

NÍVEIS DE TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO E SUSPENSÃO DA IRRIGAÇÃO
EM TRÊS PERÍODOS DE CRESCIMENTO DO TRIGO (*Triticum aestivum*, L.)
IRRIGADO EM SOLO DE CERRADO: EFEITO SOBRE A PRODUTIVIDADE,
COMPONENTES DA PRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E USO DE ÁGUA

JUSCELINO ANTONIO DE AZEVEDO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1988

A994n Azevedo, Juscelino Antonio de
Níveis de tensão de água no solo e suspensão da irrigação em três períodos de crescimento do trigo (*Triticum aestivum* L.) irrigado em solo de cerrado; efeito sobre a produtividade, componentes da produção, desenvolvimento e uso de água. Piracicaba, 1988.

157p.

Tese - ESALQ,
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Cerrado - Solo 3. Irrigação
4. Trigo - Crescimento 5. Trigo - Irrigação I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 633.11

NÍVEIS DE TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO E SUSPENSÃO DA IRRIGAÇÃO
EM TRÊS PERÍODOS DE CRESCIMENTO DO TRIGO (*Triticum aestivum*, L.)
IRRIGADO EM SOLO DE CERRADO: EFEITO SOBRE A PRODUTIVIDADE,
COMPONENTES DA PRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E USO DE ÁGUA

JUSCELINO ANTONIO DE AZEVEDO

Aprovada em: 10.08.88

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta	ESALQ/USP
Prof. Dr. Geraldo Victorino de França	ESALQ/USP
Prof. Dr. Francisco de A. Ferraz de Mello	ESALQ/USP
Dr. Waldo Espinoza Garrido	IICA/CODEVASF
Dr. Júlio Cezar A.J. de Magalhães	EMBRAPA/CPAC



Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta
Orientador

DEDICATÓRIA

À minha mãe Cecília, pelo desprendimento, força, diligência, sabedoria e sobretudo pelo imenso amor que alicerçaram o nosso contínuo aprendizado.

Ao meu inesquecível pai Esmeraldino, cuja força de caráter constituiu-se em marca indelével, transmitindo nobre exemplo, impossível de reproduzir.

À minha querida tia Mafalda, educadora provada, o meu reconhecimento pelas primeiras letras.

À Maria Lúcia, Leandro e Maria Cecília, razões maiores para viver construindo,

ofereço este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao mestre Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta, pela competente orientação, confiança, amizade e apoio demonstrados durante todas as fases do curso.

Aos Doutores França, Francisco Mello, Waldo e Júlio Cezar, pelas valiosas e construtivas sugestões formuladas.

À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), através do CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados e do DRH (Departamento de Recursos Humanos), pelo sempre oportuno e eficiente apoio oferecido.

À ESALQ/USP (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e Universidade de São Paulo), através do DSGF (Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes), pelos ensinamentos recebidos e amizade de seus professores.

A todos os colegas do CPAC, e em especial a Euzébio, Guerra, Elias, Dotto, Vilela, Edson Jair, Castelo, Gustavo, Antonio, Luiz Hernan, Djalma e Dilermando, que durante o desenvolvimento do trabalho emprestaram suas colaborações.

Aos Técnicos Agrícolas Edmar e Lúcio e a todos os Operários Rurais do Setor de Solos e Trigo do CPAC, especialmente a Cândido, Waldemar e Joaquim, pela ajuda dedicada e pontual nos trabalhos de campo e laboratório.

Enfim, a todas as pessoas e amigos, inclusive do Programa Nacional de Irrigação, que, de alguma forma, contribuíram para que esta pesquisa viesse a lume, externo os meus sinceros agradecimentos.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xviii
SUMMARY	xx
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Considerações gerais	7
2.2. Trabalhos no Brasil	9
2.3. Trabalhos no exterior	12
2.3.1. Efeitos sobre o rendimento e componentes do rendimento	12
2.3.2. Efeitos sobre o uso de água	15
2.3.3. Efeitos sobre medidas de crescimento ...	21
2.3.4. Sensibilidade dos estádios de crescimen- to ao déficit hídrico	23

3. METODOLOGIA	26
3.1. Localização, clima e solo	26
3.2. Métodos de campo	27
3.2.1. Adubação verde e amostragem de solo	27
3.2.2. Adubação do solo	29
3.2.3. Estabelecimento dos tratamentos e deli neamento experimental	29
3.2.4. Plantio e condução da cultura	32
3.2.5. Controle, cálculo e aplicação das irri- gações	34
3.2.6. Condutividade hidráulica do solo não saturado.	37
3.2.7. Balanço hídrico	37
3.2.8. Outras medidas de evapotranspiração	40
3.2.9. Extração de água por raízes	41
3.2.10. Produtividade de grãos e matéria seca ...	43
3.2.11. Componentes da produção	44
3.3. Métodos de laboratório	45
3.3.1. Características físico-hídricas do solo..	45
3.3.1.1. Capacidade de retenção de água..	45
3.3.1.2. Permeabilidade sob carga cons- tante	46
3.3.1.3. Análise granulométrica	47

3.3.1.4. Densidades, porosidades e resistência à penetração	48
3.3.2. Análises de fertilidade do solo	49
3.3.3. Crescimento da cultura	49
3.3.3.1. Fases ou estádios de desenvolvimento	49
3.3.3.2. Altura de plantas	50
3.3.3.3. Índice de área foliar.....	50
3.3.3.4. Número de perfilhos por planta.	51
3.3.3.5. Efetividade e mortalidade de perfilhos	51
3.3.3.6. Análise quantitativa de raízes	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. Condições de clima	54
4.2. Características químicas do solo	56
4.3. Características físico-hídricas do solo	58
4.3.1. Granulometria e classificação textural .	58
4.3.2. Densidades, porosidades, resistência à penetração e permeabilidade	60
4.3.3. Capacidade de retenção de água e água disponível	63
4.3.4. Condutividade hidráulica	78

4.4. Produtividade e componentes da produção	81
4.4.1. Produtividade	81
4.4.2. Componentes da produção	86
4.5. Desenvolvimento e uso de água	92
4.5.1. Desenvolvimento	92
4.5.1.1. Estádios de desenvolvimento ...	92
4.5.1.2. Altura de plantas	94
4.5.1.3. Índice de área foliar	97
4.5.1.4. Perfilhamento	101
4.5.1.5. Crescimento de raízes	109
4.5.2. Uso de água	114
4.5.2.1. Água aplicada	114
4.5.2.2. Água evapotranspirada	120
4.5.2.3. Eficiência de uso de água	131
5. CONCLUSÕES	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
APÊNDICE	150

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Curva característica de umidade em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	64
FIGURA 2. Esgotamento da água disponível como função da tensão de água, determinada através de dois métodos de laboratório, em diferentes intervalos de profundidade de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	75
FIGURA 3. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado, obtidas por três métodos de determinação.	76
FIGURA 4. Condutividade hidráulica como função da umidade volumétrica, em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	79

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Descrição dos tratamentos, mostrando as tensões (bar) pré-estabelecidas para controle da irrigação a 10 cm de profundidade do solo em 3 estádios de crescimento do trigo.....	31
TABELA 2 - Parâmetros climáticos registrados no CPAC, durante o período experimental (maio a setembro de 1984), comparados a médias de 35 anos no município de Formosa(GO).	55
TABELA 3 - Características químicas do Latossolo Vermelho Escuro na área experimental	57
TABELA 4 - Distribuição granulométrica, classificação textural e índice de floculação do Latossolo Vermelho Escuro da área experimental.....	59
TABELA 5 - Densidade aparente, densidade real, porosidade total, microporosidade, macro-	

- croporosidade, porosidade de aeração, resistência à penetração e permeabilidade em diferentes profundidades do Latossolo Vermelho Escuro argiloso utilizado no experimento.61
- TABELA 6 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) à diferentes tensões, desde 0,06 até 15 atmosferas, para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa de cerrado.....65
- TABELA 7 - Modelos de ajuste das curvas de retenção de água, desde 0,06 até 15 atmosferas, obtidas com o equipamento de pressão de Richards para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.66
- TABELA 8 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) a diferentes tensões, determinada pelo método da centrífuga (Russel e Richards 1938) até 1 atm e pelas panelas - 8 e 15 atm - em várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.67

TABELA 9 - Modelos de ajuste das curvas de retenção de água com dados até 1 atm, da centrífuga, e de 8 e 15 atm, do equipamento de pressão.....	68
TABELA 10 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) a diferentes tensões, desde 0,06 até 15 atm, em várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	69
TABELA 11 - Modelos de ajuste dos dados de retenção de água obtidos através do método do fatiamento de FREITAS JÚNIOR & SILVA (1984), para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	70
TABELA 12 - Capacidade de armazenamento (A) até 15 atm e déficit de água (da) em mm como função da tensão de água em intervalos de profundidade até 120 cm de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	72
TABELA 13 - Percentagem de água disponível e de seu esgotamento (entre parênteses) como	

função da tensão de água no solo, em diferentes intervalos de profundidade de um LE argiloso de cerrado (dados da centrífuga).	77
TABELA 14 - Relações ajustadas entre condutividade hidráulica (cm/h) e conteúdo de umidade volumétrico (cm ³ /cm ³), determinada no campo, em Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.	80
TABELA 15 - Rendimento de grãos e de matéria seca e componentes do rendimento de trigo, variedade BR-10 Formosa, submetida a diferentes combinações de tensão de água no solo em 3 períodos de desenvolvimento.	82
TABELA 16 - Médias de rendimento e componentes do rendimento de trigo, variedade BR-10, por período do ciclo, irrigado em dois valores pré-estabelecidos de tensão (0,6 e 3,0 atm).	91
TABELA 17 - Etapas de desenvolvimento e operações realizadas ao longo do ciclo do trigo BR-10, caracterizadas pela escala de	

Feeks.	93
TABELA 18 - Altura (cm) de plantas de trigo BR-10 submetidas a combinações de níveis de tensão de água no solo ao longo do ciclo da cultura.....	95
TABELA 19 - Índice de área foliar de plantas de trigo BR-10 submetidas a combinações de níveis de tensão de água no solo ao longo do ciclo da cultura.	98
TABELA 20 - Número de perfilhos por planta de trigo BR-10 submetida a combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento.	103
TABELA 21 - Número médio de perfilhos por planta em 3 períodos de desenvolvimento de trigo BR-10, submetido a combinações de níveis de tensão de água no solo.	104
TABELA 22 - Número de espigas férteis, espigas não férteis, colmos e percentagem de perfilhos produtivos e mortalidade de perfilhos de trigo BR-10 submetido a combinações de níveis de tensão de água no	

solo, em 3 etapas de desenvolvimento.106

TABELA 23 - Comprimento e peso de raíz de trigo BR-10, amostrada aos 70 dias após emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função de combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento, nos tratamentos de 1 a 6.110

TABELA 24 - Comprimento e peso de raíz de trigo BR-10, amostrada aos 70 dias após emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função de combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento, nos tratamentos de 7 a 12.111

TABELA 25 - Médias de comprimento de raízes de trigo BR-10, amostradas aos 70 dias após a emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função da tensão média de água no solo em cada uma das 3 etapas de desenvolvimento (Médias dos tratamentos de 1 a 8).113

TABELA 26 - Quantidade de água aplicada (mm) por

irrigação ao longo do ciclo do trigo BR-10, nos diferentes tratamentos.....	115
TABELA 27 - Quantidade de água aplicada (mm) e número de irrigações correspondentes em cada etapa de desenvolvimento do trigo BR-10, nos diferentes tratamentos.	117
TABELA 28 - Evapotranspiração média (mm/dia) ao longo do ciclo do trigo BR-10, submetido a combinações de tensões em 3 etapas de desenvolvimento.....	121
TABELA 29 - Quantidade de água usada (mm) e consumo médio diário (mm/dia), como função da combinação de diferentes tensões de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento de trigo BR-10.....	122
TABELA 30 - Evapotranspiração média diária (mm/dia) como função da tensão média de água no solo em cada período de desenvolvimento.....	127
TABELA 31 - Intervalo das irrigações e frequência média de irrigação (dias) ao longo do ciclo de trigo BR-10, submetido a com-	

combinações de tensões em 3 etapas de desenvolvimento128

TABELA 32 - Taxa média de extração de água (\bar{r}_z) pelas raízes de trigo BR-10 em função de regimes de tensão de água no solo em 3 etapas de desenvolvimento130

TABELA 33 - Eficiência de uso de água pelo trigo BR-10 submetido a diferentes combinações de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento132

NÍVEIS DE TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO E SUSPENSÃO DA IRRIGAÇÃO
EM TRÊS PERÍODOS DE CRESCIMENTO DO TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
IRRIGADO EM SOLO DE CERRADO: EFEITO SOBRE A PRODUTIVIDADE,
COMPONENTES DA PRODUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E USO DE ÁGUA

Autor: JUSCELINO ANTONIO DE AZEVEDO

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

RESUMO

Com o propósito de avaliar o efeito de níveis de tensão de água no solo sobre a produtividade e os componentes da produção, desenvolvimento e uso de água, em três etapas do ciclo do trigo variedade BR-10, foi conduzida uma pesquisa, em condições de campo, em Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado, na área experimental da EMBRAPA/CPAC (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados), em Brasília, DF.

A metodologia consistiu em testar diferentes controles de irrigação, através da aplicação de 12 tratamentos assim caracterizados: a) oito tratamentos combinando-se 2 níveis (0,6 e 3 atmosferas) de tensão de água no solo, controlados em 3 etapas de desenvolvimento; b) três tratamentos com irrigações interrompidas em cada fase; e c) um tratamento controlado a nível adequado, recebendo água com base nas leituras de evaporação do tanque classe A.

Medidas de produtividade e dos componentes da produção (nº de espigas por m², nº de grãos por espiga, nº de espiguetas por espiga e peso de 1000 grãos) foram obtidas na colheita. As medidas de crescimento, tais como altura de plantas, índice de área foliar e número de perfilhos por planta, foram tomadas em todas as etapas de desenvolvimento. Avaliou-se quantitativamente o comprimento de raízes até 1,20 metro de profundidade. Foram obtidas estimativas de água evapotranspirada através de cálculos do balanço hídrico, e da extração de água, usando-se leituras de tensiômetros colocados no solo às profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm.

Os resultados obtidos permitem concluir que os níveis de tensão de água no solo e a fase do ciclo da planta em que ocorrem afetam o rendimento, em grau variável, através de alterações significativas produzidas em seus componentes. O componente que mais contribuiu para o rendimento foi o nº de espigas/m². Rendimentos acima de 6.000 kg/ha foram conseguidos com 600 a 700 mm de água, mantendo-se a tensão de água no solo à profundidade de 10 cm, no momento da irrigação, entre 0,7 a 0,8 atmosfera, a partir do emborrachamento até a maturação. A fase mais crítica com relação à água é do emborrachamento até o espigamento, compreendida entre 42 e 64 dias após a emergência. Medidas de crescimento e extração de água em profundidade foram menos afetadas pelas tensões. Cerca de 75% a 80% da água foi extraída dos primeiros 30 cm de solo, sendo 40% a 45% originada da camada mais superficial de zero a 10 cm.

LEVELS OF SOIL WATER TENSION AND IRRIGATION INTERRUPTION AT
THREE GROWTH STAGES OF IRRIGATED WHEAT ON CERRADO SOIL:
EFFECT ON YIELD AND YIELD COMPONENTS, GROWTH AND WATER USE

Author: JUSCELINO ANTONIO DE AZEVEDO

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO FERNANLO LORDELO OLITTA

SUMMARY

To evaluate the effects of soil water tension levels at three growth stages on yield and yield structure, growth and water use of winter wheat BR-10 was conducted a research, on the dark red latosol in experimental area of EMBRAPA/CPAC (Brazilian Enterprise of Agricultural Research/ Center of Cerrado Agricultural Research) situated 30 Km north of Brasilia, DF.

Twelve treatments were applied at this manner: a) eight treatments consist in combinations of two soil water tension levels (0.6 and 3 atmospheres) and three growth stages (tillering to shooting; booting to heading and flowering to maturity); b) three treatments consist in irrigation omission at each one of the three growth stages, and c) one treatment with water application based on class A pan evaporation, at adequate soil water tension level.

Yield and its attributes (number of spikes per square meter, grain per spike and weight of 1000 grains)

were evaluated at harvest. Growth measures as plant height, leaf area index and number of tillers were evaluated during the three growth stages. Root length was determined from zero to 1.20 meters of soil depth. Actual evapotranspiration was estimated from soil water balance and withdrawal of water by crop roots, using data of mercury tensiometers at different soil depths.

The results show that soil water tension affects yield on variable intensity depending on the degree of changes over yield attributes. Number of spikes per square meter was the principal component determinant of final yield. Wheat yields over 6000 kg/ha were achieved with 600 to 700 mm of water used, keeping soil water tension at irrigation moment in 10 cm soil depth at 0.7-0.8 atmospheres from boot to heading and flowering to maturity stages. The critical period of water needs was boot to heading stage comprised from 42 to 64 days after emergence. Growth and soil water extraction in depth were less affected by soil water tensions. Soil water extraction was mainly limited to the top 30 cm of the soil profile, with 75-80% of the water use. From superficial 10 cm soil layer was extracted 40-45% of water.

1. INTRODUÇÃO

A significativa evasão de divisas representada por elevados gastos com a importação de trigo pelo Brasil vem já há algum tempo determinando, por parte do governo, um esforço crescente para o desenvolvimento da produção de trigo no país, objetivando diminuir a nossa dependência externa.

Conforme revela um artigo de ZANDONADI (1984), essa dependência se situava em torno de 60% de nossas necessidades, pois para atender uma demanda nacional - consumo industrial e sementes - de 6,2 milhões de toneladas só conseguíamos produzir 2,2 milhões de toneladas, gastando, em 1984, cerca de 800 milhões de dólares na importação de 4 milhões de toneladas desse importante cereal.

Estimativa do Departamento de Comercialização do Trigo do Banco do Brasil (CTRIN) para a safra/87 estabelece um volume de produção próximo de 5 milhões de toneladas, representando cerca de 500 mil toneladas a menos que a safra recorde obtida em 1986 (CAVECHINI 1987). Apesar do registro de uma elevação do consumo em 1986, de 7,2 milhões de toneladas, decorrente de um subsídio que, à semelhança

do que ocorreu em 1980, atingiu níveis de 85%, os dados obtidos de maior produção demonstram que a tão almejada auto-suficiência poderá ser alcançada em pouco tempo. Para que isto aconteça, a elevação dos índices de produtividade, associada à ampliação das áreas de cultivo, é fundamental.

Nesse contexto, a região dos Cerrados do Brasil Central é atualmente reconhecida como de enorme potencial para o cultivo do trigo, tendo em vista os expressivos resultados obtidos em pesquisas que a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) vem realizando nos últimos anos, através do CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados), juntamente com outros órgãos de pesquisa do país.

Dos sistemas de produção indicados pela pesquisa e pelas entidades de extensão rural para condições de cerrado, o trigo plantado na época seca, de maio a setembro, sob regime de irrigação, é o que possibilita alcançar maiores níveis de produtividade com menores riscos (SILVA et alli, 1976).

Em comparação com o rendimento médio nacional de 1447 kg/ha obtido em 1986 (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, 1987), os resultados de pesquisas revelam possibilidades de se conseguir rendimentos quatro a cinco vezes maiores, respectivamente, em condições de lavouras e experimentos irrigados. Em Minas Gerais, por exemplo, na Região do PADAP (Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba), onde existem experiências bem sucedidas de produção de trigo

irrigado, conseguiu-se, em 1040 hectares irrigados com pivô central, uma produtividade média de 4.236 kg/ha (70 sacos/ha), havendo produtor que obteve 5.406 kg/ha (90 sacos/ha). O resultado econômico foi compensador, pois o custo de produção era equivalente a 35 sacos/ha e o governo pagava ao produtor 240 dólares por tonelada, conforme relatado por ANDRADE (1987).

Em campos experimentais do CPAC, em 1984, foi obtido o rendimento de 6.952 kg/ha, em um experimento de irrigação com a variedade BR-12 Aruanã, recentemente lançada (GUERRA et alii, 1987). Existem linhagens - futuras variedades -, como a CPAC 831230 e a CPAC 831054, que chegam a produzir, respectivamente, 6.700 kg/ha e 7.200 kg/ha, segundo trabalho elaborado por ANDRADE et alii*.

Resultados desta magnitude, obtidos pela pesquisa e por agricultores receptivos à tecnologia, bem como a implementação, em maior escala, de importantes programas de irrigação, a partir de 1980/82, por parte do governo, explicam o incremento de área cultivada e produção de trigo registrados nos últimos anos na região do Brasil Central.

A irrigação, juntamente com a aplicação balanceada e oportuna de nutrientes e corretivos, uso de semen-

*ANDRADE, J.M.V. de; IORCZESKI, E.J.; DOTTO, S.R.; LEITE, J. C.; GOTO, W.S. Experimento de cultivares e linhagens de trigo realizado pelo CPAC em 1985. Trabalho apresentado na II Reunião da Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo, Goiânia, 1985. 30 p.

tes de boa qualidade, de variedades melhoradas e adaptadas às nossas condições, bem como a adoção de outras práticas culturais desejáveis recomendadas pela pesquisa, é que tem viabilizado essa produção. Todavia, a informação disponível sobre a irrigação do trigo nos Cerrados é ainda incipiente, sobretudo em relação aos aspectos de manejo de água de irrigação nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Faltam-nos conhecimentos mais detalhados dos potenciais de rendimento do trigo sob regime de irrigação, dos efeitos de déficits hídricos sobre o rendimento e seus componentes e das necessidades de água e momentos oportunos de irrigação ao longo do ciclo da cultura.

Essas informações podem ser obtidas a partir do estabelecimento das funções de produção com relação à água, que são relações entre produtividade e os vários tratamentos de irrigação, os quais, no presente estudo, compreendem combinações de níveis de tensão de água no solo, diferenciados em três fases características do desenvolvimento da cultura de trigo. Os tratamentos de déficit hídrico, que permitem conhecer os efeitos do estresse de água no solo sobre o rendimento e seus componentes, auxiliam na compreensão e entendimento das funções de resposta ao regime de umidade do solo e, como estas, fornecem informações de utilidade para a prática da irrigação.

O critério de controle das irrigações através de medidas da força (tensão) com que a água é retida no solo é indicado por se constituir em um parâmetro melhor correla-

cionado com as respostas da planta à irrigação (HAISE & HAGAN, 1967). Além disso, as melhores possibilidades de extrapolação que as medidas de tensão de água no solo oferecem, em comparação com outras medidas, e o fato de os tensiômetros possibilitarem medidas no intervalo, desde a saturação até aproximadamente 0,8 atmosferas - amplitude na qual, segundo WOLF (1975) e AZEVEDO et alii (1983), se situa a maior parte da água disponível em latossolos de cerrado -, tornam essa medida especialmente indicada para o monitoramento das variações do regime de água no solo no qual o presente estudo foi conduzido.

A hipótese fundamental desta pesquisa é a de que, considerando a esperada exigência diferenciada de água em função do ciclo do trigo, a níveis diferenciados de tensão de água no solo estão associados diferentes níveis de rendimento, como resultado de alterações que se produzem sobre os seus atributos, desenvolvimento e uso de água, bem como sobre a estimada sensibilidade desigual ao déficit hídrico de cada etapa do ciclo do trigo.

O presente trabalho avalia o efeito que se produz sobre o rendimento, componentes do rendimento, sensibilidade à seca, desenvolvimento e uso de água, de dois níveis de tensão de água no solo no momento da irrigação, em três períodos distintos do desenvolvimento do trigo, em ambiente da região nuclear dos Cerrados. Tem como objetivo geral o estabelecimento de um calendário de irrigação de aplicação prática, visando principalmente o alto rendimento de grãos,

e como objetivos específicos os seguintes:

- a) determinar o potencial de produção de trigo em condições de suprimento adequado de água;
- b) estabelecer quantitativamente o efeito da deficiência de água no solo, em diferentes períodos de crescimento do trigo, sobre a produção, os componentes da produção, o desenvolvimento e o uso de água;
- c) determinar o consumo de água por evapotranspiração e a eficiência de uso de água em condições de suprimento adequado e limitado de água; e
- d) estabelecer alternativas de manejo da irrigação, fornecendo recomendações sobre níveis e freqüências de aplicação de água em relação a três fases de desenvolvimento do trigo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais

A literatura brasileira sobre irrigação do trigo é relativamente restrita. O trigo é cultivado principalmente em estados da região Sul do país, que em geral contam com um regime de chuvas favorável em termos tanto da quantidade quanto da distribuição, permitindo assim a produção sem a concorrência da irrigação. Por isso, observa-se que, nas áreas tradicionais de cultivo, a irrigação do trigo não integra a relação das práticas comumente usadas nos sistemas de produção, o que explica a quase inexistência de resultados experimentais sobre efeitos específicos da irrigação nessa cultura.

Com a expansão da cultura para outras regiões do país, nas quais a irrigação é prática obrigatória, tornou-se necessário planejar e conduzir pesquisas com irrigação, no sentido de estabelecer as condições técnicas e/ou econômicas mais favoráveis de sua aplicação.

Na região do Brasil Central, compreendendo o

Distrito Federal e os Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e parte de São Paulo, em virtude da existência e prática de uma tecnologia de produção de trigo comprovada experimentalmente, levando a uma ampliação de áreas irrigadas, tem havido uma demanda crescente por informações relacionadas a diferentes aspectos da irrigação.

Essa demanda e o reconhecimento por parte de pesquisadores, extensionistas e agricultores da necessidade de estabelecer calendários de irrigação com o propósito de obter rendimentos satisfatórios de trigo tem levado a que órgãos como a EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC)/Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA), Empresa de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul (EMPAER), Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Dourados-MS (UEPAE de Dourados), Empresa Matogrossense de Pesquisa Agropecuária (EMPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e outras entidades de pesquisa do país envidem maiores esforços na tentativa de definir técnicas e procedimentos operacionais, visando a aplicação eficiente de água de irrigação como forma de melhorar os índices de produção.

Alguns resultados de grande significação já foram conseguidos. Nos parágrafos seguintes são apresentados resultados de algumas pesquisas realizadas no Brasil e outras

conduzidas no exterior, contemplando dados ou informações de interesse e/ou relacionados aos resultados obtidos na presente pesquisa. Assim, são descritos efeitos de regimes de irrigação sobre medidas de desenvolvimento, rendimento e componentes, evapotranspiração e extração de água e outras características agronômicas da cultura de trigo.

2.2. Trabalhos no Brasil

Ao avaliarem a influência de 4 regimes de água no solo, através da irrigação em níveis de tensão de 0,35, 0,7, 2,0 e 8,0 bares a 15cm do solo, sobre medidas do desenvolvimento, uso de água e rendimento de 5 variedades de trigo (3 nativas e 2 introduzidas), em Latossolo Vermelho Escuro de cerrado, ESPINOZA et alii (1980) demonstraram que os rendimentos decresceram com o aumento da tensão de água no solo, obedecendo a uma relação linear. As cultivares nativas (BH 1146, IAC-5 e IAS 55) mostraram maior resistência à diminuição de água disponível no solo. Produziram em média 3.666 kg/ha no tratamento mais úmido (0,35 bar), sendo que a variedade BH 1146 rendeu 4.100 kg/ha nesse tratamento. Ao nível de 8 bares de tensão a média de produtividade das 5 variedades foi igual a 900 kg/ha. Os maiores rendimentos foram obtidos com freqüência de irrigação de três a cinco dias, durante a fase de maior desenvolvimento da cultura. A evapotranspiração da cultura na época da floração atingiu valores médios de 5,8 mm/dia, no

caso da variedade mais produtiva (BH 1146) e tratamento de 0,35 bar. A eficiência de uso de água variou de 11 a 13 kg/ha por mm de água usada, na tensão mais baixa (0,35 bar), caindo a valores de 3,5 a 5 mm/dia na tensão de 8 bares. O comprimento radicular das cultivares não foi afetado pela tensão de água no solo.

Em 1983, GUERRA & SILVA (1987) pesquisaram os efeitos sobre o rendimento e componentes de rendimento de cinco valores de tensão de água no solo (0,33, 0,50, 0,70, 1,00 e 5,00 atmosferas), estabelecidos a 10 cm de profundidade, no momento da irrigação, durante todo o ciclo de duas variedades de trigo (BR-10 e Anahuac), em Latossolo Vermelho Escuro de cerrado. Demonstraram que os rendimentos das duas variedades não foram alterados até a tensão de 0,67 atm, tendo sido obtida produtividade média em torno de 5.000 kg/ha. As tensões de 1 e 5 atm determinaram, respectivamente, reduções significativas de 25% e 42% em relação ao tratamento de maior rendimento. Dos componentes da produção, registrou-se efeito significativo para grãos por espiga, grãos por espiguetas, espiguetas por espiga e espigas por m², os quais foram reduzidos no tratamento mais seco. A tensão de água no solo pouco influenciou o peso hectolítrico e o peso de 1.000 grãos. A quantidade de água aplicada nos tratamentos de maior rendimento variou de 600 a 800 mm, estando relacionada linearmente com as tensões de água estabelecidas como tratamento.

No cultivo de inverno de 1984, GUERRA et alii

(1987) incluíram mais um tratamento (10 atm) em experimento semelhante àquele anteriormente descrito. Testaram a variedade BR-12, calculando a irrigação para eliminar o déficit hídrico no solo até 1 metro de profundidade. Obtiveram rendimento extraordinário, de quase 7000 kg/ha (6952 kg/ha), no tratamento irrigado a 0,41 atm de tensão. Os dois níveis de tensão mais elevados, de 5,6 e 9,9 atm, determinaram quedas significativas (23 e 36%) de rendimento em relação ao tratamento que mais produziu. Novamente a tensão de água no solo não mostrou efeito sobre o peso de 1.000 grãos e peso hectolítrico. Os componentes mais importantes que definiram as diferenças de rendimento foram o número de espigas/m², de grãos/espiga e de espiguetas/espiga.

Em Mato Grosso do Sul, SILVA et alii (1986) não encontraram diferenças significativas de rendimento de trigo entre os tratamentos irrigados a tensões desde 0,33 até 5,60 bares, durante o ciclo, incluindo dois tratamentos irrigados combinando-se tensões de 2,50 e 5,10 bares, na fase inicial de desenvolvimento, e 0,50 bar, a partir do emborrachamento até a maturação. A média de rendimento obtida da variedade IAC 24-Tucuruí nos tratamentos irrigados foi de 4887 kg/ha. O tratamento não irrigado, que recebeu apenas água de chuvas (cerca de 80 mm bem distribuídos), rendeu 43% do rendimento máximo conseguido (5198 kg/ha). A quantidade de água recebida pela cultura variou de 512 a 780 mm, respectivamente, nos tratamentos 5,6 e 0,33 bar,

compreendendo 8 e 31 irrigações, aplicadas em freqüências médias de 10 e 2,7 dias.

Ao testarem seis lâminas de irrigação na cultura de trigo, em Piracicaba (SP), FARIA & OLITTA (1982) conseguiram 66% de aumento de produtividade devido à irrigação, em relação à testemunha sem irrigação. Os resultados indicaram a faixa de 150 a 200 mm de água como mais favorável à cultura, apresentando produções de 2.839 kg/ha a 3.019 kg/ha. O peso de 1.000 grãos foi afetado negativamente pela elevação da lâmina aplicada. O maior número de grãos por espiga foi obtido com lâminas próximas a 200 mm.

2.3. Trabalhos no exterior

Dada a existência de um grande número de trabalhos publicados sobre o assunto no exterior, essa parte da revisão bibliográfica foi separada por subitens relacionados à ênfase que o trabalho revisado mostrava em um ou mais fatores estudados, como efeitos do regime de umidade do solo e/ou tratamentos semelhantes àqueles empregados na presente pesquisa.

2.3.1. Efeitos sobre o rendimento e componentes do rendimento

Durante dois anos agrícolas, IBRAHIM et alii (1979) estudaram o efeito da irrigação sobre a produtivi-

dade e seus atributos de duas variedades de trigo, de 140-146 dias de ciclo. Aplicaram 4,5 e 6 irrigações em seis estádios de desenvolvimento da cultura. Verificaram que o aumento em rendimento de grãos foi de 7,99% e 8,49%, quando o número de irrigações elevou-se de 4 para 5 ou 6, respectivamente. O déficit hídrico representado pela suspensão da 5ª e 6ª irrigação, a partir de 101 dias após o plantio, acelerou a taxa de translocação de assimilados para os grãos, mas causou redução significativa no peso de 1000 grãos e peso de grãos por espiga.

A suspensão da irrigação nos estádios de grão leitoso e massa mole diminuiu significativamente o peso de 1.000 grãos, tendo efeito reduzido sobre o número de espiguetas e de grãos por espiga (SHROTRIYA et alii, 1970).

Em Chapingo, no México, MARINATO & PALACIOS (1979) testaram quatorze tratamentos de níveis de umidade residual no solo, como critério para irrigações nas etapas vegetativa, de floração e de maturação do trigo. Demonstraram que a fase entre a diferenciação - gametogênese e a formação do grão em estado leitoso se constituía na etapa crítica do trigo. Verificaram ainda que o rendimento do trigo dependia fundamentalmente do tamanho da espiga, do número de grãos por espiga e do peso dos grãos. A lâmina de água consumida para máximo rendimento (6.522 kg/ha) foi de 941 mm (obtida das medidas) e 852 mm (estimada pela função), obtendo-se a melhor eficiência de uso da água no tratamento mais seco. Para rendimento de grãos, os valores

ótimos de tensão hídrica foram 5,6 atm na etapa vegetativa, 1,02 atm desde a gametogênese até a fase de grão leitoso e 1,68 atm desde a fase de grão leitoso até grão em massa.

Investigações foram conduzidas em 1966 e 1967 em Tucson, Arizona, por DAY & INTALAP (1970), para estudar alguns efeitos de estresse de umidade no solo, em três diferentes estádios de desenvolvimento - emborrachamento, florescimento e de massa -, sobre o crescimento e produtividade de grão de trigo de primavera. Os tratamentos de estresse de água foram estabelecidos aplicando reduzidos totais de água em cada estágio e adequado nos demais estádios, usando como critério de estresse o murchamento visível da planta por um período de sete dias. Esses tratamentos foram comparados com um tratamento ótimo de irrigação que recebeu 1.100 mm de água e produziu 6.307 kg/ha. Demonstraram que o período crítico para umidade no desenvolvimento do trigo foi o estágio de emborrachamento. Nesse estágio, o déficit de umidade imposto diminuiu o número de dias do plantio até o florescimento e resultou em plantas mais curtas, maior acamamento, menor rendimento de grãos, menor peso de volume (hl), poucas espigas por unidade de área e poucas sementes por espiga. Estresse de umidade do solo em qualquer estágio de desenvolvimento decresceu a produtividade de grãos. Quando o trigo foi estressado durante o emborrachamento o reduzido rendimento de grãos resultou do número reduzido de espigas por unidade de área e de sementes por espiga.

Em um experimento que incluía 21 tratamentos, combinando 7 níveis de déficit de umidade do solo e 3 estádios de desenvolvimento, conduzido em casa de vegetação, em 2 anos agrícolas, MOURSI et alii (1979) verificaram que, aumentando a deficiência de umidade do solo através do decréscimo do total de água disponível do solo antes da irrigação, diminuía o rendimento de grãos e de matéria seca de trigo. Foram ainda significativamente afetados o peso de 1.000 grãos, o comprimento de espigas e o número e peso de espigas por planta. O número de espiguetas férteis reduziu com o aumento da deficiência de umidade do solo. Rendimento máximo de grãos foi obtido quando plantas de trigo foram submetidas a um bom regime de irrigação durante o período compreendido entre o emborrachamento e a colheita, em comparação com outros estádios de crescimento.

WARDLAW (1971) encontrou que um déficit de evapotranspiração por um curto período após a antese reduziu significativamente o peso de grãos por espiga.

2.3.2. Efeitos sobre o uso de água

Pesquisando a resposta de trigo e cevada a três níveis de irrigação e quatro taxas de nitrogênio, SINGH & VIJAY KUMAR (1981) verificaram que, em condições de um regime de irrigação mais favorável, tanto trigo como cevada podem usar água adicional, resultando em uma relação E_t/E_p maior ou igual a 1, durante o estágio 2 de crescimento

(perfilhamento máximo até folha bandeira). Foi observado que a fertilização nitrogenada aumentou em 9% o uso de água de trigo, como resultado do aumento nas superfícies transpirantes e desenvolvimento mais profundo de raízes, determinando uma maior extração de água. Um aumento significativo na eficiência de uso de água em trigo foi observado quando se programaram irrigações em estádios críticos.

Suprimento de água adicional em períodos não muito sensíveis a déficit hídrico também aumentou o uso de água e produtividade de trigo sem algum aumento proporcional sobre a eficiência de uso de água (CHOUDHURY & VIJAY KUMAR, 1980).

Cálculos das necessidades de consumo de água de plantas para projetar e operar sistemas de irrigação, na Romênia, baseados em pesquisas de longo prazo, em 28 campos experimentais distribuídos em todas as áreas pedoclimáticas irrigadas, foram feitos por GRUMEZA et alii (1986). Esses autores determinaram para várias culturas os coeficientes k_c e k_t , definidos como as relações entre a evapotranspiração real ótima determinada no campo e, respectivamente, a evapotranspiração de referência (E_{To}), pelo método de Thornthwaite e através do evaporímetro tipo classe-A. Especificamente para a cultura do trigo, encontraram valores de k_c que variaram de 0,71 a 3,20, conforme os 12 locais de pesquisa e quatro meses considerados. Os quarenta e um valores de k_c obtidos mediaram 1,69. Com relação às medidas de k_t , que transformam os dados de evaporação (tanque

classe A) em água consumida pela cultura, obtiveram para trigo, em 10 locais, as seguintes magnitudes de valores máximos: a) maior que 1,2 em dois locais; b) igual a 1,2 em dois locais; c) menor que 1,2 e maior que 1,0 em dois locais; d) igual a 1,0 em dois locais e e) menor que 1,0 nas duas localidades restantes. Verificaram que os resultados obtidos permitiam o dimensionamento correto de sistemas de irrigação e prognóstico do momento de aplicação de água, bem como das quantidades a serem aplicadas.

MOTA (1976), através de um balanço de água diário, utilizando dados meteorológicos, estima o uso de água semanal, relacionando os valores com a evapotranspiração potencial, calculada pela fórmula de Penman, para as condições de Pelotas (RS), estabelecendo fatores de uso consuntivo para algumas culturas. Chegou a valores máximos de 1,9 para sorgo; 1,6 para tomate e soja e 1,4 para cevada e feijão. Uma limitação do método, no entanto, é o fato de não considerar, para o cálculo da evapotranspiração, os efeitos das propriedades de liberação da umidade à medida que o solo seca.

Uma comparação de evapotranspiração medida de seis culturas, recebendo tratamentos de irrigação eficientes, com a perda de água de evaporímetro classe A mostrou uma relação sigmóide entre os valores acumulados correspondentes. Para o período de aplicação da irrigação, a relação pode ser aproximada por uma linha reta. Consideráveis diferenças na declividade desta relação linear foram en-

contradas entre diferentes culturas crescendo nas mesmas condições de solo e clima. Pequenas diferenças foram encontradas entre locais e anos para a mesma cultura (STANHILL, 1962).

Quando compararam seis diferentes métodos para determinar o uso de água por uma cultura, DEVITT et alii (1983) verificaram que a equação de Penman foi o método mais satisfatório, desviando 15% para mais ou para menos das medidas lisimétricas em períodos semanais. Os outros métodos (balanço hidrológico com medidor de nêutrons, potencial de água na folha, tensiômetros e evaporação classe A) foram pouco satisfatórios, apresentando erros de \pm 23% a 48%. Embora o coeficiente de uniformidade do sistema de aspersão fosse muito alto, porções da área total recebendo uma mínima quantidade de água estavam concentradas em uma só área, o que, aliado ao erro envolvido na estimativa da evapotranspiração, limita seriamente a fração prática mínima de lixiviação que deve ser permitida se máximas produtividades de cultura são desejadas.

Usando-se Y para representar a relação de produtividade, para a máxima produtividade sob condições atuais, e X a relação da umidade disponível atual, de totais de chuva e irrigação, para os quais o rendimento é máximo, então os dados de rendimento de várias culturas podem ser comparados (HARGREAVES, 1975). Segundo este pesquisador, um número considerável de dados são disponíveis de muitas culturas no intervalo de X entre 0,35 e 1,00. Embora a lo-

calização do déficit de umidade do solo em relação ao período de desenvolvimento da cultura possa influenciar grandemente os rendimentos, muitos dados disponíveis de produtividade indicam uma relação geral entre rendimento e disponibilidade de água no solo, conforme a equação $Y = 0,8X + 1,3X^2 - 1,1X^3$ (HARGREAVES, 1975).

VIETS JUNIOR (1962) revisou muitos trabalhos para verificar efeitos de fertilizantes sobre o uso eficiente de água. Entre outras conclusões, esse trabalho mostra que a matéria seca produzida por unidade de água usada pode ser grandemente aumentada se fertilizantes aumentam a produtividade.

Um exemplo desse benefício para o trigo foi demonstrado em uma pesquisa conduzida no Texas por Jensen Y Sletten, citados por STEWART (1976). Os referidos autores mostraram que a aplicação de 90 kg/ha de N resultou em maior produção, em comparação com o tratamento que não recebeu o nutriente e com aquele que recebeu uma quantidade de 180 kg/ha de N. Isso aconteceu em um ano normal e em um ano úmido dos três anos pesquisados. A evapotranspiração aumentou de 600 mm para 770 mm no ano seco e de 610mm para 711 mm no ano normal. No ano úmido, a quantidade de água evapotranspirada foi a mesma (686 mm) para o tratamento que não recebeu N e naquele que recebeu 90 kg/ha de N. Nesse experimento, observou-se que a eficiência de uso de água permaneceu quase que constante - cerca de 40 a 45 kg de trigo por cada 25mm de água - apesar do aumento da evapo-

transpiração em 100 a 125 mm.

Uso de água pela cultura do trigo, na Califórnia, foi avaliado por ST. ANDRE et alii (1978), os quais demonstraram que 19,25 polegadas de água (490 mm) foram consumidas pela cultura durante seis meses, em um solo barro argiloso. O trigo recebeu 712 mm de água, distribuída em apenas 3 irrigações, incluindo a pré-irrigação, de 406 mm (16 pol.). A média do pico de uso de água para períodos de 15 dias ocorreu no início do processo de maturação, chegando a 5,7 mm/dia. Cerca de 85% da água foi extraída até 1,2m de profundidade do solo.

O consumo de água por uma cultura pode variar de um mínimo de 12 polegadas. (305 mm) até atingir 85 polegadas (2159 mm), talvez mais. Em vales frios de montanhas, nos quais os períodos de crescimento são curtos, registram-se extremos menores, enquanto valores mais elevados são encontrados em áreas desertas irrigadas (STANBERRY, 1957).

As faixas mais comumente encontradas são de 15 e talvez 30 polegadas (762 mm), nas áreas não irrigadas, úmidas a semi-áridas, e de 20 a 50 polegadas (1270 mm) nas regiões quentes e secas, nas quais se emprega a irrigação. Do ponto de vista prático, dados relativos ao consumo diário de água são, em alguns casos, mais significativos do que os da estação de crescimento. Por exemplo, durante os períodos de verão seco e quente, a evapotranspiração diária poderá alcançar 0,4 a 0,5 polegadas (12,7 mm) na cultura de milho (BUCKMAN & BRADY, 1974).

2.3.3. Efeitos sobre medidas de crescimento

CHATURVEDI et alii (1981) avaliaram o efeito da irrigação no perfilhamento em trigo, triticale e cevada sob condições de campo. Verificaram que mais de 1.000 perfilhos por m² foram produzidos com 5 irrigações, mas 40% ou mais morreram. Com disponibilidade de água limitada, a produção de perfilhos foi reduzida, mas sua mortalidade também. Os rendimentos de grãos de trigo e triticale foram positivamente correlacionados com perfilhos produtivos e negativamente correlacionados com número máximo de perfilhos produzidos em trigo e cevada cultivados sob condições de irrigação limitada. Nos tratamentos freqüentemente irrigados, nenhuma correlação foi encontrada entre número de perfilhos e produção de grãos.

Em trabalho de pesquisa no qual irrigaram trigo a diferentes tensões, ESPINOZA et alii (1980) verificaram que os valores do índice de área foliar (IAF) a 0,35 bar variaram de 2,2 a 7,5, respectivamente, para as cultivares IAS-55 e BH-1146, enquanto que para o tratamento de 8 bares os valores de IAF variaram de 1,80 a 1,05. Nos tratamentos com tensões mais elevadas, as diferenças não foram tão evidentes. O aumento de tensão de água no solo resultou em decréscimo do IAF, sendo este efeito mais acentuado nas tensões de 0,35 e 0,7 bar.

As medidas do comprimento de folhas e talos durante um ciclo de secamento em trigo cultivado na África do

Sul indicaram que apenas 52 a 57% da água disponível da planta foi extraída antes que a taxa de crescimento da planta, no tratamento mais seco, caísse abaixo daquele no qual as plantas foram bem molhadas. Plantas com sistema radicular bem desenvolvido extraíram 80% da água disponível próxima ou em taxas de evapotranspiração potencial. Plantas com raízes menos desenvolvidas extraíram cerca de 70% antes que uma queda na taxa de uso de água fosse aparente. Um rápido decréscimo no potencial de água de folhas cobertas ou medido antes do amanhecer foi evidente quando a taxa de uso de água começou a declinar. Isto indicou que o declínio foi principalmente o resultado de uma grande resistência ao movimento de água através do solo, mais que um controle induzido pela planta. Evapotranspiração média de 12 mm/dia, com um máximo (16,8 mm/dia) ocorrendo das 12 às 14 horas, foi registrada em lisímetro de alta precisão e que foi irrigado quando 50% da água disponível para a planta até a profundidade de 1 m de solo do lisímetro fosse esgotada (MEYER & GREEN 1980). Em mais anos de estudos, os mesmos autores (MEYER & GREEN, 1981) demonstraram que a diminuição da taxa de evapotranspiração para trigo e soja foi detectada a partir do momento em que 20% a 30% da água disponível para a planta permaneceu no perfil de 1 m do solo do lisímetro.

O número de perfilhos por unidade de área é um dos importantes caracteres determinantes da produção de trigo (BINGHAM, 1966). As variedades semi-anãs e anãs têm a

vantagem sobre as variedades de porte alto de ter perfilhos mais efetivos, levando a uma maior produção. Contudo, produção e sobrevivência de perfilhos são dependentes das condições prevaletentes de desenvolvimento, incluindo radiação (FRIEND, 1965), temperatura, fotoperíodo e água (BEGG & TURNER, 1976).

2.3.4. Sensibilidade dos estádios de crescimento ao déficit hídrico

MISRA et alii (1969) mostraram que os estádios críticos de desenvolvimento do trigo mais importantes com relação à umidade do solo são o florescimento e o de grão em massa.

Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979), desde que ocorra água adequada durante a etapa de estabelecimento do trigo, os períodos críticos para déficit hídrico são: a) quando as plantas estão completando o perfilhamento e iniciando o alongamento; b) durante o final do desenvolvimento da espiga até o início do período de florescimento; e c) no período inicial de formação da produtividade.

SINGH (1981), em sua pesquisa sobre sensibilidade de estádios de crescimento à umidade, demonstrou que, de acordo com o conceito de "estádio crítico", os três períodos de desenvolvimento do trigo, em ordem de sensibilidade decrescente, são o emborrachamento/espigamento, florescimento ao desenvolvimento do grão e estágio vegetativo. De-

monstrou ainda que, sem um déficit hídrico de evapotranspiração no estágio vegetativo, a tolerância ao referido déficit foi quase zero (alta sensibilidade) no período de emborrachamento-espigamento e foi de 30% para o período do florescimento ao desenvolvimento do grão. Déficit de evapotranspiração da ordem de 10 a 18% na fase vegetativa condicionaram a cultura a tolerar 30 a 35% de déficit na fase seguinte (emborrachamento/espigamento), e cerca de 39% no período de floração a formação do grão. O estudo revelou ainda que foi necessária uma evapotranspiração estacional de 820 mm no tratamento ótimo, que rendeu 5430 kg/ha, em parcelas recebendo irrigação quando o esgotamento de umidade disponível na camada de 0 a 120 cm do perfil alcançava 30%, em solo areno-argiloso com 1,1 mm de água disponível por cm de solo. Verificou ainda que o número de perfilhos por planta e o peso de 1.000 grãos não diminuíram até que as plantas experimentassem uma intensidade de déficit de evapotranspiração de 77%. O componente da produção mais importante limitando o rendimento foi o número de grãos por espiga.

Depressões de rendimento de 10 a 35% em trigo resultaram de severo estresse de umidade do solo. Reduções foram maiores quando o estresse foi imposto durante ou após o espigamento. Parece não haver benefício na irrigação de trigo de primavera antes da fase de emborrachamento, a menos que déficit de umidade como indicado por murchamento ou enrolamento de folhas seja observado. Tratamento livre de

estresse produziu 6.047 kg/ha e evapotranspirou 533mm. (ROBINS & DOMINGO, 1962).

DOORENBOS & PRUITT (1976) informam que o período crítico do trigo em função da tensão de água no solo ocorre durante a formação das espiguetinhas e duas semanas antes da polinização.

Para o caso de cereais, SALTER & GOODE (1967) comentam que esses cultivos mostram uma grande sensibilidade à falta de água durante a formação dos órgãos reprodutivos e durante a floração. Afirmam também que o estresse hídrico nestes períodos reduz consideravelmente os rendimentos de grãos, devido a uma redução no número de grãos por espiga. Comentam ainda que os tecidos dos órgãos reprodutivos são susceptíveis ao dano pela falta de água, que afeta a formação de pólen e a fecundação. Acrescentam que o crescimento de raízes estaciona quando as flores começam a se desenvolver.

3. METODOLOGIA

3.1. Localização, clima e solo

A pesquisa, iniciada em março de 1984, foi conduzida no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado no quilômetro 18 da BR-020, Planaltina(DF), a aproximadamente 30 km de Brasília.

As coordenadas da estação agrometeorológica principal do CPAC são 15° 35' 30" de latitude S e 47° 42' 30" de longitude W, a uma altitude de 998 metros (EMBRAPA/CPAC, 1985).

O clima classificado pelo sistema de Köppen como Aw (Clima Tropical de Savana), caracteriza-se por apresentar verão chuvoso com uma estação seca bem acentuada no inverno, compreendendo os seis meses de maio a outubro, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 18° C. Situa-se em áreas de cotas inferiores a 1.000 metros (EMBRAPA/SNLCS, 1978), sendo representativo do clima da maior parte da região dos Cerrados (ESPINOZA et alii, 1982).

O solo, conforme descrito em seu estado natural pela EMBRAPA/SNLCS (1978), é um Latossolo Vermelho Escuro (LE) álico A moderado, textura argilosa, fase cerrado subcaducifólio, relevo suave ondulado. Segundo a classificação americana, é Haplustox (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, 1976), tendo uma declividade média de 1,5 a 2%. Sua descrição morfológica encontra-se no Apêndice 3.

3.2. Métodos de campo

3.2.1. Adubação verde e amostragem de solo

Os trabalhos de campo se desenvolveram durante a estação seca de 1984, em área de aproximadamente 1.700 m², na área experimental do Setor de Solos do CPAC, a cerca de 200 m da estação climatológica principal.

À semelhança do que fora feito na estação seca do ano anterior, procedeu-se à incorporação da crotalária que havia sido previamente plantada com o propósito de adubação verde e melhoramento das condições físicas do solo. Primeiramente (14/04/84), fez-se a derrubada e picagem da leguminosa em seu estágio de floração, utilizando-se grade niveladora tracionada a trator. Os trabalhos de incorporação foram viabilizados utilizando-se arado de aiveca e arado de disco, passando-se uma grade pesada em seguida.

A amostragem para análise química do solo foi realizada com trado nos seguintes intervalos de

profundidade: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm e 80-100 cm. Foram obtidas 7 amostras, compostas de 28 amostras simples, cada amostra composta representando 4 repetições de amostras simples obtidas de caminhamento ziguezagueante na área. As amostras simples foram bem misturadas em balde plástico, acondicionadas e enviadas ao laboratório do CPAC para análise química, segundo metodologia estabelecida em EMBRAPA/SNLCS (1979).

Para análise da capacidade de retenção de água e outras características físico-hídricas, amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas com um trado apropriado em duas trincheiras abertas no terço superior e terço inferior da área. As amostras foram retiradas em anéis volumétricos de 100 cm³, no sentido vertical, sobre banquetas estabelecidas às profundidades de 2,5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm. Em cada profundidade coletaram-se 4 amostras de duas trincheiras, totalizando 36 amostras. Como o anel tinha 5 cm de altura, as banquetas foram feitas de forma que as profundidades amostradas coincidiam exatamente com a metade do anel. Assim, para a profundidade de 10 cm, as banquetas estavam a 7,5 cm da superfície do solo. Ao mesmo tempo da amostragem, fizeram-se, sobre cada banqueta, dez determinações de resistência do solo à penetração (dureza do solo), conforme descrito no subitem 3.3.1.4.

3.2.2. Adubação do solo

Com base nos resultados da análise química, procedeu-se à adubação do solo, distribuindo-se manualmente, a lanço, em quadrículas de 5m x 5m, as seguintes doses de elementos fertilizantes: a) 120 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo; b) 100 kg/ha de K_2O na forma de cloreto de potássio; c) 85 kg/ha de MgO na forma de sulfato de magnésio, visando a correção da relação Ca:Mg de 8,2:1 para 6:1; d) 40 kg/ha de FTE BR-12 com o propósito de adição de micronutrientes. SILVA & ANDRADE (1979) indicam a seguinte composição do FTE BR-12: 9,2% de Zn; 3,7% de Fe; 3,4% de Mn; 2,2% de B; 0,8% de Cu e 0,1% de Mo.

Em seguida à aplicação dos fertilizantes foi realizada uma aração para incorporar e misturar os adubos, após o que passou-se uma grade niveladora para deixar o solo em condições apropriadas para o plantio. Todas as operações de preparo do solo foram realizadas no sentido das curvas de nível do terreno.

3.2.3. Estabelecimento dos tratamentos e delineamento experimental

Os oito (8) primeiros tratamentos foram estabelecidos combinando dois níveis (0,6 e 3,0 bares) de tensão de água, a 10 cm de profundidade do solo, no momento de irrigação, com três períodos de crescimento do trigo de acordo com a escala de Feekes, ilustrada por DOORENBOS & KASSAN (1979). Assim, a primeira fase foi estabelecida desde o aparecimento do perfilho primário até o crescimento rápido (estádio II a IX de Feekes). A segunda fase, inter-

mediária do ciclo, compreendeu o período desde o emborrachamento até o espigamento (estádio X a X.1 de Feekes). A última etapa do crescimento correspondeu ao período da floração até a maturação completa (estádio X.2 a XI de Feekes). O início de aplicação dos tratamentos, correspondente ao aparecimento do perfilho primário, foi registrado aos 12 dias após a emergência - 7 dias após o plantio e 5 dias após a primeira irrigação -, considerada efetiva quando mais de 75% de plantas emergiram.

Três (3) tratamentos nos quais suspendeu-se a irrigação em cada uma das etapas do ciclo da cultura e um (1) tratamento representando a indicação da pesquisa para irrigação do trigo foram adicionados aos demais, perfazendo doze (12) tratamentos com regimes de irrigação diferentes.

A tabela 1 esclarece melhor cada um dos tratamentos ensaiados.

Os níveis de 0,6 e 3,0 bares foram escolhidos baseando-se em experiência prévia (GUERRA et alii, 1987), a qual demonstrou que com o primeiro nível de tensão controlado a 10 cm de profundidade era possível obter rendimentos elevados, não havendo vantagem da utilização de níveis mais baixos de tensão de água no solo sobre a produtividade do trigo. O nível de 3,0 bares foi selecionado por representar a média dos outros dois níveis testados no referido experimento (1,25 e 5,36 bares), estimando que, combinado à possível sensibilidade ao déficit hídrico diferenciada para cada etapa de desenvolvimento da cultura, não determinaria

TABELA 1 - Descrição dos tratamentos, mostrando as tensões (bar) pré-estabelecidas para controle da irrigação a 10 cm de profundidade do solo em 3 estádios de crescimento do trigo.

Tratamentos		Estádios de crescimento do trigo ⁵		
nº	Identificação	PP-CR	EM-ES	FL-MA
1	A A A d. h. ¹	0,6	0,6	0,6
2	M M M d. h. ²	3,0	3,0	3,0
3	A A M d. h.	0,6	0,6	3,0
4	A M A d. h.	0,6	3,0	0,6
5	M A A d. h.	3,0	0,6	0,6
6	M M A d. h.	3,0	3,0	0,6
7	M A M d. h.	3,0	0,6	3,0
8	A M M d. h.	0,6	3,0	3,0
9	A A N d. h.	0,6	0,6	NI ³
10	A N A d. h.	0,6	NI ³	0,6
11	N A A d. h.	NI ³	0,6	0,6
12	A A A k. ev. ⁴	0,6	0,6	0,6

1. Irrigação "adequada" (0,6 bar) nos três estádios de crescimento do trigo. Água de irrigação calculada para controlar o déficit hídrico medido até a profundidade de 1m.
2. Irrigação "moderada" (3,0 bares)
3. Não irrigado
4. Irrigação "adequada" (0,6 bar) nos três estádios de crescimento do trigo. Água de irrigação calculada com base na evaporação acumulada do tanque classe A multiplicada por um fator dependente do estágio de desenvolvimento da cultura, conforme estabelecido na 10ª REUNIÃO DA COMISSÃO NORTE BRASILEIRA DE PESQUISA DO TRIGO (1984).
5. PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido.
EM-ES - Emborrachamento a espigamento.
FL-MA - Floração a maturação.

grandes reduções de rendimento, podendo se constituir em opção de controle da irrigação em condições de suprimento não limitante de água.

Os tratamentos que tiveram a irrigação suprimida em cada uma das fases de crescimento foram estabelecidos com o propósito de conhecer os efeitos da localização e intensidade do déficit hídrico sobre as medidas de produtividade e seus componentes, desenvolvimento e uso de água.

O último tratamento (nº 12) representou a recomendação de irrigação do trigo como estabelecida na 10ª REUNIÃO DA COMISSÃO NORTE-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO (1984), tendo sido selecionada para se avaliar a sua aplicabilidade nas condições experimentais que prevaleceram no decorrer da pesquisa.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, repetidos quatro (4) vezes, perfazendo 48 parcelas.

3.2.4. Plantio e condução da cultura

O plantio foi efetuado nos dias 10 e 11 de maio de 1984, em sulcos espaçados de 17,5 cm, feitos com sacho, em parcelas com dimensões de 5,6m x 2,5m, separadas de 3m no sentido do declive e de 2m no sentido do nível.

A variedade de trigo utilizada foi a BR-10 Formosa, lançada por iniciativa do CPAC (SILVA et alii, 1984) e preferencial entre

aquelas indicadas para o cultivo irrigado em altitudes maiores que 600 m no Distrito Federal (EMBRATER, 1984).

Baseando-se em uma população de 450 sementes aptas/m², as sementes foram plantadas manualmente, a uma profundidade de 3 a 5 cm, a uma taxa aproximada de 150 kg/ha.

A primeira irrigação foi realizada em 12/05/84, aplicando-se 30 mm de água por parcela, com exceção do tratamento 12, que recebeu 56 mm.

Adubações nitrogenadas em cobertura foram aplicadas no início do perfilhamento, fase de alongamento e início do emborrachamento, respectivamente aos 9, 19 e 47 dias após o plantio, em 3 aplicações de 40 kg/ha de nitrogênio, sob a forma de uréia, totalizando 120 kg/ha de N. O fertilizante foi distribuído na superfície do solo, ao lado das linhas de trigo. Imediatamente após as duas primeiras coberturas, fez-se uma irrigação de 5mm, com a finalidade de dissolver a uréia mais rapidamente e reduzir perdas de N por volatilização.

Tratamentos fitossanitários foram efetuados conforme as necessidades. Aplicou-se Azodrin por duas vezes, aos 13 e 20 dias após o plantio, na dose de 1 litro/ha, pulverizado sobre a folhagem de trigo, visando o combate à "Vaquinha" (*Diabrotica speciosa*). Furadan líquido na dosagem de 3l/ha foi pulverizado em todo o experimento, diante da ocorrência da lagarta Elasm (*Elasmopalpus lignosellus*), constatada aos 24 dias após o plantio. Nova aplicação de Furadan foi necessária no tratamento 11, em

decorrência de déficit hídrico (favorece a Elasmó) determinado pela suspensão de irrigação na fase de desenvolvimento inicial da cultura.

Plantas invasoras foram eliminadas manualmente nos estádios iniciais da cultura.

A colheita foi realizada entre os dias 3 e 10 de setembro/84, dependendo do tratamento, e determinando, para o trigo, um ciclo de 110 a 117 dias.

3.2.5. Controle, cálculo e aplicação das irrigações

As irrigações foram aplicadas quando a tensão de água no solo na profundidade de 10 cm atingia um valor igual ou maior àqueles estabelecidos como tratamento, quais sejam, 0,6 e 3,0 bares, nos diferentes estádios da cultura.

Para essas medidas, foram instalados em cada tratamento uma bateria de tensiômetros para tensões de até 0,8 bar e blocos de gesso para tensões maiores que 0,8 bar - fora do intervalo de medida do tensiômetro -, nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm. Os tensiômetros, de fabricação americana, eram transparentes e do tipo que utiliza um vacuômetro para medida da tensão de água no solo. Para assegurar maior precisão nas leituras, eles foram transformados para tensiômetros de mercúrio, retirando-se o vacuômetro e adaptando uma escala metálica graduada sobre suporte de madeira com tubos flexíveis (es-

paguete), protegido com vidro para cada bateria de 8 tensiômetros. Após teste em condições de laboratório - saturação com água e colocação em caixas de areia -, as baterias de tensiômetros foram levadas para uso no campo, obedecendo a cuidados e procedimentos para instalação e manutenção conforme descritos por AZEVEDO et alii (1983b).

Os blocos de gesso, de fabricação japonesa, foram previamente calibrados em laboratório, usando-se material de solo do local experimental e metodologia descrita por KELLEY (1944). A curva de calibração está mostrada através do Apêndice 4, relacionando a resistência elétrica ($k \Omega$) ao teor de umidade do solo (% em volume). Somente nos tratamentos 1 e 12 não foram instalados blocos de gesso.

As leituras dos tensiômetros e blocos de gesso eram tomadas diariamente, sempre a partir das 8 horas e 30 minutos. Através de equações ajustadas, as leituras eram transformadas em umidade volumétrica para permitir o cálculo da lâmina de água a ser aplicada por irrigação, baseando-se no déficit hídrico determinado em camadas de solo até a profundidade de 1 metro, considerada incluindo a maior percentagem de raízes.

Obtidas as lâminas de água a serem aplicadas em cada tratamento, convertia-se a lâmina em volume, considerando a dimensão da parcela de $14m^2$ e estimando-se uma eficiência de 90% na irrigação.

A água de irrigação era bombeada de canal de terra, previamente revestido por plástico, até duas caixas

elevadas cerca de 15 m do solo, a partir das quais era distribuída em tubulação rígida de PVC de $1\frac{1}{2}$ polegada de diâmetro, nas imediações da área experimental, passando por hidrômetros com precisão de 1 litro. Após passar pelo hidrômetro, a água era conduzida através de tubulação flexível, sendo distribuída sobre as parcelas através de tubo de PVC rígido de 2,5 m de comprimento (largura da parcela), perfurado com broca de 1 mm de diâmetro. Durante a aplicação de água os dois operários passavam o tubo sobre toda a extensão da parcela, andando rapidamente de uma extremidade a outra, visando maior uniformidade na distribuição da água de irrigação. Em virtude da elevada taxa de aplicação de água no solo, a qual suplantava ligeiramente a capacidade de infiltração (150 mm/h), atuava-se no registro colocado antes do tubo perfurado de forma a não permitir acumulação e/ou escoamento superficial de água na parcela. Completado o volume de água calculado, interrompia-se a irrigação, através do citado registro.

Amostras de solo eram retiradas antes e 24 horas após as irrigações, em 3 repetições, para cada uma das mesmas profundidades de instalação dos tensiômetros, visando a determinação gravimétrica do teor de água no solo, para estabelecer a variação do armazenamento de água como componente do balanço hídrico.

3.2.6. Condutividade hidráulica do solo não saturado

Para determinar as características de movimentação de água no interior do perfil do solo, adotou-se o método preconizado por HILLEL et alii (1972) para medir no campo a condutividade hidráulica do solo não saturado que, juntamente com os gradientes de potencial total, permitem calcular os fluxos de água no solo.

Para tanto, foi selecionada uma área de 5m x 5m vizinha à área experimental, sendo irrigada com um volume de água (25000 litros) calculado para saturar o solo até a profundidade de 1,5 metro. Em seguida, a área foi coberta com plástico, para impedir a evaporação de água da superfície, e medidas simultâneas de potencial matricial a partir de tensiômetros e umidade volumétrica de determinações gravimétricas foram obtidas, como função do tempo durante a drenagem interna desde a saturação até 987 horas após (41 dias).

As relações entre a condutividade hidráulica k em cm/hora e a umidade gravimétrica θ em cm^3/cm^3 foram ajustadas para cada uma das profundidades estudadas.

3.2.7. Balanço hídrico

Com o propósito de estimar os valores da evapotranspiração e das perdas por drenagem interna, foram calculados os componentes do balanço hídrico para cada

tratamento, de acordo a metodologia descrita por REICHARDT (1974 a).

Esse método obedece à lei da conservação das massas e estabelece a seguinte equação:

$$\int_{t_0}^{t_1} (p + i - q_e + q_L) dt = \int_0^L \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz \quad (1)$$

cujo primeiro membro representa a soma algébrica dos fluxos de água, ocorrendo durante um intervalo de tempo que vai de t_0 a t_1 , sendo numericamente igual às variações do conteúdo de água em uma camada de solo de profundidade L (segundo membro), avaliadas em igual período de tempo.

De forma simples, a equação (1), após a resolução das integrais fica, para um intervalo de tempo $t_1 - t_0$, igual a:

$$P + I - E + U = S \quad \text{ou} \quad P + I - E + U - S = 0 \quad (2)$$

onde

P = total de precipitação que penetrou por $Z = 0$

I = total de irrigação que penetrou por $Z = 0$

E = total de evapotranspiração na camada de 0 a L

U = total de drenagem interna na profundidade L

S = variação de armazenamento de água na camada de

0 a L .

A camada de solo considerada para elaboração do balanço hídrico foi de 1 metro, por incluir toda a zona de absorção de raízes e representar a camada para a qual as irrigações foram calculadas. Em virtude de não se conhecer previamente a distribuição radicular da cultura, nas condições de manejo de água-solo-planta adotados, o balanço hídrico foi calculado também para as profundidades de 20, 30, 40, 60 e 80 cm, visando avaliar a adequabilidade da profundidade de 1m considerada.

Os intervalos de tempo considerados para avaliação dos componentes do balanço de água no solo, foram os períodos entre irrigações, variando conforme o tratamento.

Os componentes P e I foram medidos na área experimental utilizando-se pluviômetro e hidrômetro respectivamente.

As variações de armazenamento de água no solo foram medidas diretamente através dos dados de umidade gravimétrica e estimada indiretamente, utilizando-se as leituras de tensiômetros e blocos de gesso, com as curvas de retenção de água.

O fluxo de água na profundidade L foi calculado através da equação de Darcy, aplicada às condições de fluxo vertical (REICHARDT, 1974 b) de acordo à equação (3) seguinte:

$$q_z = -K(\theta) \left. \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right|_L = -k(\theta) \left. \frac{\partial \zeta}{\partial z} \right|_L - K(\theta) \quad (3)$$

onde:

q_z = fluxo de água na profundidade z ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}$)

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica como função da umidade volumétrica (cm/seg)

$\frac{\partial \Psi}{\partial z}$ = gradiente de potencial total (cm/cm)

$\frac{\partial \zeta}{\partial z}$ = gradiente de potencial matricial (cm/cm)

$K(\theta)$ foi determinado no local para cada uma das profundidades de solo, conforme descrito no subitem 3.2.6, e $\frac{\partial \zeta}{\partial z}$ obtido dos dados de tensiômetros.

A estimativa da drenagem profunda ($Q_z=U$) foi calculada através da equação (1) para $Z = L$.

Para obtenção das estimativas da evapotranspiração (E) utilizou-se a equação (2), calculando o componente E por diferença, segundo a relação $E = P + I \pm U \pm S$.

3.2.8. Outras medidas de evapotranspiração

Visando a comparação com a estimativa da evapotranspiração obtida através do balanço hídrico, estimou-se o referido parâmetro através de métodos que utilizam medidas de elementos do clima, tais como o método de Penman, o

método da radiação e o método do tanque classe A, como descritos por DOOREMBOS & PRUITT (1976). Isso foi feito somente para o tratamento número 1, considerando ter recebido, em comparação com os demais tratamentos, suprimento de água não limitante para evapotranspirar ao máximo. Os períodos de tempo considerados nas avaliações foram aqueles compreendidos entre irrigações sucessivas.

Cálculos de extração de água pelas raízes, obtidos obedecendo à metodologia resumida no subitem seguinte (3.2.9), também foram comparados com os resultados de evapotranspiração.

Evapotranspiração estimada somente de variações de armazenamento de água até 1 m de profundidade também foi obtida, de acordo com o exemplo de cálculo mostrado por REICHARDT (1978).

3.2.9. Extração de água por raízes

Adotou-se a metodologia preconizada por ROSE & STERN (1967) para avaliar essa medida como função do tempo e da profundidade do solo. Esses dados foram correlacionados com as medidas de evapotranspiração e comprimento e peso de raízes.

Através do método citado, estimam-se os parâmetros r_z e R_z derivados da equação do balanço hídrico (1) e de determinações da magnitude e direção do fluxo de água, conforme se segue:

a) Armazenamento:

$$w = \int_0^z \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt \quad (4)$$

onde:

w = variação no armazenamento de água

θ = conteúdo de água do solo (cm^3/cm^3) nos tempos t_1
e t_2 desde a superfície do solo ($z=0$) até a profundidade z .

b) Fluxo vertical

$$v_z = K_z + K_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (5)$$

onde:

v_z = fluxo vertical de água no solo na profundidade z
(mm/dia)

K_z = condutividade hidráulica do solo na profundidade z
(mm/dia)

h = tensão de água no solo (cm) definida como positiva em solos não saturados.

c) Extração de água

$$r_z = \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) - \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (6)$$

onde:

rz = taxa de extração de água por dia, incluindo a extração por raízes e a evaporação. (l/dia).

$\frac{\partial \theta}{\partial t}$ = variação no conteúdo de água (cm^3/cm^3) em relação ao tempo (dias).

$\frac{\partial v}{\partial z}$ = variação no fluxo de água (mm/dia) em relação à profundidade (cm).

e

$$Rz = \int_0^z rz \, dz \quad (7)$$

onde:

Rz = taxa de extração de água acumulada a partir da superfície do solo até a profundidade z . (mm/dia).

3.2.10. Produtividade de grãos e matéria seca

O rendimento de grãos (corrigido para 13% de umidade) da cultura foi estimado baseando-se na colheita de 20 fileiras de 1,5m, em parcelas com área útil de 5,25 m². As bordaduras foram representadas por 6 fileiras de cada lado (superior e inferior) da parcela e 0,5 m de fileira de cada lado da parcela. Nas parcelas com tensiômetros eliminaram-se as 8 fileiras superiores e 4 inferiores como bordaduras, rejeitando a área de instalação de tensiômetros,

que se apresentava por vezes com ligeira compactação, decorrente do trânsito de pessoas para leitura e manutenção de tensiômetros e blocos de gesso.

O rendimento de matéria seca foi determinado como estimado de todo o material (colmo, folhas e palha da espiga) colhido da parcela (14m²), incluindo a bordadura, permitindo-se um tempo mínimo de secagem de 72 horas à temperatura de 70 a 75°C.

3.2.11. Componentes da produção

Foram avaliados os seguintes componentes:

a) Número de espigas férteis por m².

Contagem de espigas férteis na área útil de cada parcela.

b) Número de grãos por espiga.

Avaliado em 15 espigas coletadas ao acaso na área útil de cada parcela, antes da colheita.

c) Número de espiguetas por espiga.

Avaliado nas 15 espigas citadas anteriormente.

d) Peso de 1.000 grãos.

Registro do peso (corrigido para 13% de umidade) de 1.000 grãos (10 porções de 100 grãos).

Foram também avaliados:

e) Tamanho da espiga (média de 15 espigas ao acaso de cada parcela);

f) Número de colmos por m² e número de espigas não férteis por m² obtidos da área útil de cada parcela.

3.3. Métodos de laboratório

3.3.1. Características físico-hídricas do solo

A partir de amostras de solo com estrutura natural, coletadas às profundidades de 2,5; 10; 20; 30; 40; 60; 80; 100 e 120 cm (subitem 3.2.1), procedeu-se à determinação em laboratório dos seguintes parâmetros do solo:

3.3.1.1. Capacidade de retenção de água

Nas amostras deixadas previamente para saturação por sete dias, aplicaram-se as tensões de 0,06; 0,10; 0,33; 0,50; 0,70; 1,00; 3,00; 4,00; 8,00 e 15,00 atmosferas (atm), através das painéis de pressão e pratos porosos, sob

tensões até 4 atm, de acordo a metodologia de RICHARDS & FIREMAN (1943). Para as tensões maiores (8 e 15 atm) empregou-se o extrator de membrana (RICHARDS, 1941) e amostras de solo com estrutura alterada (peneiradas), considerando que estudos prévios (SCARDUA, 1972 e AZEVEDO, 1976) demonstraram não haver diferença apreciável de retenção de água, devido à condição de estrutura da amostra, submetida a valores altos de tensão no intervalo normalmente adotado de determinação de curva característica de umidade.

Através de centrifugação, por 30 minutos, das amostras com estrutura natural, determinou-se a retenção de água também pelos métodos preconizados por RUSSEL & RICHARDS (1938) até 1 atm e por FREITAS JÚNIOR & SILVA (1984) até 15 atm, aplicando-se para cada tensão diferentes velocidades de rotação (rpm). Os dados obtidos representam médias de 4 repetições.

3.3.1.2. Permeabilidade sob carga constante

Determinada nas mesmas amostras com estrutura natural, seguindo metodologia indicada por EMBRAPA/SNLCS (1979), sob o nº 1.21.2, baseada na lei de Darcy, através da seguinte equação:

$$Q = K A \frac{dh}{L} t \quad \text{ou} \quad K = \frac{QL}{Aht} \quad (8)$$

onde:

K = coeficiente de permeabilidade (cm/s)

Q = quantidade de fluxo de água (ml)

L = altura da amostra (cm)

A = seção transversal da amostra (cm²)

h = diferença de altura (cm)

t = tempo (seg)

$$\text{desde que: } \frac{L}{Ah} = \frac{5,1}{19,6 \times 6,5} = 0,04$$

tem-se

$$K(\text{cm/s}) = 0,04 \frac{Q}{t} \quad (9)$$

Para cada uma das 36 amostras de solo (9 profundidades x 4 repetições), as medidas de volume (ml) representaram médias de 5 leituras nunca inferiores a 1 ml (variou de 1,16 a 7,30), determinando tempos de equilíbrio no intervalo de 30 a 240 segundos.

3.3.1.3. Análise granulométrica

De acordo com o método da pipeta descrito em EM-BRAPA/SNLCS (1979) sob nº 1.16.1.

3.3.1.4. Densidades, porosidades e resistência à penetração

A densidade global (aparente) foi determinada através do método do anel volumétrico - método 1.11.1 em EMBRAPA/SNLCS (1979) - enquanto que a densidade real foi obtida através do método do aparelho determinador das fases sólida mais líquida (rotina do CPAC) e método do balão volumétrico, conforme descrito em KIEHL (1979).

A porosidade total foi obtida dos dados de densidade real e aparente, conforme a equação seguinte (EMBRAPA/SNLCS (1979)):

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100 \quad (10)$$

onde:

Pt = porosidade total (%)

Dr = densidade real (g/cm³)

Da = densidade aparente (g/cm³)

Através da determinação da fase gasosa do solo (rotina do CPAC), estabeleceu-se a percentagem de macroporos em amostras com estrutura natural e com teor de umidade correspondente a 0,5 bar. A microporosidade foi estabelecida por diferença entre porosidade total e macroporosidade. A microporosidade foi estimada também como a umidade volumé-

trica, estando o solo em equilíbrio com a tensão de 0,06 atm (OLIVEIRA, 1967).

A porosidade de aeração ou porosidade livre de água foi calculada pela diferença entre a porosidade total e o conteúdo de água do solo às tensões de 0,1, 0,6 e 3,0 bares.

A resistência do solo à penetração foi obtida no campo através de um equipamento manual (Soil Hardness Tester) existente no Laboratório de Análises Físico-Hídricas do CPAC. Através da leitura em mm do cursor deste penetrometro após a aplicação de pressão sobre o solo é possível calcular a resistência oferecida (kg/cm^2).

3.3.2. Análises de fertilidade do solo

Com o propósito de avaliação das condições de fertilidade do solo, determinações de pH; Al, Ca, Mg e K trocáveis; P disponível e matéria orgânica foram feitas antes do plantio e após a colheita, de acordo com metodologia estabelecida em EMBRAPA/SNLCS (1979) - métodos 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8 - adotada na análise de rotina do CPAC (excetuando-se matéria orgânica e separação de Ca e Mg).

3.3.3. Crescimento da cultura

Foram quantificadas apenas algumas medidas de crescimento consideradas mais sensíveis em relação ao regime de água do solo e/ou condições climáticas.

3.3.3.1. Fases ou estádios de desenvolvimento

Os diferentes estádios de desenvolvimento do

trigo, como estabelecidos pela escala de Feeks-Large, descrita por PETERSON (1965), foram identificados em laboratório, baseando-se na contagem de perfilhos contidos em 0,5 m de fileira, amostrada semanalmente no campo a partir do 50º dia após a emergência. As etapas na fase de perfilhamento foram identificadas visualmente no campo (HAUN, 1973). O critério de estabelecer um determinado estágio era quando mais da metade dos perfilhos se encontrava naquele estágio. A descrição das etapas características está detalhada no Apêndice 5.

3.3.3.2. Altura de plantas

Medida tomada no campo, a partir da superfície do solo até o ápice da maior folha ou até o topo da espiga. Para cada tratamento foram obtidas médias de 48 medidas, originadas de 12 plantas da vigésima fileira de cada parcela. O intervalo de tomada das 11 medidas no ciclo foi variável de 6 a 17 dias.

3.3.3.3. Índice de área foliar

Expressa a relação entre a superfície foliar verde e a área de terreno coberta.

Foram obtidas 10 medidas durante o ciclo do trigo, sendo as duas primeiras calculadas de medidas de comprimento e maior largura de folhas de 12 plantas, em 30 cm

da 13ª fileira de cada parcela. As demais foram obtidas no laboratório, determinando-se diretamente a área foliar verde mediante um aparelho medidor automático.

Para as duas primeiras medidas, fez-se um ajuste prévio entre as medidas (33) obtidas do comprimento vezes a maior largura e as medidas diretas do referido aparelho, encontrando-se um coeficiente de 0,78, similar àquele recomendado (0,75) por PALANISWANY & GOMEZ (1974) para o arroz.

Com exceção das duas primeiras medidas, as demais, a partir do 43º dia após emergência (DAE), foram tomadas em intervalos de sete(7) dias.

3.3.3.4. Número de perfilhos por planta

Obtido no campo e laboratório. No campo, através da contagem dos perfilhos nas 12 plantas da 13ª fileira de cada parcela e, no laboratório, pela contagem dos perfilhos das plantas constituintes da amostra de 50 cm de fileira.

3.3.3.5. Efetividade e mortalidade de perfilhos

Foram assim calculados segundo CHATURVEDI et alii (1981).

$$PPE = \frac{NEF}{NCC} \times 100 \quad (11)$$

onde:

PPE = percentagem de perfilhos efetivos.

NEF = número de espigas férteis.

NCC = número de colmos na colheita.

e,

$$PMP = \frac{NMP - NPC}{NCC} \times 100 \quad (12)$$

onde:

PMP = percentagem de mortalidade de perfilhos.

NMP = número máximo de perfilhos.

NPC = número de perfilhos na colheita.

NCC = número de colmos na colheita.

3.3.3.6. Análise quantitativa de raízes

Para avaliação quantitativa de raízes, adotou-se o método de NEWMAN (1966), com adaptação proposta por MARSH (1971), que fornece a estimativa do comprimento radicular em cada camada de solo estudada, a partir do número de interseções entre as amostras de raízes coletadas e um gabarito quadriculado. O comprimento de raízes (CR), em centímetros, é igual ao número de interseções (NI) vezes um fator (0,7857) dependente das dimensões do quadriculado.

As amostras de solo com raízes foram extraídas com trado apropriado, com capacidade de 754 cm³, em 26/7/84,

aos 71 dias após a emergência, estando a cultura na fase de floração, com o máximo desenvolvimento de raízes. As amostras foram obtidas em intervalos de profundidade de 15 cm, até 120 cm, em todos os tratamentos de uma repetição (bloco II). As raízes foram separadas do solo por lavagem e conservadas em câmara fria até os trabalhos de contagem.

Dados de peso de raízes secas por camada de solo também foram obtidos após secagem em estufa, a 60°C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições de clima

As condições climáticas, expressas pelos valores médios de temperatura, umidade relativa, evaporação, precipitação, radiação solar, insolação e velocidade de ventos que ocorreram durante o período experimental são comparadas com os valores médios registrados de um período de 35 anos no município de Formosa (GO), segundo WOLF (1975), através da Tabela 2.

Os dados apresentados na Tabela 2 revelam que, em comparação com os valores referidos da série de 35 anos, a estação seca de 1984 apresentou dados das variáveis climáticas considerados normais.

Com exceção da precipitação, verifica-se que a amplitude de variação das medidas climatológicas entre os meses é pequena, permitindo estabelecer uma média dos valores representativos do período seco. Obtêm-se assim va-

TABELA 2 - Parâmetros climáticos registrados no CPAC, durante o período experimental (maio a setembro de 1984), comparados a médias de 35 anos no município de Formosa (GO).

Parâmetros	Meses				Período	
	Maiο	Junho	Julho	Agosto		Setembro
Temperatura máxima (°C)	28,3(27,0) ¹	26,8(26,4)	26,9(26,3)	27,4(28,4)	27,5(30,1)	27,4(27,6)
Temperatura mínima (°C)	15,7(14,8)	13,0(13,1)	13,4(12,6)	15,1(13,7)	15,7(16,2)	14,6(14,1)
Temperatura média (°C)	22,0(20,1)	19,9(19,0)	20,2(18,9)	21,2(20,7)	21,4(22,8)	20,9(20,3)
Umidade relativa (%)	70,0(71,0)	63,0(66,0)	56,0(59,4)	55,0(49,6)	68,0(51,7)	62,4(59,5)
Precipitação (mm)	0,0(17,0)	0,0(3,2)	0,0(5,5)	49,6(2,5)	114,9(30,0)	164,5(58,2)
Evaporação-Classe "A"(mm/dia)	5,6	5,7	6,0	6,3	5,6	5,8
Radiação solar (cal/cm ² /dia)	378,0	351,0	356,0	345,0	369,0	359,8
Insolação (horas)	8,9	9,1	8,3	6,9	7,6	8,2
Velocidade do vento (m/s)	1,8	2,2	2,3	2,3	2,1	2,1

¹ Os números entre parênteses indicam as médias ou totais registrados de 35 anos no município de Formosa (GO), localizado a 40 km do CPAC, na direção nordeste.

lores em torno de 21°C de temperatura e 62% de umidade relativa, dentro da faixa favorável ao desenvolvimento do trigo. Além da temperatura e umidade relativa e também como condicionantes climáticos da demanda de água pela cultura em condições de suprimento satisfatório, registraram-se valores médios de quase 6 mm/dia de evaporação e 360 cal/cm²/dia de radiação solar. Os ventos atingem velocidades em torno de 2m/s e o período de insolação médio na estação seca é de aproximadamente 8 horas.

As precipitações registradas não influenciaram os tratamentos. Na área experimental, uma chuva significativa ocorreu somente aos 103 dias após a emergência, em um total de 43,5 mm, quando o trigo já se encontrava maduro e pronto para a colheita não tendo, portanto, afetado os resultados de rendimento obtidos.

4.2. Características químicas do solo

Os resultados das análises químicas que aparecem na Tabela 3 atestam as excelentes condições de fertilidade do solo sobre o qual o trigo se desenvolveu.

De acordo com as escalas de interpretação dos resultados analíticos, segundo MALAVOLTA & KLIEMANN (1985), verifica-se que durante o cultivo do trigo níveis médios a adequados dos elementos nutrientes prevaleceram até 40 cm de profundidade do solo, com exceção de fósforo, com níveis adequados até 20 cm e nível médio de 20 a 30 cm.

TABELA 3 - Características químicas do Latossolo Vermelho Escuro na área experimental.

Profundidade (cm)	pH em água	Al troçável (meg/100ml)	Ca+Mg troçáveis (meg/100ml)	P ³ assimilável (ppm)	K troçável (ppm)	Matéria orgânica (%)
0- 15	4,5	1,7	0,4	2,1	32,8	3,6
15- 40	4,8	1,0	0,2	1,0	12,0	2,2
40- 65	5,1	0,9	0,2	tr	3,7	1,6
65-105	5,2	0,7	0,2	tr	3,7	1,2
105-165	5,3	0,2	0,2	tr	3,7	0,8
<u>Solo Corrigido</u> ²						
0- 10	5,8(6,0)	0,00(0,00)	5,1(4,8)	16,1(16,0)	138 (116)	2,7(2,8)
10- 20	5,7(5,9)	0,01(0,00)	4,8(5,1)	10,3(12,5)	105 (88)	2,5(2,3)
20- 30	5,8(6,1)	0,01(0,00)	4,3(4,7)	6,3(7,2)	105 (68)	2,1(2,3)
30- 40	5,7(6,1)	0,05(0,00)	3,1(3,9)	2,4(0,8)	62 (48)	1,9(2,0)
40- 60	5,2(5,6)	0,15(0,06)	2,1(2,6)	0,7(0,4)	20 (19)	1,5(1,6)
60- 80	5,3(5,2)	0,17(0,22)	1,4(1,6)	0,4(0,4)	15 (12)	1,3(1,4)
80-100	5,1(5,0)	0,14(0,21)	1,1(1,1)	0,6(0,4)	19 (11)	1,2(1,2)
100-120	- (4,9)	- (0,17)	- (1,0)	- (0,4)	- (13)	- (1,2)

¹ Dados originais de EMBRAPA/SNLCS(1978). Resultados de Al, Ca+Mg e K troçáveis expressos em base volume usando-se dados de densidade global de WOLF (1975).

² Resultados antes e (após) o cultivo do trigo, determinados no laboratório do CPAC.

³ Extrator Mehlich (H₂SO₄ 0,025 N + HCl 0,050 N).

Os baixos níveis de alumínio até 1m e médios e altos de pH até a profundidade de 40 cm, bem como os valores médios de Ca+Mg até 60 cm de profundidade, são resultado de correções do solo com elevadas taxas de calagem (até 12 t/ha) feitas no passado (GALRÃO *), e de correções mais recentes, efetuadas em níveis normais, em experimentos anteriores com trigo, irrigado por corrugação (SILVA & LEITE **) e por tubos perfurados (GUERRA et alii, 1987), na mesma área experimental. Os teores de matéria orgânica são adequados (maior que 2,4) nas camadas superficiais até 20 cm. A manutenção desses níveis vem sendo feita com adubação verde nos últimos anos, através da incorporação de Crotalária e Mucuna Preta.

4.3. Características físico-hídricas do solo

4.3.1. Granulometria e classificação textural

A Tabela 4 mostra os resultados da distribuição granulométrica desse solo representativo da região dos Cerrados. Trata-se de um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa, com 45% de argila até 20 cm de profundidade e teores maiores à medida que se aprofunda no perfil. O

*GALRÃO, E.Z. (EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina) Comunicação pessoal, 1985.

**SILVA, E.M. da & LEITE, J.C. (EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina) Comunicação Pessoal, 1988.

TABELA 4 - Distribuição granulométrica, classificação textural e índice de floculação do Latos solo Vermelho Escuro da área experimental.

Profundidade (cm)	Distribuição granulométrica (%)			Argila Natural (%)	Índice de floculação ¹ (%)	Classificação textural	
	Argila	Silte	Areia grossa				Areia fina
0- 10	45	11	8	36	9	80	argiloso
10- 20	45	16	8	31	9	80	argiloso
20- 30	49	7	8	36	5	90	argiloso
30- 40	49	14	8	29	1	98	argiloso
40- 60	53	7	8	32	0	100	argiloso
60- 80	54	10	8	28	0	100	argiloso
80-100	55	5	8	32	0	100	argiloso
100-120	54	5	8	33	0	100	argiloso

¹ Floculação = $\frac{\text{argila total} - \text{argila natural}}{\text{argila total}} \times 100$

teor de silte é variável com a profundidade, sendo maior na camada superficial (0-20 cm). O teor de argila natural (argila dispersa em água) é muito baixo, determinando um elevado grau de flocculação o que, por sua vez, reflete o elevado grau de desenvolvimento da estrutura desse solo.

4.3.2. Densidades, porosidades, resistência à penetração e permeabilidade

Os resultados destas características físico-hídricas aparecem na Tabela 5, através da qual se verificam variações dessas medidas com a profundidade do solo.

Os dados de densidade aparente, que nos fornecem uma idéia do grau de adensamento das partículas, diminui com a profundidade do solo, determinando um aumento progressivo da porosidade total à medida que se aprofunda no perfil. O solo é mais compactado na superfície, na profundidade de 10 cm, com valor de densidade aparente igual a $1,25 \text{ g/cm}^3$, em virtude, possivelmente, do trânsito excessivo de maquinário e gradagens superficiais para derrubar, picar e incorporar matéria verde de plantas leguminosas, bem como o preparo de solo posterior. Ainda com relação à densidade aparente, dada a similaridade dos dados nas profundidades de 20 e 30 cm, 40 e 60 cm, 80, 100 e 120 cm, ficam caracterizadas as camadas de solo de 0-10, 10-30, 30-60 e 60-120 cm com propriedades físico-hídricas semelhantes derivadas dessa proximidade de valores de densidade

TABELA 5 - Densidade aparente, densidade real, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, porosidade de aeração, resistência à penetração e permeabilidade em diferentes profundidades do Latossolo Vermelho Escuro argiloso utilizado no experimento.

Profundidade (cm)	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)			Resistência à penetração		Permeabilidade (mm/h)		
			Total	Macro		0,1 atm	3,0 atm			
				p/dif. ¹	Micro				Livre de água ²	
2,5	1,08	2,76	61	32,3	29	31,4	37,1	38,3	1,2	91
10,0	1,25	2,71	54	36,9	17	20,0	26,7	29,3	12,9	15
20,0	1,15	2,83	59	30,3	29	30,5	35,2	36,8	13,3	64
30,0	1,12	2,88	61	36,7	24	31,0	37,0	39,0	8,5	66
40,0	1,06	2,79	62	31,6	31	31,8	38,6	40,8	7,3	75
60,0	1,03	2,89	64	31,3	33	35,1	40,9	43,0	3,5	138
80,0	0,97	2,93	67	30,5	37	39,7	45,1	47,3	3,2	225
100,0	0,96	2,90	67	29,2	38	40,3	45,4	47,6	2,5	186
120,0	0,95	2,87	67	29,1	38	40,6	45,6	47,7	2,8	190

1 Estimada da diferença entre a porosidade total e o conteúdo de água volumétrico a 0,06 atm de tensão.

2 Porosidade livre de água ou porosidade de aeração calculada com base no teor volumétrico de água nas tensões indicadas.

global.

Os valores da microporosidade variam de 30 a 37%, sendo maiores na superfície, nas profundidades de 10 e de 30 cm. A macroporosidade, ao contrário da micro, é maior nas camadas mais profundas, desde 60 até 120 cm. A distribuição dos poros em micro e macroporos, em virtude de suas funções principais estarem relacionadas respectivamente à capacidade de reter água e à facilidade de drenagem interna, exercem influência direta sobre essas medidas e explicam, como se verá mais adiante, a magnitude de valores como função da profundidade do solo.

A porosidade livre de água, mesmo a tensões mais baixas, como 0,1 atm (solo na capacidade de campo), alcança valores entre 30 e 40%, bem acima de 10 a 15%, considerado por VOMOCIL & FLOCKER (1961) como valor limite abaixo do qual o crescimento de plantas é afetado em virtude de suprimento reduzido de oxigênio para as plantas.

A resistência à penetração, avaliada no campo através de medidas diretas com penetrômetro, apresenta uma relação direta com a densidade aparente, sendo maior (13 kg/cm²) nas profundidades de 10 e de 20 cm, decrescendo com a profundidade até valores de 2,5 kg/cm².

A permeabilidade medida em laboratório é baixa (15 mm/h) na superfície, em virtude do maior grau de compactação. Aumenta para valores entre 65 e 75 mm/h na camada de solo entre 20 e 40 cm e atinge valores extremos (média de 185 mm/h) na camada de 60 a 120 cm, em decorrência da

maior macroporosidade registrada (37%).

4.3.3. Capacidade de retenção de água e água disponível

Os resultados da umidade volumétrica (cm^3/cm^3), como função da força de retenção (atm) para diferentes profundidades do solo, determinados com o equipamento de pressão de Richards, são mostrados na Tabela 6 e Figura 1.

Por essa tabela verifica-se que para cada profundidade de solo estudada há uma diminuição gradativa do conteúdo de água do solo à medida que se aumenta a tensão aplicada, sendo as maiores variações encontradas a baixas tensões, até 1 atm. A partir de 3 e até 15 atm, as variações de umidade com a tensão são bastante reduzidas, configurando perfis de curvas características típicas de um solo arenoso, como mostrado na Figura 1.

Os dados de cada profundidade de solo foram ajustados aos modelos potencial ($y = ax^b$), logarítmicos ($y = a + b \ln x$) e exponencial ($y = ae^{bx}$), usando-se todos os dados ou separando a curva característica em duas partes: de 0 a 1 atm e de 1 a 15 atm. Os melhores ajustes foram conseguidos usando-se todos os dados nos modelos potencial (profundidades de 0; 2,5; 40; 60; 100 e 120 cm) e logarítmico (profundidades de 10; 20; 30 e 80 cm), segundo as equações mostradas na Tabela 7.

Os resultados de retenção de água e modelos de ajuste obtidos com as centrífugas (Tabelas 8, 9, 10 e 11),

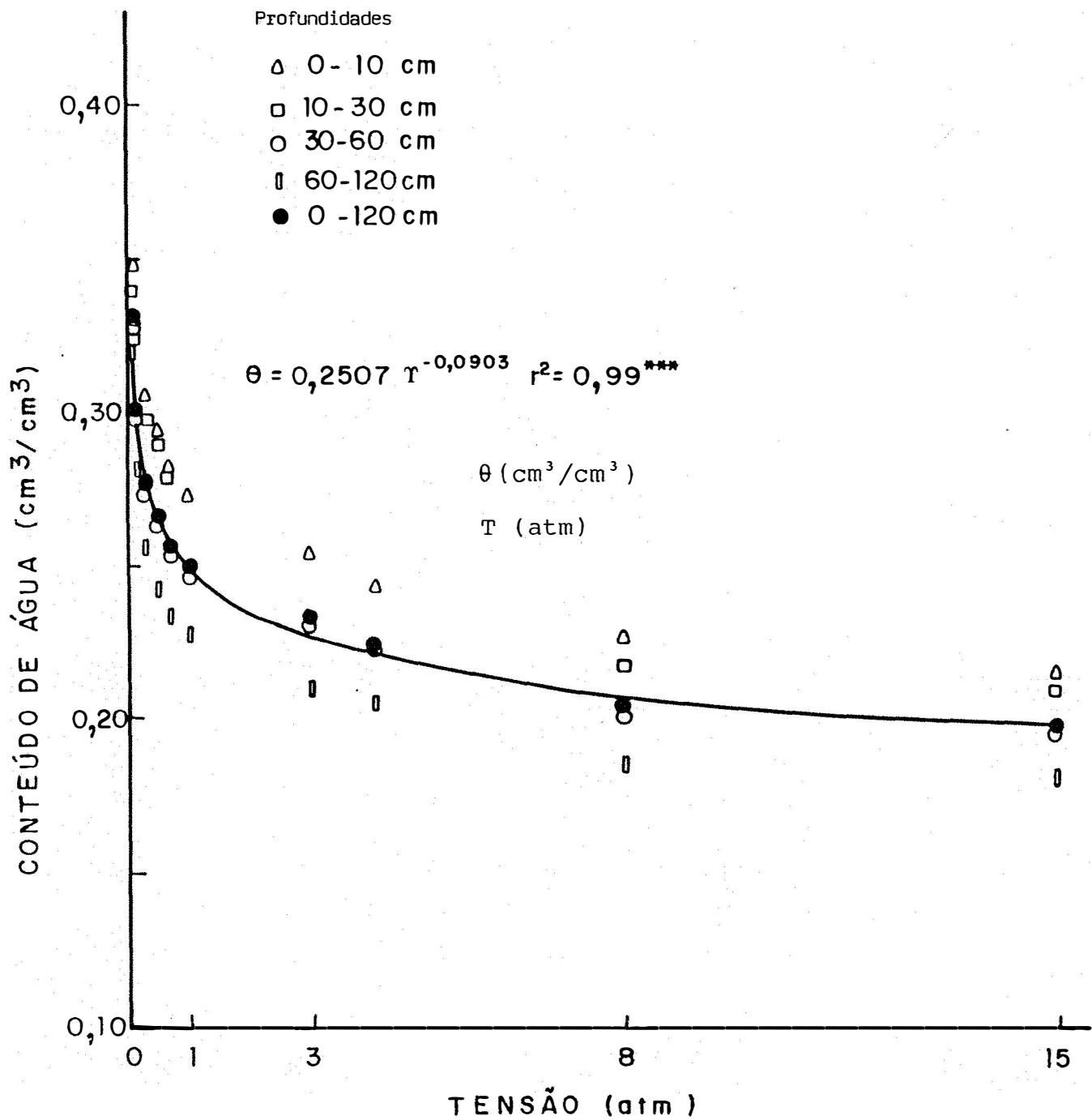


FIGURA 1. Curva característica de umidade em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.

TABELA 6 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) à diferentes tensões, desde 0,06 até 15 atmosferas, para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa de cerrado .²

Profundidade (cm)	Tensão (atm)										
	0,06	0,10	0,33	0,50	0,70	1,00	3,00	4,00	8,00	15,00	
0,0	0,3238 ¹	0,3046	0,2851	0,2724	0,2610	0,2502	0,2361	0,2234	0,2226	0,2116	
2,5	0,3420	0,3235	0,2996	0,2877	0,2764	0,2667	0,2499	0,2377	0,2268	0,2152	
10,0	0,3785	0,3613	0,3287	0,3184	0,3072	0,2997	0,2775	0,2664	0,2313	0,2225	
20,0	0,3181	0,3032	0,2807	0,2731	0,2630	0,2570	0,2374	0,2299	0,2139	0,2059	
30,0	0,3228	0,3072	0,2837	0,2763	0,2678	0,2615	0,2436	0,2336	0,2072	0,2016	
40,0	0,3307	0,3019	0,2782	0,2645	0,2542	0,2473	0,2277	0,2210	0,1993	0,1919	
60,0	0,3276	0,2879	0,2610	0,2510	0,2415	0,2352	0,2198	0,2138	0,1947	0,1936	
80,0	0,3221	0,2831	0,2626	0,2481	0,2364	0,2284	0,2114	0,2039	0,1824	0,1804	
100,0	0,3148	0,2748	0,2491	0,2361	0,2281	0,2267	0,2067	0,2012	0,1795	0,1757	
120,0	0,3169	0,2751	0,2506	0,2361	0,2276	0,2218	0,2078	0,2026	0,1796	0,1758	
0-120	0,3297	0,3023	0,2779	0,2664	0,2563	0,2495	0,2318	0,2234	0,2037	0,1974	

¹ Estimado com base nas medidas do conteúdo de água a 2,5 e 10,0 cm de profundidade.

² Determinada com o equipamento de Richards.

TABELA 7 - Modelos de ajuste das curvas de retenção de água, desde 0,06 até 15 atmosferas, obtidas com o equipamento de pressão de Richards para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado .

Profundidade (cm)	Modelo	Equação		r ¹
		θ (cm ³ /cm ³) ; ψ m(atm)	r ²	
0,0	Potencial	$\theta = 0,2567 \psi_m^{-0,0776}$	0,9833	0,992
2,5	Potencial	$\theta = 0,2697 \psi_m^{-0,0833}$	0,9923	0,996
10,0	Logarítmico	$\theta = 0,2991 - 0,0279 \ln \psi_m$	0,9904	0,995
20,0	Logarítmico	$\theta = 0,2582 - 0,0203 \ln \psi_m$	0,9973	0,999
30,0	Logarítmico	$\theta = 0,2605 - 0,0217 \ln \psi_m$	0,9902	0,995
40,0	Potencial	$\theta = 0,2482 \psi_m^{-0,0954}$	0,9921	0,996
60,0	Potencial	$\theta = 0,2395 \psi_m^{-0,0903}$	0,9716	0,986
80,0	Logarítmico	$\theta = 0,2359 - 0,0242 \ln \psi_m$	0,9635	0,982
100,0	Potencial	$\theta = 0,2258 \psi_m^{-0,0987}$	0,9765	0,988
120,0	Potencial	$\theta = 0,2259 \psi_m^{-0,0990}$	0,9714	0,986
0-120	Potencial	$\theta = 0,2507 \psi_m^{-0,0903}$	0,9922	0,996

¹ Correlações significativas a 0,1% de probabilidade.

TABELA 8 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) a diferentes tensões, determinada pelo método da centrífuga (Russel e Richards 1938) até 1 atm e pelas panelas - 8 e 15 atm - em várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado .

Profundi dade(cm)	Tensão(atm)									
	0,06	0,10	0,33	0,50	0,70	1,00	3,00 ¹	8,00	15,00	
2,5	0,3233	0,2958	0,2588	0,2430	0,2350	0,2277	0,2271	0,2268	0,2152	
10,0	0,3695	0,3403	0,2980	0,2789	0,2677	0,2624	0,2471	0,2313	0,2225	
20,0	0,3027	0,2846	0,2543	0,2408	0,2348	0,2300	0,2222	0,2139	0,2059	
30,0	0,3330	0,2995	0,2555	0,2433	0,2363	0,2325	0,2199	0,2072	0,2016	
40,0	0,3163	0,3021	0,2510	0,2367	0,2316	0,2254	0,2124	0,1993	0,1919	
60,0	0,3133	0,2885	0,2475	0,2342	0,2276	0,2193	0,2098	0,1947	0,1936	
80,0	0,3054	0,2735	0,2349	0,2216	0,2158	0,2090	0,1974	0,1824	0,1804	
100,0	0,2920	0,2673	0,2331	0,2193	0,2132	0,2077	0,1943	0,1795	0,1757	
120,0	0,2913	0,2639	0,2289	0,2157	0,2113	0,2035	0,1929	0,1796	0,1758	
Média 0-120	0,3154	0,2900	0,2504	0,2363	0,2298	0,2237	0,2120	0,1985	0,1934	

¹ Valores estimados do modelo indicado.

TABELA 9 - Modelos de ajuste das curvas de retenção de água com dados até 1 atm, da centrífuga, e de 8 e 15 atm, do equipamento de pressão.

Profundidade (cm)	Modelo	Equação	r ²	r ¹
2,5	Potencial	$\theta = 0,2458 \quad \psi m^{-0,0658}$	0,7975	0,893**
10	Potencial	$\theta = 0,2724 \quad \psi m^{-0,0887}$	0,9507	0,975***
20	Potencial	$\theta = 0,2390 \quad \psi m^{-0,0662}$	0,9236	0,961***
30	Potencial	$\theta = 0,2414 \quad \psi m^{-0,0849}$	0,9105	0,954***
40	Potencial	$\theta = 0,2343 \quad \psi m^{-0,0893}$	0,9364	0,968***
60	Potencial	$\theta = 0,2305 \quad \psi m^{-0,0857}$	0,9257	0,962***
80	Potencial	$\theta = 0,2182 \quad \psi m^{-0,0914}$	0,9285	0,964***
100	Potencial	$\theta = 0,2144 \quad \psi m^{-0,0896}$	0,9557	0,978***
120	Potencial	$\theta = 0,2124 \quad \psi m^{-0,0876}$	0,9375	0,968***

1 Correlações significativas a 0,1% de probabilidade.(***)

Correlações significativas a 1% de probabilidade(**)

TABELA 10 - Capacidade de retenção de água (cm^3/cm^3) a diferentes tensões, desde 0,06 até 15 atm, em várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado ¹.

Profundi- dade (cm)	DA ² (g/cm^3)	Tensão(atm)											
		0,06	0,10	0,33	0,50	0,70	1,00	2,00	3,00	5,00	10,0	15,00	
2,5	1,14	0,3435	0,2933	0,2643	0,2513	0,2446	0,2361	0,2263	0,2187	0,2142	0,2056	0,1949	
10	1,20	0,3425	0,3034	0,2768	0,2642	0,2563	0,2489	0,2385	0,2334	0,2256	0,2175	0,2087	
20	1,24	0,3676	0,3155	0,2847	0,2722	0,2676	0,2598	0,2514	0,2435	0,2357	0,2285	0,2214	
30	1,15	0,3482	0,2945	0,2623	0,2503	0,2436	0,2383	0,2308	0,2254	0,2201	0,2127	0,2047	
40	1,10	0,3646	0,2809	0,2521	0,2413	0,2346	0,2298	0,2235	0,2164	0,2105	0,2036	0,1966	
60	1,03	0,3463	0,2756	0,2383	0,2285	0,2213	0,2155	0,2096	0,2024	0,1974	0,1888	0,1811	
80	0,97	0,3443	0,2657	0,2252	0,2202	0,2096	0,2044	0,1976	0,1893	0,1856	0,1778	0,1717	
100	0,95	0,3535	0,2661	0,2224	0,2122	0,2037	0,1966	0,1958	0,1855	0,1804	0,1725	0,1670	
120	0,96	0,3351	0,2700	0,2267	0,2145	0,2069	0,1983	0,1941	0,1861	0,1822	0,1775	0,1716	
0-120	-	0,3494	0,2850	0,2503	0,2394	0,2320	0,2253	0,2186	0,2112	0,2057	0,1983	0,1909	

¹ Determinada pelo método de FREITAS JUNIOR & SILVA (1984).

² Densidade aparente.

TABELA 11 - Modelos de ajuste dos dados de retenção de água obtidos através do método do fatiamento de FREITAS JUNIOR & SILVA(1984), para várias profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.

Profundidade (cm)	Modelo	Equação		r^2	r^1
		θ (cm ³ /cm ³) ; ψ_m (atm)	ψ_m (atm)		
2,5	Potencial	$\theta = 0,2439$	$\psi_m^{-0,0901}$	0,9486	0,974
10	Potencial	$\theta = 0,2555$	$\psi_m^{-0,0813}$	0,9654	0,982
20	Potencial	$\theta = 0,2674$	$\psi_m^{-0,0807}$	0,9355	0,967
30	Potencial	$\theta = 0,2476$	$\psi_m^{-0,0823}$	0,9078	0,953
40	Potencial	$\theta = 0,2399$	$\psi_m^{-0,0901}$	0,8534	0,924
60	Potencial	$\theta = 0,2262$	$\psi_m^{-0,0977}$	0,8840	0,940
80	Potencial	$\theta = 0,2154$	$\psi_m^{-0,1050}$	0,8700	0,933
100	Potencial	$\theta = 0,2116$	$\psi_m^{-0,1120}$	0,8501	0,922
120	Potencial	$\theta = 0,2129$	$\psi_m^{-0,1049}$	0,8733	0,934

¹ Correlações significativas a 0,1% de probabilidade.

através, respectivamente, dos métodos de RUSSEL & RICHARDS (1938) e do fatiamento (FREITAS JÚNIOR & SILVA, 1984), ajustados aos modelos citados usando-se todos os dados, também produziram bons ajustes pelos seus coeficientes de determinação, razão pela qual foram testados nos cálculos do balanço hídrico.

A partir dos dados de retenção de água (Tabela 6) e utilizando-se as equações 13 e 14 seguintes, foram obtidos os valores da capacidade de armazenamento e déficit de água como função da tensão nos diferentes intervalos de profundidade, com dados agrupados (Tabela 12), considerando os conteúdos de água no solo a 0,1 atm e 15 atm de tensão como, respectivamente, limites superior e inferior da água disponível, sendo:

$$A = (\theta_{0,1} - \theta_{15}) 10 \times p \quad (13)$$

onde:

A = armazenamento de água (mm)

$\theta_{0,1}$ = conteúdo de água volumétrico médio a 0,1 atm
(cm³/cm³)

θ_{15} = conteúdo de água volumétrico médio a 15 atm
(cm³/cm³)

p = intervalo de profundidade do solo (cm)

$$da = (\theta_{0,1} - \theta_{ti}) 10 \times p \quad (14)$$

onde:

da = déficit de água (mm)

TABELA 12 - Capacidade de armazenamento (A) até 15 atm e déficit de água (da) em mm como função da tensão de água em intervalos de profundidade até 120 cm de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.

Intervalos de profundidade (cm)	Tensão (atm)															
	0,1	0,33	0,50	0,70	1,00	3,00	8,00	15,00	A da	A da	A da	A da	A da	A da	A da	
0- 10	11,3	0,0	8,8	2,5	7,6	3,7	6,5	4,8	5,6	5,7	3,8	7,5	1,0	10,3	0,0	11,3
10- 30	22,8	0,0	17,5	5,3	15,8	7,0	13,9	8,9	12,5	10,3	8,6	14,2	1,5	21,3	0,0	22,8
30- 60	31,0	0,0	23,6	7,4	20,5	10,5	17,6	13,4	15,7	15,3	10,4	20,6	1,4	29,6	0,0	31,0
60-120	59,3	0,0	44,7	14,6	36,8	22,5	31,2	28,1	28,0	31,3	18,0	41,3	1,6	57,7	0,0	59,3
0-120	124,4	0,0	94,6	29,8	80,7	43,7	69,2	55,2	61,8	62,6	40,8	83,6	5,5	118,9	0,0	124,4
	126,2 ¹		96,9	29,3	83,2	43,0	71,0	55,2	62,9	63,3	41,6	84,6	7,9	118,3		126,2

¹ Valor obtido com os dados médios de unidade de 0 a 120 cm.

$\theta_{0,1}$ = conteúdo de água volumétrico médio a 0,1 atm
(cm^3/cm^3)

θ_{ti} = conteúdo de água volumétrico médio na tensão indicada (cm^3/cm^3)

p = intervalo de profundidade do solo (cm).

Os resultados da Tabela 12 mostram que a água disponível medida como o armazenamento entre 0,1 e 15 atm é variável com a profundidade, sendo maior na superfície e igual a 1,13 e 1,14 mm de água por cm de solo nos intervalos de zero a 10 e 10 a 30 cm, respectivamente. Para os intervalos de profundidades de 30 a 60 e 60 a 120 cm, os valores decrescem respectivamente para 1,03 mm/cm (31,0/30) e 0,99 mm/cm (59,3/60).

Ainda pela Tabela 12, nota-se que, à medida que se aumenta a tensão para uma mesma profundidade do solo, verifica-se um decréscimo progressivo da disponibilidade de água até 15 atm, quando é nula. Complementarmente, o déficit de água, o qual mede o esgotamento da água disponível até as tensões indicadas, é máximo quando o solo atinge a tensão de 15 atm. As maiores variações desses valores por unidade de tensão ocorrem a tensões mais baixas, até 1 atm. Nas tensões maiores, a partir de 3 atm, as variações são pequenas, como resultado das reduzidas variações da umidade nesse intervalo de tensão (Figura 1).

A relação entre esgotamento da água disponível e tensão de água no solo pode ser melhor visualizada através

da Figura 2, que mostra uma relação exponencial entre essas variáveis. Os resultados revelam que metade da água disponível (50%) é armazenada e esgotada até a tensão de 1 atm. Ao atingir a tensão de 3 atm, 70% da água disponível já foi consumida, restando no solo, portanto, apenas 30%. As diferenças entre profundidades não são apreciáveis, podendo a curva de zero a 120 cm representar a relação para fins práticos. Esses resultados contrastam em parte com os valores encontrados por WOLF (1975), que registrou que aproximadamente dois terços (66%) da água disponível encontrava-se armazenada sob tensões inferiores a 1 bar. Ao considerar, porém, a relação originada dos dados da centrífuga, verifica-se, pela Figura 2 e Tabela 13, que 64% da água disponível é esgotada em tensões menores que 0,7 bar, com pequenas diferenças entre profundidades, concordando com resultados obtidos por AZEVEDO et alii (1983a) em amostras com estrutura alterada. Fatores inerentes aos métodos de determinação, como comentados por FREITAS JÚNIOR & SILVA (1984), podem ter originado as diferenças detectadas na relação entre as variáveis, principalmente nas tensões abaixo de 3 atm, conforme aparece na Figura 3.

Para estimativa dos valores de conteúdo de água volumétrico, nos cálculos de balanço hídrico foram utilizados os modelos obtidos nos métodos das placas e da centrífuga, mostrados respectivamente nas Tabelas 7 e 9.

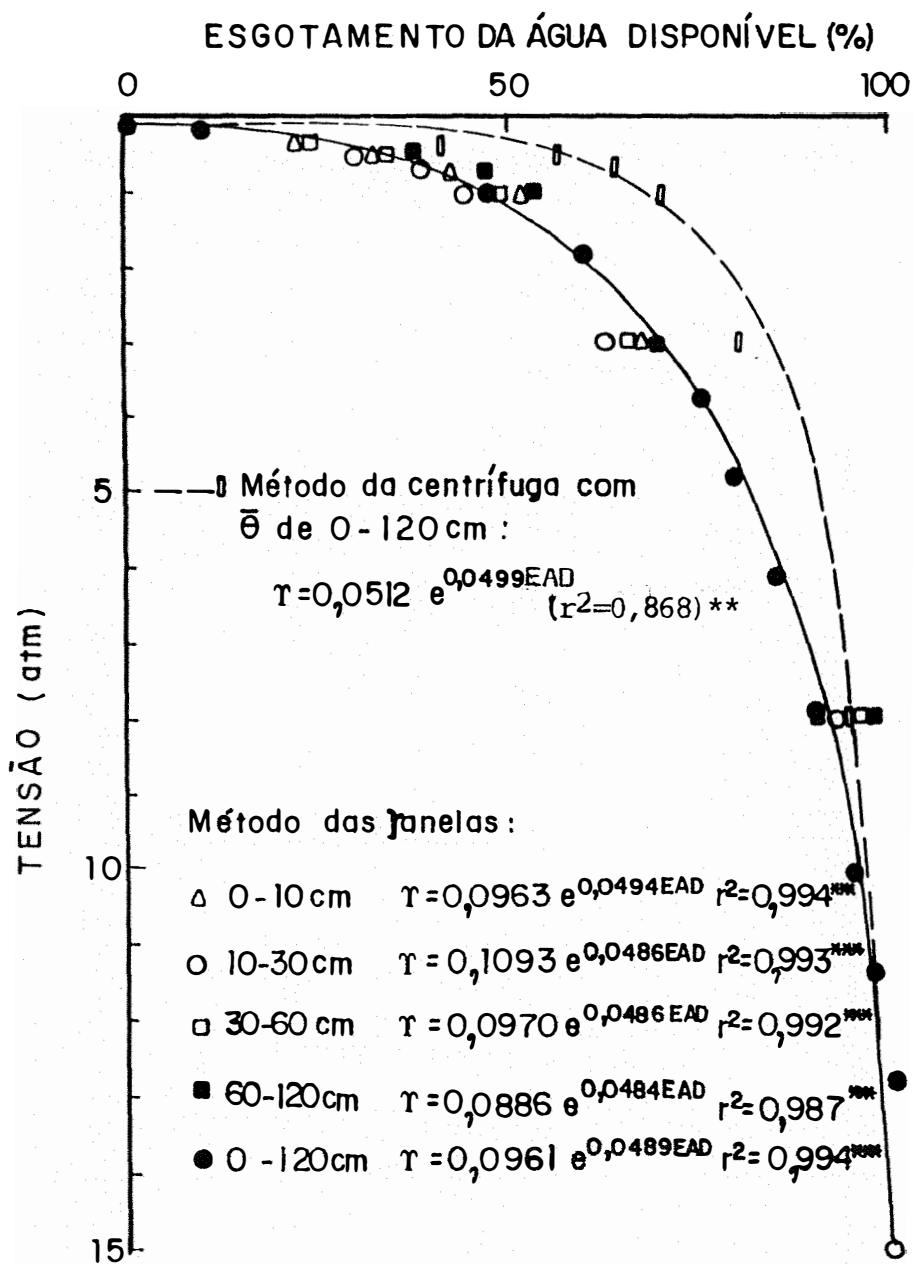


FIGURA 2. Esgotamento da água disponível como função da tensão de água, determinada através de dois métodos de laboratório, em diferentes intervalos de profundidade de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado.

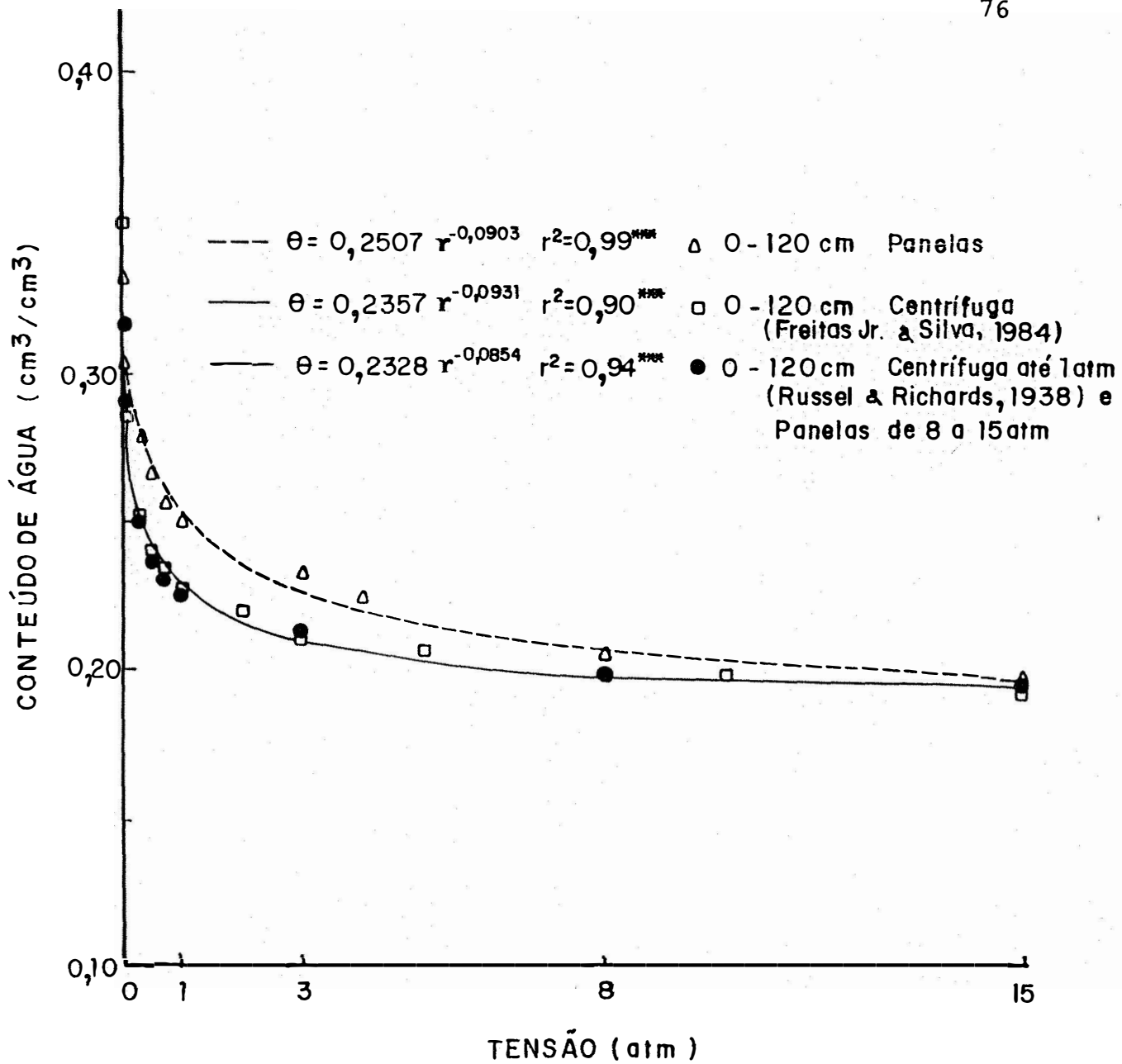


FIGURA 3. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado, obtidas por três métodos de determinação.

TABELA 13 - Percentagem de água disponível e de seu esgotamento (entre parênteses) como função da tensão de água no solo, em diferentes intervalos de profundidade de um LE argiloso de cerrado (dados da centrífuga).

Intervalo de profundidade (cm)	Tensão (atm)									
	0,1	0,33	0,50	0,70	1,0	3,0	8,0	15,00	AD EAD	AD EAD
	AD ¹ EAD ¹	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD	AD EAD
0 - 10	100(0,0)	60,0(40,0)	42,4(57,6)	32,8(67,2)	26,4(73,6)	23,4(76,6)	10,3(89,7)	0,0(100)		
10 - 30	100(0,0)	60,4(39,6)	45,2(54,8)	37,0(63,0)	32,2(67,8)	20,1(79,9)	7,6(92,4)	0,0(100)		
30 - 60	100(0,0)	55,0(45,0)	42,0(58,0)	35,7(64,3)	29,7(70,3)	18,1(81,9)	4,6(95,4)	0,0(100)		
60 -120	100(0,0)	59,5(40,5)	44,9(55,1)	38,7(61,3)	31,0(69,0)	18,7(81,3)	2,9(97,1)	0,0(100)		
0 -120	100(0,0)	59,0(41,0)	44,4(55,6)	37,7(62,3)	31,4(68,6)	19,2(80,8)	5,3(94,7)	0,0(100)		
0 -120 \bar{X}	100(0,0)	58,7(41,3)	43,6(56,4)	36,0(64,0)	29,8(70,2)	20,1(79,9)	6,4(93,6)	0,0(100)		

1 AD = água disponível

EAD = esgotamento de água disponível

4.3.4. Condutividade hidráulica

Os resultados desta medida aparecem na Figura 4 e representam a condutividade hidráulica do solo não saturado, determinada em condições de campo como proposto por HILLEL et alii (1972).

A inclinação das curvas de K versus θ revela uma diminuição rápida da condutividade hidráulica na medida da diminuição dos valores de umidade volumétrica. Para um mesmo valor de umidade, a condutividade é maior (mais rápida) nas camadas mais profundas do solo, de 60 a 120 cm. Isto se deve ao menor grau de compactação dessas camadas - menor densidade aparente -, determinando maiores valores de porosidade total e de macroporos responsáveis pela drenagem interna, como mostrados pela Tabela 5. Os valores mais elevados de permeabilidade nas maiores profundidades obtidos no laboratório (Tabela 5) também corroboram essa explicação.

Durante um intervalo entre irrigações, em geral, a umidade média até 30 cm atinge, depois de 24 horas da irrigação, um teor de 33,3%, correspondente a uma condutividade de 6,3 mm/dia; cai para 0,03 mm/dia (cerca de 200 vezes) depois de 5 dias (6 da irrigação), correspondendo a um teor de umidade de 25%.

As curvas ajustadas de condutividade hidráulica para cada intervalo de profundidade usadas nos cálculos do balanço hídrico estão mostradas na Tabela 14.

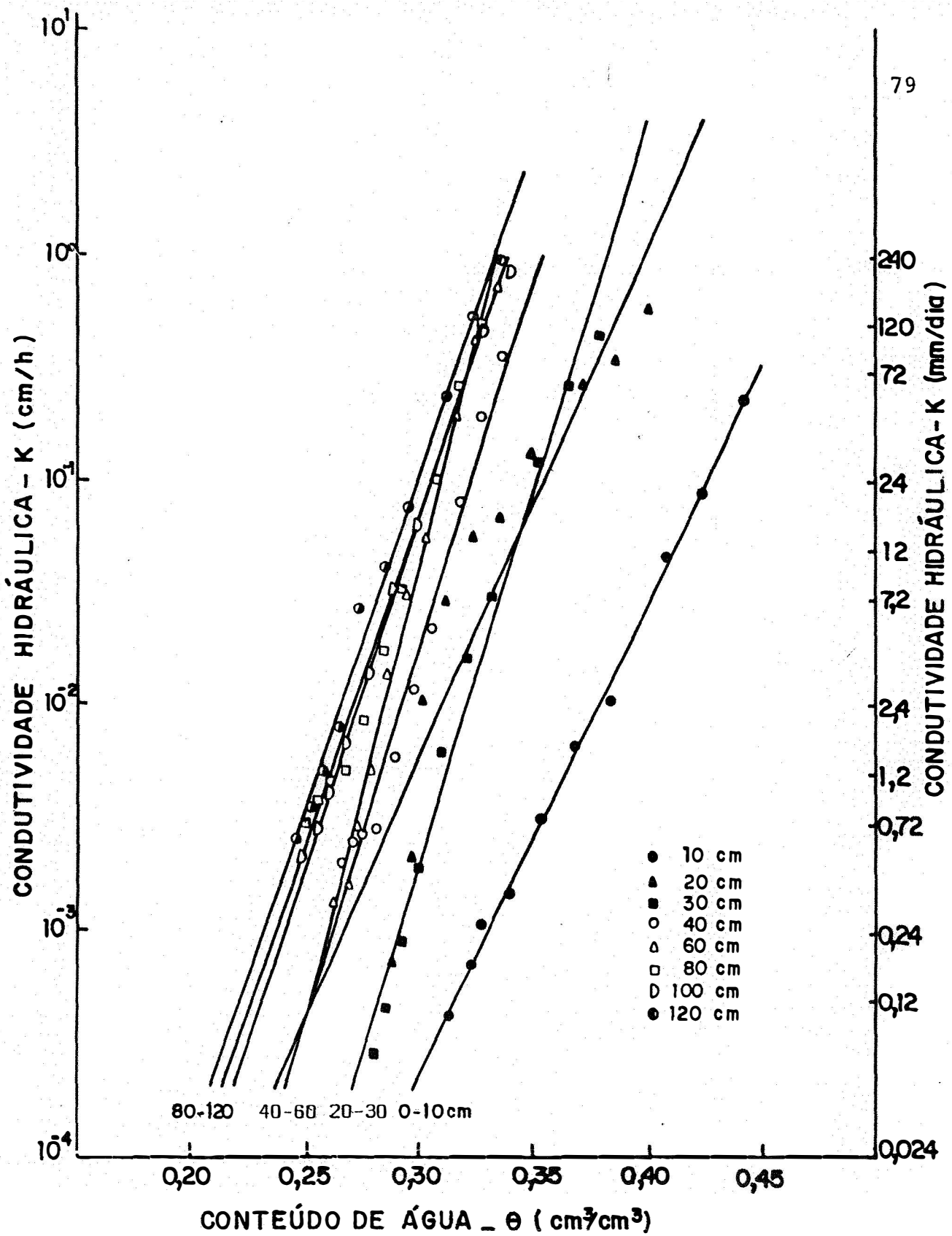


FIGURA 4. Condutividade hidráulica como função da umidade volumétrica, em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado .

TABELA 14 - Relações ajustadas entre condutividade hidráulica (cm/h) e conteúdo de umidade volumétrico (cm³/cm³), determinada no campo, em Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado .

Profun- didade (cm)	Modelo		Coeficiente Correlação ¹ (r)
	Forma logarítmica	Forma exponencial	
0- 10	lnK = 48,04546 θ - 22,75631	K = 1,3094 x 10 ⁻¹⁰ e 48,04546 θ	0,999***
10- 20	lnK = 52,65910 θ - 20,91141	K = 8,2850 x 10 ⁻¹⁰ e 52,65910 θ	0,925***
20- 30	lnK = 76,38478 θ - 29,17579	K = 2,1336 x 10 ⁻¹³ e 76,38478 θ	0,992***
30- 40	lnK = 75,60734 θ - 26,72386	K = 2,4773 x 10 ⁻¹² e 75,60734 θ	0,990***
40- 60	lnK = 91,25376 θ - 30,60068	K = 5,1321 x 10 ⁻¹⁴ e 91,25376 θ	0,997***
60- 80	lnK = 69,45737 θ - 23,57818	K = 5,7561 x 10 ⁻¹¹ e 69,45737 θ	0,992***
80-100	lnK = 66,74893 θ - 22,77568	K = 1,2842 x 10 ⁻¹⁰ e 66,74893 θ	0,999***
100-120	lnK = 67,97589 θ - 22,72199	K = 1,3551 x 10 ⁻¹⁰ e 67,97589 θ	0,999***

¹ Significativo a 0,1% de probabilidade (n=10 pares de dados).

Os dados das medidas simultâneas de umidade e potencial matricial (tensão) para estabelecer a condutividade são mostrados nos Apêndices 1 e 2.

4.4. Produtividade e componentes da produção

4.4.1. Produtividade

Os resultados de rendimento e componentes do rendimento aparecem na Tabela 15.

Os dados de rendimento mostram que os regimes de tensão influenciaram tanto a produtividade de grãos quanto de matéria seca. Verifica-se que os quatro tratamentos que mais produziram grãos e matéria seca receberam irrigação em torno de 0,75 atm (controle prévio estabelecido em 0,6 atm) no período de emborrachamento até o espigamento, independentemente do regime de tensão nos outros dois períodos de desenvolvimento (inicial e final), não sendo estatisticamente diferentes entre si. O tratamento de maior produtividade de grãos, igual a 6497 kg/ha (representava no ano em que foi obtida - 1984 - recorde de rendimento dessa variedade), foi irrigado a 4,8 atm no período inicial do desenvolvimento, desde o perfilho primário até crescimento rápido, e 0,8 atm nas fases intermediária do emborrachamento ao espigamento - e final, da floração até a maturação completa.

TABELA 15 - Rendimento de grãos e de matéria seca e componentes do rendimento de trigo, variedade BR-10 Formosa, submetida a diferentes combinações de tensão de água no solo em 3 períodos de desenvolvimento.

Tratamentos	Rendimento				Peso de 1000 grãos (g)	Número de espiguetas por espiga	Número de colmos por m ²	Tamanho da espiga (cm)					
	grãos Kg/ha	%	matéria seca ¹ Kg/ha	%									
Nº	Tensão média a 10 cm(atm)	grãos	%	matéria seca ¹	1000	espiguetas	colmos	espiga					
PP-CR ³	EM-ES	FL-MA			grãos	por	por m ²	(cm)					
5	4,87	0,81	0,77	6497 a ²	100,0	2467 a	100,0	44,5 a	404 a	16,5 ab	48,7 ab	603 ab	8,28 ab
1	0,57	0,78	0,68	6257 ab	96,3	2443 a	99,0	45,6 a	382 abc	17,7 a	49,1 ab	556 abc	8,75 ab
3	0,67	0,66	4,35	5963 ab	91,8	2346 ab	95,1	46,0 a	389 ab	17,6 a	48,7 ab	505 bc	7,99 bc
7	3,09	0,73	5,05	5835 abc	89,8	2335 ab	94,6	43,2 a	386 abc	16,5 ab	48,7 ab	561 abc	8,65 ab
8	0,69	4,14	3,35	5628 bcd	86,6	2208 abc	89,5	44,3 a	354 bcde	17,6 a	49,2 ab	547 abc	9,01 a
4	0,63	5,85	0,68	5628 bcd	86,6	2241 abc	90,8	44,1 a	356 bcd	17,7 a	49,4 ab	551 abc	8,97 a
6	2,11	1,95	0,57	5479 bcd	84,3	2096 bc	85,0	42,5 a	339 de	16,2 b	50,4 a	446 c	8,42 ab
2	4,17	5,30	4,48	5137 cd	79,1	1987 c	80,5	43,8 a	331 e	16,7 ab	49,9 ab	475 c	8,68 ab
11	7,89	0,60	0,73	5044 cd	77,6	1665 d	67,5	37,0 b	389 ab	14,0 c	47,6 bc	520 abc	7,49 c
12	0,63	0,69	0,72	4971 d	76,5	2015 c	81,7	43,6 a	350 cde	17,0 ab	45,6 cd	491 bc	8,89 a
10	0,41	10,23	0,59	3094 e	47,6	1552 d	62,9	36,9 b	322 e	16,4 ab	45,4 d	626 a	8,03 bc
9	0,55	0,61	>10,86	2992 e	46,1	1691 d	68,5	39,1 b	376 abcd	16,1 b	25,2 e	500 bc	8,96 a
média				5210	80,2	2087	84,6	42,6	365	16,7	46,5	532	8,51
CV				9,6	-	8,7	-	5,5	6,5	4,8	3,1	13,3	5,7

¹ Matéria seca = colmos + folhas + palha da espiga

² Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

³ PP-CR = perfilho primário até crescimento rápido (12 a 42 dias após a emergência - DAE)

EM-ES = embotramento - espigamento (43 a 65 dias após a emergência - DAE)

FL-MA = floração a maturação (66 a 104 dias após a emergência - DAE)

Estes dados revelam um potencial de produção comparável àqueles obtidos em regiões do México, Estados Unidos e Canadá, que já produzem trigo em condições irrigadas há muitos anos. Os tratamentos 1, 3 e 7, que também receberam irrigação a 0,6 atm durante o estágio intermediário do desenvolvimento (EM-ES), produziram, respectivamente, 96,3, 91,8 e 89,8% da produção máxima, constituindo-se em opções de controle da irrigação, visando tetos elevados de produção. Embora não significativo em relação ao rendimento máximo obtido, o rendimento registrado no tratamento 7 (irrigado a tensão maior ou igual a 3 atm nos períodos inicial e final) foi menor em cerca de 670 kg/ha, o que poderá ser uma diferença apreciável (quase 12 sacos/ha) se considerarmos áreas irrigadas de maiores dimensões.

Os oito primeiros tratamentos representam os tratamentos continuamente irrigados, com a irrigação calculada para contornar o déficit hídrico, e incluem todas as combinações possíveis dos dois níveis de tensão pré-estabelecidos (0,6 e 3,0 atm) e dos 3 períodos de desenvolvimento da cultura. A redução de produção nesses tratamentos foi de no máximo 20%, indicando que as combinações dos regimes variáveis de tensão nos diferentes períodos não determinaram reduções apreciáveis de rendimento. Entretanto, ao comparar tratamentos com regimes fixos de tensão ao longo do ciclo (tratamentos 1 e 2), verifica-se que a ir-

rigação a aproximadamente 0,7 atm (tratamento 1) produziu significativamente mais 1.120 kg/ha de grãos que a irrigação controlada a 4,6 atm, a 10 cm de profundidade.

As maiores reduções de rendimento em relação aos três tratamentos mais produtivos foram registradas nos tratamentos que tiveram a irrigação suspensa em cada período de desenvolvimento (tratamentos 11, 10 e 9) ou que receberam menos água de irrigação (tratamento 12). As quedas de rendimento dos tratamentos 11, 12, 10 e 9 alcançaram percentuais de, respectivamente, 22,4%, 23,5%, 52,4% e 53,9% em relação ao mais produtivo, correspondendo esses percentuais a valores estatisticamente diferentes. As reduções registradas nos tratamentos 10 e 9, que tiveram a irrigação interrompida, respectivamente, nas fases de emborrachamento - espigamento e floração - maturação, não foram significativamente diferentes entre si e ultrapassaram o dobro das reduções anotadas nos tratamentos 11 e 12.

Com relação à sensibilidade dos estádios de desenvolvimento ao déficit hídrico, verifica-se pela Tabela 15 que a suspensão da irrigação durante 23 dias, na fase de emborrachamento - espigamento (tratamento 10) determinou praticamente o mesmo nível de redução (52%) quando não se irrigou durante o período de floração - maturação (tratamento 9). Como essa fase durou 39 dias, depreende-se que o período de emborrachamento - espigamento (23 dias) é um período mais crítico com relação à falta de água. Resultados semelhantes foram encontrados por muitos autores, como

ROBINS & DOMINGO (1962); DAY & INTALAP (1970); DOORENBOS & PRUITT (1976); DOORENBOS & KASSAN (1979); SINGH (1981) e ANDRADE E SOUZA & TUBELIS (1982).

A importância da administração adequada de água na fase intermediária de emborrachamento-espigamento é demonstrada também pelos quatro tratamentos mais produtivos, os quais receberam, naquele período, irrigação em nível de umidade residual mais elevado, correspondentes à tensão média de 0,75 atm.

Comparando os tratamentos 1 com 4 e 7 com 2, que se diferenciam praticamente pelo regime de tensão controlada na fase de emborrachamento - espigamento, verifica-se que as alterações de controle da tensão a 10 cm de profundidade de, respectivamente, 0,78 para 5,85 atm e de 0,73 para 5,3 atm em somente uma fase-mesmo sendo a fase crítica - não foram suficientes para alterar os rendimentos em níveis de significância estatística. A essa variação de tensão esteve associada uma variação de aproximadamente 600 a 700 kg/ha de trigo, respectivamente na primeira (1 c/4) e segunda (7c/2) comparações referidas.

A fase vegetativa, desde o perfilho primário até o crescimento rápido, revelou-se menos sensível à redução de umidade do solo. Nessa fase, a suspensão da irrigação por 31 dias reduziu apenas 22% a produção, apesar da tensão média alcançar um valor próximo de 8 atm. O trabalho de

DOORENBOS & KASSAN (1979), entre outros, cita também essa fase de desenvolvimento vegetativo como menos crítica.

Os tratamentos 1 e 12 diferenciam-se pela quantidade de água recebida, uma vez que foram irrigados a tensões médias em torno de 0,68 atm, a 10 cm de profundidade. O tratamento 12 recebeu 40% menos água que o tratamento 1 e produziu 20% menos, mostrando que a quantidade de água aplicada é um fator importante na determinação do rendimento do trigo. Efeitos de água aplicada/evapotranspirada sobre o rendimento são discutidos em subitem que trata do uso de água.

As maiores reduções de matéria seca foram registradas, em níveis estatisticamente semelhantes - média de 34% -, nos tratamentos, que tiveram a irrigação suspensa em cada período do ciclo. Nos demais tratamentos as diferenças entre as médias não foram estatisticamente diferentes.

4.4.2. Componentes da produção

O rendimento final em grãos é principalmente determinado pelos seguintes três componentes: número de espigas por hectare, número de grãos por espiga e o peso de grãos (MENGEL & KIRKBY, 1982).

Os resultados apresentados na Tabela 15 revelam que cada componente de produção foi alterado diferentemente com relação ao regime de tensão de água no solo, exercendo influência diferenciada sobre os dados de rendimento.

O número de grãos por espiga sofreu reduções significativas somente nos tratamentos que tiveram a irrigação suspensa em qualquer uma das três fases de desenvolvimento, apresentando uma média de 37,7 grãos por espiga, em comparação com a média de 44,2 grãos por espiga nos demais tratamentos que receberam irrigações durante todo o ciclo, independente do nível de tensão de água controlada.

Pesquisa conduzida por GUERRA et alii (1987) nas mesmas condições de solo, com a variedade BR-12, submetida a diferentes tensões durante todo o ciclo, revelou que o número de grãos por espiga foi alterado significativamente quando se mantinham no solo tensões maiores ou iguais a 5,6 atm, em relação a tratamentos mais úmidos. Na presente pesquisa, o estabelecimento do nível mais elevado de tensão, próximo a 3 atmosferas, em um ou mais períodos do ciclo nos tratamentos continuamente irrigados não foi suficiente para determinar alterações apreciáveis no número de grãos/espiga, concordando em parte com os resultados de GUERRA et alii (1987).

Em relação ao número de espigas por área(m²), verificou-se uma estreita relação com o regime de tensão na fase de emborrachamento-espigamento. Nota-se pela Tabela 15 que os 6 tratamentos que apresentaram maior número de espigas/m² (média de 388 espigas/m²) foram irrigados a tensões próximas a 0,6 atm (média de 0,7 atm), na fase de emborrachamento- espigamento. Auxilia a explicação desta relação o registro do menor valor deste componente no trata-

mento 10, que não recebeu água naquela fase intermediária do ciclo, embora não haja significância estatística com os menores valores de espigas/m² dos tratamentos 8, 6, 2 e 12.

O número de espiguetas por espiga mostrado na Tabela 15 foi afetado em maior grau no tratamento 11, que não recebeu irrigações na fase inicial de crescimento, desde o perfilho primário até o rápido crescimento. Registraram-se nesse tratamento apenas 14 espiguetas por espiga, sendo esta média estatisticamente diferente em relação às médias dos demais tratamentos. É interessante notar que, dos tratamentos continuamente irrigados, aqueles que tiveram irrigações a tensões próximas de 0,6 atm na fase inicial do desenvolvimento (com exceção do tratamento 12) registraram os maiores valores de número de espiguetas por espiga, demonstrando que a manutenção de um maior nível de umidade do solo nessa fase é importante para a obtenção de maior número desse atributo da produção.

O peso de 1.000 grãos foi significativamente reduzido nos tratamentos 9, 10 e 12 em relação aos tratamentos irrigados durante todo o ciclo (1 a 8), sendo a redução mais evidente (aproximadamente 50%) no tratamento 9, que sofreu os efeitos de déficit hídrico durante a fase compreendida entre o florescimento e a maturação, passando pelo período de enchimento de grãos.

As relações entre os atributos, número de colmos e tamanho da espiga, com os níveis de tensão de água no solo estabelecidos nas diferentes etapas de crescimento do

trigo não foram nítidas. É interessante destacar o maior número de colmos/m² apresentado pelo tratamento 10, o qual sofreu deficiência hídrica durante o período crítico, desde o emborrachamento até o espigamento. Ao se permitir condições ótimas de umidade após um período de déficit severo em época crítica, notou-se, em condições de campo, uma vigorosa emissão de novos perfilhos, muitos dos quais permanecendo verdes até o período de maturação.

Os efeitos dos componentes da produção sobre o rendimento aparecem na Tabela 15. Os dados revelam que o rendimento do tratamento 9 - aquele não irrigado na fase final do ciclo - é explicado principalmente pelo reduzido peso de grãos e, em menor grau, do número de grãos por espiga, estatisticamente inferior em relação aos tratamentos que foram irrigados durante todo o ciclo.

A reduzida produtividade do tratamento 10, o qual foi submetido a uma interrupção no fornecimento de água por um período de 22 dias, entre o emborrachamento e o espigamento, foi verificada sobretudo pelo baixo número de espigas/m², aliado ao número de grãos por espiga e peso de 1000 grãos. A importância da quantidade de espigas/m² na determinação do rendimento final pode ser avaliada também através do tratamento 5, que produziu mais grãos e matéria seca em virtude do maior número de espigas/m².

Os componentes de produção que afetaram o rendimento do tratamento 11 foram o número de espiguetas por

espiga, com um efeito mais pronunciado, e o número de grãos por espiga.

Analisando-se os dados de produtividade e seus componentes agrupados por período do ciclo, considerando-se somente os 8 primeiros tratamentos, tal como se apresenta na Tabela 16, verifica-se a relação entre o componente e o período do ciclo em que se produz a alteração por efeito da tensão de água mantida no solo.

Os dados da Tabela 15 e 16 demonstram que a localização diferencial do déficit altera o rendimento através da alteração dos diferentes atributos do rendimento. Os resultados da presente pesquisa confirmam preceitos estabelecidos em DOORENBOS & KASSAN (1979), que suprimento adequado de água é importante: a) no perfilhamento, para determinar bom número de espiguetas por espiga; b) no emborrachamento-espigamento, para favorecer o número de espigas por m^2 ; e c) na floração-maturação, para determinar maior peso de grãos.

Também DAY & INTALAP(1970) demonstraram que déficit hídrico na fase de espigamento resultou em uma redução no número de espigas por unidade de área, bem como no número de grãos por espiga.

Ao contrário de MARINATO & PALACIOS (1979), não se registraram alterações apreciáveis no tamanho da espiga em função dos regimes de tensão, de forma a influenciar os dados de produtividade de grãos.

TABELA 16 - Médias de rendimento e componentes do rendimento de trigo, variedade BR-10, por período do ciclo, irrigado em dois valores pré-estabelecidos de tensão (0,6 e 3,0 atm).

Períodos	Tratamentos	Tensão média (atm)	Produtividade (kg/ha)	Nº de grãos		Nº de espigas		Nº de espiguetas		Peso de 1000 grãos (g)
				por espiga	m ²	por m ²	por espiga	por espiga		
PP-CR ²	1,3,4,8	0,64	5869 a ¹	45,0 a ⁺	370 a	17,6 a ⁺⁺	49,1 a			
	2,5,6,7	3,56	5737 a	43,5 b	365 a	16,5 b	49,4 a			
EM-ES	1,3,5,7	0,75	6138 a ⁺⁺	44,8 a	390 a ⁺⁺	17,1 a	48,8 b			
	2,4,6,8	4,31	5468 b	43,7 a	345 b	17,0 a	49,8 a ⁺			
FL-MA	1,4,5,6	0,68	5965 a ⁺	44,2 a	370 a	17,0 a	49,4 a			
	2,3,7,8	4,31	5641 b	44,3 a	365 a	17,1 a	49,1 a			

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 1%(++) ou de 5%(+) de probabilidade de pelo teste de Duncan.

² PP-CR: perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após a emergência)
EM-ES: emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após a emergência)
FL-MA: floração à maturação (66 a 104 dias após a emergência)

4.5. Desenvolvimento e uso de água

4.5.1. Desenvolvimento

4.5.1.1. Estádios de desenvolvimento

As épocas em que ocorreram as diferentes etapas de desenvolvimento podem ser visualizadas na Tabela 17, para os diferentes tratamentos.

As combinações de regimes de tensão de água no solo não determinaram diferenças nítidas no ciclo da cultura, com exceção dos tratamentos 11 e 9. No tratamento 11, que sofreu a interrupção da irrigação a partir do aparecimento do perfilho primário (PP) até o crescimento rápido (CR), nota-se, através da Tabela 17, que as plantas alcançaram a fase de emborrachamento (EM) mais rapidamente, com uma diferença de mais ou menos seis dias em relação aos demais tratamentos.

A suspensão da irrigação durante aproximadamente 40 dias, a partir do florescimento (tratamento 9), determinou uma significativa antecipação da colheita. Apesar de esse tratamento ter sido colhido aos 109 dias após a emergência (03/9/84), verifica-se, através da Tabela 17, que a colheita poderia ter sido efetuada aos 93-95 dias, portanto, 2 semanas antes, demonstrando o efeito da localização e intensidade do déficit hídrico naquela fase sobre a antecipação da colheita.

TABELA 17 - Etapas de desenvolvimento e operações realizadas ao longo do ciclo do trigo BR-10, caracterizadas pela escala de Feeks.¹

Data (1984)	Dias após a emergência e etapas de tratamentos	Tratamentos												Etapa da maior parte dos tratamentos	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
10/5	-													Plantio	
12/5	-													Primeira irrigação	
16/5	-													Emergência (+ 50 %)	
17/5	0													Emergência (75 %)	Po(emergência)
23/5	6													Apontando a 3ª folha	P1 (1º broto)
28/5	11													Perfílho primário	
30/5	13													Início de aplicação dos tratamentos	
03/6	17													Início do perfilhamento	P2
08/6	22													Perfílhos formados	P3
14/6	28													Alongamento da bainha	P4
20/6	34													Bainha da folha ereta (P5)	P5 (Bainha ereta)
25/6	39													1º nó do colmo visível (AC ₆)	AC ₆
30/6	44													2º nó do colmo visível (AC ₇)	AC _{7,8} AC ₁₀
06/7	50														AC ₁₀ -E ₁ AC _{6,10}
13/7	57														AC ₁₀
20/7	64														F ₄ (Final florescim.)
27/7	71														M ₁ (Grão leitoso)
03/8	78														M ₁
10/8	85														M ₂ (Massa mole seca)
18/8	93														M ₃ (Grão duro)
27/8	102														M ₄ (Colmo seco)
05/9	111														M ₄
06-10/9	116													Colheita	

¹ - De 10/5 até 30/6 - avaliação no campo

- Quando 1 só etapa representada = 50% de plantas na etapa

- De 30/6 até 05/9 - avaliação no laboratório

- Quando + de 1 etapa representada = 50% de plantas nas etapas

2 - Tratamento 9, colhido em 03/9.

Não se registrou modificação apreciável no ciclo das plantas no tratamento 10, possivelmente em razão do menor tempo (22 dias) a que ficaram submetidas à interrupção da irrigação.

4.5.1.2. Altura de plantas

Os dados de altura de plantas aparecem na Tabela 18. Revelam que as diferenças nas médias das medidas para cada época começaram a partir de 21 dias após a emergência. A não significância estatística das médias dos tratamentos nas duas primeiras épocas de medida (7 e 15 dias após a emergência) explicam-se em razão de que o início de aplicação dos tratamentos de tensão foi estabelecido a partir dos 12 dias após a emergência.

Para a maior parte das medidas de altura, nas diferentes épocas, praticamente inexitem diferenças estatisticamente significativas em altura de plantas de uma mesma época, entre os tratamentos que foram continuamente irrigados, independentemente da combinação dos níveis de tensão, nos 3 períodos de desenvolvimento do trigo considerados.

As influências dos regimes hídricos do solo, através das medidas de tensão de água, sobre a altura de plantas são evidentes nos períodos em que as plantas ficaram submetidas a maiores déficits de água pela suspensão de

TABELA 18 - Altura (cm) de plantas de trigo BR-10 submetidas a combinações de níveis de tensão de água no solo ao longo do ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência														Média
	Tensão média a 10 cm(atm)														
Nº	PP-CR	EM-ES	FL-MA ²	7	15	21	32	49	56	62	70	78	85	99	
3	0,67	0,66	4,35	6,6	12,6	15,1 ²	22,7	46,8	65,1	67,9	83,0	85,4	86,3	85,7	52,5
1	0,67	0,78	0,68	7,1	12,6	14,7	20,4	43,8	62,3	64,6	81,3	86,4	86,0	84,9	51,3
4	0,63	5,85	0,68	5,0	12,5	14,3	20,0	45,1	60,9	67,0	78,8	82,1	80,9	80,6	49,7
8	0,69	4,14	3,35	6,7	11,6	15,0	20,0	43,6	60,1	65,8	76,0	79,2	78,7	78,2	48,6
7	3,09	0,73	5,05	7,4	10,8	13,7	18,0	43,8	61,8	67,9	77,0	78,3	76,8	77,7	48,5
5	4,87	0,81	0,77	5,8	11,6	11,6	17,6	45,3	61,0	65,4	74,4	78,8	79,3	79,8	48,2
6	2,11	1,95	0,57	5,5	11,5	12,8	17,9	44,0	58,8	62,9	74,4	78,3	77,1	76,5	47,2
9	0,55	0,61	>10,86	6,4	9,6	13,9	17,2	42,4	57,2	60,0	74,3	78,0	78,1	77,7	46,8
2	4,17	5,30	4,48	5,3	12,4	13,6	17,2	44,6	61,9	61,4	73,1	74,2	73,8	73,1	46,4
12	0,63	0,69	0,72	7,9	11,0	11,5	16,2	34,8	52,9	59,0	68,3	73,4	74,9	73,5	43,9
11	7,89	0,60	0,73	6,2	12,1	11,9	15,0	31,0	45,8	54,6	65,3	70,3	73,5	73,3	41,7
10	0,41	10,23	0,59	6,2	10,6	15,0	21,0	41,8	56,6	56,4	57,6	61,8	62,0	61,4	40,9
				n.s	n.s	+	++	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++
Média	6,3	11,6	13,6	18,6	42,2	58,7	62,7	73,6	77,2	77,3	76,9	77,3	76,9	76,9	47,1

¹ PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)

EM-ES - Embrorramento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)

FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

² Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente ao nível de 0,1%(+++), 1%(++) e 5%(+) de probabilidade.

irrigação. Esses efeitos foram registrados nos tratamentos 11 e 10. No tratamento 11, o qual não recebeu água de irrigação dos 12 aos 42 dias após a emergência, verifica-se o efeito deletério da suspensão da irrigação no crescimento da cultura, originando tensão média de 7,9 atm no solo e determinando menores valores de altura de plantas, anotados aos 32 e 49 dias após a emergência, para esse tratamento. O adequado suprimento de água no período subsequente (emborrachamento - espigamento), através da manutenção de tensões médias de 0,6 atm, não determina uma recuperação imediata do crescimento e baixos valores de altura são ainda registrados aos 56 e 62 dias após a emergência.

O tratamento 10 acabou por apresentar o menor valor de altura de plantas como média das medidas obtidas ao longo do ciclo. Isto ocorreu em virtude de que, além de a intensidade de déficit hídrico no solo ser ligeiramente maior - representada pela manutenção de tensão média de 10,2 atm -, ele foi imposto em uma fase do desenvolvimento da planta durante a qual se registram as maiores taxas de crescimento. Pela Tabela 18, verifica-se que essa fase inclui o período compreendido entre os 49 e 56 dias após a emergência. Os efeitos do déficit se revelaram irreversíveis, mesmo ocorrendo condições adequadas de umidade do solo (tensão média de 0,59 atm) após o período de deficiência hídrica.

No caso do tratamento 9, quando o déficit hídrico resultante da interrupção da irrigação foi imposto - no

período da floração até a maturação -, a planta já tinha completado a maior parte do crescimento, não sofrendo redução significativa nessa medida quando comparado com os tratamentos que tiveram suprimento de água regular durante todo o ciclo, independente do nível de tensão de água no solo.

A Tabela 17 revela ainda que a partir dos 71 dias após a emergência - época que coincide com o final da fase de florescimento - as variações de altura da planta com o tempo são muito reduzidas.

4.5.1.3. Índice de área foliar

As medidas do índice de área foliar (IAF) são mostradas na Tabela 19.

Representando o quociente entre a área foliar verde da cultura e a área de terreno, elas fornecem uma idéia do grau de cobertura do solo pela cultura.

A análise dos dados da Tabela 19 revela, nos diferentes tratamentos, um aumento gradativo do IAF à medida que as plantas se desenvolvem, até um máximo registrado entre os 43 e 64 dias após a emergência, dependendo do tratamento. Após esse período inicia-se o processo de maturação e com a senescência progressiva das folhas registra-se a diminuição dos valores do IAF.

TABELA 19 - Índice de área foliar de plantas de trigo BR-10 submetidas a combinações de níveis de tensão de água no solo ao longo do ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência													média
	Tensão média a 10 cm(atm)													
	PP-CR	EM-ES	FL-MA ²	17	28	43	50	57	64	71	85	93		
1	0,57	0,78	0,68	0,73	2,86	6,95	8,91	7,70	9,24	6,24	2,07	0,79	5,05	
3	0,67	0,66	4,35	0,72	2,60	10,59 ¹	9,50	10,19	4,28	3,13	2,95	1,07	5,00	
4	0,63	5,85	0,68	0,83	3,88	6,07	8,20	8,89	5,25	2,85	1,88	0,44	4,25	
2	4,17	5,30	4,48	0,54	2,06	5,17	7,42	7,55	4,11	3,46	2,42	0,38	3,68	
8	0,69	4,14	3,35	0,69	2,62	4,11	7,78	8,39	4,44	3,58	0,73	0,33	3,63	
9	0,55	0,61	>10,86	0,25	1,02	4,24	9,87	7,56	5,58	2,61	0,94	0,00	3,56	
10	0,41	10,23	0,59	0,57	2,16	6,46	10,41	4,12	2,56	2,01	1,36	0,48	3,35	
6	2,11	1,95	0,57	0,87	3,13	4,43	6,87	5,88	4,30	2,32	1,21	0,66	3,30	
5	4,87	0,81	0,77	0,64	1,87	3,21	5,90	5,86	6,82	2,37	1,45	0,12	3,14	
12	0,63	0,69	0,72	0,43	1,14	4,46	10,60	4,69	3,31	2,15	0,74	0,23	3,08	
7	3,09	0,73	5,05	0,55	1,99	3,76	6,89	5,83	3,60	3,21	1,20	0,18	3,02	
11	7,89	0,60	0,73	0,52	1,67	3,13	5,80	4,16	2,93	1,75	1,02	0,78	2,41	
Média				0,61	2,24	5,22	8,18	6,74	4,70	2,97	1,50	0,46	3,62	

¹ Valor improvável ocorrido possivelmente por erro de amostragem

² PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)
 EM-ES - emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)
 FL-MA - floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

Os efeitos das condições de umidade do solo, através de medidas da tensão da água, sobre os valores do IAF estão também relacionados com a magnitude dos valores de tensão e a etapa de desenvolvimento em que ocorreram.

A comparação, por exemplo, dos tratamentos 1 e 2, os quais representaram a manutenção de tensões de água a 10 cm do solo, respectivamente, em valores próximos a 0,6 e 3,0 atmosferas durante todo o ciclo, demonstra a influência direta do estado de umidade do solo sobre a medida do IAF. Assim é que a manutenção de tensões médias próximas a 0,6, 0,8 e 0,7 atm, respectivamente, nas 3 etapas de desenvolvimento do trigo determinou um acréscimo médio de 37% do IAF médio, durante todo o ciclo, em comparação com o tratamento 2, irrigado a níveis de umidade residual mais baixos, correspondentes a tensões de 4,2, 5,3 e 4,5 atm, nos 3 períodos de desenvolvimento selecionados para aplicação dos tratamentos. Ainda na comparação dos tratamentos 1 e 2, nota-se uma antecipação em 7 dias do ponto de máximo IAF por efeito do regime hídrico menos favorável ao desenvolvimento da folhagem do tratamento 2. Esta mesma evidência pode ser demonstrada comparando-se os tratamentos 3 e 6, que se diferenciam, nas 2 primeiras fases de desenvolvimento, pelos níveis adequados (tratamento 3) e moderados (tratamento 6) de tensão de água no solo na superfície. Neste caso, novamente constatou-se, além de uma redução do valor máximo do IAF em 33%, uma antecipação de 1 semana na época de máximo IAF no tratamento 6, irrigado a maiores

tensões no período de formação da área foliar.

Analisando-se as medidas de IAF obtidas no tratamento 11, submetido à interrupção de irrigação no período do perfilhamento, dos 12 aos 42 dias após a emergência, com tensões médias de aproximadamente 8 atmosferas na superfície do solo, verifica-se que o efeito do déficit hídrico manifestou-se mais tarde nos valores de IAF obtidos aos 43 e 50 dias, época compreendida no período de máxima expansão da área foliar. Naqueles 2 períodos registraram-se, para o tratamento 11, os menores valores de IAF em comparação com os demais tratamentos.

O efeito notável da intensidade e localização do déficit hídrico sobre o IAF é revelado pela significativa redução (60%) de 10,4 para 4,1 do IAF medido, respectivamente, aos 50 e 57 dias após a emergência, referente ao tratamento 10, cujas plantas naquela fase estavam submetidas a déficit de água no solo, uma vez que a irrigação nesse tratamento foi suspensa desde os 43 dias até os 64 dias após a emergência.

No caso do tratamento 9, em razão da interrupção do fornecimento de água na fase final do florescimento até a maturação, determinando tensão média no período de 10,9 atmosferas, verifica-se que aos 93 dias após a emergência não foi possível a medição de área foliar verde, em decorrência da antecipação do amadurecimento foliar.

Além dos tratamentos que sofreram déficit hídrico nas duas primeiras fases de crescimento (tratamentos 11 e 10), registrou-se a tendência de menor IAF nos tratamentos com tensões próximas de 3 atmosferas no período inicial testado (tratamentos 7, 5 e 6).

A regressão entre IAF aos 50 dias após a emergência (x) e o rendimento de trigo (y) apresentou um coeficiente de correlação $r = 0,54$, significativo, respectivamente, a 5 e 10% de probabilidade nos modelos linear ($y = 8141,56 - 358,7 x$) e exponencial ($y = 9982,65e^{-0,0827x}$). O valor de IAF aos 50 dias após a emergência foi selecionado na análise em virtude de que os valores obtidos nesse período estão mais próximos do intervalo de 6,0 a 8,8, indicado por MENGEL & KIRKBY (1982) como a faixa de valores ótimos de IAF para o trigo.

4.5.1.4. Perfilhamento

Um importante atributo do rendimento em trigo é o número de perfilhos por unidade de área ou por planta (BINGHAM, 1966; CHATURVEDI et alii, 1981).

Segundo BEGG & TURNER (1976), a disponibilidade de água no solo, entre outros fatores mais ligados ao clima, exerce influência sobre a produção e sobrevivência de perfilhos.

Os resultados de número de perfilhos por planta

obtidos a partir de contagens realizadas no campo e laboratório aparecem na Tabela 20.

A produção de perfilhos iniciou-se entre 10 e 14 dias após a emergência e o número máximo de perfilhos por planta ocorreu, em geral, entre 32 e 42 dias após a emergência (37 a 47 dias após plantio), nos tratamentos irrigados continuamente, independente dos níveis de tensão de água no solo:

Com exceção do tratamento 7, verifica-se que as seis maiores produções médias de perfilhos foram registradas em tratamentos permanentemente irrigados e com tensões próximas a 0,6 atmosfera, no período de perfilhamento a crescimento rápido, o qual inclui o período de produção máxima de perfilhos.

Nos tratamentos que sofreram interrupção da irrigação (9, 10 e 11), o efeito de redução do número de perfilhos como função de déficit hídrico foi observado em maior grau no tratamento 11, o qual não recebeu água de irrigação dos 12 aos 42 dias após a emergência. Notam-se, a partir dos 20 dias após a emergência até o final deste período os menores valores de perfilho/planta (média de 1,7 - Tabela 21) registrados entre todos os tratamentos, revelando a importância da irrigação nesse período, visando perfilhamento satisfatório.

Ao contrário de resultados obtidos por CHATURVEDI et alii (1981), não se registrou correlação significativa

TABELA 20 - Número de perfilhos por planta de trigo BR-10 submetida a combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento

No	Estatamentos		Dias após a emergência													média			
	PP-CR	EM-ES	FL-MA ¹	14 ²	20	32	42	43	50	53	57	64	71	78	85		93	102	111
4	0,63	5,85	0,68	1,08	2,48	4,71	4,85	4,28	2,94	4,45	3,95	3,15	2,43	2,40	1,89	1,87	2,15	2,65	3,02
3	0,67	0,66	4,35	1,02	2,50	4,63	3,90	3,76	3,09	3,56	4,00	3,14	2,29	3,25	2,18	2,23	2,56	1,96	2,94
7	3,09	0,73	5,05	0,81	2,15	3,60	3,80	3,20	3,64	3,03	2,74	2,26	3,39	3,93	2,83	2,90	2,87	2,64	2,92
8	0,69	4,14	3,35	0,73	2,15	4,02	4,15	3,47	3,18	3,48	6,40	1,91	2,27	2,25	1,96	1,62	2,10	3,11	2,85
1	0,57	0,78	0,68	0,81	1,83	3,96	3,90	2,79	3,20	3,69	2,45	3,14	2,32	5,78	2,12	2,26	2,21	1,90	2,82
12	0,63	0,69	0,72	0,60	1,63	2,90	4,72	3,24	4,12	3,53	2,35	3,17	3,82	3,50	2,24	1,97	1,89	2,59	2,82
10	0,41	10,23	0,59	0,73	1,83	3,49	3,83	4,92	3,59	3,13	2,08	2,63	2,63	4,69	4,07	1,39	0,98	1,73	2,78
9	0,55	0,61	>10,86	0,35	1,17	2,61	3,54	-	4,25	3,14	4,42	2,63	2,82	3,73	2,52	2,16	2,56	2,45	2,74
2	4,17	5,30	4,48	0,81	1,69	3,37	4,22	3,50	3,25	3,40	2,38	2,10	3,86	2,93	2,82	1,87	1,74	2,78	2,71
5	4,87	0,81	0,77	0,69	1,79	3,31	3,51	-	2,21	2,81	3,13	2,79	1,50	2,81	2,67	1,87	2,15	2,14	2,38
6	2,11	1,95	0,57	0,69	1,56	2,98	3,47	1,89	2,74	2,81	2,89	3,06	1,65	2,08	1,88	1,51	2,08	2,32	2,24
11	7,89	0,60	0,73	0,65	1,56	2,27	2,55	-	3,18	2,53	1,53	3,28	2,89	1,63	1,71	2,78	1,89	2,35	2,20

¹ PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)

EM-ES - Emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)

FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

² Dados de 14, 20, 32, 42 e 53 DAE, tomados no campo. Nas demais épocas, no laboratório.

TABELA 21 - Número médio de perfilhos por planta em 3 períodos de desenvolvimento de trigo BR-10, submetido a combinações de níveis de tensão de água no solo

Nº	Tensões		Períodos de desenvolvimento						Média
	Tensão média a 10cm (atm)		Perfilho primário(PP)		Emborrachamento(EM)		Floração(FL)		
	PP-CR	EM-ES	FL-MA	Crescimento rápido(CR) (12 a 42 DAE) ^a	Espigamento(ES) (43 a 65 DAE) ^a	Maturação(MA) (66 a 104 DAE)			
4	0,63	5,85	0,68	3,28	3,75	2,23	3,08		
3	0,67	0,66	4,35	3,01	3,51	2,41	2,97		
7	3,09	0,73	5,05	2,59	2,97	3,09	2,88		
8	0,69	4,14	3,35	2,76	3,69	2,22	2,89		
1	0,57	0,78	0,68	2,63	3,05	2,77	2,82		
12	0,63	0,69	0,72	2,46	3,28	2,67	2,80		
10	0,41	10,23	0,59	2,47	3,27	2,58	2,77		
9	0,55	0,61	>10,86	1,92	3,61	2,71	2,75		
2	4,17	5,30	4,48	2,52	2,93	2,67	2,71		
5	4,87	0,81	0,77	2,33	2,74	2,19	2,42		
6	2,11	1,95	0,57	2,18	2,68	1,92	2,26		
11	7,89	0,60	0,73	1,76	2,63	2,21	2,20		
		Média		2,49	3,17	2,47	2,71		

1 DAE - dias após a emergência

entre o rendimento e o número máximo de perfilhos e o número de perfilhos produtivos (% de perfilhos efetivos).

Esse último parâmetro praticamente não foi influenciado pelos tratamentos, conforme apresentado na Tabela 22. A percentagem de perfilhos produtivos (efetivos) dá uma idéia da proporção de colmos que contribuíram para a produção com espigas férteis. Os valores se situaram entre 65% e 77% e são o resultado do quociente do número de espigas férteis pelo número de colmos na colheita. A alteração significativa da percentagem de perfilhos efetivos registrada pelo tratamento 10 em relação aos demais tratamentos (exceção dos tratamentos 4 e 8) foi o resultado tanto do reduzido número de espigas férteis por m² quanto do elevado número de colmos por unidade de área.

O menor valor de espigas férteis resultou do déficit hídrico acentuado, ocorrendo desde o período de início da alongação até o momento de início do florescimento. É neste período que está sendo determinado o número total de espigas, segundo DOORENBOS & KASSAN (1979). A elevada produção de colmos por área resultou das condições ótimas de umidade do solo que ocorreram, sucedendo ao período de déficit hídrico severo. Desenvolvendo um mecanismo de sobrevivência em condições de suprimento não limitante de água e após terem sido submetidas a condições extremas de deficiência hídrica, as plantas do tratamento 10 emitiram perfilhos a uma taxa de aproximadamente 2 perfilhos/planta,

TABELA 22 - Número de espigas férteis, espigas não férteis, colmos e percentagem de perflhos produtivos e mortalidade de perflhos de trigo BR-10 submetido a combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento.

Nº	Tratamento		Nº de espigas férteis por férteis m ²	Nº de espigas não férteis por m ²	Nº de colmos por férteis m ²	% de perflhos produtivos	% de mortalidade de perflhos	Média
	Tensão média a 10 cm (atm)	FL-MA ¹						
	PP-CR	EM-ES					(1)	(2)
5	4,87	0,81	404 a ³	5,1 a	603 ab	67,4 a	31,6	35,3
3	0,67	0,66	389 ab	2,2 bc	505 bc	77,7 a	51,0	54,3
11	7,89	0,60	389 ab	1,5 c	520 abc	75,9 a	28,4	18,1
7	3,09	0,73	386 abc	4,8 ab	561 abc	69,3 a	32,8	31,6
1	0,57	0,78	382 abc	4,7 ab	556 abc	69,8 a	67,1	59,6
9	0,55	0,61	376 abcd	4,0 ab	500 bc	77,5 a	44,6	37,7
4	0,63	5,85	356 bcd	4,8 ab	551 abc	64,9 ab	38,1	41,7
8	0,69	4,14	355 bcde	3,3 abc	547 abc	65,2 ab	51,4	38,2
12	0,63	0,69	350 cde	4,3 ab	491 bc	72,5 a	37,1	41,1
6	2,11	1,95	339 de	3,9 abc	447 c	77,0 a	24,2	28,6
2	4,17	5,30	331 e	4,8 ab	475 c	70,0 a	28,0	31,0
10	0,41	10,23	322 e	4,6 ab	626 a	52,2 b	64,8	59,8

¹ PP-CR - Perflho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)
 EM-ES - Emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)
 FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

² Dados originados de uma única medida.

³ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

(1) Nº máximo de perflhos e nº de perflhos obtidos em laboratório.

(2) Nº máximo de perflhos obtidos no campo e nº de perflhos na colheita obtido no laboratório.

determinando o maior número de colmos registrado entre todos os tratamentos. Essa emissão apreciável de perfilhos pode ser constatada nos dados de perfilhos/planta medidos aos 78 e 85 dias após a emergência (Tabela 20), quando a cultura estava sujeita a níveis de tensão de água no solo não limitantes.

É interessante notar que, em comparação com o tratamento 10, os tratamentos 4 e 8, que estiveram submetidos a um déficit hídrico no período crítico, embora em menor grau (tensões de 4 a 6 atm), produziram maior número de espigas férteis (355 espigas/m²) e, na mesma proporção (10 a 12%), tiveram reduzidos o número de colmos/m², determinando percentagens de perfilhos produtivos em magnitudes estatisticamente comparáveis.

Igualmente de interesse são os dados calculados da percentagem de perfilhos produtivos dos tratamentos 2 e 6. Semelhantemente aos tratamentos 4 e 8, aqueles estiveram sob tensões moderadas de água no solo - de 2 a 5 atmosferas na etapa intermediária do desenvolvimento - e, embora apresentando também reduzidos valores de espigas/m², estatisticamente iguais ao tratamento 10, revelaram índices estatisticamente superiores de perfilhos produtivos, em decorrência dos menores valores de colmos/m². A redução de colmos/m², embora com diferenças significativas apenas em relação aos tratamentos 5 e 10, pode ser explicada pela ocorrência, no momento da irrigação, de tensões moderadas nas

duas primeiras fases de desenvolvimento da cultura.

Em relação à percentagem de mortalidade de perfilhos, não foi possível a análise estatística em virtude da ausência de repetições. Entretanto, observando-se os dados médios relativos à percentagem de mortalidade de perfilhos apresentados na Tabela 22, verifica-se que, em geral, os tratamentos que foram irrigados a tensões próximas a 0,6 atmosfera, na primeira etapa de desenvolvimento, do perfilho primário até o crescimento rápido, apresentaram as maiores percentagens de mortalidade de perfilhos. Esses tratamentos, incluindo o tratamento 7, foram aqueles que mais perfilhos produziram, indicando, à semelhança das evidências encontradas por CHATURVÉDI et alii (1981), de que as maiores produções de perfilhos estão associadas a percentagens de mortalidade mais elevadas.

Em comparação com a tensão de 3 atmosferas no primeiro período avaliado a média de percentagem de mortalidade de perfilhos nos tratamentos irrigados a 0,6 atmosfera, no mesmo período, é 57% mais elevada, não refletindo, como a percentagem de perfilhos produtivos, nos dados de produtividade de trigo (Tabela 15).

O valor de apenas 18% de mortalidade de perfilhos apresentado pelo tratamento 11 contrasta com as médias dos demais tratamentos e pode ser explicado pelos baixos valores do número máximo de perfilhos, por efeito direto do acentuado déficit de água no solo - tensão de quase 8 at-

mosferas - predominante na etapa de desenvolvimento, na qual se registra o número máximo de perfilhos no ciclo da cultura (Tabela 20).

4.5.1.5. Crescimento de raízes

Os dados relativos a comprimento e massa de raízes referentes à amostragem efetuada aos 70 dias após a emergência, nos diferentes tratamentos, aparecem nas Tabelas 23 e 24, para camadas de solo de 15 cm, até 1,20m de profundidade.

No geral, os dados se apresentam, em relação aos níveis de tensão de água no solo, variáveis e inconsistentes.

A distribuição percentual de raízes por camada amostrada revela, como era de se esperar, uma maior concentração de raízes nas camadas superficiais do solo. Assim, verifica-se, para a maioria dos tratamentos (exceção aos tratamentos 8, 11 e 12), que aproximadamente 80% das raízes se localizam nos primeiros 45 centímetros de solo. A concentração é maior quando se consideram os dados de massa de raízes. Neste caso mais de 90% da massa total de raízes foi registrada até 45 cm de profundidade.

A maior extensão de raízes (9.414 cm) foi registrada no tratamento 12, que, embora recebendo menos água, foi irrigado a intervalos mais freqüentes, correspondentes a tensões próximas de 0,6 atmosfera, durante todo o ciclo.

TABELA 23 - Comprimento e peso de raiz de trigo BR-10, amostrada aos 70 dias após emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função de combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento, nos tratamentos de 1 a 6.

Profundidade (cm)	Trat. 1 (0,57; 0,78; 0,68) ¹			Trat. 2 (4,17; 5,30; 4,48)			Trat. 3 (0,67; 0,66; 4,35)		
	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)
0-15	4726	56,8	0,5179	3872	46,1	0,7470	3623	76,8	0,3440
15-30	1737	20,9	0,0609	2077	24,7	0,1045	1677	10,7	0,0609
30-45	870	10,5	0,0422	863	10,3	0,0384	436	4,0	0,0176
45-60	384	4,6	0,0194	372	4,5	0,0199	330	2,0	0,0171
60-75	302	3,6	0,0138	620	7,4	0,0319	273	4,0	0,0124
75-90	108	1,3	0,0075	398	4,7	0,0220	216	3,2	0,0100
90-105	116	1,4	0,0060	145	1,7	0,0071	142	2,1	0,0068
105-120	74	0,9	0,0040	50	0,6	0,0018	28	0,4	0,0021
0-120	8317		0,6717	8397		0,9726	6725		0,4709
Profundidade (cm)	Trat. 4 (0,63; 5,85; 0,68)			Trat. 5 (4,87; 0,81; 0,77)			Trat. 6 (2,11; 1,95; 0,57)		
	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)
0-15	3883	59,8	0,3793	4260	57,1	0,3517	3314	73,4	0,5336
15-30	1661	25,6	0,0533	1300	17,5	0,0515	3336	10,8	0,1108
30-45	245	3,8	0,0096	821	11,0	0,0406	1120	8,5	0,0497
45-60	218	3,3	0,0090	620	8,3	0,0151	651	3,1	0,0238
60-75	220	3,4	0,0053	185	2,5	0,0076	307	3,4	0,0105
75-90	108	1,7	0,0066	130	1,7	0,0065	110	1,2	0,0041
90-105	106	1,6	0,0043	93	1,2	0,0033	72	0,8	0,0045
105-120	56	0,8	0,0030	46	0,7	0,0026	74	0,8	0,0049
0-120	6497		0,4704	7455		0,4789	8984		0,7419

¹ Os números entre parênteses referem-se a tensões médias de água a 10 cm do solo no momento da irrigação, nas 3 etapas de desenvolvimento.

TABELA 24 - Comprimento e peso de raiz de trigo BR-10, amostrada aos 70 dias após emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função de combinações de níveis de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento, nos tratamentos de 7 a 12.

Profundidade (cm)	Trat. 7 (3,09; 0,73; 5,05) ¹			Trat. 8 (0,69; 4,14; 3,35)			Trat. 9 (0,55; 0,61; >10,86)		
	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)
0- 15	3736	62,0	0,3493	2631	38,2	0,1940	7049	84,4	0,5898
15- 30	933	15,5	0,0354	1839	26,7	0,0575	443	5,3	0,0141
30- 45	513	8,5	0,0168	651	9,4	0,0165	320	3,8	0,0112
45- 60	350	5,8	0,0107	376	5,5	0,0081	252	3,0	0,0065
60- 75	214	3,6	0,0080	272	4,0	0,0067	48	0,6	0,0039
75- 90	217	3,6	0,0076	620	9,0	0,0131	86	1,0	0,0027
90-105	42	0,7	0,0019	398	5,8	0,0145	111	1,4	0,0036
105-120	15	0,3	0,0008	100	1,4	0,0038	43	0,5	0,0015
0-120	6020		0,4305	6887		0,3142	8352		0,6333

Profundidade (cm)	Trat. 10 (0,41; 10,23; 0,59)			Trat. 11 (7,89; 0,60; 0,73)			Trat. 12 (0,63; 0,69; 0,72)		
	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)	Comprimento de raiz(cm)	%	Peso de raiz(g)
0- 15	3258	57,9	0,2836	2438	37,4	0,3233	5047	53,6	0,4608
15- 30	902	16,1	0,0183	1623	24,9	0,0212	724	7,7	0,0457
30- 45	407	7,2	0,0119	753	11,5	0,0279	806	8,6	0,0168
45- 60	317	5,6	0,0097	607	9,3	0,0224	775	8,2	0,0185
60- 75	287	5,1	0,0068	614	9,4	0,0128	461	4,9	0,0124
75- 90	157	2,8	0,0049	263	4,0	0,0169	646	6,9	0,0063
90-105	225	4,0	0,0046	135	2,1	0,0044	182	1,9	0,0033
105-120	71	1,3	0,0016	93	1,4	0,0019	773	8,2	0,0013
0-120	5624		0,3414	6526		0,4308	9414		0,5651

¹ Os números entre parênteses referem-se a tensões médias de água a 10 cm do solo, no momento da irrigação, nas 3 etapas de desenvolvimento.

O maior valor de comprimento de raiz desse tratamento, anotado na camada de 105 a 120 cm, em comparação com os demais, confere a possibilidade do crescimento radicular máximo ter alcançado profundidades além de 1,20 metro.

Nota-se, pelas Tabelas 23 e 24, uma tendência de maior aprofundamento de raízes nos tratamentos que estiveram, pelo menos em dois períodos, submetidos a tensões próximas de 3 atmosferas (tratamentos 2, 6, 8). A exceção foi o tratamento 7, o qual recebeu irrigação a níveis maiores de umidade residual, no período de 42 a 65 dias após a emergência, quando se estima sejam mais elevadas as taxas de crescimento radicular. O tratamento 10, que não recebeu água nesse período, revelou o menor valor total de comprimento das raízes.

A Tabela 25 considera os dados das Tabelas 23 e 24, obtendo-se médias dos tratamentos (1 a 8) que foram irrigados a mesmas tensões pré-estabelecidas para tratamentos. Esses dados revelam que, embora as diferenças sejam pequenas, as raízes cresceram melhor em solos mais secos com maiores tensões ocorrendo nos 2 períodos de crescimento de raízes, do perfilho primário até o espigamento. Estes resultados concordam com os achados por BENNET & DOSS (1960), os quais demonstraram que a profundidade efetiva de enraizamento aumentou levemente com o decréscimo da umidade do solo.

TABELA 25 - Médias de comprimento de raízes de trigo BR-10, amostradas aos 70 dias após a emergência, por camada de 15 cm até 1,20m de profundidade, em função da tensão média de água no solo em cada uma das 3 etapas de desenvolvimento (Médias dos tratamentos de 1 a 8).

Profundi- dade (cm)	Etapas de Desenvolvimento												Média	
	PP-CR			EM-ES			FL-MA							
	0,64 atm ¹	3,56 atm ²	0,75 atm ³	4,31 atm ⁴	0,68 atm ⁵	4,31 atm ⁶	CR(cm)	%	CR(cm)	%	CR(cm)	%		
0- 15	3716	52,3	3795	49,2	4086	57,3	3425	44,5	4046	51,8	3465	49,5	3755	50,7
15- 30	1728	24,3	1911	24,8	1412	19,8	2228	29,0	2008	25,7	1631	23,3	1820	24,6
30- 45	550	7,7	829	10,7	660	9,3	720	9,3	764	9,8	616	8,8	690	9,3
45- 60	327	4,6	498	6,5	421	5,9	404	5,3	468	6,0	357	5,1	412	5,6
60- 75	267	3,8	331	4,3	244	3,4	354	4,6	253	3,2	345	4,9	299	4,0
75- 90	263	3,7	214	2,8	168	2,3	310	4,0	114	1,4	362	5,2	238	3,2
90-105	190	2,7	89	1,2	97	1,4	180	2,4	98	1,3	183	2,6	140	1,9
105-120	64	0,9	47	0,5	41	0,6	70	0,9	62	0,8	48	0,7	56	0,7
0-120	7105		7714		7129		7691		7813		7007		7410	
0-120	Peso(g)→	0,482	0,656	0,513	0,625	0,591	0,547	0,569						

¹ Média trat. 1, 3, 4, 8; ² Média trat. 2, 5, 6, 7; ³ Média trat. 1, 3, 5, 7.

⁴ Média trat. 2, 4, 6, 8; ⁵ Média trat. 1, 4, 5, 6; ⁶ Média trat. 2, 3, 7, 8.

⁷ CR = comprimento de raízes.

4.5.2. Uso de água

4.5.2.1. Água aplicada

A quantidade de água recebida pela cultura de trigo é mostrada pelas Tabelas 26 e 27, correspondentes, respectivamente, a lâminas de água aplicadas em cada irrigação e totais de lâminas relativos a cada período distinto do desenvolvimento, desde o plantio até a maturação completa.

Através da Tabela 26, verifica-se que imediatamente após o plantio cada um dos tratamentos recebeu 50mm em 2 aplicações (30 e 20mm), suficientes para umedecer a camada de 1 metro de profundidade, selecionada para monitoramento dos ganhos e perdas de água.

Após essa primeira irrigação, até os 42 dias após a emergência, as lâminas de água calculadas para elevar à capacidade de campo a camada de controle se situaram entre 31 e 50 mm nos tratamentos irrigados a tensões próximas de 0,6 atm naquela fase. Nos tratamentos com irrigação a tensões próximas de 3,0 atm, nessa mesma fase (tratamentos 2, 5, 6 e 7), as lâminas variam entre 52 e 69 mm, como resultado do maior déficit hídrico por camada associado com a maior tensão permitida nos primeiros 10 cm de solo, sendo que as maiores diferenças são registradas nas camadas superficiais, até 30 cm.

TABELA 26 - Quantidade de água aplicada (mm) por irrigação ao longo do ciclo do trigo BR-10, nos diferentes tratamentos.

Tempo Data (1984)	DAE ¹	Tratamentos											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10/5 e 11/5	-	-----Plantio-----											
12/5	-	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	56
16/5	-	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
19/5	2	5 ²	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24/5	7					41,4		45,0					
25/5	8		39,1	39,1	39,4				41,6			40,8	
26/5	9						39,6			39,7	46,6		26,6
27/5	10	42,9											
29/5	12	5 ²	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
02/6	16	33,4		41,6	35,5				40,0	30,7	40,9		22,0
08/6	22		57,6			64,0	53,2	52,3					
09/6	23	33,6		41,9	36,0				42,7	36,5	39,6		16,9
14/6	28												15,2
15/6	29	39,6		43,8	46,8				44,5	44,9	49,8		
17/6	31												15,1
18/6	32		61,0			60,6	55,1	59,4					
20/6	34	44,6		42,1	43,0				44,4	44,1	43,9		9,9
21/6	35												4,4
23/6	37												9,0
24/6	38												4,4
25/6	39	48,3		43,5	48,9				44,6	47,4	46,3		5,2
26/6	40		68,9			65,6	63,0	61,1					
27/6	41											100,2	
29/6	43												68,9 ⁴
01/7	45	57,2		45,6		47,1		32,9		50,4			
03/7	47		54,0		68,1		50,0		58,6				
05/7	49												35,7
06/7	50	56,4		48,0		46,2		42,9		47,9		67,9	
09/7	53												27,1
10/7	54	51,4	68,1	48,1	75,5	46,8	62,5	41,6	64,4	48,4		40,4	

TABELA 26 - Quantidade de água aplicada (mm) por irrigação ao longo do ciclo do trigo BR-10, nos diferentes tratamentos (continuação)

Tempo Data (1984)	DAE ¹	Tratamentos												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
13/7	57													25,9
15/7	59	54,3		48,7		52,0		50,5		51,9		46,8		
17/7	61		73,9		71,4		69,3		66,6					30,6
19/7	63	58,4		49,6		59,0		51,3		54,5		41,6		
20/7	64													22,1
21/7	65										151,2			
23/7	67	58,9			56,9	62,1	65,3					43,8	18,2	
24/7	68		77,1	61,4				57,0	73,0					
28/7	72	58,1			51,6	59,6	51,6				50,6	45,3		
29/7	73													23,9
31/7	75		69,5	76,8				71,1	70,2					
01/8	76	53,7			43,9	53,9	44,9					47,6		
02/8	77													26,3
04/8	79										44,9			
05/8	80	56,9			49,6	55,7	52,1					49,4		
06/8	81		56,2	55,1				55,1	55,7					30,5
09/8	84	59,2			59,8	55,8	63,7				44,1	53,1	27,9	
11/8	86		83,4	74,9				72,9	70,9					
13/8	88	57,4			59,3	57,4	58,0					59,0	30,6	
16/8	91										57,4		26,1	
17/8	92	53,1	86,8	71,1	58,7	64,6	61,5	83,1	68,0					
18/8	93											61,9		
19/8	94	2,3 ³	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	24,4+2,3
22/8	97	58,6												15,2
23/8	98				63,0	62,5	57,8							
28/8	103	43,5 ³	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5
Total		1081,8	901,4	937,1	1013,2	1060,1	953,4	882,0	891,0	602,2	721,1	803,6	673,9	

¹ DAE - dias após a emergência

² Irrigações para incorporar a uréia distribuída na superfície do solo.

³ Precipitações.

⁴ Baseada no déficit hídrico até 1 m de profundidade do solo.

TABELA 27 - Quantidade de água aplicada (mm) e número de irrigações correspondentes em cada etapa de desenvolvimento do trigo BR-10, nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Períodos de desenvolvimento e duração (dias)												
	Plantio a per- filho primário (18 dias)		a cresc. rápido (31 dias)		Emborrachamento a espigamento (23 dias)		Floração a maturação (34 dias)		Total no ciclo (106 dias)				
Nº	Tensão média a 10cm(atm)	mm	nº irrig.	mm	nº irrig.	mm	nº irrig.	mm	nº irrig.	mm	nº irrig.		
PP-CR	EM-ES	FL-MA ¹											
1	0,57	0,78	0,68	103	3	200	5	278	5	456	8	1037	21
5	4,87	0,81	0,77	101	3	190	3	251	5	472	8	1014	19
4	0,63	5,85	0,68	99	3	210	5	215	3	443	8	967	19
6	2,11	1,95	0,57	100	3	171	3	182	3	455	8	908	17
3	0,67	0,66	4,35	99	3	213	5	240	5	339	5	891	18
2	4,17	5,30	4,48	99	3	187	3	196	3	373	5	855	14
8	0,69	4,14	3,35	102	3	216	5	190	3	338	5	846	16
7	3,09	0,73	5,05	105	3	173	3	219	5	339	5	836	16
11	7,89	0,60	0,73	101	3	0,0	-	297	5	360	7	758	15
10	0,41	10,23	0,59	107	3	220	5	0,0	-	348	5	675	13
12	0,63	0,69	0,72	93	2	102	9	210	6	223	9	628	26
9	0,55	0,61	>10,86	100	3	204	5	253	5	0,0	-	557	13
Média				100	3	190	4,6	230	4,3	377	6,6	831	17,2

¹ PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)
 EM-ES - Emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)
 FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

Na segunda etapa de desenvolvimento, as lâminas são ligeiramente superiores, no intervalo de 33 até 67 mm, nas irrigações com tensões pré-estabelecidas de 0,6 atm, e, de 42 a 75 mm, nas tensões de 3,0 atm.

Considerando o terceiro período de desenvolvimento, a partir dos 65 dias após a emergência, as lâminas são próximas a 55mm e 75mm, correspondendo, respectivamente, a tensões superficiais de 0,6 e 3,0 atmosferas.

O tratamento 12 recebeu irrigações leves e frequentes, calculadas com base nos valores de evaporação do tanque classe A multiplicado por fatores K recomendados. Até aos 34 dias após a emergência as irrigações eram processadas normalmente. A partir daí, as lâminas calculadas não mais sensibilizavam o tensiômetro indicador do momento de irrigar. Desta forma, sucediam-se irrigações diárias, sem contornar os déficits indicados pelos tensiômetros. Uma razão para isso é a dificuldade para aplicar eficientemente pequenas lâminas com o tubo perfurado usado nas irrigações, o qual distribuía água em elevada taxa. Essa dificuldade, resultado da incompatibilidade entre as baixas lâminas obtidas no tratamento 12 e a modalidade de aplicação de água, determinou que aos 43 dias após a emergência se procedesse a uma alteração do tratamento 12, efetuando-se uma irrigação de 69 mm calculada para contornar os déficits hídricos gerados no solo pelo manejo citado. Em seguida, continuou-se com o calendário de irrigação, baseado na evaporação do tanque,

obtendo-se lâminas variáveis de aproximadamente 20 a 30 mm em freqüências de aplicação de 3 e 4 dias.

Os déficits de água no solo originados da suspensão das irrigações nos tratamentos 10 e 11 determinaram elevadas lâminas de reposição, respectivamente, de 151 e 100 mm.

Os totais geral e parcial (por período do ciclo da cultura) de água aplicada aparecem na Tabela 27.

A partir do início de aplicação dos tratamentos, realizada desde o momento de emergência do primeiro perfilho, foram aplicados, no primeiro período, 170 a 190 mm, através de 3 irrigações, quando irrigados a tensões próximas de 0,6 atm e mais de 200 mm em tensões próximas a 3 atm. No segundo período, os totais aplicados variam de 180 a 300 mm de água, dependendo do regime de tensão naquele período e/ou no período anterior.

Foi durante os 34 dias, na fase da floração até a maturação, que a cultura recebeu mais água de irrigação. Cerca de 450 mm foram aplicados nos tratamentos que receberam 8 irrigações nessa fase, derivadas do regime de tensão de 0,6 atm, e de 340 a 370 mm nos tratamentos irrigados 5 a 7 vezes nesse mesmo período.

Ao final do ciclo do trigo, os totais de água aplicados variam desde 577 (tratamento 9) até 1.037mm (tratamento 1), através de, respectivamente, 13 e 21 irrigações.

Os três tratamentos que mais receberam água ti-

veram pelo menos dois períodos mantidos em níveis de umidade residual mais elevados (tensões mais baixas).

Os valores de água aplicada x (mm) foram estreitamente correlacionados com o rendimento do trigo y (kg/ha), através da relação linear $y = 6,30x - 26,46$, com coeficiente de correlação $r = 0,855^{***}$ altamente significativo (0,1% de probabilidade).

4.5.2.2. Água evapotranspirada

De acordo com a teoria de ROSE & STERN (1967) atribuiu-se à quantidade de água extraída pelas raízes a evapotranspiração da cultura.

Os métodos do balanço hídrico e das variações de armazenamento de água (REICHARDT, 1978) produziram estimativas de evapotranspiração não consistentes, em relação aos tratamentos aplicados, bem como relativos à magnitude dos valores obtidos. O balanço hídrico superestimou os valores, não tendo sido possível identificar a causa, enquanto que os cálculos das variações de armazenamento produziram estimativas muito inferiores na maioria dos tratamentos, por desconsiderar nos cálculos as perdas por drenagem profunda. Por esses motivos foram descartados.

A evapotranspiração média (mm/dia), resultante dos valores de \bar{Rz} obtidos, aparece nas Tabelas 28 e 29, calculada para cada intervalo entre irrigações realizadas

TABELA 28 - Evapotranspiração média (mm/dia) ao longo do ciclo do trigo BR-10, submetido a combinações de tensões em 3 etapas de desenvolvimento.

Nº	Tensão méd. a 10cm(atm)	Número de ordem dos períodos entre irrigações																			Total (mm)								
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º	16º	17º	18º	19º		20º	21º	22º	23º	24º	25º		
PP-CR	EM-ES	FL-MA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
5	4,87	0,81	0,77	1,7	1,6	2,9	4,1	7,6	6,9	10,1	7,7	10,8	11,2	8,3	11,6	12,4	12,9	10,2	8,9	4,9	5,5	6,5						688	
1	0,57	0,78	0,68	0,8	4,0	2,3	3,7	5,6	5,9	4,5	6,3	10,4	5,5	9,6	10,4	7,1	11,2	11,2	11,6	11,0	11,3	6,0	2,1	4,5				658	
4	0,63	5,85	0,68	1,2	2,7	2,7	4,0	6,3	5,0	3,2	5,2	6,2	5,6	6,7	9,6	8,3	9,7	10,3	10,6	5,3	6,6	5,3					582		
6	2,11	1,95	0,57	1,1	1,5	2,3	3,6	4,8	4,6	5,1	6,5	8,4	10,4	10,2	11,5	11,4	12,7	5,3	5,2	6,3							573		
3	0,67	0,66	4,35	1,2	2,7	3,0	4,4	6,1	5,3	4,5	5,4	8,8	6,2	9,4	6,4	4,7	6,7	7,6	8,5	1,3	4,8						522		
2	4,17	5,30	4,48	1,0	1,3	2,7	4,4	5,5	5,8	6,1	5,3	5,4	7,3	7,9	8,6	2,0	6,0										467		
7	3,09	0,73	5,05	1,3	1,2	1,9	3,7	8,4	5,3	9,6	6,0	10,0	6,9	4,6	5,7	6,6	6,5	2,0	4,4								465		
8	0,69	4,14	3,35	1,3	2,8	3,3	4,4	6,0	5,9	3,2	4,6	5,1	5,0	4,3	6,3	7,2	6,5	1,4	4,6								448		
11	7,89	0,60	0,73	1,2	6,7	3,4	4,7	7,7	3,1	2,1	1,4	3,4	12,4	6,2	9,6	8,7	5,8	9,2	9,2	10,3	10,3	6,9	1,6	4,6			434		
12	0,63	0,69	0,72	0,5	2,1	1,6	2,4	5,0	4,3	4,3	5,4	1,4	5,6	7,3	5,5	4,4	6,3	4,9	1,1	4,1	3,9	7,8	4,2	8,0	6,4	6,6	1,0	5,1	413
10	0,41	10,23	0,59	0,8	2,9	2,4	3,4	5,7	5,2	5,2	3,2	2,2	1,1	0,4	8,5	3,2	5,6	3,3	1,2	5,5							344		
9	0,55	0,61	>10,86	0,8	2,8	1,6	3,6	5,3	5,1	4,1	5,7	8,4	6,0	9,2	6,7	4,6	0,7	0,2	0,1	0,1	0,4	0,6					334		
Evap.3	Tanque A (mm/dia)	5,6	5,9	4,7	5,8	6,3	6,1	5,5	5,5	6,9	5,9	7,3	6,1	5,6	5,7	7,0	8,3	7,9	7,8	4,9	3,7	4,1					636		
Evap.3	Média/etapa (mm/dia)	5,6	5,8	5,8	6,2	6,2	6,7	6,7	3,9																				

1 PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após a emergência)

EM-ES - Embaralhamento a espigamento (43 a 65 dias após a emergência)

FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após a emergência)

2 As barras verticais indicam os limites das três etapas de desenvolvimento consideradas para estabelecer os tratamentos.

3 Evaporação de água no tanque Classe A.

TABELA 29 - Quantidade de água usada (mm) e consumo médio diário (mm/dia), como função da combinação de diferentes tensões de água no solo, em três etapas de desenvolvimento de trigo BR-10.

Nº	Tratamento		Períodos de desenvolvimento										Total	Média
	Tensão média a 10cm(atm)		PP-CR ¹		EM-ES		FL-MA ²		EM-ES		FL-MA ²			
	PP-CR	EM-ES	FL-MA	mm	mm/dia	mm	mm/dia	mm	mm/dia	mm	mm/dia	mm		
5	4,87	0,81	0,77	99	2,6	195	8,6	394	9,2	688	6,8			
1	0,57	0,78	0,68	129	3,7	166	7,3	363	8,6	658	6,5			
4	0,63	5,85	0,68	131	3,6	138	5,0	313	8,4	582	5,7			
6	2,11	1,95	0,57	83	2,1	140	5,2	350	9,0	573	5,4			
3	0,67	0,66	4,35	137	3,8	157	6,8	228	5,7	522	5,4			
2	4,17	5,30	4,48	89	2,3	159	5,7	219	6,2	467	4,7			
7	3,09	0,73	5,05	76	2,0	177	7,9	212	5,2	465	5,0			
8	0,69	4,14	3,35	143	4,0	129	4,5	176	5,0	448	4,5			
11	7,89	0,60	0,73	138	3,8	150	7,9	146	7,4	434	6,4			
12	0,63	0,69	0,72	109	3,5	121	5,8	183	4,8	413	4,7			
10	0,41	10,23	0,59	120	3,4	61	2,4	163	4,6	344	3,5			
9	0,55	0,61	>10,86	112	3,2	153	6,7	69	1,7	334	3,9			
		Média		114	3,2	145	6,1	235	6,3	494	5,2			

¹ Inclui um período inicial antes da fase indicada.

² Inclui um período final após a fase indicada.

nos diferentes tratamentos (Tabela 28) e para cada etapa de desenvolvimento (Tabela 29).

Nota-se que, em geral, nos tratamentos que foram continuamente irrigados, os dados revelam um comportamento semelhante. A evapotranspiração aumenta com a idade da planta, no período de desenvolvimento, até valores máximos, no período entre a floração e a maturação. Posteriormente, com a aproximação da maturação fisiológica, a evapotranspiração diminui de forma evidente. As épocas e as magnitudes das variações são variáveis, dependendo das épocas de aplicação dos tratamentos e dos fatores intervenientes, tais como regime de umidade e clima que prevaleceram em cada etapa de desenvolvimento.

Nos tratamentos que foram irrigados a tensões próximas de 0,6 atm em pelo menos 2 fases de desenvolvimento (tratamentos 1, 5, 4 e 3), verifica-se que a evapotranspiração atinge valores médios entre 2,5 a 4 mm/dia na fase de perfilhamento e 5 a 9 mm/dia nas fases seguintes, de emborrachamento/espigamento e floração/maturação.

Os tratamentos 5, 1 e 4 foram aqueles que, tendo recebido as maiores lâminas de irrigação, evapotranspiraram totais de 580 (trat. 4) a 680 mm (trat. 5), avaliados em 108 dias do ciclo. A diferença de 100mm deve-se a menores taxas de evapotranspiração registradas nas duas etapas finais do desenvolvimento, sendo que o efeito devido ao regime de tensão de água no solo verifica-se na etapa inter-

mediária, dos 42 aos 64 dias após a emergência, quando o tratamento 4, submetido a tensões próximas de 6 atm, evapotranspirou em média 5 mm/dia, em comparação com os 8,6 mm/dia (72% a mais) do tratamento 5, no mesmo período. Na etapa seguinte, o tratamento 5 evapotranspirou 0,8 mm/dia a mais que o tratamento 4, sendo uma parte desta diferença atribuída a déficit hídrico prévio sofrido pelo tratamento 4.

Os tratamentos que receberam irrigações a tensões próximas a 3 atmosferas em pelo menos 2 períodos do ciclo (trat. 2, 6, 7 e 8) evapotranspiraram menos, em um intervalo de 440 a 570 mm no ciclo, sendo as evapotranspirações dos tratamentos 2, 7 e 8 menores e comparáveis (440 a 470 mm). A supremacia do tratamento 6 explica-se pelos regimes favoráveis de tensão a que ficou sujeito nas etapas de desenvolvimento da planta, nas quais a evapotranspiração é máxima.

Os efeitos do déficit hídrico em maior grau sobre a quantidade de água evapotranspirada são revelados nos tratamentos 10 e 9, que sofreram suspensão da irrigação nos períodos críticos de uso de água. O tratamento 10 teve a evapotranspiração reduzida de 3,4 mm/dia, no período de perfilhamento, para 2,4 mm/dia, no período de emborrachamento/espigamento. A redução de área foliar (Tabela 19) e de disponibilidade de água, associada com a tensão média de 10 atmosferas (Tabela 10), explica a redução que determinou

um consumo de apenas 60 mm naquela fase, quando se poderia, em condições de suprimento de água não limitante, registrar valores acima do dobro, em torno de 140 mm que representa a evapotranspiração média na etapa intermediária (Tabela 29).

Durante a terceira etapa de desenvolvimento, na qual não se efetuaram irrigações no tratamento 9, as plantas de trigo evapotranspiraram apenas 1,7 mm/dia. Nesse período, o esgotamento total (100%) de água disponível foi registrado na camada de solo desde a superfície até 30 cm de profundidade, camada essa que incluiu, nesse tratamento, 90% do comprimento de raízes avaliado.

O regime de tensão de aproximadamente 8 atm no período de perfilhamento, no tratamento 11, não afetou negativamente a evapotranspiração nesse período. A evapotranspiração média de todos os tratamentos foi de 114 mm no perfilhamento 145 mm no emborrachamento/espigamento e 235 mm na floração/maturação, determinando um total de 500 mm no ciclo.

Em relação ao rendimento de trigo, os valores de evapotranspiração foram altamente correlacionados ($r=0,841^{***}$) através da seguinte equação linear:

$$y(\text{kg/ha}) = 8,26 \times (\text{mm}) + 1.129,93.$$

Assim, os rendimentos mais elevados encontrados, maiores que 6.000 kg/ha, estão associados a consumos de água maiores que 600mm. Estes dados são de grande importância prática para o dimensionamento da irrigação praticada

em condições de clima e solo similares àquelas na quais o experimento foi conduzido.

O modelo linear encontrado para a relação entre a evapotranspiração média diária (y) e a tensão de água a 10 cm de profundidade do solo (x) é do tipo inverso e igual a:

$$y(\text{mm/dia}) = 6,14 - 0,3656 x (\text{atm})$$

com um valor de r igual a $-0,465$, significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os valores médios de evapotranspiração diária, agrupados em função dos regimes de tensão de água no solo aparecem na Tabela 30, revelando que, em termos médios, as irrigações efetuadas a tensões médias avaliadas a 10 cm da superfície do solo, próximas de 3 atm e de 10 atm, determinam reduções de 36% e 61%, respectivamente, em relação ao tratamento irrigado a tensões de 0,6 atmosfera.

Os resultados de freqüência de irrigação, refletindo as diferentes combinações de tensões indicativas do momento de irrigar e as taxas de extração de água pela cultura, aparecem na Tabela 31.

Os tratamentos 12 e 1, que receberam irrigações durante todo o ciclo, a tensões próximas de 0,6 atm, foram os mais freqüentemente irrigados, com intervalo médio de 4 e 5 dias. Os tratamentos 5, 3 e 4, com 2 períodos de irrigações a 0,6 atm, apresentaram freqüências médias no ciclo de 5 dias e meio. Os tratamentos 7, 6 e 8, irrigados a

TABELA 30 - Evapotranspiração média diária (mm/dia) como função da tensão média de água no solo em cada período de desenvolvimento.

Pré-estabelecida	Tensão a 10 cm(atm)			Períodos de desenvolvimento				Média
	Verificada por período			Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 DAE ²)	Emborrachamento a espigamento (43 a 65 DAE)	Floração a maturação (66 a 104 DAE)	Média	
	PP-CR	EM-ES	FL-MA					
0,6	0,59	0,70	0,69	3,8	7,6	8,8	6,7	
3,0	3,56	4,31	4,31	2,2	5,1	5,5	4,3	
NI ¹	7,89	10,23	>10,90	3,8	2,4	1,7	2,6	
	Média			3,2	5,0	5,3	4,5	

¹ NI = não irrigado

² DAE = dias após a emergência

TABELA 31 - Intervalo das irrigações e frequência média de irrigação (dias) ao longo do ciclo de trigo BR-10, submetido a combinações de tensões em 3 etapas de desenvolvimento.

Tratamento		Número de ordem da irrigação																										Média	
Nº Tensão média a 10cm(atm)		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª	20ª	21ª	22ª	23ª	24ª	25ª	26ª		
PP-CR	EM-ES	FL-MA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
12	0,63	0,69	0,72	2	14	7	5	3	3	1	2	1	1	4	6	4	4	4	3	3	6	4	4	3	4	3	3	3	4,0
1	0,57	0,78	0,68	2	4	11	6	7	6	5	5	6	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5					4,9
5	4,87	0,81	0,77	2	4	8	15	10	6	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	6							5,4
3	0,67	0,66	4,35	2	4	9	8	7	6	5	5	6	5	4	5	4	5	7	6	5	6								5,5
4	0,63	5,85	0,68	2	4	9	8	7	6	5	5	8	7	7	6	5	4	4	4	4	6								5,6
7	3,09	0,73	5,05	2	4	8	15	10	6	5	4	5	4	5	7	6	5	6											6,1
6	2,11	1,95	0,57	2	4	10	13	10	6	7	7	7	6	5	4	4	4	4	6										6,1
8	0,69	4,14	3,35	2	4	9	8	7	6	5	5	8	7	7	7	6	5	6											6,2
11	7,89	0,60	0,73	2	4	9	33	9	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5											6,7
2	4,17	5,30	4,48	2	4	9	14	10	6	7	7	7	7	6	5	6													6,9
10	0,41	10,23	0,59	2	4	10	7	7	6	5	5	26	7	7	5	7													7,5
9	0,55	0,61	>10,86	2	4	10	7	7	6	5	5	6	5	4	5	4	4	40											7,9

1 PP-CR - Perfilho primário a crescimento rápido (12 a 42 dias após emergência)

EM-ES - Emborrachamento a espigamento (43 a 65 dias após emergência)

FL-MA - Floração a maturação (66 a 104 dias após emergência)

2 As barras verticais indicam os limites das três etapas de desenvolvimento consideradas para estabelecer os tratamentos.

tensões próximas de 3 atm, em 2 etapas do desenvolvimento, apresentaram freqüências aproximadamente de 6 dias. Os demais tratamentos, por efeito de condições mais adversas de umidade residual e suspensão das irrigações, registraram freqüências de 7 a 8 dias. No início do ciclo, as primeiras irrigações são mais espaçadas, de 8 a 10 dias, pois a planta, estando com pequeno porte e com seu sistema radicular pouco desenvolvido extrai água a taxas menores, para uma igual capacidade de suprimento de água pelo solo.

A proporção de água extraída em relação ao total foi calculada por camada de solo e para cada tratamento. Em seguida, foram obtidas médias de tratamentos que tiveram as irrigações efetuadas em regimes de tensão semelhantes, em cada etapa de desenvolvimento do trigo. Os resultados aparecem na Tabela 32.

Os dados revelam que, no caso dos tratamentos irrigados a tensões próximas de 0,6 atm, cerca de 75% a 80% de água evapotranspirada foi extraída dos 30 primeiros centímetros de solo, sendo 42 a 45% de água da camada mais superficial, de zero a 10 cm, com a maior proporção na fase inicial de desenvolvimento da cultura, dos 12 aos 42 dias após a emergência. Em tensões próximas de 3 atm, a percentagem de água extraída até 30 cm de solo é praticamente a mesma, nos diferentes períodos de crescimento da cultura. Nota-se, porém, que tanto a camada mais superficial, de zero a 10 cm de profundidade, quanto a camada de 20-30 cm

TABELA 32 - Taxa média de extração de água (\bar{r}_z) pelas raízes de trigo BR-10 em função de regimes de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento.

Tensão pré-estabelecida (atm)	Prof. (cm)	Perf. prim.-Cresc. ráp.		Emborrac.-Espig.		Flor. - Matur.	
		dia ⁻¹	%	dia ⁻¹	%	dia ⁻¹	%
0,6	0- 10	0,0742	44,5	0,1023	42,5	0,1210	42,8
	10- 20	0,0427	25,6	0,0531	22,0	0,0567	20,1
	20- 30	0,0200	12,0	0,0295	12,3	0,0313	11,1
	30- 40	0,0128	7,7	0,0221	9,2	0,0268	9,5
	40- 60	0,0070	4,2	0,0138	5,7	0,0200	7,1
	60- 80	0,0055	3,3	0,0109	4,5	0,0145	5,1
	80-100	0,0047	2,7	0,0091	3,8	0,0121	4,3
	0-100	0,1669		0,2408		0,2824	
3,0	0- 10	0,0694	39,1	0,0963	38,8	0,0957	39,3
	10- 20	0,0610	34,4	0,0757	30,5	0,0555	22,8
	20- 30	0,0177	10,0	0,0258	10,4	0,0278	11,4
	30- 40	0,0120	6,8	0,0192	7,7	0,0231	9,5
	40- 60	0,0071	4,0	0,0126	5,1	0,0167	6,9
	60- 80	0,0056	3,1	0,0100	4,0	0,0133	5,5
	80-100	0,0047	2,6	0,0084	3,4	0,0113	4,6
	0-100	0,1775		0,2480		0,2434	
Não Irrigado (7,9 atm PP-CR) (10,2 atm EM-ES) (>10,9 atm FL-MA)	0- 10	0,0768	16,1	0,0228	26,8	0,0179	27,9
	10- 20	0,0768	59,4	0,0201	23,6	0,0169	26,4
	20- 30	0,0108	8,3	0,0123	14,4	0,0064	10,0
	30- 40	0,0067	5,2	0,0081	9,5	0,0061	9,5
	40- 60	0,0062	4,8	0,0082	9,6	0,0054	8,4
	60- 80	0,0046	3,6	0,0081	9,5	0,0056	8,7
	80-100	0,0035	2,7	0,0056	6,6	0,0058	9,0
	0-100	0,1294		0,0852		0,0641	

contribuem menos, com pequenas diferenças, para a extração, em favor da camada de 10-20 cm, que tem aumentada a extração de água de 22 a 25% para 30 a 35%. Esse efeito é mais evidente na 1ª e 2ª etapas de desenvolvimento avaliadas, entre os 12 e 65 dias após a emergência, época na qual se verifica o maior incremento na taxa acumulada (0 - 100 cm) de extração de água.

Na medida do desenvolvimento da cultura, desde o perfilhamento até a maturação, registra-se uma elevação da extração de água em profundidades abaixo de 60 cm, embora essas diferenças sejam pequenas.

Nos tratamentos com irrigação interrompida em cada etapa de desenvolvimento, constata-se reduções significativas de percentagem de água extraída na camada superficial, até 10 cm de profundidade do solo, em relação aos tratamentos irrigados a tensões de 0,6 atm. Essas reduções foram da ordem de 15% nas 2 últimas etapas de desenvolvimento e de 28% na etapa de perfilhamento, determinando uma elevação na extração de água na camada de 10-20 cm de 26% para 60%.

4.5.2.3. Eficiência de uso de água

O parâmetro eficiência de uso de água estabelecido, segundo grande número de autores, como a relação entre produtividade e água usada no processo de evapotranspiração, dá-nos uma idéia do rendimento - grãos, no caso

TABELA 33 - Eficiência de uso de água pelo trigo BR-10 submetido a diferentes combinações de tensão de água no solo, em 3 etapas de desenvolvimento.

Nº	Tratamentos			Rendimento de grãos (kg/ha)	Água evapotranspirada (mm)	Água aplicada (mm)	Eficiência de uso de água		
	Tensão média a 10 cm (atm)						(kg/ha. mm)	(1)	(2)
	PP-CR (12-42 DAE)	EM-ES (43-65 DAE)	FL-MA (66-108 DAE) ²						
5	4,87	0,81	0,77	6497 a ¹	688	1014	9,4	6,4	
1	0,57	0,78	0,68	6257 ab	658	1037	9,5	6,0	
3	0,67	0,66	4,35	5963 ab	522	891	11,4	6,7	
7	3,09	0,73	5,05	5835 abc	465	836	12,6	7,0	
8	0,69	4,14	3,35	5628 bcd	448	846	12,6	6,6	
4	0,63	5,85	0,68	5628 bcd	582	967	9,7	5,8	
6	2,11	1,95	0,57	5479 bcd	573	908	9,6	6,0	
2	4,17	5,30	4,48	5137 cd	467	855	11,0	6,0	
11	7,89	0,60	0,73	5044 cd	434	758	11,6	6,6	
12	0,63	0,69	0,72	4971 d	413	628	12,0	7,9	
10	0,41	10,23	0,59	3094 e	344	675	9,0	4,6	
9	0,55	0,61	> 10,86	2992 e	334	557	8,9	5,4	

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Duncan

² DAE = dias após a emergência

(1) Em relação à água evapotranspirada

(2) Em relação à água aplicada

do trigo - que pode ser obtido com uma unidade de água utilizada.

Esses dados são mostrados na Tabela 33, indicando uma variação na eficiência de uso de água nos diversos tratamentos, com valores no intervalo de 9 a 12,6 kg/ha.mm. Valores comparáveis foram obtidos por ESPINOZA et alii (1980), em trigo cultivado no mesmo solo utilizado na pesquisa.

Observando os dados de eficiência de uso de água da Tabela 33, verifica-se que as variações desde 9 a 12,6 kg/ha.mm são explicadas pelos níveis de tensão, sendo o efeito mais evidente no período de maior duração (43 dias), entre a floração e a maturação (comparar trat. 5 e 1 com 3 e 7).

A regressão linear $y = 0,60x + 9,23$, com valor de r significativo ($r = 0,874$), onde y = eficiência de uso de água (kg/ha.mm) e x = tensão de água no solo no período de 43 dias, da floração até a maturação (atm), atesta o que foi dito. Nota-se, em geral, que os maiores valores de eficiência de uso de água estão associados a níveis mais elevados de tensão, comparando-se os valores de 9,5 kg/ha.mm do tratamento 1, irrigado continuamente a tensões próximas de 0,6 atm, com 11 kg/ha.mm do tratamento 2, irrigado a tensões próximas de 3 atm durante todo o ciclo da cultura. O tratamento 7, único tratamento submetido a tensões próximas de 3 atm, em 2 períodos de desenvolvimento,

com produtividade estatisticamente equiparável à produção máxima conseguida, revelou grande eficiência de uso de água, produzindo 12,6 kg de trigo com 1 mm de água. Embora com a mesma eficiência, o tratamento 8, irrigado a tensões próximas de 3 atm, nas duas últimas etapas do ciclo, produziu apenas 86% do máximo conseguido, sendo a diferença estatisticamente significativa.

O tratamento 12 foi também eficiente (12 kg/ha.mm) e mais eficiente que o tratamento 1, em razão da menor quantidade de água recebida (40%) e evapotranspirada (30%), em relação a 20% de produção superior do tratamento 1, que também foi irrigado a tensões próximas de 0,6 atmosferas durante todo o ciclo.

Para os tratamentos que sofreram déficits hídricos por efeito de suspensão da irrigação, desenvolvendo, na superfície do solo (10 cm), tensões iguais a 10 atm (tratamento 10) ou maiores (tratamento 9), registraram-se valores de eficiência de uso de água semelhantes aos obtidos nos tratamentos mais produtivos e que consumiram mais água. É que as reduções tanto no rendimento quanto no uso de água foram igualmente proporcionais, com valores em torno de 50% de redução.

5. CONCLUSÕES

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

5.1. A tensão de água no solo, controlada a 10 cm de profundidade, constituiu-se em medida eficiente de controle das irrigações em trigo, em virtude da elevada concentração de raízes até essa profundidade e, da influência destacada dos níveis de tensão e do período em que ocorrem sobre os resultados de rendimento do trigo.

5.2. Rendimentos potenciais acima de 6.000 kg/ha de trigo BR-10 Formosa podem ser conseguidos com um suprimento de água de 600 a 700 mm no ciclo e adotando-se um calendário de irrigações a tensões de água no solo em níveis próximos a 0,8 atmosfera, desde a fase de emborrachamento até a fase final de maturação.

5.3. Quando submetido a déficits hídricos acentuados, correspondentes a tensões iguais ou acima de 10 atmosferas, reduções de produtividade de 50 e 55% ocorrem em trigo se o déficit

hídrico acontece, respectivamente, nas etapas de emborrachamento a espigamento e floração a maturação. Quando continuamente irrigados, combinando-se os níveis de tensão próximos a 0,6 e 3,0 atmosferas nas 3 etapas de crescimento, os percentuais de redução são de 20% em relação aos rendimentos máximos.

5.4. A localização do déficit hídrico em relação ao ciclo de desenvolvimento da cultura mostrou-se mais importante que o nível de tensão associado ao déficit na determinação da produtividade da cultura. A fase mais crítica com relação à água é desde o início do emborrachamento até o final do espigamento, compreendida entre 42 e 65 dias após a emergência, período no qual deve ser fornecido suprimento de água não limitante. A fase inicial de perfilhamento mostrou-se pouco sensível a maiores níveis de tensão de água no solo.

5.5. Os componentes da produtividade que foram mais afetados pelos tratamentos de tensão de água no solo são o número de espigas por m^2 , o número de grãos por espiga e o peso de 1.000 grãos. Destes, o número de espigas por m^2 se constituiu no determinante, em maior grau, dos índices de produtividade do trigo, estando os rendimentos máximos associados a um número de 380 a 400 espigas/ m^2 .

5.6. Medidas de crescimento da cultura, tais como altura de plantas, índice de área foliar, número de perfilhos

por planta e comprimento de raízes, embora afetadas por níveis extremos de tensão de água no solo, não produziram, em geral, efeitos apreciáveis diretos na produção de trigo.

5.7. As quantidades máximas de água total evapotranspirada alcançaram valores de 650 a 690 mm nos tratamentos que mais produziram. Rendimentos satisfatórios (80% do potencial) podem ser obtidos com menos água - 580 a 640 mm -, combinando-se níveis de tensão adequados e moderados, respectivamente, com as etapas do desenvolvimento do trigo mais e menos críticas.

5.8. Não foram constatadas diferenças apreciáveis na extração de água em profundidade pelas raízes, de acordo com os regimes de tensão permitidos e entre etapas de desenvolvimento. Cerca de 75% a 80% da água foi extraída nos primeiros 30 cm de profundidade, sendo 40% a 45% originada da camada mais superficial, de zero a 10 cm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE E SOUZA, F. G. de & TUBELIS, A. Determinação do período crítico de irrigação na cultura do trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(8); 1193-8, 1982.
- ANDRADE, J.M.V. de. Trigo - nova opção para o Cerrado. Guia Rural Abril - Anuário 1988. Rio de Janeiro, p. 250, 1987.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1986, Rio de Janeiro, 47:282, 1987.
- AZEVEDO, J. A. de. Relações físico-hídricas em solo de terraço e de meia encosta de Viçosa(MG). Viçosa, 1976. 136 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- AZEVEDO, J. A. de; FREIRE, J.C.; SILVA, E. M. da. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., Brasília, 1981. Resumos. Brasília, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola (SBEA), 1983a. v. 2, p. 843-4.

- AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A. F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Planaltina, EMBRAPA - CPAC, 1983b. 53 p. (Circular Técnica, 16).
- BEGG, J.E. & TURNER, N.C. Crop water deficits. Advances in Agronomy. New York, 28: 161-217, 1976.
- BENNET, O.L. & DOSS, B.D. Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forage species. Agronomy Journal, Madison, 52: 204, 1960.
- BINGHAM, J. Varietal response in wheat to water supply in the field, and male sterility caused by a period of drought in a glass house experiment. Annual Applied Biology. 57:365, 1966.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. Trad. Antonio B. Neiva Figueiredo. 3. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1974. 594 p.
- CAVECHINI, B. Diminui a lavoura de trigo. Revista Globo Rural, Rio de Janeiro, 2(24):119, set. 1987.
- CHATURVEDI, G.S.; AGGARWAL, P.K.; SINGH, A.K.; JOSHI, M.G.; SINHA, S.K. Effect of irrigation on tillering in wheat, triticale and barley in a water-limited environment. Irrigation Science, Heidelberg, 2:225-35, 1981.

- CHOUDHURY, P.N. & VIJAY KUMAR. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. Irrigation Science, Heidelberg, 1:223-31, 1980.
- DAY, A.D. & INTALAP, S. Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat (Triticum aestivum L. em Thell.). Agronomy Journal, Madison, 62(1): 27-9, January/february. 1970.
- DEVITT, D.; JURY, W.A.; STERNBERG, P.; STOLZY, L.H. Comparison of methods used to estimate evapotranspiration for leaching control. Irrigation Science, Heidelberg, 4:59-69, 1983.
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper, 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO, 1976. 194 p. (Estudio FAO: Riego e Drenaje, 24).
- EMBRAPA/CPAC. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1981 - 1982. Planaltina, CPAC, 1985. 177 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. SNLCS, 1979. s.p.

EMBRAPA/SNLCS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, SNLCS, 1978. 455 p. (Boletim técnico, 53).

EMBRATER. Trigo; informações práticas para cultivo. 2. ed. Brasília, EMBRATER, 1984. 20 p. (Informações técnicas, 4).

ESPINOZA, W.; AZEVEDO, L. G. de; JARRETA JUNIOR, M. O clima da região dos cerrados em relação à agricultura. Planaltina, EMBRAPA - CPAC, 1982. 37 p. (Circular técnica, 9).

ESPINOZA, W.; SILVA, E.M. da; SOUZA, O.C. de. Irrigação de trigo em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15(1):107-15, 1980.

FARIA, R.T. de & OLITTA, A.F.L. Estudo da lâmina de irrigação na cultura do trigo (Triticum aestivum, L.), utilizando o sistema de "aspersão em linha". In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 6., Belo Horizonte, 1982. Resumos dos trabalhos. Belo Horizonte, Secretaria da Agricultura do Governo do Estado de Minas Gerais, 1982. p. 35.

FREITAS JUNIOR, E. de & SILVA, E.M. da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo em uma única operação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(11):1423-8, 1984.

- FRIEND, D.J.C. Tillering and leaf production in wheat as affect by temperature and light intensities. Canadian Journal of Botany, 43:1063, 1965.
- GRUMEZA, N.; MERCULIEV, O.; KLEPS, C. Plant water consumption researches undertaken in Romania, and the use of their results both for irrigation system dimensioning and for irrigation application prognosis. ICID Bulletin, New Delhi, 35(2):19-27, 1986.
- GUERRA, A.F. & SILVA, E. M. da. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o desenvolvimento e produção de trigo em solos dos cerrados. In: EMBRAPA-CPAC. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1982 - 1985. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1987. p. 221-3.
- GUERRA, A.F.; SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Estabelecimento do momento de irrigação em trigo e cevada baseado em níveis de tensão de água em latossolo dos cerrados. In: EMBRAPA-CPAC. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1982 - 1985. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1987. p. 227-31.
- HAISE, H.R. & HAGAN, R.M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINSTER, T.W., ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 577-604.

- HARGREAVES, G.H. Irrigation requirements and precipitation deficits for Brasil. Logan, Utah State University, 1975. 50 p.
- HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. Agronomy Journal, Madison, 65:116-9, 1973.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. Soil Science, Baltimore, 114(5): 395-400, 1972.
- IBRAHIM, A.A.; ASSEY, A.A.; ZEIDAN, E.M.; GOMAA, M.A. Yield and yield components of wheat crop as influenced by irrigation and cycocel treatments. Annals of Agriculture Science, Moshtohor, 12:79-92, 1979.
- KELLEY, O.J. A rapid method of calibrating various instruments for measuring soil moisture in situ. Soil Science, Baltimore, 58:433-40, 1944.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Ed. Agronômica "Ceres", 1979, 262 p.
- MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba, POTAFOS, 1985. 136 p.

- MARSH, B. a'B. Measurement of length in random arrangements of lines. Journal Applied Ecology, 8: 265-7, 1971.
- MARINATO, R.M. & PALACIOS, E.V. Respuesta del cultivo de trigo a variaciones de la humedad en el suelo en diferentes etapas de crecimiento. Agrociencia, Chapingo, 38:3-16, 1979.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 3. ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655 p.
- MEYER, W.S. & GREEN, G.C. Water use by wheat and plant indicators of available soil water. Agronomy Journal, Madison, 72:253-7, march/april, 1980.
- MEYER, W.S. & GREEN, G.C. Plant indicators of wheat and soybean crop water stress. Irrigation Science, Heildelberg, 2:167-76, 1981.
- MISRA, R.D.; SHARMA, K.C.; WRIGHT, B.C.; SINGH, V.P. Critical stages in irrigation and irrigation requirement of wheat variety "Lerma Rojo". Indian Journal of Agriculture Science, 39(9):898-906, 1969.
- MOTA, F.S. da. Análise agroclimatológica das necessidades semanais de irrigação em Pelotas, Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(12):1475-82, dez. 1976.

- MOURSI, M.A.; EL-BAGOURY, O.H.; MOHAMED, M.A. The influence of water deficiency on wheat yield and its components. Egyptian Journal of Agronomy, 4(1):1-18. 1979.
- NEWMAN, E.I. A method of estimating the total length of root in a sample. Journal Applied Ecology, 3:139-45, 1966.
- NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY/USAID. Research at the cerrado center of Brasil. In: ————. Agronomic - economic research on tropical soils - Annual report for 1975. Raleigh, 1976. p. 11-3.
- OLIVEIRA, L.B. O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 2:281-95, 1967.
- PALANISWANY, K.M. & GOMEZ, K.A. Length - width method for estimating leaf area of rice. Agronomy Journal, Madison, 66:430-3, 1974.
- PETTERSON, R.F. Wheat; botany, cultivation, and utilization. In: ————. World crops. New York, Books S.P. Interscience, 1965. p. 21-4.
- REICHARDT, K. Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para estimativa da drenagem profunda em balanços hídricos. Piracicaba, CENA-USP-ESALQ, 1974a. 12 p. (Boletim didático, 15).

- REICHARDT, K. Física dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 2. ed. Piracicaba, CE-NA-USP, 1974b. 265 p.
- REICHARDT, K. A água na produção agrícola. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.
- REUNIÃO DA COMISSÃO NORTE-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO - 10., Campinas, 1984. Recomendações da comissão norte-brasileira de pesquisa de trigo para 1984. Campinas, CATI, 1984. 50 p.
- RICHARDS, L.A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solutions. Soil Science, Baltimore, 51:377-86, 1941.
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorptions and transmission by soils. Soil Science, Baltimore, 56:395-404, 1943.
- ROBINS, J.S. & DOMINGO, C.E. Moisture and nitrogen effects on irrigated spring wheat. Agronomy Journal, Madison, 54:135-8, 1962.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 5:11-19, 1967.

- RUSSEL, P.J. & RICHARDS, L.A. The determination of the soil moisture energy relations by centrifugation. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 3: 65-9, 1938.
- SALTER, P.J. & GOODE, J.E. Crop responses to water at different stages of growth. Bucks, Commonwealth Agricultural Bureau, 1967. 246p. (Research review, 2).
- SCARDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, S.P. Piracicaba, 1972. 83p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SHROTRIYA, G.C.; BHARGAVA, S.S.; SHEKHAWAT, G.S. Critical stages of irrigation in dwarf wheat effect on yield and its contributing characters. Indian Journal of Agronomy, 15(4): 381-2, 1970.
- SILVA, A.R. da; ANDRADE, J.M.V. de; LEITE, J.C. Duas novas cultivares de trigo para a região do Brasil Central: BR-9 cerrados e BR-10 Formosa. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(1): 109-13, 1984.
- SILVA, A.R. da; LEITE, J.C.; MAGALHÃES, J.C.A.J.; NEUMAIER, N. A cultura do trigo irrigada nos cerrados do Brasil Central. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1976. 70 p. (Circular técnica, 1).
- SILVA, A.R. da & ANDRADE, J.M.V. de. Cultura de trigo nas várzeas de Minas Gerais - possibilidades e dificuldades. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1979. 69 p. (Circular Técnica, 2).

- x SILVA, C.A.S. da; CALHEIROS, R. de O.; DAMASO, J.A.; LAZAROTTO, N.J. Manejo da água de irrigação em trigo. Dourados, EMBRAPA-UEPAE de Dourados, 1986. 13 p. (Comunicado técnico, 25).
- SINGH, K.P. & VIJAY KUMAR. Water use and water-use efficiency of wheat and barley in relation to seeding dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization. Agricultural Water Management, Amsterdam, 3:305-16, 1981.
- SINGH, S.D. Moisture-sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. Agronomy Journal, Madison, 73(3):387-91, may/june, 1981.
- STANBERRY, C.O. Irrigation practices for the production of alfafa. In: ————. Yearbook of Agriculture, cap. Water, 1957, p. 435-43.
- ST. ANDRE, J.; YAMADA, H.; MAC NIESH, C. Water consumptive use for wheat and barley in the San Joaquin Valley. California Agriculture, Berkeley, 32(4): 22-3, april, 1978.
- STANHILL, G. The control of field irrigation practice from measurements of evapotranspiration. Israel Journal of Agricultural Research. Ktavim, 12(2):51-62, 1962.
- STEWART, B.A. Os fertilizantes e a água. In: WHITE, W.C. & COLLINS, D.N., ed., THE FERTILIZER INSTITUTE. Manual de Fertilizantes. 2. ed. Traduzido por Mario Luiz M. Mattos

de Castro, São Paulo, CEFER - Centro de Estudos de Fertilizantes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 1976, p. 115-28.

VIETS JUNIOR, F.G. Fertilizer and the efficient use of water. Advances in Agronomy, New York, 14: 223-64, 1962.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. Transactions of American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, 4: 242-6, 1961.

WARDLAW, I.F. The early stages of grain development in wheat: response to water stress in a single variety. Australian Journal Biological Science, 24: 1047-55, 1971.

WOLF, J.M. Water constraints to corn production in Central Brazil. Ithaca (NY), 1975. 199 p. (Doutorado - Cornell University).

ZANDONADI, R. Trigo/Brasil - política de incentivo. Correio Agrícola, Bayer do Brasil S.A., São Paulo, 1: 588 - 90, jan. 1984.

A P Ê N D I C E

APENDICE 1 - Potencial matricial (cm H₂O) em diferentes profundidades do solo como função do tempo, após saturação de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado .

Tempo (horas)	Profundidade (cm)								Observ.
	10	20	30	40	60	80	100	120	
0	+ 7,8	+ 15,3	+ 27,8	+ 36,5	+ 16,2	+ 12,3	+ 22,2	- 5,7	
1	- 11,1	- 9,9	+ 5,1	+ 12,6	+ 4,9	- 4,1	+ 2,0	- 13,2	
3	- 23,7	- 22,5	- 11,3	- 5,0	- 12,8	- 12,9	- 20,6	- 23,3	
5	- 30,0	- 31,3	- 20,1	- 16,4	- 22,8	- 23,0	- 29,5	- 33,4	
8	- 38,8	- 36,4	- 27,6	- 29,0	- 29,1	- 28,0	- 35,8	- 35,9	
11	- 42,6	- 40,2	- 31,4	- 32,8	- 31,7	- 30,6	- 38,3	- 38,4	
24	- 57,7	- 55,3	- 45,3	- 46,6	- 46,8	- 40,6	- 45,8	- 47,3	
48	- 70,3	- 66,6	- 56,6	- 59,2	- 58,1	- 52,0	- 55,9	- 54,8	
72	- 80,4	- 76,7	- 68,0	- 70,6	- 70,7	- 60,8	- 64,7	- 64,9	
96	- 88,0	- 81,7	- 73,0	- 78,1	- 77,0	- 68,4	- 73,6	- 71,2	
120	- 94,3	- 88,0	- 76,8	- 84,4	- 83,3	- 73,4	- 79,9	- 80,0	
144	- 99,3	- 94,3	- 83,1	- 93,2	- 93,4	- 91,0	- 89,9	- 88,8	
168	-103,1	-100,6	- 91,9	- 98,3	- 97,2	- 92,3	- 91,2	- 91,4	
192	-110,6	-105,7	- 98,2	-103,3	-102,2	- 96,1	- 97,5	- 98,9	
216	-110,6	-108,2	- 98,2	-109,6	-106,0	-104,9	-100,0	-102,7	
240	-114,4	-110,7	-103,2	-113,4	-107,3	-115,0	-102,5	-105,2	
288	-118,2	-115,8	-110,8	-121,0	-118,6	-126,3	-113,9	-110,3	
384	-129,5	-133,4	-123,4	-132,3	-128,7	-128,8	-122,7	-126,6	
432	-135,8	-142,2	-129,7	-141,1	-137,5	-133,9	-129,0	-127,9	
507	-145,9	-149,8	-149,9	-148,7	-145,1	-140,2	-140,3	-143,0	
552	-151,0	-151,0	-152,4	-152,5	-146,3	-146,5	-142,9	-143,0	
600	-159,8	-152,3	-154,9	-155,0	-150,1	-152,8	-145,4	-145,5	
648	-169,9	-158,6	-158,7	-163,8	-158,9	-157,8	-147,9	-153,1	
696	-178,7	-158,6	-161,2	-166,3	-160,2	-159,1	-154,2	-153,1	
771	-191,3	-177,5	-165,0	-170,1	-162,7	-160,3	-159,2	-154,4	
843	-205,1	-186,3	-170,0	-176,4	-170,3	-167,9	-165,5	-163,2	Chuva
912	-187,5	-206,5	-195,2	-192,8	-172,8	-178,0	-174,4	-172,0	
987	-177,4	-185,1	-161,2	-173,9	-153,9	-128,8	-164,3	-168,2	

APÊNDICE 2-Variação da umidade volumétrica (cm^3/cm^3) com o tempo após saturação, em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado

Tempo (horas)	Profundidade									$\bar{\theta}$ (cm^3/cm^3)
	0*	10	20	30	40	60	80	100	120	
0	0,547	0,499	0,451	0,403	0,355	0,345	0,341	0,349	0,354	0,387
1	0,518	0,468	0,418	0,394	0,348	0,343	0,335	0,344	0,343	0,374
3	0,474	0,429	0,384	0,377	0,334	0,323	0,310	0,337	0,321	0,352
5	0,483	0,433	0,383	0,371	0,318	0,332	0,319	0,318	0,315	0,349
8	0,448	0,412	0,376	0,356	0,319	0,314	0,317	0,342	0,322	0,345
11	0,475	0,418	0,361	0,336	0,340	0,321	0,312	0,322	0,322	0,341
24	0,383	0,372	0,361	0,330	0,299	0,310	0,307	0,297	0,312	0,324
48	0,368	0,349	0,330	0,326	0,293	0,292	0,274	0,295	0,273	0,304
72	0,343	0,335	0,327	0,302	0,278	0,291	0,275	0,274	0,282	0,295
96	0,393	0,354	0,315	0,304	0,280	0,278	0,266	0,259	0,265	0,290
120	0,370	0,338	0,306	0,299	0,277	0,275	0,262	0,269	0,270	0,287
144	0,377	0,351	0,325	0,308	0,307	0,286	0,282	0,271	0,272	0,300
168	0,345	0,333	0,321	0,301	0,280	0,277	0,277	0,262	0,275	0,291
192	0,366	0,342	0,318	0,293	0,276	0,274	0,270	0,263	0,255	0,286
216	0,349	0,330	0,311	0,296	0,288	0,283	0,264	0,273	0,253	0,287
240	0,370	0,338	0,306	0,310	0,274	0,265	0,253	0,277	0,271	0,287
288	0,337	0,316	0,295	0,277	0,268	0,266	0,251	0,256	0,251	0,272
432	0,351	0,329	0,307	0,283	0,267	0,275	0,256	0,249	0,247	0,277
507	0,342	0,313	0,284	0,290	0,271	0,260	0,257	0,249	0,249	0,272
552	0,367	0,324	0,281	0,281	0,278	0,273	0,259	0,256	0,245	0,276
600	0,340	0,317	0,294	0,280	0,262	0,262	0,249	0,256	0,245	0,271
648	0,362	0,330	0,298	0,296	0,273	0,265	0,254	0,253	0,245	0,277
696	0,354	0,321	0,288	0,294	0,272	0,273	0,261	0,255	0,260	0,278
771	0,338	0,317	0,296	0,283	0,262	0,271	0,253	0,259	0,250	0,273
843	0,331	0,307	0,283	0,271	0,261	0,264	0,250	0,243	0,245	0,265
Média	0,390	0,359	0,328	0,314	0,291	0,288	0,278	0,281	0,277	0,302

* Estimado com base na proporção de variação de θ de 10 a 20 cm.

APÊNDICE 3

PERFIL DF 32 (Perfil 2 do Bol. Téc. nº 8)

DATA - 07/07/66

CLASSIFICAÇÃO - LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO A moderado textura argilosa fase cerrado subcaducifólio relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO - CPAC.

SITUAÇÃO E DECLIVE- Trincheira situada em terço inferior de elevação, com declives de 3 a 5%.

ALTITUDE - 960 metros.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Cobertura detrito-laterítica.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Desenvolvido a partir de cobertura de caráter argiloso.

RELEVO - Suave ondulado, com encostas de poucas centenas de metros.

EROSÃO - Laminar ligeira

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGERAÇÃO - Cerrado subcaducifólio com substrato graminóide e formações arbustivas.

USO ATUAL - Pastagem natural.

Ap - 0 - 15 cm, bruno-avermelhado-escuro (2.5 YR 3/4, úmido), vermelho-escuro (2.5 YR 3/6, úmido amassado), bruno-avermelhado-escuro (2.5 YR

3/5, seco) e vermelho-amarelado (5 YR 4/6, seco triturado); argila arenosa; fraca muito pequena a média granular; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana e clara.

- A3 - 15 - 40 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/6, úmido), bruno-avermelhado-escuro (2.5 YR 3/4, úmido amassado), vermelho-escuro (2.5 YR 3/6, seco) e vermelho (2.5 YR 4/6, seco triturado); argila; fraca muito pequena a grande granular; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
- B1 - 40 - 65 cm, vermelho-escuro (10 R 3/6); argila; fraca muito pequena granular com aspecto de maciça porosa pouco coerente "in situ"; macio, muito friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.
- B21- 65 - 105 cm, vermelho-escuro (10 R 3/6); argila; fraca muito pequena granular com aspecto de maciça porosa pouco coerente "in situ"; macio, muito friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.
- B22- 105 - 165 cm, vermelho-escuro (10 R3/6); argila; fraca muito pequena granular com aspecto de maciça porosa pouco coerente "in situ"; macio,

muito friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B23- 165 - 270 cm⁺, vermelho (10 R 4/6); argila; fraca muito pequena granular com aspecto de maciça porosa pouco coerente "in situ"; macio, muito friável, plástico e pegajoso.

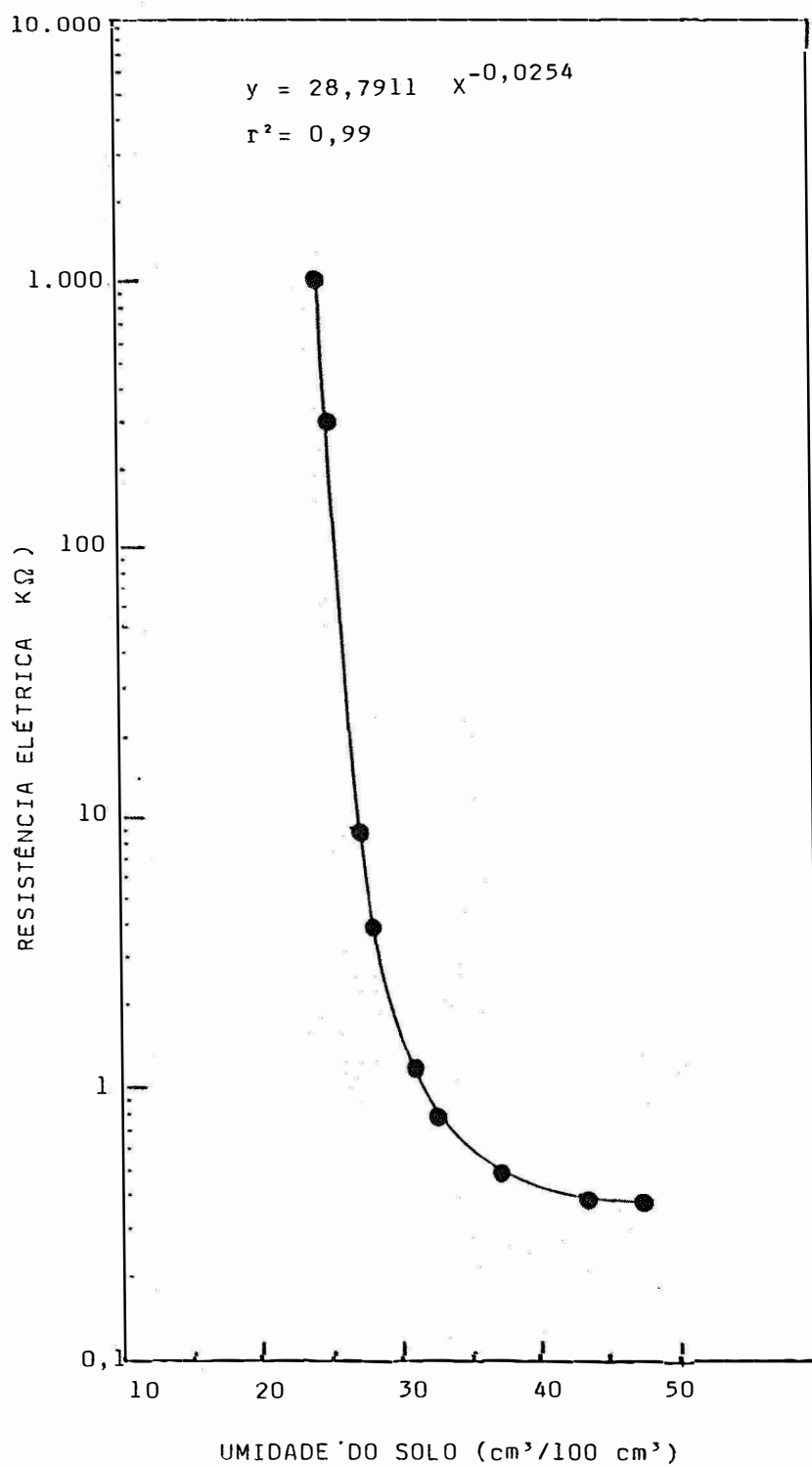
OBSERVAÇÕES - Trincheira com 180 cm de profundidade.

Raízes abundantes no Ap, A3 e B1, muitas no B21 e poucas no B22 e B23, predominando as de diâmetro em torno de 3 mm.

Presença de carvão ao longo de todo o perfil, sendo maior a concentração no Ap e A3.

Atividade biológica ao longo de todo o perfil.

APÊNDICE 4 - Curva de calibração de blocos de gesso para um
Latossolo Vermelho-Escuro argiloso de cerrado.



APÊNDICE 5 - Etapas de desenvolvimento do trigo descritas de acordo à escala de Feeks.

P ¹ 0	-	(Emergência)
P 1	-	(1º broto)
P 2	-	(Início do perfilhamento)
P 3	-	(Perfilhos formados)
P 4	-	(Alongamento da bainha)
P 5	-	(Bainha da folha ereta)
AC 6	-	(1º nó do colmo visível)
AC 7	-	(2º nó do colmo visível)
AC 8	-	(Última folha visível, lígula começando à apontar)
AC 9	-	(Lígula da última folha visível)
AC10	-	(Emborrachamento)
E 10.2	-	(1/4 da espiga exposta)
E 10.3	-	(1/2 da espiga exposta)
E 10.4	-	(3/4 da espiga exposta)
E 10.5	-	(Espiga completamente exposta)
F 10.5.1	-	Início do florescimento
F 10.5.2	-	Florescimento completo na parte superior da espiga
F 10.5.3	-	Florescimento completo na parte inferior da espiga
F 10.5.4	-	Final do florescimento
M 11.1	-	Grão leitoso
M 11.2	-	Conteúdo do grão mole mas seco
M 11.3	-	Grão duro
M 11.4	-	Maturação (colmo seco)

- ¹ P = perfilhamento
 AC = alongamento do colmo
 E = espigamento
 F = florescimento
 M = maturação