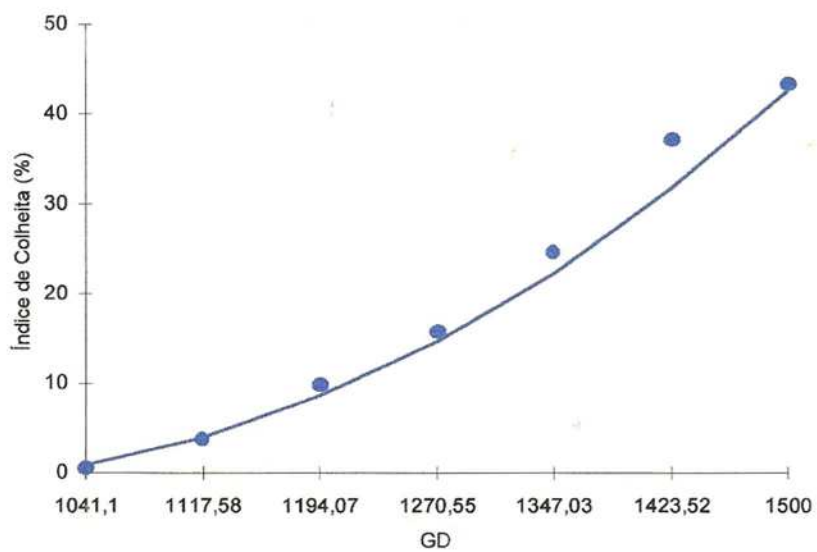
$$\text{NIFV} \rightarrow \hat{Y} = 223,9890 - 0,4266 **X + 0,0002065 **X^2 \quad R^2 = 0,967$$

$$\text{NIFF} \rightarrow \hat{Y} = 89,8987 - 0,2092 **X + 0,0001177 **X^2 \quad R^2 = 0,981$$

$$\text{NIFG} \rightarrow \hat{Y} = 21,0942 - 0,09941 **X + 0,00007522 **X^2 \quad R^2 = 0,987$$

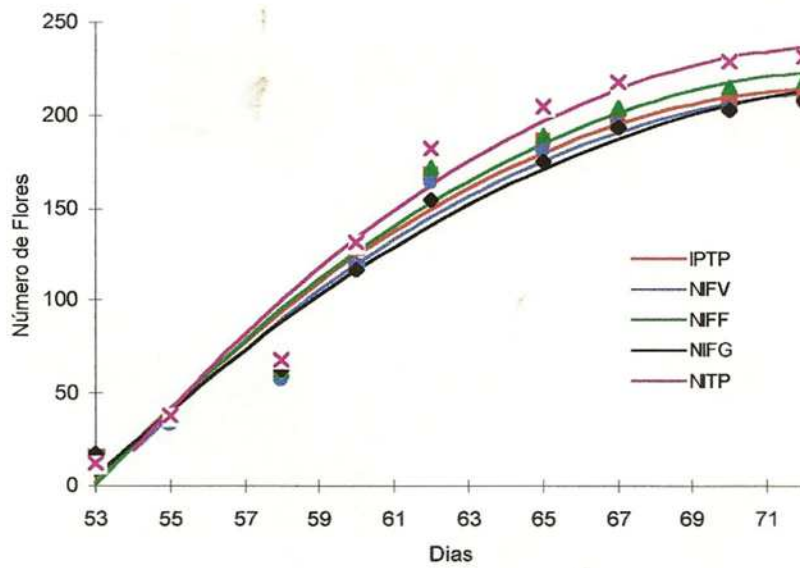
$$\text{NITP} \rightarrow \hat{Y} = 23,6169 - 0,09542 **X + 0,00006926 **X^2 \quad R^2 = 0,993$$

Figura 5A - Índice de colheita para cada tratamento, ao longo da fase de enchimento de grãos.



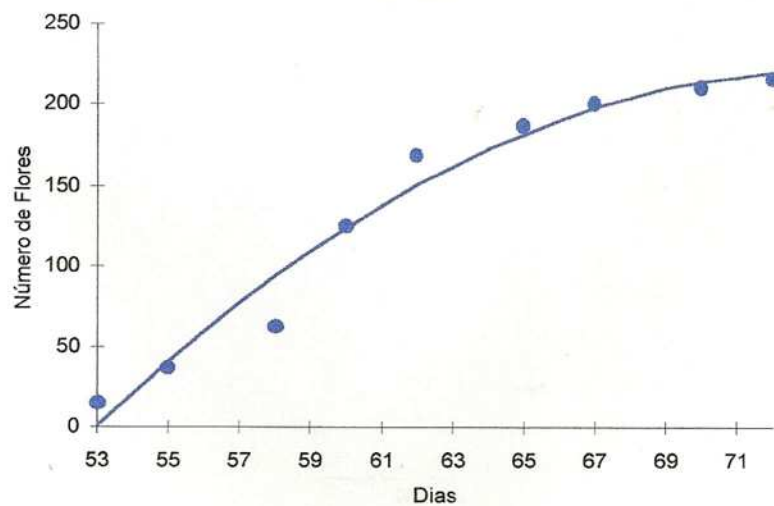
$$\hat{Y} = 116,7280 - 0,2516 **X - 0,0001348 **X^2 \quad R^2 = 0,998$$

Figura 6A - Índice de colheita, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si.



IPTP	$\hat{Y} = -2605,45 + 77,1587 **X - 0,5277 **X^2$	$R^2 = 0,964$
NIFV	$\hat{Y} = -2527,80 + 74,4640 **X - 0,5057 **X^2$	$R^2 = 0,964$
NIFF	$\hat{Y} = -2603,10 + 76,6620 **X - 0,5195 **X^2$	$R^2 = 0,966$
NIFG	$\hat{Y} = -2164,15 + 62,9860 **X - 0,4162 **X^2$	$R^2 = 0,974$
NITP	$\hat{Y} = -2873,12 + 84,7055 **X - 0,5765 **X^2$	$R^2 = 0,970$

Figura 7A - Número de flores para cada tratamiento.



$$\hat{Y} = -2551,71 + 75,1947 **X - 0,5091 **X^2 \quad R^2 = 0,968$$

Figura 8A - Número de flores, considerando todos os tratamentos sem diferenças significativas entre si.