

CIRCULAR TÉCNICA nº 001

ISSN

Julho, 1999



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

TENSIÔMETRO: DISPOSITIVO PRÁTICO PARA CONTROLE DA IRRIGAÇÃO

Juscelino Antônio de Azevedo
Euzebio Medrado da Silva

Planaltina-DF
1999

Copyright © Embrapa – 1999
Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 001

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 (061) 389-1171 – Fax (061) 389-2953

Tiragem: 200 exemplares

Comitê de Publicações:

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

Coordenação editorial: Nilda Maria da Cunha Sette

Revisão gramatical: Nilda Maria da Cunha Sette
Maria Helena Gonçalves Teixeira

Normalização bibliográfica: Dauí Antunes Correa

Diagramação e arte final: Jussara Flores de Oliveira

Capa: Chaile Cherne

Impressão e acabamento: Jaime Arbués Carneiro, Divino B. Souza

AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da. **Tensiômetro:** dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 33p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 001).

1. . 2 .
3. . I. Embrapa Cerrados (Planaltina, DF). II. Título. III. Série.

CDD

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. TIPOS DE TENSÍÔMETROS E SEUS COMPONENTES	8
3. FUNCIONAMENTO E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	11
4. LEITURAS DOS TENSÍÔMETROS	12
5. PREPARAÇÃO DE TENSÍÔMETROS PARA INSTALAÇÃO	15
6. CUIDADOS NA UTILIZAÇÃO DO TENSÍÔMETRO	17
7. PROBLEMAS COMUNS E MEDIDAS CORRETIVAS	22
8. TESTES DOS TENSÍÔMETROS	24
9. CONFIABILIDADE DO TENSÍÔMETRO	30
10. USO DO TENSÍÔMETRO PARA IRRIGAÇÃO	31
11. QUESTÕES FREQUENTES DO USUÁRIO	34
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

TENSIÔMETRO: dispositivo prático para controle da irrigação

Juscelino Antônio de Azevedo¹
Euzébio Medrado da Silva¹

RESUMO - O trabalho contém informações relacionadas ao uso do tensiômetro no controle de irrigação. São apresentados os diversos tipos e componentes dos aparelhos, princípio de funcionamento e formas de calcular e interpretar os valores de potencial matricial. Os principais cuidados e testes prévios necessários para utilização são descritos, destacando os problemas mais comuns e medidas corretivas para funcionamento satisfatório. O momento de aplicar as irrigações para culturas de grãos é informado, baseando-se em resultados de trabalhos experimentais nos quais a tensão de água no solo era recomendada como forma de controle de irrigação. Questões freqüentes apresentadas por usuários de tensiômetros são descritas. Conclui-se que o uso correto de tensiômetros no manejo da irrigação pode determinar reduções de lâmina de água entre 25% e 40%, comparativamente ao manejo sem critérios.

Palavras-chave: Tensiômetro, controle de irrigação, potencial matricial, água no solo, manejo de água, conservação de água, culturas de grãos.

TENSIOMETER: a practical device for irrigation control

ABSTRACT - The work contains information about the use of tensiometers for irrigation control. The various types and components of the devices, principle of functioning and forms to calculate and to interpret the values of matric potential are

* Apresentado no Curso sobre Manejo de pivô-central: otimização do uso de energia e água, realizado na Embrapa Arroz e Feijão, em Goiânia-GO, no período de 6 a 17/3/1995.

¹ Pesquisadores da Embrapa Cerrados. km 18, BR 020, Cx. Postal 08223. CEP 73301-970 - Planaltina-DF.

presented. The main cares and necessary previous tests for using tensiometers are described, emphasizing the most common problems and corrective measures for satisfactory functioning. The moment to apply the irrigation for grain crops is given, based on experimental results in which only water tension measurements are recommended for irrigation control. Frequent questions presented by users of tensiometers are described and discussed. It is concluded that the correct use of tensiometers for handling the irrigation management can result in reductions of water applications between 25% and 40%, in comparison to handling water without criteria.

Key words: Tensiometer, irrigation control, matric potential, soil moisture, water management, water conservation, grains crops.

1. INTRODUÇÃO

A prática da irrigação no Brasil e, em particular no Cerrado, vem sendo realizada, de forma geral, sem um manejo adequado. É de reconhecimento de técnicos e de irrigantes, a necessidade de se adotar critérios racionais para administrar as irrigações, visando à aplicação da água no momento certo e na quantidade apropriada. As conseqüências benéficas previsíveis são: maior produtividade das culturas e o uso mais racional da água, energia e outros insumos.

Por meio de uma programação de irrigação, é possível obter-se rendimentos satisfatórios das culturas, suprindo integralmente suas necessidades de água nas diferentes fases de desenvolvimento. Entretanto, somente a prática de irrigação não garante, por si, boa produtividade. A correta irrigação deve estar conjugada com outras práticas recomendáveis como uso de sementes de boa qualidade, variedades adaptadas, preparo apropriado do solo, fertilização oportuna em níveis requeridos pela planta e controle sistemático de doenças, pragas e ervas daninhas.

O acompanhamento do nível de umidade no solo, na zona de maior atividade das raízes, tem sido recomendado com uma das formas pertinentes para verificação da efetividade das irrigações. Esse acompanhamento pode ser realizado, indiretamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Com essas medidas, tanto superficiais quanto em profundidade, é possível identificar se o solo está suficientemente seco para o reinício das irrigações ou suficientemente úmido para interromper sua aplicação. Essas medidas podem ser conseguidas, facilmente, utilizando o 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. Dispondo-se da relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão em que ela se encontra pode-se estabelecer, indiretamente, o teor de água no solo a partir das leituras desse aparelho. 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: o conhecimento em tempo real da tensão de água no solo e, indiretamente do teor de água no solo; utilização do conceito de potencial, medindo diretamente a energia de retenção da água pelo solo; facilidade de uso, desde que convenientemente instalado, mantido e interpretado; e custo relativamente baixo e facilmente encontrado no comércio, possibilitando maior aplicação por parte de agricultores irrigantes.

O pouco conhecimento sobre o uso adequado do tensiômetro, entre os técnicos e produtores, tem limitado, de forma acentuada, o emprego de metodologias de manejo da irrigação, baseadas em medidas do conteúdo de água no solo. Por isso, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de apresentar as informações essenciais sobre o tensiômetro, objetivando viabilizar seu emprego eficiente no controle das irrigações em áreas de concentração da agricultura irrigada no Cerrado.

2. TIPOS DE TENSÍOMETROS E SEUS COMPONENTES

O tensiômetro consiste em uma cápsula porosa, geralmente de cerâmica ou porcelana, 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 aos solutos na solução do solo, sendo, entretanto, impermeável a gases e à matriz do solo, até determinado nível de tensão. A Figura 1 mostra o esquema de um dos tipos de tensiômetro com vacuômetro.

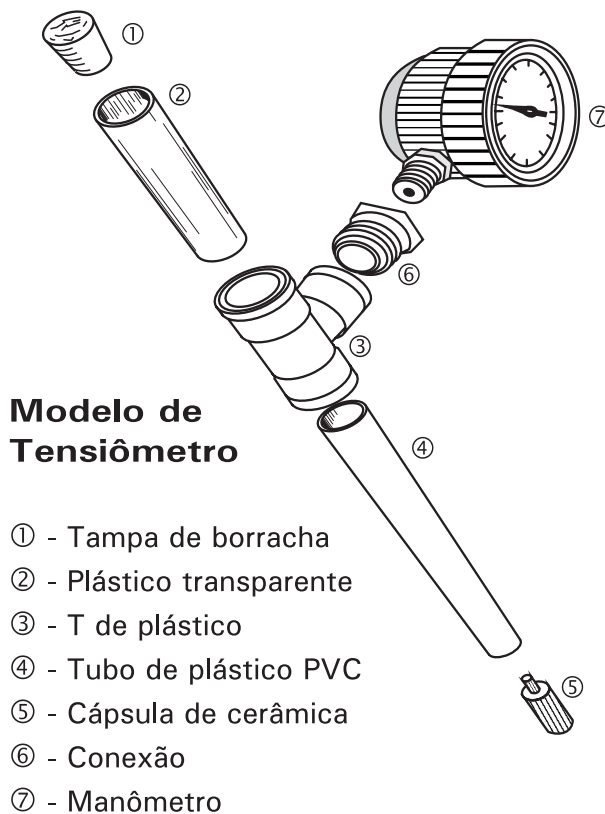


FIG. 1. Vista em perspectiva e partes componentes de um tensiômetro muni-
do de vacuômetro metálico (Azevedo *et al.*, 1983a).

Esse aparelho pode ser construído com materiais e acessórios facilmente encontrados no comércio.

Outro tipo de tensiômetro, também bastante utilizado, é o de manômetro de mercúrio, conforme ilustrado na Figura 2.

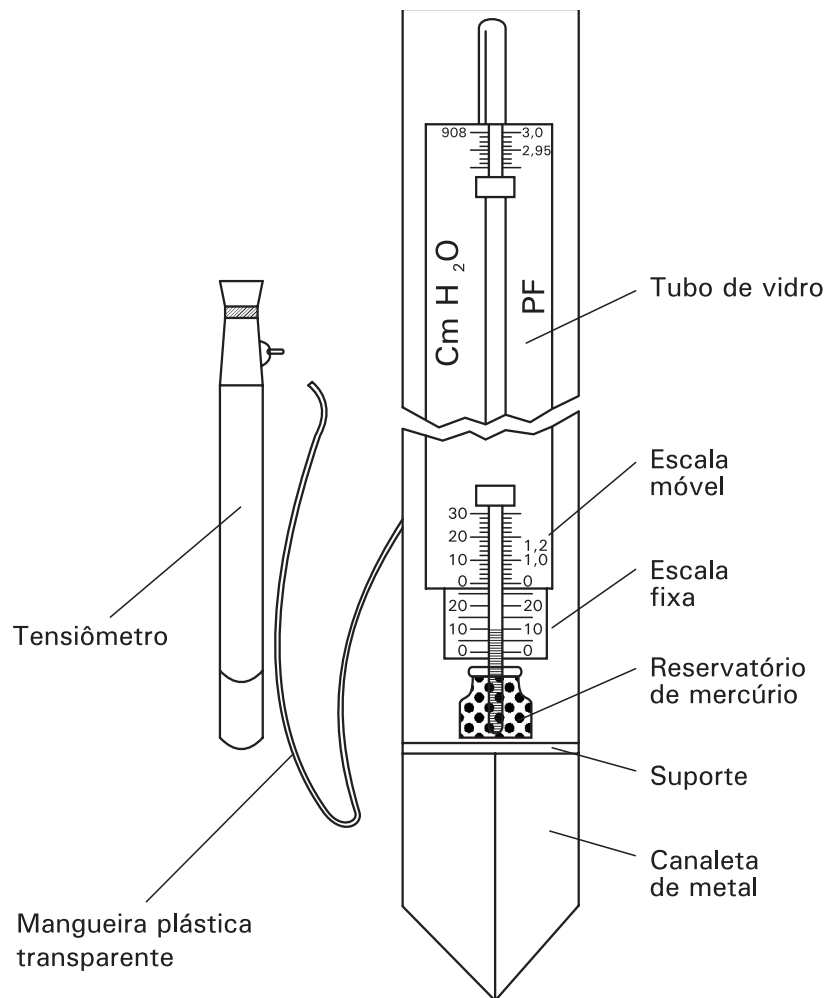


FIG. 2. Esquema mostrando as partes componentes de um tensiômetro de mercúrio (Azevedo *et al.*, 1983a).

Detalhes construtivos de unidades caseiras dos tensiômetros a vacuômetro e com manômetro de mercúrio podem ser encontrados também em Cassel & Klute (1986) e Faria & Costa (1987).

Além desses modelos mais comuns, existem ainda os de leitura direta (Camargo *et al.*, 1982) e o simplificado (Arruda *et al.*, 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 consiste unicamente numa 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 no computador. Outra variação de tensiômetro é o de leitura rápida, utilizado de forma portátil, para realizar medidas em vários locais do solo, fornecendo cada leitura em aproximadamente 2 minutos.

O tensiômetro a vacuômetro tem o seu emprego mais recomendado para o controle das irrigações no campo, em virtude de sua simplicidade e facilidade de operação, comparado com o tensiômetro provido de manômetro de mercúrio. No entanto, o tensiômetro de mercúrio possui maior precisão nas leituras, porém, sendo 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 no campo. Entretanto, é importante destacar a necessidade de realizar com cuidado a manipulação do mercúrio procurando evitar possíveis derrames desse produto para o solo.

3. FUNCIONAMENTO E PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

O funcionamento do tensiômetro é simples. Após estar completamente cheio de água e em solo saturado, nenhuma água passará pela cápsula e não haverá vácuo. À medida que o solo seca, a água sai do tensiômetro através da cápsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo equivalente à tensão da água no solo. A magnitude desse vácuo será indicada no manômetro conectado ao tensiômetro. De forma inversa, após uma chuva ou irrigação, o teor de água no solo é aumentado e a água passa do solo para o tensiômetro através da cápsula e as leituras de vácuo ficam mais baixas (Azevedo *et al.*, 1983a).

Em razão de seu princípio de operação, as leituras dos tensiômetros são a expressão da 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, uma 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 retêm, naturalmente, mais água que os arenosos, para o mesmo nível de tensão, o tempo para 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, sua utilização é feita 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, começa haver a formação acentuada de bolhas de vapor d'água dentro do sistema. Nesse momento, há pronunciada redução da sensibilidade das medidas do tensiômetro. O limite superior de medidas do tensiômetro diminui com a altitude do lugar e com a temperatura da água. No entanto, em geral, toma-se o valor de 80 cbar (80 kPa) como limite de leitura máxima de operação do tensiômetro.

4. LEITURAS DOS TENSÍÔMETROS

As unidades de medidas utilizadas nos tensiômetros são bastante variadas. Elas podem vir expressas em unidades como kilopascal (kPa), atmosfera (atm), bária (bar), centímetros de água (cmH₂O), centibária (cbar), centímetros de mercúrio (cmHg), milímetros de mercúrio (mmHg). Essas unidades de pressão podem ser relacionadas entre si utilizando a Tabela 1.

TABELA 1. Fatores para conversão de unidades de medida de tensão.

1 atm	= 1 bar x 1,0133	1 bar	= 1 atm x 0,9868
1 atm	= 1 cm H ₂ O x 1033,3	1 bar	= 1 cm H ₂ O x 1019,91
1 atm	= 1 cm de Hg x 76	1 bar	= 1 cm Hg x 75,01
1 cm H ₂ O	= 1 cm de Hg x 0,0736	1 cm de Hg	= 1 cm H ₂ O x 13,6
1 cbar	= 0,01 bar	1 bar	= 100 cbar
1 cbar	= 1 kPa	1 bar	= 100 kPa

Normalmente, os tensiômetros vêm com escalas de medidas correspondentes a uma variação de 0 a 100 cbar. Por exemplo, se o tensiômetro vier com uma escala expressa em cbar, a faixa de medidas será de 0 a 100 cbar. Nessa escala, a leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. De 20 a 60 cbar, o teor de água no solo é adequado à maioria das culturas.

4.1 Formas de cálculo

O valor da tensão de água no solo é calculado a partir da leitura do tensiômetro e depende principalmente da profundidade de instalação da cápsula porosa no solo. Para calcular os valores de tensão em centibária ou kPa são usadas as seguintes expressões:

a) Para tensiômetros de mercúrio:

$$T_{as} = 0,098 (12,6h - h_1 - h_2) \quad (1)$$

onde T_{as} = tensão de água no solo (cbar ou kPa); h = elevação da coluna de mercúrio (cm); h_1 = distância entre o nível do mercúrio do reservatório e a superfície do solo (cm); h_2 = distância da superfície do solo até o meio da cápsula porosa (cm).

b) Para tensiômetros a vacuômetro graduados em cbar ou kPa e que não disponham de regulagem para zerar a leitura inicial em relação ao seu comprimento.

$$T_{as} = L - 0,098 h \quad (2)$$

onde T_{as} = tensão de água no solo (cbar ou kPa); L = leitura do vacuômetro (cbar ou kPa); h = altura da coluna de água no interior do tensiômetro (cm).

c) Para tensiômetro a vacuômetro graduado em centímetros de mercúrio (cmHg) e que não disponham de regulagem para zerar a leitura inicial em relação ao seu comprimento

$$T_{as} = L - 0,0736 h \quad (3)$$

onde T_{as} = tensão de água no solo (cbar ou kPa); L = leitura do vacuômetro (cmHg); h = altura da coluna de água no interior do tensiômetro (cm).

4.2 *Interpretação das leituras*

A Tabela 2 mostra como interpretar as leituras de tensiômetros em função dos diferentes intervalos de valores dentro da faixa de medida dos instrumentos.

TABELA 2. Guia para interpretação de leituras de tensiômetros.

Condição	Leitura (cbar)	Interpretação
Saturação	0	Acumulação de água; Nível freático raso; Aeração prejudicada; Tensiômetro com vazamento.
Capacidade de campo	6 a 10	Ponto para interrupção das irrigações. Evitar percolação de água e lixiviação de nutrientes.
Momento de aplicação	20 a 40	Irrigações dirigidas para produtividade máxima e culturas de maior valor econômico e solos arenosos;
	40 a 50	Valor usual para iniciar irrigações; Aeração assegurada; Solos de textura média.
Intervalo de irrigação	50 a 60	Início de irrigação em solo argiloso; Manutenção da umidade disponível.
Seco	70 a 80	Valor de início de deficit; Alguma umidade disponível; Risco de perda de produção.

Adaptado de James (1988)

Sabe-se que a tensão de água no solo varia com a umidade. Contudo, em latossolo de cerrado a umidade varia muito pouco quando a tensão passa de 100 para 1500 cbar, sendo que a variação da umidade é maior na faixa de 0 a 100 cbar, englobando a faixa útil do tensiômetro (0 a 85 cbar), compreendendo mais de 65% da água disponível às plantas, segundo Azevedo *et al.* (1983b). Daí a grande aplicação dos tensiômetros nesses solos tropicais.

5. PREPARAÇÃO DE TENSIÔMETROS PARA INSTALAÇÃO

Na preparação dos tensiômetros para instalação, deve-se observar os seguintes procedimentos (T. W. Prosser Company (s.d.):

a) Normalmente, os instrumentos são recebidos vazios. Após retirá-los da embalagem de transporte, remova a proteção da cápsula e preencha todos os aparelhos com água destilada ou filtrada, visando à eliminação de impurezas, use água fervida e fria para retirar os gases dissolvidos;

b) Depois da saturação, passe uma escova sobre a cápsula utilizando-se de escova de cerdas rígidas. Com um pano, limpe a cápsula (Figura 3a);

c) Com os tensiômetros sobre um suporte e no ar ambiente, observe a formação de gotículas de água sobre a cápsula, indicando que os aparelhos estão rigorosamente saturados;

d) Retorne as cápsulas para um recipiente com água livre de ar e permita que elas fiquem imersas durante uma semana. Mantenha o nível de água no interior dos instrumentos para saturar todas as superfícies plásticas interiores (Figura 3b);

e) Com as cápsulas submersas em água, aplique a bombinha manual de vácuo até que as bolhas de ar desapareçam, na subida, em direção ao medidor de vácuo. Mantenha o vácuo por dois ou três minutos com a cápsula submersa em água, visando à remoção de bolhas de ar dos poros da cápsula porosa (Figura 3c);

f) Se necessário, encha o tensiômetro com água, aperte a tampa e coloque-o no ar ambiente ou em uma caixa com solo seco. O ponteiro do vacuômetro elevar-se-á devido à saída de água através da cápsula para o ar ou solo seco;

h Com um pano, elimine a água que está sobre a cápsula porosa e repita os passos de f a g. Leituras de 70 cbar ou maiores serão obtidas devido à remoção de ar. O movimento do ponteiro será mais rápido. Essa operação deverá ser repetida, caso a leitura de 70 ou mais cbar não seja obtida.

Cubra as cápsulas com papel toalha umedecido até que os buracos no local de instalação sejam preparados. Os tensiômetros estão prontos para serem instalados.

6. CUIDADOS NA UTILIZAÇÃO DO TENSÍMETRO

O sucesso na utilização do tensiômetro, para monitoramento da água no solo, depende muito da correta instalação do instrumento em locais representativos da condição de extração de água que se deseja acompanhar. Pontos importantes como número de instrumentos, profundidade de instalação e frequência de leituras devem ser cuidadosamente observados.

6.1 *Número de instrumentos*

Várias condições devem ser consideradas ao se estimar o número de tensiômetros necessários para determinada área. Preferivelmente, usam-se pelo menos três tensiômetros para cada área que se diferencia pelo solo, cultura, declividade, métodos e frequência de irrigação.

É recomendável o uso de tensiômetros em diferentes profundidades. Em solos irrigáveis de cerrado, onde geralmente o sistema radicular de culturas anuais é superficial em virtude dos sistemas de preparo, de correção e de fertilização adotados, acon-

selha-se o emprego de três a quatro baterias de três tensiômetros cada uma, visando a uma média representativa. Devem ser localizados a 10, 20 e 30 cm de profundidade, onde se encontra a maior concentração de raízes efetivas na absorção de água de culturas de grãos como trigo, feijão, e milho. Recomenda-se instalar os tensiômetros no interior das fileiras das culturas (Figura 4) para permitir o registro das variações da tensão de água desde o início do ciclo da planta no perfil de solo de 0 a 35 cm. A colocação do tensiômetro no interior da fileira de plantas não interfere no livre trânsito de maquinário nas operações de cultivo.

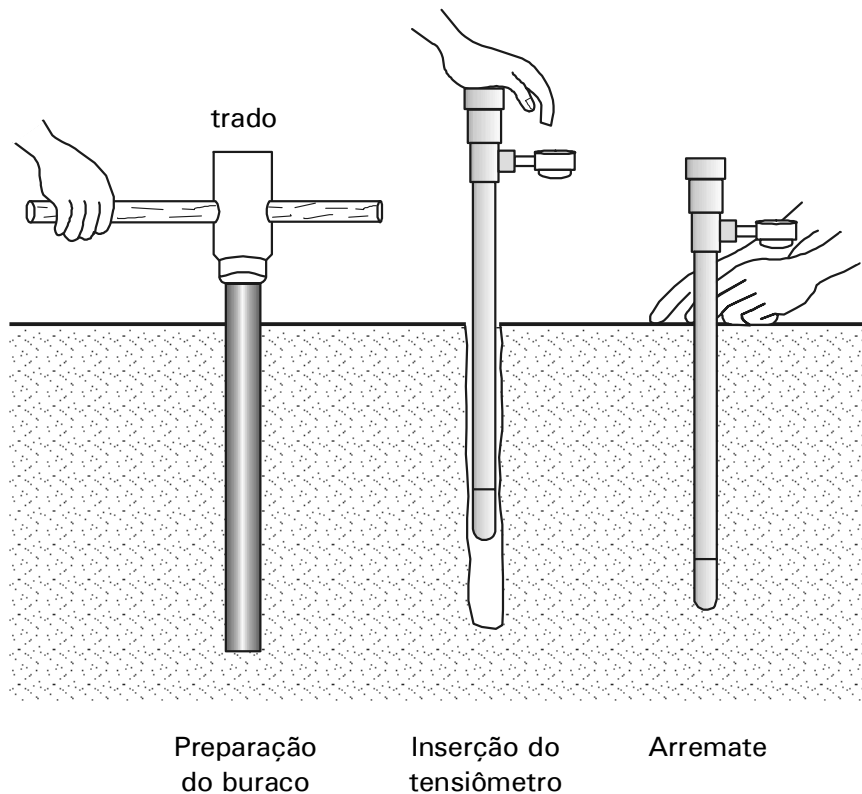


FIG. 4. Detalhe da instalação de tensiômetros no interior da fileira da cultura em três profundidades de solo (Adaptado de Azevedo *et al.*, 1983a).

6.2. Instalação

Geralmente, são escolhidos 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 (Figura 4).

Para uma boa instalação (Figuras 5 e 6), a preparação do buraco, usando-se um trado ou um pedaço de cano de ferro ou PVC rígido, 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. Evite buracos maiores que a profundidade estabelecida, para impedir a acumulação de ar e de água nas imediações da cápsula, afetando a acurácia das leituras. 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 (Figura 6). O contato da cápsula com o solo é fundamental para leituras precisas. Se o buraco for bem maior que o diâmetro do tubo, e a cápsula não ficar em contato perfeito com o solo, falsas leituras ocorrerão na faixa alta do vacuômetro. Leituras inconsistentes na faixa baixa da escala do vacuômetro podem acontecer, quando a água de chuva ou de irrigações escorrer por entre o tubo e o solo, alcançando a cápsula.

Na instalação ou remoção dos aparelhos do solo, manuseie os tensiômetros cuidadosamente. Não force o vacuômetro, mas o tubo plástico para instalar e primeiro gire o instrumento antes de removê-lo do solo, segurando-o bem firme. Após a instalação, os aparelhos devem ser protegidos com uma cobertura (Figura 7), visando a minimizar flutuações de temperatura que podem ter leve efeito sobre as leituras dos vacuômetros, bem como manter um visor bem claro, facilitando as leituras e evitando a penetração de água que pode enferrujá-los.

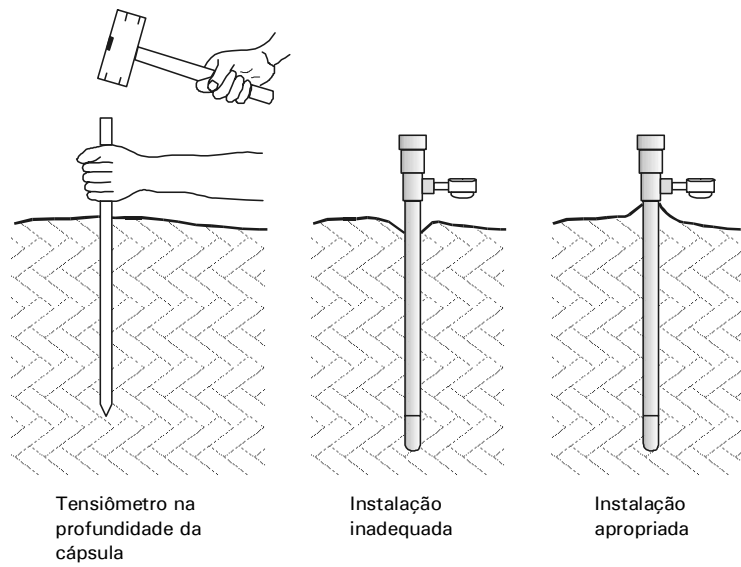


FIG. 5. Aspectos do tensiômetro e do solo em condições apropriadas e não adequadas de instalação (T.W. Prosser Company (s.d.).

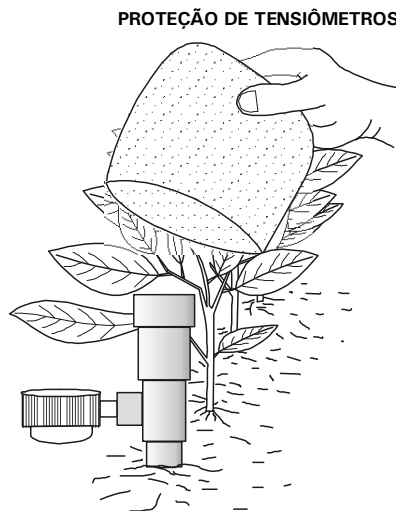


FIG. 6. Seqüência da operação de instalação do tensiômetro no campo (Azevedo *et al.*, 1983a).

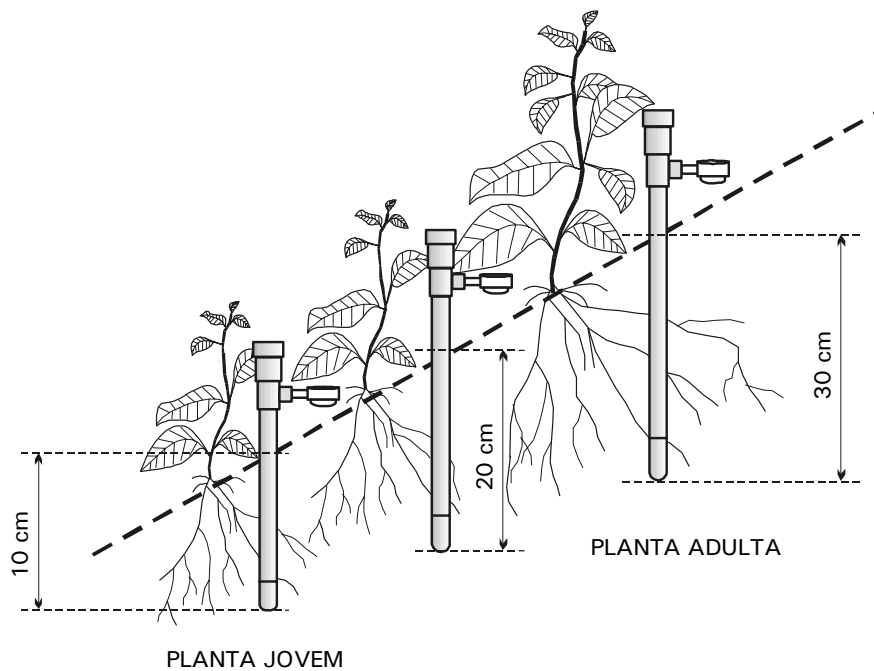


FIG. 7. Proteção de tensiômetro (T.W. Prosser Company (s.d.).

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. Um grande número de mudanças de locais não é aconselhável, pois a cápsula porosa, além de frágil, pode ter reduzida sua porosidade devido à cristalização de sais quando sua superfície torna-se seca.

6.3 *Freqüência e registro de leituras*

A freqüência de leituras depende da evapotranspiração em relação à capacidade de armazenamento de água do solo. Em

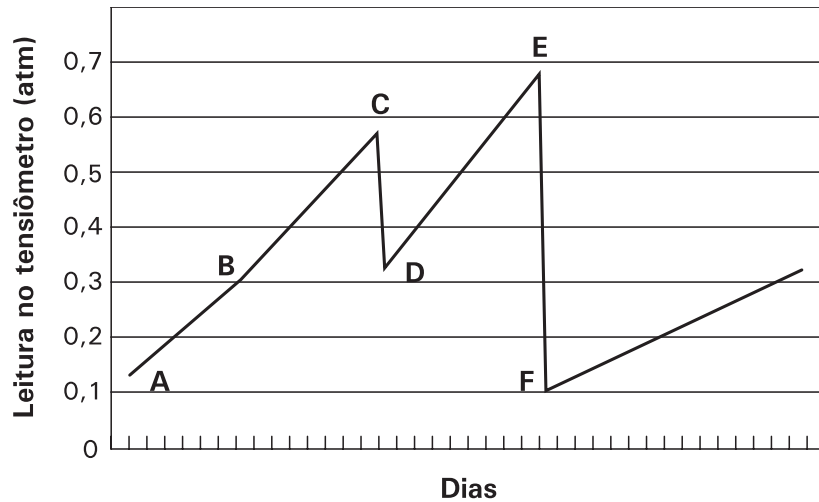
condições de climas determinantes de elevado consumo hídrico, elas são mais freqüentes, pois serão maiores e mais rápidas as variações nos valores de tensão da água no solo. Três leituras, no mínimo, devem ser feitas entre as irrigações. Devem ser mais freqüentes quando se aproxima a irrigação. Essa rotina é recomendável uma vez que permite o conhecimento, dia-a-dia, das variações, inferindo as alterações na extração de água pela cultura ao longo de seu ciclo, fornecendo informações sobre a confiabilidade das leituras e permitindo ajustes ou serviços em tempo hábil nos aparelhos.

O uso do tensiômetro torna-se mais eficiente quando as leituras são anotadas e também colocadas em gráficos. A Figura 8 é um exemplo de como podem ser feitas essas anotações, pois, além de mostrar o que aconteceu no passado, pode indicar a necessidade ou não de irrigação nos próximos dias, pelo prolongamento da linha que mostra a evolução das leituras.

7. PROBLEMAS COMUNS E MEDIDAS CORRETIVAS

De acordo com Azevedo *et al.* (1983a), o tensiômetro pode apresentar alguns problemas como:

- a) manômetro enferrujado em virtude da penetração de água no seu interior;
- b) vazamento na tampa, nas conexões ou no medidor, permitindo a entrada de ar para dentro do aparelho;
- c) a tampa rachada devido à exposição ao sol;
- d) desafição do ponteiro por causa da força com que este volta e bate no pino de aferição. Isto acontece em razão da retirada brusca da tampa quando a leitura é alta;
- e) resposta lenta à variação de umidade em virtude da deposição de material do solo na superfície da cápsula.



- A - Após uma irrigação bem conduzida
- B - Deste ponto é possível por meio da linha AB, estimar quando será necessária a próxima irrigação.
- C - Antes da irrigação
- D - Após uma irrigação mal conduzida, onde a água não se distribuiu adequadamente no solo
- E - O solo tornou-se seco antecipadamente em virtude de uma irrigação inadequada.
- F - Após E houve uma irrigação adequada.

FIG. 8. Interpretação das leituras de tensiômetros colocados em gráficos (Azevedo *et al.*, 1983a).

O tensiômetro instalado no campo pode avariar devido à alta sucção ou problemas de vazamento. No caso da leitura do manômetro, permanecer na posição zero, deve-se reenchê-lo com água e submetê-lo a um teste de sucção (≤ 80 cbar), para verificar se está havendo penetração de ar através das conexões ou cápsula. No tensiômetro previamente seco, após reenchimento, podem surgir pequenas bolhas de ar provenientes da cápsula, que poderão ser vistas através da parte transparente do tensiômetro. Isso não significa defeito do aparelho; entretanto, se as bolhas forem grandes e provenientes da parte interior do tensiômetro, remove-se o instrumento para reparo e provavelmente será necessária nova cápsula.

Se as bolhas originarem-se da seção do manômetro, esse fato indica que pode haver vazamento no manômetro ou na conexão dele com o tubo. Caso não se verifique formação de bolhas grandes, possivelmente a tampa estará rachada ou indevidamente apertada. Uma limpeza do manômetro será necessária com aplicação do óleo antioxidante. Novo manômetro será necessário, se o ponteiro do mostrador não apresentar livre movimento por causa da presença de ferrugem.

8. TESTES DOS TENSÍOMETROS

Antes de se proceder à instalação dos tensiômetros no campo, deve-se realizar uma série de testes para verificar a integridade do instrumento em relação a possíveis vazamentos. É importante salientar que o tensiômetro, em pleno funcionamento, opera à semelhança de uma câmara hermeticamente fechada e, portanto, a verificação de sua integridade funcional consiste em basicamente detectar possíveis pontos de entrada de ar na faixa normal de operação (0 a 80 cbar).

8.1 Verificação de vazamentos

O tensiômetro deve estar livre de vazamentos para se obter um funcionamento desejável e, para isto, cada instrumento deve ser testado antes de ser usado. Os testes podem ser conduzidos mais facilmente, se a cápsula de cerâmica ou porcelana porosa já estiver umedecida ou saturada pela imersão em água por um período de quatro a sete dias antes do início do teste. Enche-se completamente o instrumento com água fervida e fria, depois bate-se levemente para ajudar a remoção do ar, reenche-se com água se necessário, fecha-se a extremidade superior do tubo com a tampa e expõe-se a cápsula ao ar livre para que a água evapore. Após cinco a oito horas, o manômetro deverá registrar 50 ou

mais cbar sem que haja demasiado acúmulo de ar no topo do tensiômetro.

Caso o tensiômetro não passe no teste inicial, deve-se repeti-lo. Se o resultado não for satisfatório nessa repetição do teste, certamente haverá algum vazamento, caso contrário provavelmente estará em condições de ser usado no campo. Entretanto, poderá ser feito um teste adicional, que corresponderá a uma continuação do anterior. Quando o mostrador indicar leituras entre 40 e 70, envolve-se a cápsula em um pequeno saco de plástico e fecha-se com uma tira de borracha ao redor do tubo, para evitar a continuação do processo de evaporação. Se a leitura no próximo dia tiver sofrido variação em torno de seis ou mais unidades da leitura do dia anterior, o tensiômetro foi satisfatório no primeiro teste e não no segundo, indicando que algum vazamento pode estar ocorrendo.

Quando se usam tensiômetros munidos de vacuômetros metálicos e esses apresentam leituras iniciais diferentes de zero, pode-se agir de duas maneiras: abrir a tampa do manômetro e aferir o ponteiro ou anotar a leitura inicial que será subtraída das leituras feitas no campo.

Nos tensiômetros munidos de manômetro de mercúrio, quando esses possuírem escala móvel, o instrumento poderá ser zerao, movendo-se essa escala de modo que a leitura da elevação do mercúrio já forneça a tensão na profundidade de instalação da cápsula.

8.2 Pressão de borbulhamento da cápsula

São realizados testes de pressão de borbulhamento e condutância hidráulica das cápsulas porosas para verificar sua adequabilidade à construção ou promover sua substituição na ocorrência de danos às cápsulas. São testes normalmente feitos pelos fabricantes ou fornecedores dos instrumentos para que o cliente receba equipamentos confiáveis.

A pressão de borbulhamento é definida como a pressão mínima de ar aplicada na cápsula saturada de água, na qual o ar começaria a borbulhar através de seus poros. Essa pressão deve ter valor mínimo de 100 cbar para o bom funcionamento do tensiômetro, pois caso contrário ocorrerá a formação de bolhas de ar no interior do tensiômetro, uma vez que até 100 cbar a cápsula deve ser permeável apenas à água e aos íons.

Nesse teste, as cápsulas previamente saturadas são conectadas, sem água no seu interior, a uma fonte de pressão controlada e submetida a incrementos de pressão de 10 cbar até o ponto em que surge a primeira bolha de ar através da cápsula. No entanto, como a faixa de atuação prática do tensiômetro não ultrapassa 80 a 85 cbar, utiliza-se como limite máximo de pressão de teste o valor de 100 cbar.

A pressão de borbulhamento está intimamente ligada ao diâmetro do maior poro da cápsula. Essa relação pode ser expressa pela seguinte equação (4):

(4)

onde P = pressão de borbulhamento (dinas/cm²); t = tensão superficial da água a 20 °C (72,75 dinas/cm²); R = raio do poro (cm).

No caso da cápsula suportar a pressão máxima de teste de 1 atmosfera, (aproximadamente 100 cbar) sem borbulhamento, pode-se concluir que o maior diâmetro de poro da cápsula apresenta valor menor que $2,88 \times 10^{-4}$ cm, determinado pela equação (4), sabendo que 1 atmosfera é igual a $1,03 \times 10^6$ dinas/cm²:

8.3 Condutância hidráulica

A condutância hidráulica das cápsulas porosas dos tensiômetros pode ser entendida como a vazão de água através da parede da cápsula por unidade de diferença de pressão. Sua dimensão, quando a pressão é dada em termos de carga hidráulica (cm de água), é unidade de área por unidade de tempo (cm^2/s).

É de interesse utilizar cápsulas com condutância a mais alta possível, pois essa propriedade determina a velocidade de resposta do tensiômetro às variações de umidade do solo.

A determinação experimental da condutância hidráulica das cápsulas porosas pode ser realizada sob pressão atmosférica e sob pressão adicional de ar de 150 cbar. A título de exemplo serão apresentados os passos e os cálculos necessários para realização do teste de condutância sob pressão atmosférica. Convém ressaltar que o uso da pressão acima da atmosférica diminui o tempo de teste mas, por outro lado, exige uma fonte de pressão, manômetro e registros de controle.

Normalmente, na realização do teste de condutância sob pressão atmosférica, necessita-se de um conjunto de materiais, compreendendo tubo de plástico incolor de 1,30 m de comprimento e 9 mm de diâmetro interno; recipiente que simula o solo com água mantido em nível constante (vertedouro ou cubeta); pé com suporte de tábua, onde são presos os tubos de plástico; acopladores das cápsulas com dois anéis de borracha para vedação e fixação e recipiente coletor de água.

A determinação da condutância hidráulica é feita pelo método da "carga variável", tendo-se o seguinte procedimento: (a) imersão das cápsulas porosas em água destilada durante 24 horas; (b) fixação da cápsula de teste, através da junta especial, ao tubo de plástico; (c) cálculo da área da seção transversal do tubo; (d) enchimento do tubo de água e imersão da cápsula em um recipiente, como mostra a Figura 9.

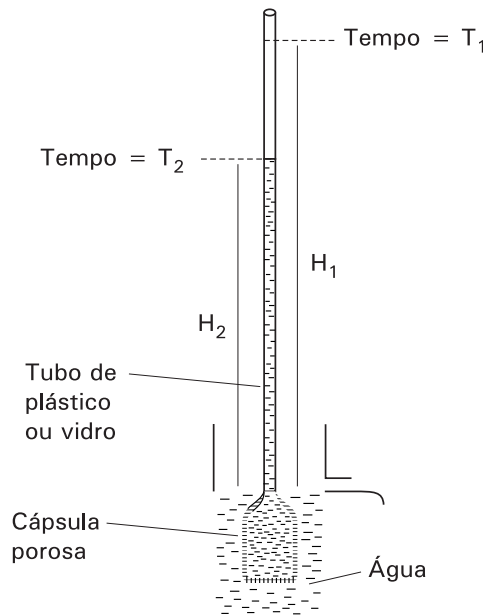


FIG. 9. Desenho esquemático do conjunto para teste de condutância em cápsulas porosas de tensiômetros.

Registra-se a posição inicial, H_1 , que pode ser convenientemente estabelecida em 100 cm, e permite-se um abaixamento em torno de 10 cm, para um nível H_2 . O tempo transcorrido, $(t_2 - t_1)$, para o rebaixamento de H_1 para H_2 , será utilizado no cálculo da condutância, indicado pela seguinte equação (4):

$$C = \frac{a \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

onde C = condutância hidráulica (cm^2/s); a = área da seção transversal do tubo plástico (cm^2); H_1 = potencial hidráulico ini-

cial (cm H₂O); H₂ = potencial hidráulico final (cm H₂O); t₁ = tempo inicial (s), correspondente a H₁; t₂ = tempo final (s), correspondente a H₂.

Como exemplo da aplicação dessa metodologia, apresenta-se na Tabela 3, os resultados da avaliação da condutância hidráulica de cinco cápsulas porosas:

TABELA 3. Condutância média de cápsulas porosas de tensiômetros, submetidas à pressão atmosférica.

Repetições	H ₁ e H ₂ (cm)	Tempo em segundos (t ₂ - t ₁)				
		Cap Nº 1	Cap Nº 2	Cap Nº 3	Cap Nº 4	Cap Nº 5
1 ^a	100 - 90	1180	835	735	910	915
2 ^a	90 - 80	1285	960	810	1070	910
3 ^a	80 - 70	1425	1020	745	1210	1005
Condutância média (cm ² /s)		5,8x10 ⁻⁵	8,0x10 ⁻⁵	9,9x10 ⁻⁵	7,1x10 ⁻⁵	8,0x10 ⁻⁵

Exemplo de cálculo para a cápsula nº 1:

Considere um tubo com diâmetro de 9 mm, correspondendo a uma área transversal, a = 0,6362 cm². Com os valores de tempo da Tabela 3, para a cápsula 1, pode-se obter os seguintes resultados:

1^a repetição:

2^a repetição:

3^a repetição:

Média das três repetições

9. CONFIABILIDADE DO TENSÍÔMETRO

É importante ressaltar que a aceitação do tensiômetro depende do grau de confiança do usuário em relação às suas medidas. Essa, por sua vez, depende do perfeito entendimento de seu funcionamento e do reconhecimento da necessidade de se realizar manutenções periódicas. Muita resistência ao uso deriva do desconhecimento do princípio de funcionamento e da correta interpretação das leituras, bem como dos cuidados necessários à manutenção.

9.1 Acurácia

Quando os tensiômetros são adequadamente instalados e operados, propiciam leituras acuradas, sendo bastante sensíveis na faixa de tensão de água no solo onde a maioria das culturas se desenvolvem. Muitas vezes, são empregados como referência para a avaliação de outros métodos de determinação da umidade do solo. Segundo T.W. Prosser Company (s.d.), variações pequenas na umidade disponível resultantes de compactação ou tipo do solo, densidade radicular e outros fatores podem ser facilmente registrados em vacuômetros sensíveis e dificilmente por outros métodos. Para muitos trabalhos de pesquisa, em que medidas precisas da força de retenção e da umidade do solo são exigidas, necessita-se do tensiômetro.

Em condições de campo porém, essa mesma acurácia de controle pode não ser prática. Assim, variações de 10 a 15 cbar em torno de um valor como 50 cbar, apropriado ao início da irrigação de muitas culturas de grãos podem acontecer, tanto em resposta às variações espaciais do potencial matricial no campo como à maior sensibilidade do tensiômetro. A umidade do solo estará mantida no intervalo para ótimo crescimento da cultura e mesmo maiores variações podem ocorrer por curtos períodos sem perda de produtividade ou qualidade do produto comercial.

9.2 *Requisitos de manutenção no campo*

Quando o solo está seco, cai o nível de água no interior dos tensiômetros, criando um vácuo nesse espaço livre de água. Quando ele umedece após irrigação ou chuva, o vácuo diminui determinando elevação da água ao seu nível original. Entretanto, com os ciclos de umedecimento e secagem, parte do ar vindo do solo é preso na parte superior do tensiômetro, dificultando as respostas dos aparelhos às variações na umidade do solo e levando a leituras abaixo dos valores reais de tensão.

Assim, uma das tarefas de manutenção mais importantes é, regularmente, retirar esse ar e substituí-lo por água. Para isso, retira-se a borracha e/ou tampão na extremidade superior do tubo e adiciona-se água previamente fervida e esfriada até completar o nível. Nos tensiômetros de mercúrio, essa tarefa é realizada com o auxílio de uma pisseta com rolha de borracha adaptável à introdução de água no corpo do tensiômetro.

Esse serviço deve ser feito a cada três dias de leituras ou sempre que haja suspeita de acumulação de ar. O melhor período para abastecimento e retirada de ar dos tensiômetros é logo após as irrigações quando o solo encontra-se bem úmido. Deve-se realizar essas tarefas após as leituras do dia. Nessas ocasiões, verifica-se também o nível de água no aparelho, completando-o quando o rebaixamento desse nível estiver entre 2,5 e 5,0 cm abaixo da extremidade superior do tensiômetro.

10. **USO DO TENSIÔMETRO PARA IRRIGAÇÃO**

O intervalo de medida do tensiômetro é importante para o manejo da irrigação mesmo representando pequena fração do intervalo de potenciais de água no qual as plantas conseguem extrair a água do solo (Campbell & Mulla, 1990). Segundo esses autores isso é verdade, porque a absorção de água pelas plantas

freqüentemente começa a cair abaixo da taxa de absorção potencial antes que o potencial de água no solo na zona radicular alcance valores fora do intervalo prático de medida do tensiômetro.

10.1 Momento da aplicação de água

Melhor que um único valor de tensão para início das irrigações, é preferível a recomendação de um intervalo ótimo de valores para dar flexibilidade à operacionalização da irrigação pelo irrigante. A Tabela 4 fornece informações das faixas de tensão recomendadas para o momento de irrigação em algumas culturas de grãos.

TABELA 4. Indicações de tensões de água no solo para início das irrigações de algumas culturas anuais segundo diversos autores.

Cultura	Profundidade (cm)	Tensão (cbar)	Referências
Trigo	10	60	Silva <i>et al.</i> (1993); Guerra <i>et al.</i> (1994)
	10	40	Guerra (1995)
Feijão	10 e 20*	32 - 97	Saad e Libardi (1992)
	10	50	Bernardo <i>et al.</i> (1970)
	10	70 - 100	Figuerêdo <i>et al.</i> (1994)
	15	25 - 30	Stone e Moreira (1986)
	15	30 - 40	Silveira e Stone (1994)
	15	60	Azevedo e Caixeta (1986)
Milho	15	60	Libardi e Saad (1994)
	10	40	Guerra <i>et al.</i> (1997b)
	-	70	Resende <i>et al.</i> (1990)
Soja	15 e 30*	37 - 63	Saad e Libardi (1992)
	10	70	Guerra <i>et al.</i> (1997a)
Arroz	15	25	Embrapa/SPI (1992)

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

É interessante ressaltar que o momento de irrigar é sempre dado pela média das leituras dos tensiômetros mais superficiais em virtude da maior extração de água dessa camada, atingindo, em menor tempo, os valores de tensão indicados na Tabela 4 acima.

10.2 *Momento de interromper a irrigação*

Pelas próprias leituras de tensiômetros pode-se determinar o momento de interromper as irrigações, pois tão logo a água penetre na cápsula de cerâmica as leituras dos vacuômetros começam a cair. De acordo a T.W. Prosser Company (s.d.), as irrigações podem ser suspensas quando os instrumentos mais rasos alcançarem leituras na faixa de 0 a 10 cbar e os mais profundos na faixa de 10 a 15 cbar, não sendo necessário irrigar até as leituras serem zeradas. As leituras dos instrumentos começam a se elevar após a drenagem da água gravitacional e início de absorção de água pelas raízes. Leituras contínuas na faixa de 0 a 20 cbar indicam solo úmido, devendo as irrigações serem cortadas ou reduzidas até que essa situação seja corrigida. Esse procedimento sofre as limitações relativas à velocidade de resposta do tensiômetro e de redistribuição da água no perfil do solo e, portanto, as possibilidades de erro na aplicação da lâmina desejada são maiores do que realizando o corte com base no restabelecimento completo do armazenamento.

Dispondo-se das curvas de retenção de água do perfil de solo de interesse da irrigação e da eficiência de aplicação de água do equipamento, é possível calcular, com relativa precisão, as lâminas brutas de irrigação correspondentes ao deficit hídrico, indicado em tempo real pelos tensiômetros de todas as profundidades. Esse é o procedimento recomendado para determinar a lâmina de água necessária e nesse caso o critério para parar as irrigações passa a ser o tempo necessário para aplicação integral dessa lâmina. Essa prática é considerada uma das alternativas adequadas para garantir irrigações satisfatórias.

11. QUESTÕES FREQUENTES DO USUÁRIO

São questões que normalmente aparecem quando os tensiômetros são usados pela primeira vez, de acordo a T. W. Prosser Company (s.d.).

- a) Leituras que não parecem refletir o conteúdo real de água no solo

Acontece em razão de se julgar que o teor de água no solo naquele momento é muito diferente do indicado pelo instrumento. É um problema muito comum e fácil de ser superado, bastando coletar amostras de solo na profundidade da cápsula e constatar, pelo tato ou por gravimetria, a precisão das leituras dos tensiômetros. Um exemplo típico é o de agricultores que irrigam, julgando que o solo está suficientemente seco, embora as leituras dos instrumentos, mesmo aqueles instalados na porção superficial do solo, estejam nas faixas de baixa tensão, de zero a 20 cbar, indicando umidade adequada.

- b) Resposta lenta a irrigações

São várias as razões para esse problema. As principais são: baixa taxa de infiltração devido à compactação ou ao tipo de solo; instrumentos vazios ou com ar em seu interior; cápsulas muito usadas e parcialmente obstruídas por sais e movimento emperrado do medidor em virtude de pequenos danos.

- c) Necessidade freqüente de reabastecimento

Em geral, é indicativo de prática de irrigações deficientes, com leituras nas faixas mais secas por períodos de vários dias. Outras causas podem ser: a instalação inadequada com o solo não convenientemente compactado em torno do tubo do apare-

lho; abertura na vedação que pode ser borracha danificada; e falha na conexão do manômetro.

d) Maiores variações na taxa de mudança das leituras

São variações de umidade do solo que ocorrem devido a condições de topografia e tipo de solo, bem como em razão da variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo. Essas variações acontecem normalmente e, sendo esperadas, exigem maior número de aparelhos, visando à obtenção de leituras médias realísticas que possibilitem melhor controle da irrigação.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agricultores que usam corretamente os tensiômetros têm obtido resultados satisfatórios de produtividade de culturas, muito embora haja grandes variações quanto ao nível de adoção e da obediência aos procedimentos recomendados para o melhor uso dos instrumentos. Dependendo de condições de clima, do tipo de cultura explorada e do manejo da irrigação, estima-se que a utilização eficiente de tensiômetros pode determinar reduções de 25% a 40% nas lâminas de água aplicadas nas irrigações, comparativamente ao manejo sem critério, com a conseqüente economia nos dispêndios de energia.

Considera-se que o custo de aproximadamente R\$ 1.600,00 (um mil e seiscentos reais), de três ou quatro conjuntos de três tensiômetros, necessários a uma unidade de irrigação, que pode ser um pivô-central, é apenas marginal, quando comparado aos benefícios que propiciam e aos elevados investimentos na aquisição de equipamentos de irrigação. Ressalta-se ainda que esse custo pode ser reduzido, adquirindo-se as partes componentes e construindo e testando o tensiômetro ou mesmo usando-o por vários anos desde que sejam observados cuidados na manutenção e conservação dos aparelhos.

A adoção da tensiometria, principalmente nos últimos anos, por parcela crescente de produtores irrigantes tem sido, ao lado dos trabalhos de pesquisa e de difusão de tecnologia de diferentes instituições, um dos principais instrumentos para a ampliação, em maior escala, do emprego desses aparelhos no controle da irrigação. A necessidade cada vez maior de aumentar a produção por unidade de área cultivada, como forma de elevar os níveis de rentabilidade da agricultura irrigada faz do tensiômetro um instrumento útil para controle da irrigação, pelas valiosas informações que fornece relacionadas à energia de retenção da água pelo solo na zona de raízes.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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; SILVA, E.M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A.F. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983a. 53p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).
- AZEVEDO, J.A. de; FREIRE, J.C.; SILVA, E.M. da. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., 1981. Brasília. **Anais**. Brasília: SBEA, 1983b. p. 843-844.
- AZEVEDO, J.A. de; CAIXETA, T.J. **Irrigação do feijoeiro**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. 60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23).
- 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.

- 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.
- 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).
- CASSEL, D.K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2ed. Madison: ASA/Soil Science Society of America, 1986. Part 1. p. 563-596. (ASA. Agronomy, 9).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)
- 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.
- FARIA, R.T. de; COSTA, A.C.S. da. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização**. Londrina: IAPAR, 1987. 22p. (IAPAR. Circular, 56).
- 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.
- 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, 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, 1995.
- GUERRA, A.F.; ANTONINI, J.C. dos A. Irrigação suplementar para a cultura da 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.; 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.
- JAMES, L.G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: J. Wiley, 1988. 543p.
- 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.
- RESENDE, M.; FRANÇA, G.E. de; ALVES, V.M.C. **Considerações técnicas sobre a cultura do milho irrigado**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1990. 24p. (EMBRAPA-CNPMS. Documentos, 7).
- SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT. 1992. 27p.
- 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).
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF / Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 27).

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. **Irrigação do feijoeiro**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 31p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 20).

T. W. PROSSER COMPANY (Arlington). **Irrrometer - moisture indicator**: reference book. Arlington, [s.d.]. 30p.