



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR TENSIOMETRIA PARA CULTURAS DE GRÃOS NA REGIÃO DO CERRADO

Euzebio Medrado da Silva
Juscelino Antônio de Azevedo
Antônio Fernando Guerra
Sebastião Francisco Figuerêdo
Lucilene Maria de Andrade
Jorge Cesar dos Anjos Antonini

ISSN 1517-0187

Circ. téc. - Embrapa Cerrados	Planaltina	n. 6	p.1-60	dez. 1999
-------------------------------	------------	------	--------	-----------

Copyright © Embrapa – 1999
Circular técnica - Embrapa Cerrados, 6

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Cerrados
BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73301-970 – Planaltina, DF
Telefone (61) 388-9898 – Fax (61) 388-9879

Tiragem: 200 exemplares

Comitê de Publicações:

Eduardo Delgado Assad (Presidente), Maria Alice Bianchi, Daniel Pereira Guimarães, Leide Rovênia Miranda de Andrade, Marco Antonio de Souza, Carlos Roberto Spehar, José Luis Fernandes Zoby e Nilda Maria da Cunha Sette (Secretária-Executiva).

Coordenação editorial: Nilda Maria da Cunha Sette

Revisão gramatical: Maria Helena Gonçalves Teixeira

Normalização bibliográfica: Maria Alice Bianchi

Diagramação e arte final: Jussara Flores de Oliveira

Capa: Chaile Cherne Soares Evangelista

Impressão e acabamento: Jaime Arbués Carneiro e
Divino Batista de Souza

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

S586 Silva, Euzébio Medrado da.
Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do Cerrado / Euzébio Medrado da Silva... [et al.]. – Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999.

60p. — (Circular técnica / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-0187 ; n.6)

1. Irrigação - Cerrado. 2. Irrigação - grãos. I. Título. II. Série.

631.587 - CDD 21

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO	9
Medidas climáticas	9
Medidas na planta	11
Medidas no solo	12
TENSIOMETRIA E REPOSIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	13
Tensiômetro	14
<i>Constituição e tipos de equipamento</i>	15
<i>Funcionamento</i>	17
<i>Localização e instalação</i>	18
Lâmina de reposição	21
<i>Curva de retenção</i>	22
<i>Cálculo da lâmina de água</i>	23
ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA	25
Uniformidade de aplicação	26
Parcelamento da área irrigada	27
Implementação da estratégia de manejo	29
RESULTADOS COM APLICAÇÃO DA TENSIOMETRIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO	31
Cultura do trigo	33
Cultura do feijão	39
Cultura da cevada	44
Cultura do milho	47
CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	59

MANEJO DE IRRIGAÇÃO POR TENSIOMETRIA PARA CULTURAS DE GRÃOS NA REGIÃO DO CERRADO¹

Euzebio Medrado da Silva²; Juscelino Antônio de Azevedo³;
Antônio Fernando Guerra⁴; Sebastião Francisco Figuerêdo⁵;
Lucilene Maria de Andrade⁶; Jorge Cesar dos Anjos Antonini⁷

RESUMO – A determinação do momento exato para efetuar a irrigação é um dos passos fundamentais para racionalização do manejo de água na agricultura irrigada. Dentre as possíveis medidas indicativas desse momento, a tensão de água no solo é a mais recomendada pelas possibilidades que oferece de extrapolação de dados, pela estreita relação que demonstra com os índices de produtividade, e pelo fato de já existir instrumental disponível no comércio que permite o registro da tensão de água no solo para controle de irrigações. Neste trabalho são apresentadas informações de pesquisa e resultados de aplicação de estratégia de manejo de água baseado na tensiometria em lavouras irrigadas de trigo, feijão, cevada e milho em solos de Cerrado. As leituras de tensiômetros são utilizadas diretamente para estabelecer o momento e a quantidade de água aplicada por irrigação.

Palavras-chave: Irrigação, manejo de água, tensiometria, culturas de grãos, região do Cerrado.

¹ Trabalho apresentado no XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas – MG, 03 a 07 de agosto de 1998.

² Eng. Agr., Ph.D., Embrapa Cerrados.

³ Eng. Agr., Doutor, Embrapa Cerrados.

⁴ Eng. Agric., Ph.D., Embrapa Cerrados.

⁵ Eng. Agric., M.Sc., Embrapa Cerrados

⁶ Eng. Agr., M.Sc., Embrapa Cerrados.

⁷ Eng. Agric., M.Sc., Embrapa Cerrados

IRRIGATION MANAGEMENT BY USING TENSIOMETERS FOR GRAIN CROPS IN THE CERRADO REGION

ABSTRACT – The determination of the right moment to apply irrigation is one of the basic steps to improve water management performance irrigated agriculture. Amongst the possible indicative measures to establish the moment of irrigation, the soil-water tension is recommended by the possibilities that it offers to use directly soil-water data from one place to another with minor adaptations. Moreover, the narrow relationship that exists between soil-water tension in the moment of irrigation and crop productivity and the availability of tensiometers in the market make the technique readily available for field application. In this work, research information and field results are presented demonstrating the applicability of water management strategies based on tensiometer readings for controlling irrigation for grain crops such as: wheat, beans, barley and maize in the Cerrado region. The tensiometers readings are shown to be applicable to establish both the moment and the amount of water applied for irrigation.

Key words: Irrigation, water management, tensiometers, grain crops, Cerrado region.

INTRODUÇÃO

A expansão crescente da área irrigada, com culturas de grãos, nos últimos quinze anos, especialmente na região do Cerrado, reflete o reconhecimento de muitos produtores sobre a importância da prática da irrigação como uma das alternativas viáveis para a elevação da produtividade, bem como das possibilidades que oferece de garantia, estabilidade e diversificação da produção. A não-dependência do caráter aleatório de chuvas, a possibilidade de colocação dos produtos agrícolas em épocas de melhores preços no mercado e a diminuição significativa das probabilidades de perda de rendimento por efeito da deficiência hídrica, constituem vantagens insofismáveis da agricultura irrigada. Esses be-

neffícios, entretanto, só podem ser alcançados em toda sua plenitude quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo das culturas irrigadas.

Uma vez implantado o equipamento de irrigação, o produtor necessita de uma estratégia de manejo de água que defina, em bases racionais, o momento certo e a quantidade de água adequada para atender às necessidades hídricas da cultura. É importante destacar que a implementação de qualquer estratégia de manejo de água só terá sucesso se o sistema de irrigação estiver bem dimensionado, ou seja, com capacidade para atender à demanda de água das culturas em seu estágio de desenvolvimento de máximo consumo. Vale ressaltar que o objetivo do manejo da irrigação não é simplesmente economizar água, aplicando menos do que a cultura necessita, mas o de realizar as regas no momento certo e de acordo com a quantidade requerida pela planta. Adotando-se um manejo adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia e de mão-de-obra.

A base de qualquer estratégia de manejo de irrigação está alicerçada nas curvas de consumo de água das culturas. O consumo de água de uma cultura é função direta da demanda evapotranspirométrica local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade da planta à perda de água através das folhas. Nesse sistema solo-planta-atmosfera, a transferência de água ocorre, em resposta às diferenças de potenciais de água estabelecidos entre o solo, a planta e a atmosfera, ou seja, o movimento de água do solo para as raízes ocorre em função de um gradiente de potencial formado entre o solo e as células das raízes da planta. Por sua vez, a transferência de água das raízes para as folhas ocorre em resposta ao gradiente de potencial criado entre essas duas partes da planta. Finalmente, a perda de água da planta para o ambiente externo acontece em resposta à diferença de potencial entre a atmosfera e as células transpirativas da planta.

O sucesso da estratégia de manejo depende essencialmente de sua capacidade de integrar todos esses fatores, resultando em esquemas de manejo de água que atendam adequadamente à demanda hídrica das culturas, maximizando os rendimentos com a utilização racional de energia e demais insumos.

O manejo da irrigação para culturas de grãos como: trigo, cevada, feijão e milho deve levar em consideração que as curvas de consumo de água apresentam padrão de variação típico: consumo inicialmente baixo, refletindo quase que integralmente a evaporação da água do solo, seguido de uma taxa crescente de consumo, pelo aumento da área foliar, até um patamar de uso de água máximo, coincidente com a atividade cultural de maior demanda, para, em seguida, diminuir à medida que ocorre o declínio da atividade fotossintética das folhas. Os valores de consumo de água também diferem em função da cultura, da demanda evapotranspirativa, da produção potencial da lavoura, do regime de aplicação de água adotado e do estado sanitário da cultura. Diante desse complexo de relações, é fácil entender porque a administração de água sem critérios racionais, normalmente resulta em aplicações excessivas ou deficientes, com prejuízos para o produtor.

É importante destacar que a irrigação de culturas grãos, normalmente é conduzida utilizando-se de sistemas apropriados para áreas extensas, como a irrigação por aspersão e, em condições especiais de topografia e solo, a irrigação por superfície. Na região do Cerrado, por exemplo, predomina a irrigação por pivô-central, com aplicação em culturas como feijão, trigo, milho e cevada. As condições de solos encontradas são favoráveis à utilização de tensiômetros como instrumentos básicos de monitoração da água no solo para definição do momento e da quantidade de água a ser aplicada na irrigação. Nessa linha de ação, vários trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos, objetivando determinar relações entre medidas de tensão de água no solo e rendimentos dessas culturas, com a finalidade de se estabelecer critérios para o manejo da água, usando principalmente sistemas de irrigação por aspersão. Assim, o propósito deste trabalho é apre-

sentar uma estratégia de manejo de aplicação de água adequada para grandes culturas, sustentada em base tecnológica resultante de trabalhos de pesquisa, servindo-se da tensiometria e das características de retenção de água do solo como ferramentas fundamentais. Além disso, serão apresentados resultados de produção e de água aplicada em lavouras irrigadas com pivô-central na região do Cerrado.

CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO

A programação adequada das irrigações consiste em suprir integralmente as necessidades de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseado em medidas do "status" da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera (James, 1988). Teoricamente, o melhor critério seria aquele que considera o maior número de fatores que determinam a transferência da água nesse sistema. Assim sendo, as medidas que levam a uma avaliação do potencial de água no solo, na planta ou na atmosfera podem perfeitamente ser utilizadas para estabelecer critérios racionais que permitam definir o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada. Para melhor consideração sobre a escolha dos critérios de manejo a serem seguidos, são apresentados e discutidos, a seguir, alguns pontos importantes que caracterizam a utilização de medidas climáticas, medidas na planta e medidas no solo, como base racional para a implantação de estratégias de manejo de água factíveis em sistemas irrigados.

Medidas climáticas

Existem vários critérios baseados em medidas climáticas que podem ser usados para avaliação das necessidades hídricas de uma cultura. As variáveis climáticas mais comumente utilizadas são: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, veloci-

dade do vento e evaporação da água de tanques padronizados. Com base nessas informações, é possível determinar a evapotranspiração (consumo de água em uma área cultivada) de uma cultura, considerada como referência, e a partir desse dado estimar, por meio de coeficientes apropriados, o consumo de água de uma cultura específica. Esses métodos variam desde simples medidas de evaporação da água de um tanque, como o classe "A", até complexas equações empíricas, usando medidas de radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura do ar (Doorenbos & Pruitt, 1984). A utilização desses métodos pelo produtor, muitas vezes, é limitada pela falta dos instrumentos necessários para obtenção das medidas pertinentes.

No âmbito da propriedade agrícola, tem-se observado que a estratégia de manejo de água baseada em medidas de evaporação, utilizando o Tanque classe "A", pode ser adotada pelo produtor sem grandes dificuldades, pois o instrumental requerido é relativamente simples e de baixo custo. Nesse caso, os requerimentos de água da cultura podem ser calculados indiretamente, empregando os coeficientes apropriados para transformar as leituras de evaporação do tanque em estimativas de consumo de água da cultura, ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. A grande limitação dessa metodologia está na precisão das estimativas que dependem diretamente da acurácia dos coeficientes utilizados.

Dos vários fatores que afetam a precisão dos coeficientes culturais na estimativa da evapotranspiração da cultura, Doorenbos & Pruitt (1984) destacam como importante a condição de umedecimento do solo, especialmente nos casos em que parte da área irrigada encontra-se descoberta, favorecendo o processo de evaporação da água. No solo úmido, os valores médios dos coeficientes de cultura recomendados podem subestimar em 50% ou mais o consumo de água da área irrigada. Esse erro pode afetar drasticamente uma estratégia de manejo de irrigação que esteja baseada somente nesses tipos de medidas. O erro é maior quanto mais freqüentes forem as irrigações, como é o caso de áreas irrigadas em solos arenosos. Diante dos pontos levantados,

considera-se pouco provável o sucesso de uma estratégia de manejo de irrigação baseada somente em medidas climáticas, utilizando o conjunto de informações atualmente disponíveis sobre coeficientes de cultura.

Medidas na planta

Historicamente, outra forma de estabelecer o grau de deficiência hídrica de uma cultura é realizar medidas diretamente na planta. Mederski (1961) indica que se fosse possível realizar avaliação do balanço interno de água na planta, essa seria a estratégia mais correta para se definir critérios para determinação de suas necessidades hídricas. Existem vários indicadores que podem ser utilizados para avaliação dessa deficiência. Haise & Hagan (1967) consideram a folha como um dos órgãos principais para análise do potencial hídrico da planta, destacando os seguintes indicadores: mudança de coloração, ângulo de posição, índices de crescimento, conteúdo de água absoluto, taxa de transpiração, abertura estomatal e o potencial osmótico. Entretanto, as técnicas disponíveis para realização desse balanço ainda são inacessíveis ao produtor irrigante.

Outro procedimento para medição da condição do "status" hídrico da planta é a utilização de medidas de temperatura da folha, por meio do termômetro infravermelho. Esse método baseia-se no fato de que as folhas das plantas que se encontram em estado túrgido refletem mais luz infravermelha do que as folhas flácidas (Haise & Hagan, 1967). Essa mudança no estado hídrico da planta pode ser acompanhada facilmente por avaliações de temperatura da folha, uma vez que a temperatura da planta aumenta em relação à do ambiente quando o processo de transpiração é reduzido em resposta a uma deficiência hídrica. Com o advento do termômetro infravermelho portátil, essa técnica de medição ganhou força, e vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de estabelecer as bases teóricas e práticas para sua utilização em campo (Jackson, 1982 & Idso et al. 1986).

Contudo, apesar dos avanços alcançados, ainda há necessidade de mais informações para viabilizar sua aplicação prática na agricultura irrigada.

Medidas no solo

A água no solo encontra-se em constante movimento em resposta às forças criadas por processos como: infiltração, percolação, evaporação, transpiração, irrigação, chuva e temperatura. A velocidade com que a água se desloca no solo em resposta a esses processos depende do grau de umedecimento do espaço poroso do solo e da energia com que a água está retida pelas partículas do solo. O grau de umedecimento do solo, normalmente, é representado pelo volume de água contido em uma unidade de massa ou volume de solo e constitui uma das informações essenciais para o cálculo do volume de água necessário para restabelecer o nível adequado de umidade na zona de absorção do sistema radicular da planta. Por outro lado, a energia de retenção da água no solo reflete o trabalho que deve ser exercido para remover uma quantidade unitária da água retida. Essa energia de retenção exerce papel fundamental no processo de absorção da água no solo pela planta. Quanto mais fortemente estiver retida a água no solo maior será o esforço que a planta terá de exercer para absorver a quantidade de água necessária para satisfazer suas funções metabólicas. A força com que a água se encontra retida é também conhecida como tensão de água do solo.

As medidas da tensão da água no solo podem ser utilizadas para avaliar indiretamente a deficiência hídrica de uma cultura (Heermann et al., 1990). Isto é possível porque a taxa de suprimento da água do solo para a planta é controlada dentro de certos limites pelo próprio solo. Em geral, à medida que o conteúdo de água no solo decresce, a planta tem de reduzir seu potencial de água nas células de absorção, procurando manter um fluxo hídrico na quantidade requerida para satisfazer suas necessidades. A planta realiza esse feito, produzindo solutos, como os ácidos orgânicos, que diminuem o potencial osmótico

da célula e com isso mantém o gradiente de potencial na magnitude necessária para garantir o suprimento de água desejado. Esse trabalho adicional é realizado às custas da energia e dos produtos metabólicos que são redirecionados para as células de absorção de água, que ao contrário iriam para as células de crescimento e produção (Bowman & Nakayama, 1986). Essa é uma das razões por que uma deficiência hídrica no sistema solo-planta-atmosfera resulta na paralização do crescimento vegetativo e, conseqüentemente, na redução da produtividade.

O uso de medidas de tensão da água no solo para o controle das irrigações tem como principal vantagem a possibilidade de extrapolação dos resultados para solos semelhantes, com poucas modificações metodológicas. Isto é possível porque o consumo de água pela planta é realizado em resposta às diferenças de potenciais que produz, de certa forma, um efeito semelhante na planta, independentemente do local considerado. É importante salientar que, no entanto, as culturas, em geral, são afetadas diferentemente em relação ao nível de tensão estabelecido no solo. Segundo Bowman & Nakayama (1986), o potencial de água nas raízes de plantas túrgidas está na faixa de -50 a -100 kPa, ou seja, o potencial de água no solo deverá ser superior a esses valores para que seja estabelecida uma diferença de potencial capaz de garantir o fluxo de água para a planta.

TENSIOMETRIA E REPOSIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O grau de energia ou tensão de água no solo, correspondente a um dado conteúdo de água, varia de um solo para outro. Por exemplo, o argiloso retém mais água do que o arenoso para um mesmo nível de tensão. Isto significa que os solos argilosos levarão mais tempo para esgotar seu armazenamento do que os arenosos. O relacionamento existente entre o nível de tensão e seu correspondente conteúdo de água do solo, denominado curva de retenção de água do solo, é uma das ferramentas básicas essenciais nos estudos sobre o aproveitamento da água armaze-

nada no solo pelas plantas. A curva de retenção é considerada uma característica do solo, entretanto, ela pode ser alterada por operações de cultivo e modificações do conteúdo de matéria orgânica do solo. O levantamento da curva de retenção representa uma das etapas importantes para o estabelecimento de estratégia de manejo de irrigação baseada na água armazenada no solo.

É importante destacar que existem vários instrumentos utilizados para medir a deficiência hídrica no solo. Equipamentos como tensiômetros (Richards & Gardner, 1936), blocos de gesso (Bouyoucos & Micks, 1947), sensores térmicos (Shaw & Baver, 1939) e psicrômetros (Richards & Ogata, 1958) têm sido usados com sucesso para monitorar o potencial de água no solo para controle das irrigações. Esses instrumentos têm sido inclusive aplicados em esquemas de automação para o acionamento de sistemas de irrigação (Phene, 1986). Dentre esses instrumentos, o tensiômetro tem sido um dos mais comercializados (Haise & Hagan, 1967) para o controle das irrigações. Richards & Marsh (1961) sugeriram que o tensiômetro poderia ser utilizado tanto para determinar o momento das irrigações como para calcular a quantidade de água a ser aplicada. Esse cálculo pode ser realizado, utilizando a curva de retenção de água do solo e determinando os valores de conteúdo de água correspondente ao perfil de tensão obtido antes de cada irrigação.

Tensiômetro

O tensiômetro, aparelho desenvolvido por Gardner em 1922 (Camargo et al., 1982), é empregado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, também conhecido por potencial matricial. Segundo Campbell & Mulla (1990), de todos os métodos disponíveis para conhecimento dos potenciais de água no solo em irrigação, o tensiômetro é talvez o mais utilizado.

Em comparação com outros métodos de controle da irrigação, o tensiômetro tem como vantagens: possibilidade de conhecimento, em tempo real, da tensão de água no solo e, indiretamente do teor de água no solo; uso do conceito de potencial, medindo diretamente a energia de retenção da água pelo solo; facilidade para utilização, desde que convenientemente instalado, mantido e interpretado; e custo relativamente baixo e facilmente encontrado no comércio, possibilitando maior aplicação por parte de agricultores irrigantes (Azevedo & Silva, 1995).

Constituição e tipos de equipamento

O tensiômetro consiste em uma cápsula porosa, geralmente de material de cerâmica, conectada a um medidor de vácuo (que pode ser um vacuômetro metálico ou um manômetro de mercúrio) através de um tubo plástico ou de outro material, tendo todas as partes preenchidas com água. A cápsula porosa é permeável à água e solutos na solução do solo, sendo, entretanto, impermeável a gases, até determinado nível de tensão. A Figura 1 apresenta um modelo esquemático de um tensiômetro com manômetro de mercúrio.

O tensiômetro a vacuômetro tem o seu emprego mais recomendado para os trabalhos de controle das irrigações no campo, em virtude de sua simplicidade e facilidade de operação, comparado com o tensiômetro provido de manômetro de mercúrio. Este tensiômetro tem maior precisão nas leituras, mas, por ser de manuseio mais difícil, é mais utilizado em trabalhos de pesquisa. Comercialmente, encontram-se disponíveis, no mercado brasileiro, tensiômetros com manômetro de mercúrio, adaptados para uso em campo. Entretanto, é importante destacar a necessidade de realizar, com cuidado, a manipulação do mercúrio, procurando evitar possíveis derrames desse produto no solo. Os tensiômetros podem ter comprimentos variáveis de acordo com a profundidade desejada de medição.

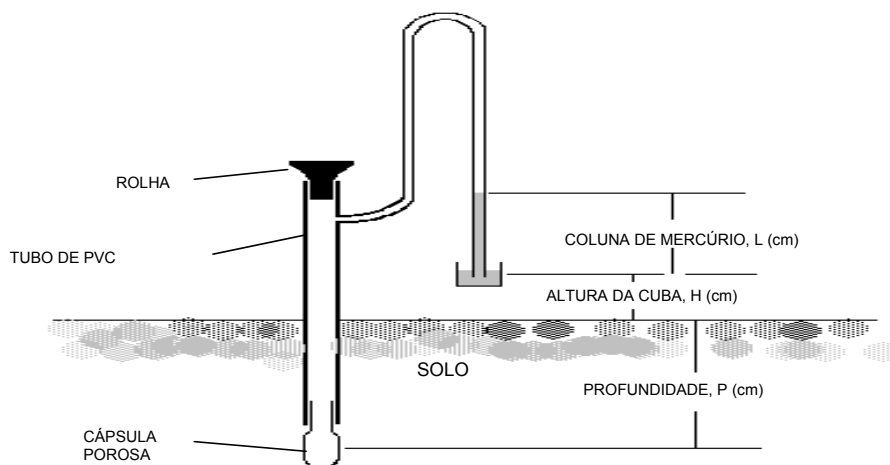


FIG. 1. Desenho esquemático de constituição de um tensiômetro de mercúrio.
 Fonte: Silva et al. (1996).

Além desses modelos mais comuns, existem também os de leitura direta (Camargo et al., 1982) e o simplificado (Arruda, 1986) que utilizam o comprimento da câmara gasosa formada no tubo para estabelecer o nível de tensão. Outra versão de tensiômetro, mais avançada em termos do processo de medida da tensão estabelecida em seu interior, é o que usa um transmissor eletrônico de pressão com saída digital. Segundo Campbell & Mulla (1990), esse tensiômetro é constituído unicamente da cápsula porosa e um tubo cheio de água com sua extremidade superior tampada com uma rolha de borracha. Durante a leitura, o transmissor eletrônico é conectado ao tensiômetro, por meio de uma agulha inserida através da rolha, sensibilizando o medidor imediatamente. Utilizando esse tipo de equipamento de leitura, é possível atender a grande número de tensiômetros com um único medidor. Novas versões permitem até o registro eletrônico dos dados diretamente em computador. Outra variação de tensiômetro é o de leitura rápida que é usado de forma portátil para realizar medidas em vários locais do solo, fornecendo leitura a cada dois minutos aproximadamente.

Funcionamento

O funcionamento do tensiômetro é simples. Quando estiver completamente cheio de água e em solo saturado, nenhuma água passará pela porcelana e não haverá vácuo. À medida que o solo seca, a água sai do tensiômetro pela cápsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo equivalente à tensão da água retida no solo. A magnitude desse vácuo será indicada no manômetro conectado ao tensiômetro. De forma inversa, após uma chuva ou irrigação, aumenta o teor de água no solo, e a água passa do solo para o tensiômetro através da cápsula e as leituras de vácuo ficam mais baixas (Azevedo et al., 1983). Durante seu funcionamento, quando o solo seca a um nível de tensão superior à sua capacidade de medição, os poros da cápsula se esvaziam e permitem a entrada de ar no instrumento que deixa assim de funcionar corretamente. Nesse caso, o tensiômetro, após ser reabastecido com água, pode voltar ao funcionamento normal tão logo o conteúdo de água do solo retorne ao nível de operação do instrumento. A quantidade de água necessária para o reabastecimento do tensiômetro, durante as leituras de rotina, é relativamente pequena, em torno de 4 ml por tensiômetro por dia.

Devido a seu princípio de operação, as leituras dos tensiômetros expressam a energia necessária para a água ser liberada das superfícies das partículas do solo, onde se encontra retida. Considerando que o tensiômetro mede energia, o tipo de solo não determina diferenças apreciáveis. Assim, por exemplo, a leitura de 40 centibares (cbar) em solos argilosos e arenosos significa que as plantas aí cultivadas estarão sujeitas à mesma energia de retenção de água. No entanto, como os solos argilosos armazenam, naturalmente, mais água que os arenosos para o mesmo nível de tensão, o tempo de esgotamento da água armazenada no solo argiloso será maior que no arenoso. E, finalmente, como as leituras do tensiômetro não dependem do tipo de solo, seu emprego é feito sem necessidade de calibração.

O funcionamento do tensiômetro depende da formação de vácuo em seu interior. Por causa disto, seu limite de operação depende do ponto em que a água, sob vácuo, entra em processo de cavitação, ou seja: formação acentuada de bolhas de vapor d'água dentro do sistema. Esse processo afeta o funcionamento, especialmente dos tensiômetros de mercúrio. Esse problema pode ser minimizado utilizando, para reabastecimento, água fervida para remoção dos gases dissolvidos. Essa água deverá ser mantida em vasilhame fechado para evitar a reintrodução dos gases. Além disso, recomenda-se usar água destilada ou filtrada para evitar a deposição de materiais no interior da cápsula porosa. O limite superior de medidas do tensiômetro diminui com a altitude do local e com a temperatura da água. No entanto, toma-se o valor de 80 kPa (≈ 80 cbar) como limite de leitura máxima de operação do tensiômetro.

Localização e instalação

Os tensiômetros devem ser instalados na zona de absorção do sistema radicular da planta, o que demanda conhecimento preciso sobre a distribuição espacial das raízes absorventes da cultura. No caso de culturas anuais como feijão, trigo e milho, cultivados em solos de cerrado, a maior concentração das raízes encontra-se na camada de 0 a 35 cm e, por isso, recomenda-se instalar tensiômetros nas profundidades de 10, 20 e 30 cm. A Figura 2 ilustra a instalação de três tensiômetros nas profundidades que seriam indicadas para uma cultura como por exemplo, a do feijão.

Geralmente, são selecionados locais representativos da área para instalação dos tensiômetros, devendo-se assinalar visivelmente suas posições para evitar danificá-los. A instalação do tensiômetro deve ser feita de maneira que a cápsula fique na região de maior concentração do sistema radicular. O contato da

cápsula com o solo é fundamental para leituras precisas. Para a instalação segura, inicialmente faz-se um buraco com um trado do mesmo diâmetro da cápsula até a profundidade desejada (Figura 3). Em seguida, introduz-se o tensiômetro, tendo-se assim um contato direto entre a cápsula e o solo. Deve-se comprimir levemente o solo da superfície ao redor do tensiômetro, para que a água de irrigação ou de chuva não alcance a cápsula pelo espaço deixado entre o tubo do tensiômetro e o solo. Se o buraco for bem maior que o diâmetro do tubo e a cápsula não ficar em contato perfeito com o solo, poderão ocorrer falsas leituras na faixa alta do vacuômetro. Leituras inconsistentes na faixa inferior da escala do vacuômetro podem acontecer quando a água de chuva ou de irrigações escorrer entre o tubo e o solo alcançando a cápsula.

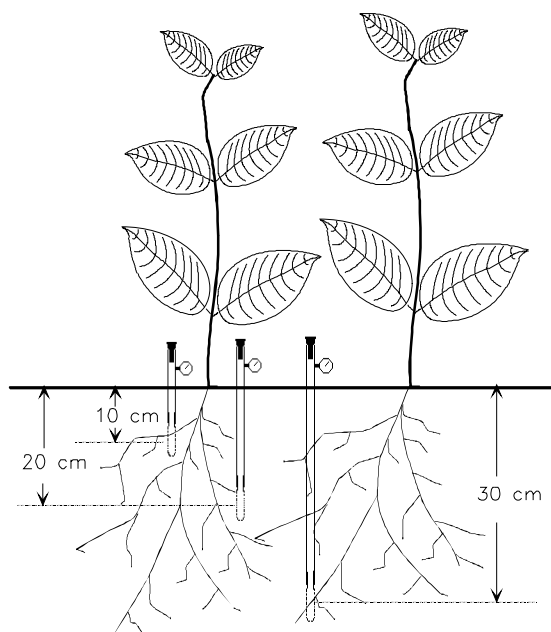


FIG. 2. Instalação típica de tensiômetros em três profundidades.

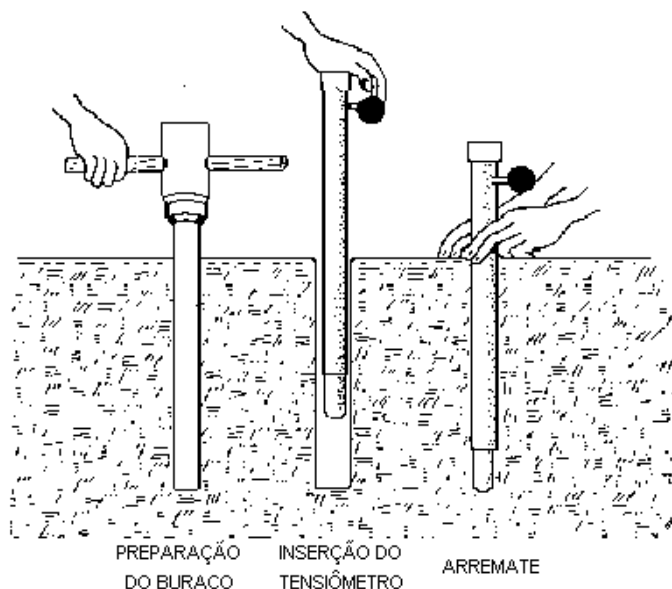


FIG. 3. Procedimentos para instalação do tensiômetro.

Fonte: Azevedo et al. (1983).

A preparação do buraco deve ser realizada com o solo úmido e no mesmo diâmetro do tubo do tensiômetro. É importante colocar a cápsula na profundidade exata de instalação. Deve-se evitar a abertura de buracos maiores que a profundidade estabelecida, para evitar a acumulação de ar e água nas imediações da cápsula, afetando a acurácia das leituras. Depois da instalação, a superfície do solo em volta do tubo deve ser ligeiramente amontoadada em torno do tubo plástico em uma altura de 7,5 a 10 cm para assegurar um bom contato entre o solo e o aparelho e garantindo drenagem de água superficial. Na instalação ou remoção dos aparelhos do solo, os tensiômetros devem ser manuseados cuidadosamente. Após a instalação, os aparelhos devem ser protegidos com uma cobertura, visando a minimizar flutuações de temperatura que podem ter um leve efeito sobre as leituras dos vacuômetros, bem como manter um visor bem claro, facili-

tando as leituras e evitando penetração de água que pode enfeitar os vacuômetros. Embora o tensiômetro não seja um instrumento feito para sofrer mudanças constantes, essas podem ocorrer em algumas situações, como, por exemplo, antes da colheita de culturas anuais. Grande número de mudanças de locais não é aconselhável, pois a cápsula porosa, além de frágil, pode ter reduzida sua porosidade em razão da cristalização de sais quando sua superfície tornar-se seca.

Lâmina de reposição

A água no solo representa uma fração do volume ou da massa do solo e, por isso, pode ser expressa em termos relativos ou percentuais em relação ao volume de solo considerado. Normalmente, quando o conteúdo de água é determinado em relação à massa de solo, ele é denominado umidade gravimétrica (θ_g) e é expresso em g de H₂O/g de solo seco. Entretanto, quando o conteúdo de água é determinado em relação ao volume do solo, ele é denominado umidade volumétrica (θ_v) e é expresso em cm³ de H₂O/ cm³ de solo. A umidade gravimétrica pode ser transformada diretamente em umidade volumétrica, multiplicando-a pela densidade do solo seco, expressa em g/cm³. A lâmina de água a ser repostada por irrigação pode ser obtida, por meio da curva retenção, para cada camada de solo de interesse para o manejo.

No esquema de manejo de irrigação proposto para culturas de grãos em solos da região do Cerrado, considera-se suficiente conhecer as características de retenção de água das camadas de solo de 0 a 15 cm e de 15 a 35 cm. A lâmina de água para recomposição da quantidade de água da primeira camada será obtida pela média das leituras dos tensiômetros instalados a 10 cm de profundidade, enquanto a lâmina de água a ser repostada na segunda camada de solo será determinada com base nas médias das leituras dos tensiômetros instalados a 20 e 30 cm para representarem, respectivamente, as subcamadas de 15 a 25 cm e de 25 a 35 cm (Azevedo et al., 1997a, 1997b, 1997c, 1997d).

Curva de retenção

A curva de retenção retrata a expressão da energia com que um dado conteúdo de água encontra-se retido no solo. Por intermédio de amostras de solos representativas das condições de textura e estrutura do solo no campo é possível determinar, em laboratório, a relação que existe entre um dado nível de tensão e seu correspondente valor de quantidade de água. Existem vários métodos de laboratório para determinação da curva de retenção, no entanto, o método da centrífuga (Freitas Jr. & Silva, 1984) tem sido adotado com sucesso como um processo de rotina na Embrapa Cerrados, pela rapidez e precisão no levantamento dos principais pontos necessários para modelagem da curva de retenção. A Figura 4 apresenta exemplo típico de curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, da camada de 0 a 15 cm, modelado a partir de seis pontos de tensão versus conteúdo de água, determinados pelo método da centrífuga. Nesse exemplo, a densidade do solo da camada amostrada estava em torno de 0,87 g/cm³.

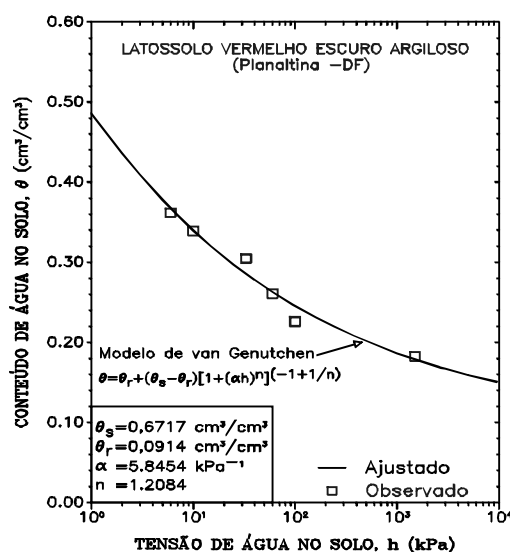


FIG. 4. Curva de retenção de água típica de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, do Cerrado.

Os valores pontuais de conteúdo de água do solo da curva de retenção podem ser ajustados ao modelo matemático de Genutchen (1978), utilizando a técnica estatística de regressão não-linear (Kennedy Jr. & Gentle, 1980). Nesse modelo, θ_s representa o conteúdo de água na saturação; θ_{∞} representa o valor residual do conteúdo de água quando a tensão tende para infinito; α é um parâmetro empírico de ajuste, expresso na unidade inversa da tensão h ; e n também é um parâmetro empírico de ajuste e sem dimensão. É importante destacar que existem várias rotinas em programas estatísticos que podem ser utilizados para realizar o ajuste do modelo. Neste trabalho, utilizou-se da função "Solver" contida na planilha de cálculo Excel da Microsoft (Microsoft, 1994), para ajustar os parâmetros do modelo (θ_r , α , e n), fixando-se o valor de θ_s igual à porosidade total do solo. O Anexo 1 apresenta um espelho de dados e resultados obtidos com a operacionalização da rotina "Solver" no processo de otimização desses parâmetros.

Cálculo da lâmina de água

Para efeito de cálculo da lâmina de água, em função do nível de água no solo, é conveniente definir um limite superior de água retida além do qual qualquer água adicionada estaria sujeita a uma drenagem rápida pelos macroporos e, portanto, considerada inaproveitável pela planta. Esse limite máximo de água retida no solo é comumente denominado Capacidade de Campo (CC), que no caso de latossolos do Cerrado tem sido considerado igual ao conteúdo de água correspondente à tensão de 6 kPa (Guerra, 1994, 1995a, 1995b; Silva et al., 1996). No entanto, cabe destacar que Azevedo et al. (1993) demonstraram que os valores de 8 kPa no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa e 9 kPa nos Latossolos Vermelho-Escuro argiloso e Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média representam adequadamente a CC de campo desses latossolos, ao compararem valores da curva de retenção com valores de conteúdo de água medidos direta-

mente no campo pelo processo de redistribuição de água após saturação do solo. Definido esse limite superior de água disponível e conhecido o conteúdo de água presente no momento da irrigação (UA), determina-se a deficiência hídrica do solo a ser repostada pela irrigação, aplicando a equação (1):

$$L_B = \left(\frac{CC - UA}{E_f} \right) P_r \quad (1)$$

onde L_B representa a lâmina bruta de água aplicada em mm; P_r é a profundidade média de molhamento da camada de solo a ser irrigada em mm; E_f é a eficiência de irrigação do sistema, expressa em decimal; e CC e UA são, respectivamente, limites superior do armazenamento da água disponível no solo, e umidade atual no momento da irrigação expressos em cm^3 de $\text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ de solo.

Para facilitar os cálculos, as lâminas brutas podem ser previamente determinadas e apresentadas na forma de tabela, utilizando uma faixa de valores de tensão esperados ao longo do ciclo da cultura, antes das irrigações. O Anexo 2 apresenta um resultado típico de lâminas brutas de reposição, para um Latossolo Vermelho-Escuro do Cerrado, para uma faixa de leituras esperadas para os tensiômetros instalados a 10, 20, e 30 cm de profundidade do solo, considerando a eficiência de irrigação de 85%. O conteúdo de água da primeira camada de solo será dado pelo tensiômetro instalado a 10 cm de profundidade, com a lâmina de água para reposição da quantidade de água sendo calculada até 15 cm. O perfil de umidade da segunda camada será dado pelos tensiômetros instalados a 20 e 30 cm, para representar as subcamadas de 15 a 25 cm e de 25 a 35 cm, respectivamente. Por exemplo, considere que as leituras médias dos tensiômetros de 10, 20 e 30 cm, registraram, respectivamente, 45,6, 20,3 e 12,7 kPa no momento da irrigação. Consultando os valores de tensão tabulados no Anexo 2, obtêm-se as lâminas brutas parciais de 17,0 mm; 3,8 mm; e 2,0 mm, para as camadas de solo de 0 a 15 cm; 15 a 25 cm; e 25 a 35 cm, respectivamente. A totalização

desses valores parciais resulta em uma lâmina bruta de água equivalente a 22,8 mm.

ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

O objetivo principal de qualquer esquema de aplicação de água de irrigação é estabelecer um conjunto de regras que permita ao usuário suprir, de forma adequada, as necessidades de consumo ao longo do ciclo da cultura. A estratégia de manejo deve ser bastante simples e financeiramente acessível para que o produtor venha adotá-la com eficácia, segurança e persistência. Qualquer desconfiança em relação à acurácia dos resultados a serem obtidos com a aplicação da estratégia de manejo pode levar o produtor a abandoná-la, em prol de critérios baseados em experiências passadas, desenvolvidas, muitas vezes, com critérios desprovidos de base racional. A estratégia de manejo apresentada neste trabalho baseia-se no conhecimento, em tempo real, das variações da tensão de água no solo, medida por meio do tensiômetro para definir o momento da irrigação e, ao mesmo tempo, determinar a quantidade de água necessária para reposição do deficit hídrico.

É estratégico afirmar que qualquer sistema de irrigação quando dimensionado adequadamente para suprir à demanda da cultura de maior consumo tem, em princípio, capacidade para cobrir, diariamente, toda área de sua abrangência. Ou seja, é possível irrigar a área inteira, diariamente. Isto geralmente acontece com sistemas de irrigação localizada, que normalmente têm um esquema de manejo de irrigação baseado em altas frequências. Em sistemas de irrigação por aspersão com pivô-central, o regime de alta frequência também é possível, contudo não é desejável, pois pode favorecer as perdas de água por evaporação ou até mesmo por percolação profunda. Definitivamente, a aplicação desse conceito para sistemas de irrigação por superfície ou aspersão convencional é impraticável, pois a administração da água depende de mão-de-obra para movimentação dos equipamentos na área irrigada.

Uniformidade de aplicação

Os sistemas de irrigação são normalmente projetados e operados visando a atender, sem desperdício, os requerimentos de água de cada área irrigada de uma propriedade. As perdas de água, inerentes a uma sistema de irrigação, ocorrem durante a condução e distribuição da água para a área a ser irrigada. Antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, deve-se proceder ao levantamento dos dados necessários para avaliação de desempenho do sistema de irrigação. Nesse processo são levantadas, basicamente, informações sobre as lâminas de água aplicada, tempo de aplicação, velocidade de deslocamento, pressões de operação ao longo da linha de distribuição (James, 1988). Do resultado, obtêm-se os dados utilizados para avaliar a adequação do equipamento, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, e o grau de eficiência de aplicação da água do sistema de irrigação. Além disso, por meio do padrão de distribuição obtido, é possível, também, detectar e corrigir problemas de aplicações de água excessivas ou deficientes do equipamento.

Na Figura 5, apresenta-se um exemplo de resultados com valores de lâminas de água obtidos de uma avaliação de pivô-central. Os resultados revelam que o desempenho do equipamento corresponde a 88,4% de uniformidade, medida pelo coeficiente de Christiansen (Silva, 1992), acima do limite de 85% considerado adequado para irrigação por aspersão (Hart et al., 1979). Se o resultado não fosse aceitável, então seria necessário realizar ajustes nas vazões dos aspersores para reduzir as variações da lâmina encontrada. Esse ajuste pode ser feito, utilizando metodologias de cálculo hidráulico desenvolvidas especialmente para laterais de pivô-central (Chu & Moe, 1972; Silva & Azevedo, 1998).

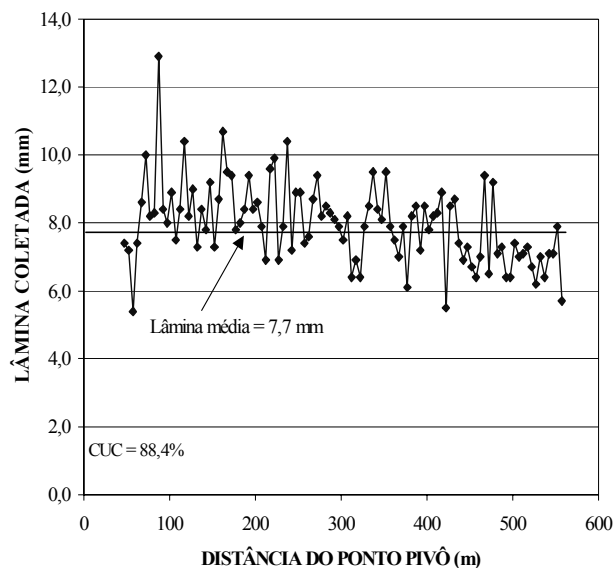


FIG. 5. Perfil de distribuição das lâminas de água coletada com a lateral do pivô girando com o percentímetro ajustado para 40% da velocidade máxima.

Da análise do padrão de distribuição das lâminas de água, aplicadas em função do tempo de aplicação, com sistemas estacionários, como na irrigação por aspersão convencional, ou em função da velocidade em que o equipamento opera, com sistemas móveis, como no pivô-central, pode-se determinar a uniformidade da água aplicada e as lâminas médias em função do tempo de aplicação ou da velocidade de deslocamento da linha de distribuição. Essas informações são utilizadas para estabelecer a relação entre lâmina média aplicada em função do tempo ou da velocidade de deslocamento do equipamento, de acordo com o sistema de irrigação considerado.

Parcelamento da área irrigada

A adoção de um esquema de manejo com irrigações de baixa frequência implica considerar a água armazenada no solo para consumo e permitir que o esgotamento seja realizado até o

nível máximo de utilização sem comprometer o rendimento da cultura. Da relação entre o armazenamento útil de água no solo e de sua taxa de esgotamento de consumo, extrai-se a definição do intervalo de irrigação. No esquema de manejo de irrigação, baseado em um valor constante de tensão previamente estabelecido para se efetuar as irrigações, o intervalo entre irrigações decresce com o aumento da taxa de consumo da planta, atingindo um valor mínimo na fase de maior demanda para, em seguida, aumentar na fase de maturação da cultura. O menor intervalo de irrigação determina o número de parcelas em que a área irrigada deve ser dividida para fins de manejo. A Figura 6 ilustra a área de um pivô-central subdividida em quatro partes, assumindo que na fase mais crítica de consumo de água pela cultura, o intervalo de irrigação seria de quatro dias, para o esgotamento máximo permissível de água da camada de solo utilizada efetivamente pelas plantas.

Nesse caso, a unidade de irrigação foi subdividida em quatro partes e uma delas foi selecionada para monitoração da deficiência de água no solo. Quando se tratar de uma área com solos apresentando um gradiente textural variado, recomenda-se a escolha da porção mais arenosa para a instalação dos tensiômetros, uma vez que o esgotamento da água disponível para as plantas, nessa área, ocorrerá mais cedo. Vale ressaltar, no entanto, que o tipo de solo da subárea selecionada onde serão instalados os tensiômetros deverá ser representativo de pelo menos um quarto da área total irrigada, nesse esquema de subdivisão em quatro partes.

Nessa estratégia de manejo, quando os tensiômetros da área de controle indicarem que a deficiência hídrica no solo atingiu o ponto crítico, a irrigação deverá ser então iniciada, começando pela subárea indicada como dia um. No segundo dia de irrigação, a subárea representada pelo dia dois deverá receber a mesma quantidade de água calculada pelos tensiômetros na subárea um. Esse mesmo procedimento será repetido para as subáreas três e quatro, completando assim o ciclo de uma irrigação. O número de subdivisões da unidade de irrigação depende da disponibilidade de água no solo e da evapotranspiração da cultura. Normalmente, tratando-se de irrigação por aspersão e, especialmente, de latosolos arenosos da região do Cerrado, o número de subdivisões ficará em torno de três a quatro.

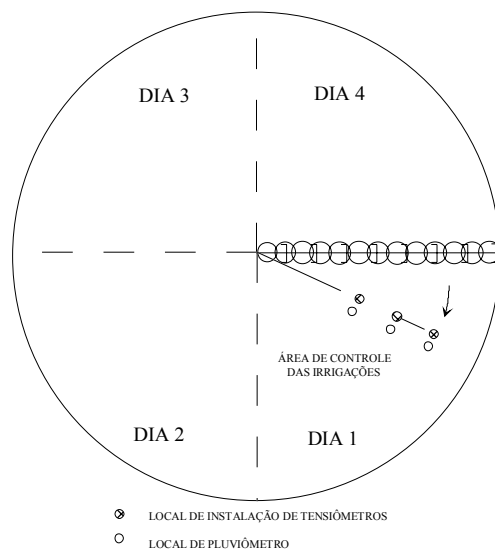


FIG. 6. Esquema de parcelamento da área irrigada de um pivô-central e indicação da área de controle das irrigações.

Implementação da estratégia de manejo

A estratégia de manejo por meio da tensiometria só deve ser implementada após a germinação completa da cultura. Logo após o plantio, recomenda-se realizar de duas a três irrigações de 15 a 20 mm cada uma, em um intervalo fixo de três a quatro dias, com a finalidade principal de garantir uma germinação uniforme e preencher o reservatório de armazenamento de água. Após essas três irrigações e a cultura estando toda germinada, deve-se proceder à instalação de três conjuntos de tensiômetros, ao longo de um raio de parada do pivô (Figura 6), nos pontos correspondentes à metade, dois terços e nove dez avos de seu raio irrigado, nas profundidades de 10, 20 e 30 cm.

O pivô-central deverá permanecer parado até que a média das leituras dos tensiômetros instalados na profundidade de 10 cm indique o valor entre 40 a 60 kPa, dependendo da cultura e da

expectativa de rendimento esperado, para reiniciar um novo ciclo de irrigação. Nessa oportunidade, as leituras médias dos tensiômetros de 10, 20 e 30 cm deverão ser utilizadas no cálculo da lâmina bruta de reposição com o auxílio de uma tabela de conversão da leitura de tensiômetro em lâmina bruta, a exemplo daquela apresentada no Anexo 2.

Definido o momento de reinício das aplicações de água e decidida a quantidade de água a ser administrada, o sistema de irrigação é então acionado para realizar a cobertura da área em um período equivalente ao número de subdivisões da área irrigada. No caso de um pivô-central, o percentímetro é então regulado de forma que a velocidade de deslocamento da lateral de distribuição aplique a lâmina bruta calculada. Em um sistema de irrigação estacionário, determina-se o tempo de irrigação que o sistema deve permanecer em cada posição da área irrigada. Para facilitar o trabalho do produtor irrigante, recomenda-se a elaboração de tabelas, relacionando a velocidade de deslocamento do sistema móvel ou tempo de aplicação do sistema estacionário com uma série de lâminas brutas esperadas ao longo do ciclo da cultura.

Para aferição dos valores de lâmina aplicada, recomenda-se utilizar os registros de água coletada nos pluviômetros instalados na área. A irrigação estará concluída após a aplicação da lâmina calculada e com o sistema de irrigação posicionado no mesmo ponto de partida, aguardando o reinício de um novo ciclo de aplicações de água, indicado pelos tensiômetros. Nesse esquema de manejo, o produtor irrigante economiza com o tempo em que o sistema fica parado antes de cada ciclo de irrigação. Essa economia ocorre principalmente nas fases de crescimento vegetativo e de maturação, quando o consumo de água pela cultura está abaixo da máxima demanda. É claro que os benefícios dessa estratégia somente serão alcançados se o sistema de irrigação estiver dimensionado adequadamente para atender à demanda da cultura de maior consumo do sistema irrigado.

RESULTADOS E COM APLICAÇÃO DA TENSIOMETRIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO

A determinação do momento exato para efetuar a irrigação é um dos passos fundamentais para racionalização do manejo de água na agricultura irrigada. Existem vários fatores que afetam a escolha do nível mínimo de água no solo para se realizar as irrigações como: taxa de evapotranspiração (ET); densidade e sanidade do sistema radicular; tipo de cultura e/ou cultivar; tipos de solo; impermeabilidade do solo; qualidade da água; doenças e pragas na parte aérea, parte da planta a ser comercializada, entre outros.

A taxa de evapotranspiração que é bastante variável ao longo do ano, passa ser um fator de grande importância na escolha do nível mínimo de água no solo, uma vez que a absorção de água pelas raízes deve ser suficiente para atender à demanda evaporativa da atmosfera, fazendo com que a transpiração ocorra em seu nível máximo. As condições de alta taxa de ET, implica alto fluxo de água do solo até a zona de absorção das raízes. Como a resistência do solo aumenta com a redução do teor de umidade, para que se mantenha esse alto fluxo da água no solo o nível mínimo de água no solo no momento da irrigação deve ser mais alto do que para condições de baixa ET. Portanto, o nível de esgotamento permissível do solo varia com muitos fatores e, por isso, não deve ser recomendado de forma generalizada (Resende et al., 1990, 1992a e 1992b).

Nas condições do Cerrado, várias pesquisas têm demonstrado que usando tensiômetros (Espinoza et al., 1980; Azevedo, 1988; Guerra et al., 1992; Figuerêdo et al., 1994; Guerra, 1995a; Azevedo & Miranda, 1996; entre outros) é possível estabelecer, com certa precisão, o momento adequado para aplicação da água de irrigação para várias culturas de grãos (Tabela 1). O uso da tensiometria em solos como o do Cerrado é factível porque cerca de 65% da água disponível (Azevedo et al., 1983) está retida a tensões inferiores a 0,7 bar, que é o limite prático de leitura dos

tensiômetros. Com as medidas de tensão de água no solo, é possível saber se ele está suficientemente seco para iniciar as irrigações e/ou avaliar a efetividade da incorporação da água no solo por meio das irrigações. Para dar sustentação a esse conceito de manejo de água são apresentados, a seguir, os principais resultados de pesquisas com culturas típicas de grãos, especialmente utilizadas na região nuclear do Cerrado.

TABELA 1. Indicações de tensões de água no solo para início das irrigações de algumas culturas anuais.

Cultura	Profundidade (cm)	Tensão (kPa)	Referências
Arroz	15	25	EMBRAPA-SPI (1992)
Cevada	30 30 ou 15	80 60 ou 500	Guerra (1994) Filgueira et al. (1996)
Feijão	10 10 15 15 10 10 15	50 70 – 100 60 60 50 40 3-40	Bernardo et al. (1970) Figueiredo et al. (1994) Azevedo & Caixeta (1986) Libardi & Saad (1994) Azevedo & Miranda (1996) Figueiredo et al., (1997) EMBRAPA-SPI (1993)
Milho	10 10 20 20 20	40 33-50 70** 200*** 40****	Guerra et al. (1997b) Antonini et al. (1997) Resende et al. (1990, 1992a e 1992b) Resende et al (1992b) Resende et al (1992a)
Soja	15 e 30* 10	37 – 63 70	Saad & Libardi (1992) Guerra et al. (1997a)
Trigo	10 10 e 20*	60 32 - 97	Silva et al. (1993); Guerra et al. (1994d) Saad & Libardi (1992)

* O primeiro valor refere-se aos estádios iniciais de desenvolvimento vegetativo e o segundo para as fases posteriores do ciclo;

** Valores para cultura de verão na região Sudeste e de inverno na região do Semi-árido;

*** Valor para cultura de inverno na região Sudeste;

**** Valor para cultura de verão na região do Semi-árido.

Cultura do trigo

Essa cultura representa uma das opções de cultivo, viáveis tecnicamente, para sistemas agrícolas irrigados da região do Brasil Central, em áreas com altitude acima de 400 metros (REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 8, 1994). Sua utilização é imprescindível para garantir a rotação de culturas nos sistemas produtivos irrigados, além de constituir em mais uma alternativa para composição da renda do produtor. Os estudos realizados sobre manejo de água, utilizando a tensiometria podem ser utilizados como base para formulação de uma estratégia de aplicação de água em sistemas de irrigação de grandes áreas. Atualmente, a irrigação dessa cultura, na região do Brasil Central, é feita utilizando sobretudo o sistema de aspersão por pivô-central.

Vários trabalhos de pesquisa (Espinoza et al., 1980; Azevedo, 1988, Guerra et al., 1992; Guerra, 1995a) têm sido conduzidos procurando demonstrar o efeito da tensão de água no solo sobre o rendimento da cultura, e assim estabelecer parâmetros que permitam definir o momento adequado para as aplicações de água baseado em medidas da água no solo. Espinoza et al. (1980) verificaram, para diversas variedades de trigo, que os tratamentos com tensão mais baixa (35 kPa), portanto com maior umidade do solo, controladas a 15 cm de profundidade, produziram mais em comparação com os tratamentos mais secos. O consumo de água pela cultura, que variou de 3,1 a 5,8 mm/dia, também foi influenciado pelos tratamentos, resultando em um consumo máximo de 385 mm no ciclo para um rendimento de 4.100 kg/ha.

Guerra et al. (1992) constataram que, em relação aos tratamentos de maior umidade do solo, a produtividade do trigo só foi diminuída significativamente quando a tensão de água no solo a 10 cm de profundidade ultrapassou, em média, o valor de 67 kPa (Figura 7). Neste trabalho, a lâmina de água necessária em cada irrigação foi calculada para recompor o deficit de água no solo até 50 cm de profundidade, considerando que grande parte do sistema radicular da cultura fica concentrado na camada superficial de 30 cm do solo utilizado no estudo.

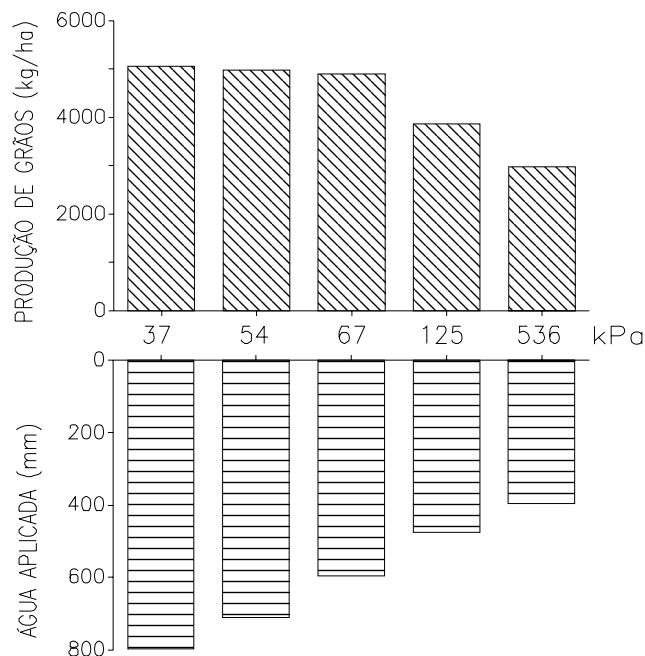


FIG. 7. Produção de grãos de trigo (kg/ha) e total de água aplicada (mm) em função da tensão de água no solo (kPa) usada no momento da irrigação.
 Fonte: Guerra *et al.* (1994d).

Nessa condição de manejo de água, o tratamento correspondente a 67 kPa produziu tanto quanto aqueles mais úmidos, porém necessitou de menos água. Baseado nesse resultado, recomendaram como estratégia para aplicação de água o reinício das irrigações quando a tensão a 10 cm de profundidade chegasse a 60 kPa, para expectativa de rendimentos em torno de 5 t/ha. Foi observado também um decréscimo quase linear do total de água aplicada com o aumento da tensão de água no solo no momento da irrigação. Indicaram que, provavelmente, nos tratamentos com menores valores de tensão, houve perda significativa de água por evaporação, uma vez que a superfície do solo foi umedecida mais freqüentemente do que nos tratamentos com valores de tensão mais altos. Por outro lado, nos tratamentos

com valores de tensão mais elevados, a redução na taxa de evapotranspiração teria contribuído para um decréscimo no total de água requerido pela cultura. Na expectativa de produtividades acima de 6 t/ha, deve-se reduzir o nível de esgotamento da água armazenada, irrigando no momento em que a média das leituras dos tensiômetros alcançarem 40 kPa a 10 cm de profundidade, segundo Guerra (1995a).

Azevedo (1988), testando níveis diferenciados de tensão, em três fases de desenvolvimento do trigo sobre a produtividade e uso de água, verificou que os tratamentos que mais produziram tinham irrigações adequadas (60 kPa a 10 cm) na fase intermediária de desenvolvimento, desde o início de emborrachamento até o final do espigamento, dos 42 aos 65 dias após a emergência, revelando-se um período crítico em relação à água utilizada por essa cultura. A falta de água nessa fase reduziu o rendimento em até 50%, dependendo da intensidade do deficit. A necessidade de água pela cultura é elevada, nessa fase, alcançando a média de 7,6 mm/dia. Nos tratamentos bem irrigados, o intervalo médio de irrigações no período de máxima extração de água foi de três a cinco dias. Verificou-se ainda que, na ausência de chuvas podem ser necessários, ao processo de evapotranspiração, cerca de 500 a 600 mm de água para rendimentos entre 5.260 e 6.086 kg/ha, numa relação de aproximadamente 10 kg de grãos/ha para cada milímetro de água usado, equivalente a 1 kg/m³. O que está compatível com a eficiência de uso em relação à água evapotranspirada para lavouras comerciais de trigo, que segundo Doorenbos & Kassan (1984), pode variar entre 0,8 a 1 kg/m³.

Outro ponto importante, relacionado com o manejo da água, diz respeito ao momento em que as irrigações devem ser suspensas. Estudos realizados com trigo (Guerra & Antonini, 1996) revelaram que as irrigações podem ser interrompidas quando a etapa de enchimento de grãos quando estiver completamente atingida, pois a administração de água além dessa fase não acarreta aumento de produção e apresenta efeito negativo sobre a qualidade dos grãos (Figura 8).

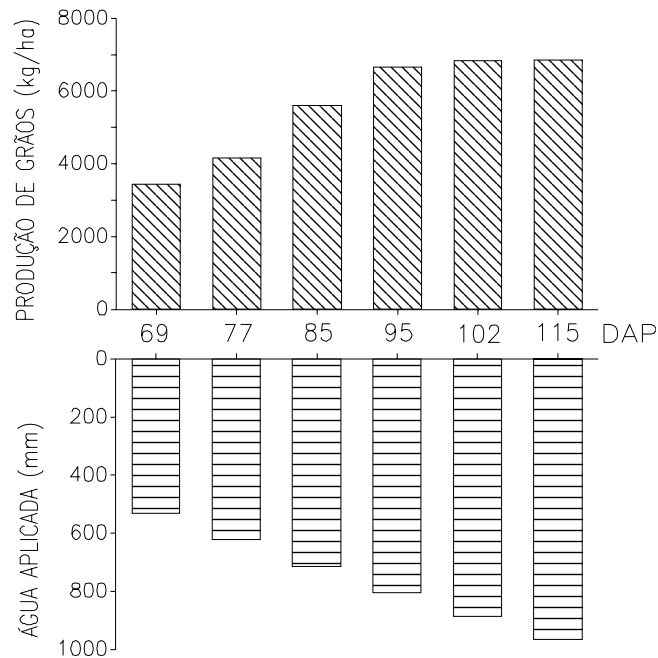


FIG. 8. Rendimento de grãos de trigo (kg/ha) e total de água aplicada (mm) resultante da suspensão das irrigações em diferentes dias após o plantio (DAP).

Fonte: Guerra & Antonini (1996).

Os resultados apresentados acima indicam que os rendimentos mais altos de grãos foram obtidos quando o suprimento de água foi mantido até, pelo menos 95 dias após o plantio. Nessa época, a cultura estava na fase de desenvolvimento de grãos, denominada de estado de massa mole, correspondente ao código 85 da escala decimal de Zadocks et al. (1974). Embora a diferença não tenha sido significativa, a continuidade das irrigações dos 95 aos 102 dias após o plantio resultou em aumento do rendimento de grãos de 180 kg/ha. Quando o corte do suprimento de água ocorreu em estádios de desenvolvimento anteriores ao de grãos em estado de massa mole, verificou-se uma queda significativa do rendimento, denotando que o suprimento de água

foi insuficiente durante o período de enchimento de grãos, corroborando com os resultados de outros trabalhos (Choudhury & Kumar, 1980; Singh et al., 1980; Singh & Malik, 1983; Azevedo, 1988).

Nesse estudo (Figura 8), a quantidade de água aplicada em cada irrigação foi calculada com base nos valores de tensão de água no solo, verificado antes da irrigação, visando à reposição da água consumida no perfil do solo a 1 m de profundidade até o limite de tensão de 6 kPa, considerado como capacidade de campo. Cada irrigação era realizada quando a tensão de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, atingia valores em torno de 50 kPa. Os totais de água aplicados ao longo do ciclo foram crescentes, demonstrando a importância de se interromper as irrigações no momento oportuno como uma forma de economizar água. É importante salientar que o critério de reposição de água até 1 m de profundidade pode não ter sido adequado e ter induzido a perdas por percolação profunda, principalmente nos tratamentos irrigados com menores tensões, haja vista que o maior percentual de extração de água dessa cultura vem das camadas superficiais de solo até 40 cm de profundidade (Azevedo, 1988).

Na estação seca de 1993, Azevedo et al. (1997c) aplicaram a metodologia proposta em uma lavoura de trigo irrigado, na Fazenda Santa Mônica, em Cristalina/GO, utilizando um pivô-central elétrico de 120 ha, com capacidade para aplicar 8,4 mm, em um giro completo de 29 horas, deslocando-se na velocidade máxima, com uniformidade de aplicação de água de 89,4%. Amostras de solo, com estrutura natural, foram coletadas a 10 e 25 cm para análise da retenção de água. Tabelas com lâminas brutas de irrigação em função das leituras de tensiômetros, para as camadas de 0 a 15; 15 a 25; e 25 a 35 cm, tomando como limite superior de umidade o valor equivalente a 6 kPa, foram desenvolvidas para facilitar o cálculo da quantidade de água a ser repostas no solo por ocasião de cada irrigação. Três baterias de tensiômetros de mercúrio instaladas a 1/2, 2/3 e 9/10 do raio do pivô, nas profundidades de 10, 20 e 30 cm, permitiram o

acompanhamento diário das tensões de água no solo e, conseqüentemente, da necessidade de reposição de água. Os principais parâmetros de manejo resultantes deste estudo encontram-se resumidos na Tabela 2.

TABELA 2. Parâmetros de manejo de água obtidos em várias fases de desenvolvimento de uma lavoura de trigo, cultivar BR 33 (Guará), irrigada com pivô-central em Cristalina/GO, para produtividade de 5.216 kg/ha.

Parâmetros	Fases do ciclo (DAE)*				Total ou média
	1-9	10-42	43-84	85-100	
Água total recebida (mm)	65	135	184	67	451
Número total de irrigações	5	6	6	3	20
Lâmina média por irrigação (mm)	13	22	31	22	22
Intervalo médio de irrigações (dias)	3,5	6,6	6,5	4,2	5,2
Tensão a 10 cm antes da irrigação (kPa)	-	39	62	38	46

* DAE - Dias após a emergência.

Os 451 mm de água que a cultura recebeu durante todo seu ciclo resultou na eficiência de uso da água de 11,6 kg/mm, superior em 41,4% em relação ao rendimento de grãos obtidos por Guerra et al. (1994d), com as irrigações manejadas na tensão média de 67 kPa (Figura 7). É importante destacar que essa diferença em eficiência pode ter sido, em parte, resultante da estratégia de reposição de água apenas para a camada de 0 a 35 cm, reduzindo as possíveis perdas por percolação profunda que podem ter ocorrido com a reposição de água calculada até 100 cm de profundidade. Por outro lado, não se deve destacar o efeito da advecção sobre as parcelas experimentais que pode ter contribuído significativamente para o aumento da evapotranspiração e, conseqüentemente, dos totais de água aplicada, em relação ao consumo verificado na lavoura. Observe que a tensão média no momento da irrigação, a 10 cm de profundidade, obtida na fase mais crítica da cultura, foi de 62 kPa, próxima do valor recomendado para essa cultura.

Cultura do feijão

Essa cultura constitui uma das alternativas preferidas para composição do sistema de rotação em sistemas irrigados. Essa preferência decorre de sua maior rentabilidade, do ciclo de produção mais curto e da tecnologia de condução disponível em termos de variedades, práticas culturais e outros segmentos do sistema produtivo. É importante destacar também que os níveis de produtividade alcançados são maiores em cultivos de inverno, sob regime de irrigação por aspersão, podendo render mais de 50 sacas por hectare, com lavouras bem conduzidas. A cultura responde favoravelmente à correta administração de água, produzindo mais quando a camada até 40 cm de solo é mantida em condições ótimas de umidade.

Estudos realizados por Figuerêdo et al. (1994) constataram para variedade Carioca que o rendimento do feijão reduziu significativamente apenas quando a tensão a 10 cm ultrapassou cerca de 70 kPa em 1990. No entanto, ao considerar a média de três anos sucessivos de cultivo, o rendimento só diminuiu para tensões superiores a 100 kPa (Figura 9). Os resultados apresentados mostram a média dos rendimentos alcançados e os valores correspondentes de lâmina aplicada ao longo do ciclo, em decorrência da tensão de água no solo prevista antes de cada irrigação. Nesse trabalho, a quantidade de água aplicada por irrigação foi calculada em função das características de retenção de água no solo e da necessidade de recomposição do teor de umidade até 1 m de profundidade. Os resultados de lâmina aplicada para o feijão apresentam padrão de consumo semelhante ao do trigo, com valores decrescentes com o aumento da tensão no momento da irrigação. É importante indicar que a frequência de irrigação aumentou com a diminuição da tensão no momento de irrigação (Figuerêdo et al., 1994), tendo contribuído para aumentar as perdas por evaporação, nos tratamentos irrigados com tensões inferiores a 100 kPa, justificando os valores de lâminas crescentes nessa faixa de tensão, apesar de os rendimentos de grãos serem semelhantes.

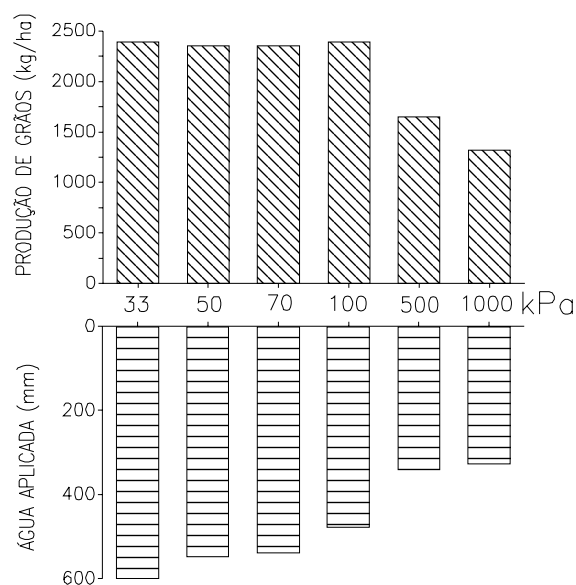


FIG. 9. Produção de grãos de feijão (kg/ha) e total de água aplicada (mm) em função da tensão de água no solo (kPa) usada no momento da irrigação.
 Fonte: Figuerêdo et al. (1994).

Outros estudos (Azevedo & Caixeta, 1986) indicam que uma tensão de água no solo de aproximadamente 60 kPa a 15 cm de profundidade pode ser adequada durante todo ciclo para produtividades acima de 2000 kg/ha. Para rendimentos máximos, Silveira & Stone (1994) informam que essa condição pode ser conseguida, aplicando-se irrigações quando tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, entre as fileiras das plantas, alcançarem leituras no intervalo de tensão entre 30 kPa a 40 kPa. Esse último valor a 10 cm foi sugerido por Azevedo & Miranda (1996) para irrigação do feijão, explorado com maiores doses de adubação fosfatada. Nesse estudo, a recomposição do deficit hídrico foi feita apenas até a profundidade de 35 cm, reforçado pela idéia de que grande parte da extração de água no período crítico, verificada pelas variações de umidade no perfil do solo, é retirada da camada até 40 cm, indicando (Azevedo & Miranda, 1996), assim, ser essa camada ideal para controle das irrigações. Estudos

realizados por Saad & Libardi (1992) encontraram a tensão de 60 kPa a 15 cm, como sendo adequada para definir o momento oportuno para as aplicações de água para o feijoeiro irrigado por aspersão em Guaíra/SP.

Outro ponto importante a ser destacado nesse esquema de manejo é o fato de o intervalo entre irrigações ser variável, mudando em função da curva de consumo da planta. Os resultados apresentados na Figura 10 descrevem as variações de tensão em três profundidades, ao longo do ciclo da cultura de feijão, com irrigações sendo efetuadas quando a tensão de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, atingia o limite previamente estabelecido em 70 kPa. Observe-se que na profundidade de 10 cm, a variação de tensão foi mais acentuada do que na de 20 cm e essa mais acentuada do que na de 40 cm. Nessa figura, pode-se identificar, com clareza os dias em que ocorreram as irrigações, pela brusca queda de tensão em determinado dia. Observe-se, também, que a frequência dessas quedas de tensão decresce inicialmente com o tempo, aumentando depois no final do ciclo da cultura, indicando, claramente os intervalos de irrigação resultante desse manejo. No final do ciclo, a queda generalizada de tensão foi em decorrência de uma chuva pesada (Figuerêdo et al., 1994), chegando, inclusive, a sensibilizar a camada de 0 a 40 cm.

Na estação seca de 1992, Azevedo et al. (1997a) realizaram um trabalho de acompanhamento do manejo de irrigação em uma área de 52,4 ha de um pivô-central elétrico de 90,3 hectares, na Fazenda Agropecuária Cenci, em Brasília, DF, utilizando-se da metodologia proposta. Para avaliação das características de retenção do Latossolo Vermelho-Escuro predominante da área irrigada, foram coletadas amostras das profundidades de 10 e de 20 cm de um dos quadrantes selecionado para servir de área para controle das irrigações. Foram realizados testes de avaliação de desempenho do equipamento, cujos resultados revelaram uniformidade de distribuição de água de 82%, com capacidade diária de 7,1 mm de lâmina líquida. Esse pivô aplicou lâmina de 18,4 mm, com tempo de giro de 50,76 horas, com o percentímetro ajustado a 50%.

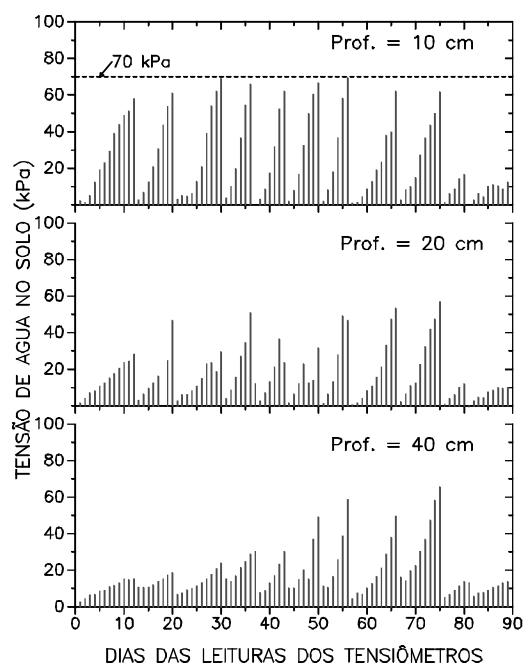


FIG. 10. Variação da tensão de água (kPa), em três profundidades, em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, ao longo do ciclo de feijão, com irrigações efetuadas com tensões de 70 kPa a 10 cm de profundidade do solo.

As lâminas brutas de irrigação, que serviram de base para reposição da água de irrigação, foram calculadas para três camadas (0 a 15, 15 a 25, e 25 a 35 cm) do Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, com base nos dados de retenção de água, considerando a capacidade máxima de armazenamento de água no solo correspondente à tensão de 6 kPa, e a eficiência de aplicação igual à uniformidade de distribuição. Doze tensiômetros, sendo seis com escala de mercúrio e seis com vacuômetro, foram utilizados na forma de quatro baterias instaladas nas posições intermediárias a 1/4, 2/4, 3/4 e 4/4, do raio irrigado, nas

profundidades de 10, 20 e 30 cm. Os tensiômetros serviram de base para definir o momento da irrigação e calcular a quantidade de água a aplicar, através da média aritmética de suas leituras, registradas diariamente pela manhã. Recomendou-se irrigar a lavoura quando a média das leituras dos tensiômetros de 10 cm alcançasse valores entre 40 a 53 kPa de tensão de água no solo, correspondendo a 16,3 e 17,8 mm, respectivamente, de lâmina bruta na camada de 0 a 15 cm.

Os resultados do acompanhamento estão apresentados na Tabela 3 e revelam que durante todo o ciclo a cultura recebeu 336 mm de água, em 18 irrigações, sendo 106 mm na fase de crescimento vegetativo e 112 mm na da floração ao desenvolvimento de vagens, com seis irrigações em cada uma dessas fases. O intervalo médio de dias transcorridos entre as irrigações foi de 9,2 dias na fase de crescimento vegetativo e de 5,8 dias na fase de floração até o desenvolvimento de vagens, refletindo o crescimento da taxa de consumo de água da cultura nessas fases. Na maturação, o intervalo médio entre irrigações subiu para 7,5 dias, em resposta à queda natural de consumo de água nessa fase. Do plantio até os 10 dias após emergência (DAE), foram aplicados 72 mm de água, por meio de quatro irrigações, com intervalo média de 3,7 dias, sem uso dos tensiômetros. Nessa fase, as irrigações visam a garantir o estabelecimento da cultura e realizar o preenchimento do perfil do solo a ser monitorado durante o manejo. Nessa lavoura, a lâmina média por irrigação em todo o ciclo da cultura foi de 21 mm, considerada adequada para as condições de solo e do equipamento utilizado. As tensões médias de água no solo, a 10 cm de profundidade, no momento das irrigações foram de 64 kPa, até os 48 DAE, 48 kPa dos 48 aos 84 DAE e 62 kPa dos 84 aos 96 DAE, dentro da faixa de valores recomendados para essa cultura. A eficiência de uso de água dessa lavoura ficou em torno de 10,3 kg/mm.

TABELA 3. Parâmetros de manejo de água obtidos em várias fases de uma lavoura de feijão, cultivar Rio Negro, irrigado com pivô-central na área do PAD/DF, para a produtividade de 3.445 kg/ha.

Parâmetros	Fases do ciclo (DAE)				Total ou média
	1-10	11-48	49-84	85-96	
Água recebida (mm)	72	106	112	46	336
Número de irrigações	4	6	6	2	18
Lâmina média por irrigação (mm)	18	22	21	23	21
Intervalo médio de irrigações (dias)	3,7	9,2	5,8	7,5	6,6
Tensão a 10 cm antes da irrigação (kPa)	33	64	48	62	52

Cultura da cevada

A cevada cervejeira e o trigo representam uma das opções de gramínea de inverno, tecnicamente viável, para rotação de culturas em sistemas irrigados. As possibilidades de utilização dessa cultura na região do Cerrado foram inicialmente investigadas por Silva & Andrade (1985). Os principais resultados de pesquisa sobre o manejo de irrigação dessa cultura para as condições de Latossolo Vermelho-Escuro do Cerrado têm sido obtidos e apresentados por Guerra (1994 e 1995b). A resposta dessa cultura ao estresse hídrico é bastante diferente daquela encontrada pelo trigo, apresentando declínio no rendimento apenas quando a tensão média de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, no momento da irrigação, for superior a 570 kPa (Figura 11). Nesse mesmo estudo, foi observado, paralelamente, que a tensão média ao longo do ciclo da cultura, medida a 30 cm de profundidade, ficou em torno de 88 kPa, o que permite ainda que o tensiômetro seja utilizado, desde que ele seja instalado a 30 cm de profundidade.

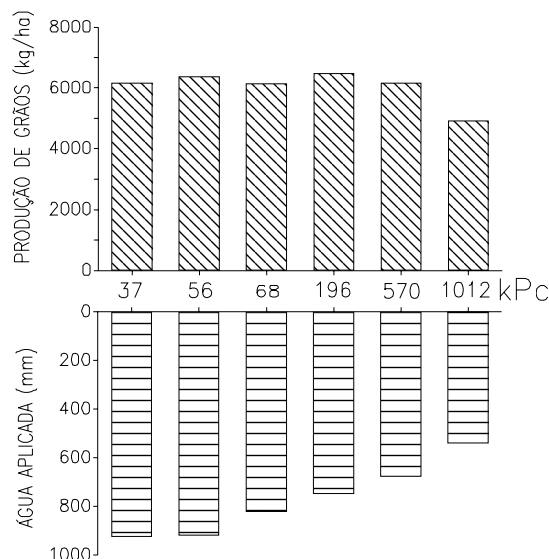


FIG. 11. Produção de grãos de cevada (kg/ha) e total de água aplicada (mm) em função da tensão de água no solo (kPa) usada no momento da irrigação.

Fonte: Guerra (1994).

No tocante à quantidade de água aplicada ao longo do ciclo da cultura, observa-se um padrão semelhante ao apresentado pelas culturas de trigo e feijão. Ou seja, os totais de lâminas aplicadas também decrescem com o aumento da tensão da água no solo no momento da irrigação, demonstrando ser mais eficiente o manejo da água com irrigações mais espaçadas. É importante destacar que, nesse trabalho, a aplicação de água também foi realizada com o objetivo de repor o déficit no perfil do solo até 1 m de profundidade, tomando a umidade correspondente à tensão de 6 kPa como limite superior do armazenamento de água no solo.

No período de maio a setembro de 1994 e 1995, foram conduzidas pelo produtor rural duas lavouras experimentais de cevada cervejeira de duas fileiras de grãos na espiga. O objetivo dessas lavouras experimentais foi testar o critério de manejo de

irrigação baseado em medidas de tensão de água no solo por meio de tensiômetros e blocos de gesso e industrializar a cevada para determinar sua qualidade para produção de malte e cerveja.

Em 1994, a lavoura foi conduzida na propriedade do Sr. Jair Ferrari em Cristalina-GO. Já a lavoura de 1995, foi conduzida na Fazenda Pamplona também em Cristalina, GO. O critério de manejo para irrigação foi a tensão de água no solo de 500 kPa, medida a 15 cm de profundidade. Para isso foram instalados três baterias de tensiômetros e três baterias de blocos de gesso, sendo cada bateria composta de três tensiômetros e três blocos de gesso instalados a 15, 30 e 45 cm de profundidade. As baterias de tensiômetros e de blocos de gesso foram instaladas na linha de plantio a 1/2, 2/3 e 9/10 do raio do pivô na posição onde se iniciavam as irrigações.

O cálculo das lâminas de irrigação foi feito com base na curva característica de água do solo, curva de calibração dos blocos de gesso para os solos das áreas experimentais e uniformidade de distribuição de água dos equipamentos de irrigação provenientes dos testes de avaliação deles. As lâminas foram calculadas com base nas leituras dos blocos de gesso instalados a 15 e 30 cm, para elevar a umidade do perfil de solo de 35 cm à condição de capacidade de campo, ou seja, 6 kPa.

Para avaliar a produtividade, foram colhidas amostras de 4 m² em 10 pontos da lavoura. Na lavoura conduzida em 1994, foram necessárias onze irrigações as quais totalizaram 370 mm de água durante o ciclo e produziu em média 5.320 kg/ha. No trabalho de 1995, foram necessárias 10 irrigações, totalizando 330 mm de água durante o ciclo e produziu 4.960 kg/ha. Portanto, na lavoura conduzida em 1994, a eficiência da água aplicada foi de 14,37 kg de grãos por mm de água aplicada e a de 1995 resultou em 15,03 kg de grãos por mm de água aplicada.

Esse material foi testado pela indústria e resultou em um malte de alta qualidade e conseqüentemente a cerveja produzida foi de excelente qualidade organolépticas.

Cultura do milho

O milho é uma das culturas de verão mais cultivadas nas áreas irrigadas da região do Cerrado principalmente, em épocas em que o produto alcança preços elevados no mercado. Considerando sua importância para o sistema irrigado, resolveu-se estudar seu comportamento em regime de irrigação suplementar em Latossolo Vermelho-Escuro da região do Cerrado. Durante a estação chuvosa de 1993/1994, no campo experimental da Embrapa Cerrados, implantou-se um trabalho de pesquisa visando a verificar que nível de tensão de água no solo seria adequado esperar antes de realizar a irrigação suplementar. Para isso, utilizou-se o híbrido Pioneer 3041 que era extensivamente cultivado na região. O plantio foi feito em outubro, no início do período chuvoso. As irrigações foram feitas quando a tensão de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, atingia valores em torno de 33, 50, 70 e 100 kPa. Para monitorar as irrigações foram instalados tensiômetros e blocos de gesso a 10, 20, 30, 40, 60 e 80 cm de profundidade. A quantidade de água aplicada em cada irrigação foi calculada para elevar a umidade do solo da camada de 35 cm para a condição de capacidade de campo, ou seja, 6 kPa. No cálculo, o tensiômetro de 10 cm representava a camada de 0 a 15 cm, o de 20 cm representava a camada de 15 a 25 cm e o de 30 cm representava a camada de 25 a 35 cm.

Os resultados (Figura 12) indicaram que a produtividade aumentou significativamente com o decréscimo da tensão de água no solo usada para monitorar as irrigações. A produtividade variou de aproximadamente 10,12 t/ha, no tratamento irrigado a 100 kPa, para 11,30 t/ha, no tratamento irrigado 33 kPa, resultando em aumento superior a uma tonelada por hectare devido unicamente ao critério de manejo de água. Com base nesses resultados, Guerra et al. (1997b) recomendam que a irrigação suplementar da cultura do milho deve ser feita sempre que a tensão de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, atingir valores em torno de 40 kPa.

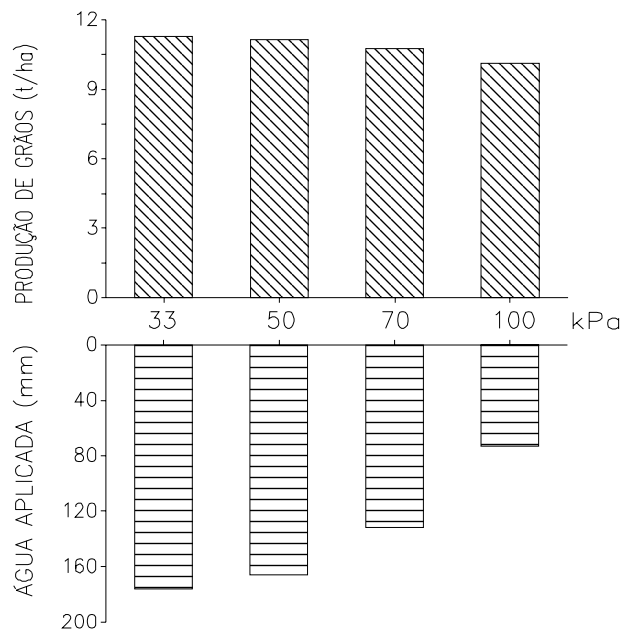


FIG. 12. Rendimento de grãos (t/ha) de milho em resposta à tensão de água no solo (kPa) sob regime de irrigação suplementar.

Em 1994, essa metodologia de manejo de irrigação com base na tensiometria foi aplicada em uma lavoura de milho, plantada em 10 de agosto, na Agropecuária Cenci no PAD-DF, utilizando uma caixa irrigada de 90,6 há com pivô-central. O teste de desempenho do equipamento de irrigação mostrou que o pivô apresentava uniformidade de distribuição de água (CUC) de 90,6% e tinha capacidade de aplicar 9,76 mm em 25,6 horas.

As lâminas brutas de irrigação foram calculadas para três camadas (0 a 15, 15 a 25 e 25 a 35 cm) do Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, com base nos dados de retenção de água, considerando a capacidade de campo correspondente à tensão de 6 kPa e a uniformidade de distribuição de água do equipamento. Foram instaladas três baterias de tensiômetros cada uma com três tensiômetros instalados a 10, 20 e 30 cm de pro-

fundidade. As bateria dos tensiômetros do tipo vacuômetros, foram instaladas a 1/2, 2/3 e 9/10 do raio do pivô ao longo da linha onde as irrigações sempre começavam. As irrigações foram feitas sempre que a tensão de água no solo, medida a 10 cm de profundidade, atingia valores entre 33 e 40 kPa.

Durante o período de 13/8 a 24/11/1994 o milho necessitou de 27 irrigações, o que totalizou uma lâmina de irrigação de 586 mm, sendo que nesse período acumulou precipitação de 132 mm de chuva. A partir de 24/11 as chuvas intensificaram-se e não houve necessidade de aplicação de água para o milho. A produtividade alcançada foi de 9.540 kg/ha, sendo limitada a esse valor, porque a população de plantas atingiu apenas 60.000 plantas/ha quando estavam previstas 65.000 plantas/ha.

CONCLUSÕES

1. A tensão de água no solo pode ser utilizada como um critério para determinação do momento das irrigações e da quantidade de água a ser administrada em culturas de grãos como trigo, cevada, feijão, milho;
2. A monitoração da água no solo para fins de irrigação de culturas de grãos pode ser realizada, utilizando apenas as camadas de 0 a 15; 15 a 25 e 25 a 35 cm de solo, pois grande parte da água extraída pelas culturas de grãos vem da camada de solo até 40 cm;
3. Com um sistema de irrigação bem manejado, pode-se reduzir o número de irrigações e economizar água, principalmente nas fases de desenvolvimento vegetativo e de maturação quando a cultura normalmente consome menos água;
4. O manejo de irrigação com tensiômetros, e os dados de retenção de água concorrem para a obtenção de níveis satisfatórios de rendimento das culturas de grãos e o uso racional de água, indicando, em tempo real, e de forma indireta, a exigência hídrica dessas culturas e minimizando a percolação de água além da camada de controle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONINI, J.C. dos A.; GUERRA, A.F.; SILVA, D.B da; RODRIGUES, G.C. Efeito da tensão de água no solo e da densidade de plantas sobre a produtividade do milho. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997. p.100-102.
- ARRUDA, F.B.; LELIS, L.G.L.; BARROS, S.B.M. de. **Montagem e teste do tensiômetro simplificado**. Campinas: IAC, 1986. 10p. (IAC. Boletim Técnico, 223).
- AZEVEDO, J.A. 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 de produção, desenvolvimento e uso de água**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 157p. Tese Doutorado.
- AZEVEDO, J.A. de; CAIXETA, T.J. **Irrigação do feijoeiro**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23).
- AZEVEDO, J.A. de; DOLABELLA, R.H.C.; PEIXOTO, J.V.B.; SILVA, E.M. da. Manejo da irrigação usando tensiômetros e curva de retenção de água em feijão irrigado por aspersão. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997a. p.102-104.
- AZEVEDO, J.A. de; GOULART, A. de M.; VIDAL, F. de C.; VELOSO, R.F. Controle da água de irrigação aplicada por pivô-central em lavoura de feijão no perímetro irrigado da COOPERTINGA In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997b. p.104-106.

- AZEVEDO, J.A. de; MIRANDA, L.N. de. Produtividade do feijão em resposta à adubação fosfatada e regimes de irrigação em solo de Cerrado, II: Manejo da irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996. Manaus, AM. **Resumos expandidos**. Manaus: SBCS/UA/EMBRAPA-CPAA/INPA,1996. v.1. p.12-13.
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, D.B. da; ANDRADE, J.M.V. de; ANDRADE, L.M. de. Aplicação da tensiometria no manejo da água de irrigação em lavoura de trigo irrigado no vale do Pamplona. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997c. p.106-108.
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da; BREDA, C.E.; FIGUERÊDO, S.F. Uso de tensiômetros e curva de retenção de água no manejo da irrigação do feijão em solo arenoso de Barreiras, BA. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997d. p.112-114.
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da. **Tensiômetro**: dispositivo prático para controle da irrigação. [S.l.: s.n.], 1995. 26p. Contribuição da EMBRAPA/CPAC ao Curso sobre Manejo de Pivô Central: Otimização do Uso de Energia e Água, realizado na EMBRAPA/CNPAF, Goiânia, 06 a 17/03/95.
- AZEVEDO, J.A. de; FREIRE, J.C.; SILVA, E.M. da. Características físico-hídricas importantes para irrigação de solos representativos de Cerrado. In: CONGRESO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., 1981, Brasília, DF. **Anais**. Brasília: Editerra, 1993. p.843-844.
- 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, 1983. 52p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).

- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da. **Manejo da irrigação em culturas de grãos nos cerrados**. [S.l.: s.n.], 1997. Trabalho apresentado no Simpósio de Agricultura Irrigada no Estado de Mato Grosso do Sul na EMBRAPA-CPAO, Dourados, de 7 a 9 de out., 1997.
- BERNARDO, S.; GALVÃO, J. D.; GUERINI, H.; CARVALHO, J. B. de. Efeito dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro. **Seiva**, Viçosa, v.30, n.71, p.7-13, 1970.
- BOUYOUCOS, G.J.; MICK, A.H. Improvements in plaster of Paris absorption block electrical resistance method for measuring soil moisture under field condition. **Soil Science**, Baltimore, v.63, p.455-465. 1947.
- BOWMAN, R.S.; NAKAYAMA, F.S. Design principles - salt distribution. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.117-163. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- CAMARGO A.P.; GROHMANN, F.; CAMARGO, M.B.B. Tensiômetro simples de leitura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.12, p.1963-1972, 1982.
- CHU, S.T.; MOE, D.L. Hydraulics of the center pivot system. **Transactions of ASAE**, Madison, v.15, n.5, p.892-896, 1972.
- CAMPBELL, G.S.; MULLA, D.J. Measurement of soil water content and potential. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R., ed. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990. p. 127-141. (Agronomy Monograph, 30).
- CHOUDHURY, P.N.; KUMAR, V. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. **Irrigation Science**, New York, v.1, p.223-231, 1980.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.N. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1984. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).

- EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação (Brasília, DF). **Recomendações técnicas para o cultivo do arroz em regiões favorecidas: zonas 31, 36, 40, 64, 83 e 89.** Brasília, 1992. 123p.
- EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação (Brasília, DF). **Recomendações técnicas para o cultivo do feijão: zonas 61 e 83.** Brasília, 1993. 93p.
- ESPINOZA, W.; SILVA, E.M. da; SOUZA, O.C. de. Irrigação de trigo em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p.107-115, 1980.
- FIGUERÊDO, S.F.; GUERRA, A.F.; SILVA, D.B. da; ANTONINI, J.C. dos A.; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura de feijão. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995.** Planaltina, 1997. p. 95-97.
- FIGUERÊDO, S.F.; PERES, J.R.R.; MIYAZAWA, K.; LUCHIARI JÚNIOR.; A.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, J.A. de; ANDRADE, L.M. de. Estabelecimento do momento de irrigação em feijão baseado em níveis de tensão de água em latossolo dos cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1987/1990.** Planaltina, 1994. p.159-161.
- FILGUEIRA, H.J.A.; GUERRA, A.F.; RAMOS, M.M. Parâmetros de manejo de irrigação e adubação nitrogenada para o cultivo de cevada cervejeira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.1, p.63-70, 1996.
- FREITAS JÚNIOR, E. de; SILVA, E.M. da. Uso da curva de retenção para determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n.11, p.1423-1428, 1984.
- GENUTCHEN, M.T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1978.

- GUERRA, A.F. Manejo de irrigação da cevada sob condições de cerrado visando o potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.7, p.1111-1118, 1994.
- GUERRA, A.F. Manejo de irrigação do trigo para obtenção de máxima produtividade na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.515-521, 1995a.
- GUERRA, A.F. Tensão de água no solo: efeito sobre a produtividade e qualidade dos grãos de cevada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.2, p.245-254, 1995b.
- GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C. dos A. Época de suspender as irrigações da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.11, p.823-828, 1996.
- GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C. dos A. Irrigação suplementar para a cultura de soja. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997a. p. 99-100.
- GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C. dos A. Nota pessoal. 1995.
- GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C. dos A.; SILVA, D.B da; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura do milho. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997b. p.97-98.
- GUERRA, A.F.; SILVA, E.M. da ; AZEVEDO, J.A. de. Tensão de água no solo: um critério viável para irrigação do trigo na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p.631-636, 1994d.
- GUERRA, A.F.; SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A de. Manejo de irrigação do trigo com base na tensão de água em latossolos da região dos Cerrados. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Natal, RN. **Anais...** Fortaleza: ABID, 1992. t.1. v.1. p.493-510.

- HAISE, R.H.; HAGAN, R.M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINSTER, T.W. **Irrigation of agricultural lands**. Madison: ASAE, 1967. p.577-604. (Agronomy Series, 11).
- HART, W.E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.105, n.3, p.275-287, 1979.
- HEERMANN, D.F; MARTIN, D.L; JACKSON, R.D.; STEGMAN, E.C. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASAE, 1990. p.509-535. (Agronomy Series, 30).
- IDSO, S.B; CLWSON, K.L.; ANDERSON, M.G. Foliage temperature: effects on environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/climate connection. **Water Resources Research**, Washington, v.22, p.1702-1716, 1986.
- JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. **Advances in Irrigation**, San Diego, v. 1, p.43-85, 1982.
- JAMES, L.G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: J. Wiley, 1988. 543p.
- KENNEDY JUNIOR, W.J. ; GENTLE, J.E. **Statistical computing**. New York: M. Dekker, 1980. 591p.
- LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.529-532, 1994.
- MEDERSKI, H.J. Determination of internal water status of plants by beta ray gauge. **Soil Science**, Baltimore, v.92, p.143-146, 1961.
- MICROSOFT COPORATION (Redmond, WA). **Microsoft excell, versão 5.0**: guia do Usuário. Redmond, 1993-1994. p.589-603.
- PHENE, C.J. Operational principles: automation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**:

design, operation and management. Amsterdam: Elsevier , 1986, p.188-279. (Development in Agricultural Engineering, 9).

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C.; COELHO, A.M.; SANTOS, N.C.; LEITE, C.E.P. Momento de irrigar a cultura do milho de inverno no Norte do Estado de Minas gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992. Porto Alegre, RS. **Resumos...** Porto Alegre: SSA/SCTABMS/EMATER-RS/ EMBRAPA-CNPMS/CIENTEC, 1992a. p.143.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C. Momento de irrigar a cultura do milho de inverno na Região Sudeste. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19., 1992. Porto Alegre, RS. **Resumos...** Porto Alegre: SSA/SCTABMS/EMATER-RS/CNPMS-EMBRAPA/CIENTEC, 1992a. p.144.

RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C. **Considerações técnicas sobre a cultura do milho irrigado.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1990. 24p. (EMBRAPA-CNPMS, Documentos, 7).

REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 8., 1994, Planaltina, DF. **Recomendações das Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo para os anos de 1995/96.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 73p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 60).

RICHARDS, L.A.; GARDNER, W. Tensiometers for measuring the capillary tension of soil water. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v.28, p.352-358, 1936.

RICHARDS, L.A.; OGATA, G. Thermocouple for vapor pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. **Science**, Washington, v.128, p.1089-1090, 1958.

RICHARDS, S.J.; MARSH, A.W. Irrigation based on soil suction measurements. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.25, p.65-69, 1961.

- SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27p.
- SHAW, B.; BAVER, L.D. An electrothermal method for following moisture changes of the soil in situ. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.4, p.78-83, 1939.
- SILVA, E.M. da. **Desempenho de um sistema de irrigação**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1992. 16p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 48).
- SILVA, A.R.; ANDRADE, J.M.V. A cultura de cevada na estação seca com irrigação nos cerrados do DF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.4, n.3, p.305-316, 1985.
- SILVA, D.B. da; ANDRADE, J.M.V. de; GUERRA, A.F. **Informações básicas para o cultivo do trigo irrigado na região do Brasil Central**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 31p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 29).
- SILVA, D.B. da; GUERRA, A.F.; REIN, T.A.; ANJOS, J. de R. N. dos; ALVES, R.T.; RODRIGUES, G.C.; SILVA, I.A.C. e. **Trigo para o abastecimento familiar**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 176p.
- SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A.de. **Dimensionamento da lateral de irrigação do pivô-central**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 54p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 71).
- SILVA, E.M. da; PINTO, A.C. de Q.; AZEVEDO, J.A. de. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 77p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP/EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 27).
- SINGH, G.; SINGH, P.W.; BHUSHAN, L.S. Water use and wheat yields in northern India under different irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, v.3, p.107-114, 1980.

SINGH, T.; MALIK, D.S. Effect of water stress ant three growth stages on the yield and water use efficiency of dwarf wheat. **Irrigation Science**, New York, v.4, p.239-245, 1983.

ZADOCKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, v.14, p.415-421, 1974.

ANEXO 1. Espelho de dados e resultados montados para aplicação da rotina "Solver" da planilha de cálculo "Excel" da Microsoft na regressão não linear do modelo de curva de retenção de Genutchen (1978).

ENTRADA DE DADOS

ÁREA IRRIGADA		CURVA DE RETENÇÃO		
Proprietário:	EMBRAPA	Tensão (atm)	Umidade gravimétrica (0-15 cm) (15-35 cm)	
Fazenda:	CPAC	0,06	0,4162	0,4502
Endereço:	Km 18, BR 020	0,10	0,3900	0,4040
Cidade:	Planaltina	0,33	0,3500	0,3492
Estado:	DF	0,60	0,3000	0,3324
Telefone:	389-1171	1,00	0,2600	0,3202
Fax.:	-	15,00	0,2100	0,2740
Ident. Área:	PIVOZINHO	Dens. (g/cm ³)	0,87	0,83
Eficiência de Irrigação:	85%	CC (g/g)	0,08	0,08
Unidade do tensiômetro:	kPa			

PARAMETRIZAÇÃO DOS DADOS DE RETENÇÃO

Tensão (kPa)	Conteúdo volumétrico de água no solo (cm ³ /cm ³)					
	obs	calc	dif.	obs	calc	dif
6,08	0,3621	0,3665	-0,004449	0,3737	0,3699	0,003787
10,13	0,3393	0,3390	0,000277	0,3353	0,3407	-0,005422
33,44	0,3045	0,2847	0,019829	0,2898	0,2915	-0,001655
60,80	0,2610	0,2621	-0,001062	0,2759	0,2744	0,001540
101,33	0,2262	0,2448	-0,018641	0,2658	0,2627	0,003098
1519,88	0,1827	0,1787	0,004015	0,2274	0,2290	-0,001606
	Camada de 0-15 cm			Camada de 15-35 cm		
Saturação, θ_s (cm ³ /cm ³)	0,6717			0,6868		
	Parâmetros otimizados					
θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0914			0,2123		
n	1,2084			1,4074		
α (kPa ⁻¹)	5,8454			2,4213		
Soma de quadrados	0,0007780			0,00006103		

ANEXO 2. Valores de lâminas brutas para reposição de água para três camadas de um Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados, em função de leituras de tensiômetros.

kPa	10	20	30
12,7	3,6	1,7	2,0
15,2	5,1	2,4	2,7
17,7	6,5	3,1	3,4
20,3	7,8	3,8	4,0
22,8	9,0	4,5	4,7
25,3	10,1	5,1	5,4
27,9	11,2	5,8	6,0
30,4	12,1	6,4	6,7
32,9	13,1	7,0	7,3
35,5	13,9	7,6	7,9
38,0	14,8	8,2	8,4
40,5	15,6	8,8	9,0
43,1	16,3	9,3	9,5
45,6	17,0	9,9	10,1
48,1	17,7	10,4	10,6
50,7	18,3	10,9	11,1
53,2	19,0	11,4	11,6
55,7	19,5	11,8	12,0
58,3	20,1	12,3	12,5
60,8	20,7	12,7	12,9
63,3	21,2	13,2	13,3
65,9	21,7	13,6	13,8
68,4	22,2	14,0	14,2
70,9	22,2	14,4	14,5
73,5	23,1	14,8	14,9
76,0	23,5	15,1	15,3
78,5	24,0	15,5	15,6
81,1	24,4	15,9	16,0
Camadas de solo (cm) ==>	0 - 15	15 - 25	25 - 35

EUZEBIOJUSCELINO