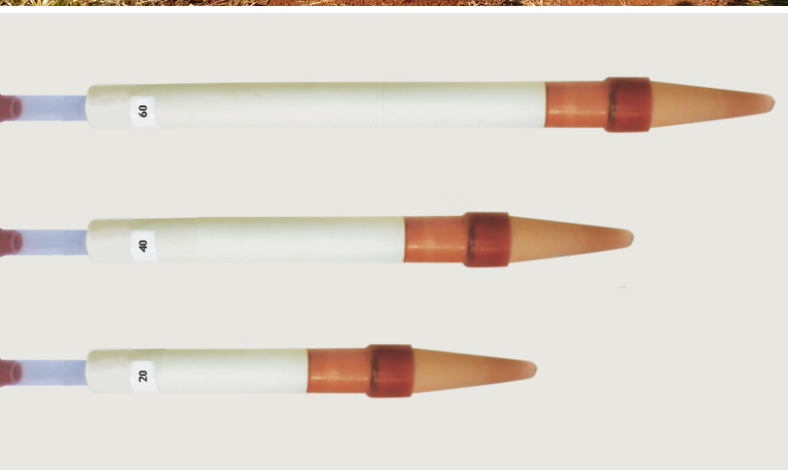


Bento Gonçalves, RS / Março, 2025

Uso de tensiômetros para o manejo da irrigação em macieira



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Uva e Vinho
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1516-8107 / e-ISSN 1808-4648

Documentos 137

Março, 2025

Uso de tensiômetros para o manejo da irrigação em macieira

Gilmar Ribeiro Nachtigall

Embrapa Uva e Vinho
Bento Gonçalves, RS
2025

Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, n° 515
Caixa Postal 130
95701-008 Bento Gonçalves, RS
www.embrapa.br/uva-e-vinho
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Henrique Pessoa dos Santos

Secretária-executiva

Renata Gava

Membros

Fernando José Hawerloth

Mauro Celso Zanús

Joelsio José Lazzarotto

Jorge Tonietto

Thor Vinícius Martins Fajardo

Alessandra Russi

Edgardo Aquiles Prado Perez

Fábio Ribeiro dos Santos

Luciana Elena Mendonça Prado

Michele Belas Coutinho Pereira

e Rochelle Martins Alvorcem

Revisão de texto

Renata Gava

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Fotos da capa

Gilmar Ribeiro Nachtigall

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Uva e Vinho

Nachtigall, Gilmar Ribeiro.

Uso de tensiômetros para o manejo da irrigação em macieira / Gilmar Ribeiro
Nachtigall. – Bento Gonçalves : Embrapa Uva e Vinho, 2025.

PDF (15 p.) – (Documentos / Embrapa Uva e Vinho, e-ISSN 1808-4648 ; 137)

1. Equipamento de irrigação. 2. Manutenção. I. Nachtigall, Gilmar Ribeiro.
II. Embrapa Uva e Vinho. III. Série.

CDD (21. ed.) 631.7

Rochelle Martins Alvorcem (CRB-10/1810)

© 2025 Embrapa

Autor

Gilmar Ribeiro Nachtigall

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Vacaria, RS

Apresentação

A ocorrência de deficits hídricos no solo na região sul do Brasil tem sido caso vez mais frequente, ocorrendo de forma mais concentrada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Políticas públicas têm incentivado produtores a instalar sistemas de irrigação.

Para o manejo da irrigação na cultura da macieira, é fundamental o monitoramento da disponibilidade de água no solo, de modo a quantificar o momento correto de aplicação, bem como a quantidade a ser utilizada.

O monitoramento da umidade no solo por meio de tensiometria é eficiente para manter os índices de umidade do solo adequados para a cultura da macieira, via irrigação. Entretanto, o uso dela para estabelecer a irrigação em pomares de macieira requer uma série de premissas e cuidados, sem os quais podem ocorrer erros que podem promover o

uso inadequado de água e, por consequência, perdas na eficiência produtiva.

A Embrapa Uva e Vinho, preocupada com isso, apresenta as indicações para o uso de tensiômetros em pomares de macieira, destacando os cuidados que devem ser tomados na utilização deles para o controle de irrigação, incluindo os procedimentos para o estabelecimento do momento necessário e da quantidade de água por irrigação.

Técnicos e produtores poderão utilizar as recomendações visando o uso adequado e eficiente da tensiometria, desde a sua instalação, monitoramento diário e os cuidados necessários na manutenção destes equipamentos. Dessa forma, as decisões de manejo da irrigação serão baseadas em parâmetros técnicos consistentes e adequados para o uso correto água no solo, proporcionando maior sustentabilidade do pomar.

Adeliano Cargnin

Chefe-Geral da Embrapa Uva e Vinho

Sumário

Introdução	6
Disponibilidade de água no solo	6
Tensiometria	8
Tipos de tensiômetros	8
Escolha e preparação dos tensiômetros	9
Instalação dos tensiômetros	10
Leitura dos tensiômetros e controle de irrigação	11
Exemplos de cálculos	12
Manutenção dos tensiômetros	14
Referências	14

Introdução

O cultivo da macieira é uma atividade agrícola de grande importância socioeconômica em regiões de altitude no sul do Brasil. No Rio Grande do Sul, cuja produção representa aproximadamente 41,6% da produção nacional (IBGE, 2022), o cultivo de macieiras está concentrado na Mesorregião Nordeste Rio-Grandense, mais precisamente nos municípios de Vacaria, Bom Jesus, Lagoa Vermelha e Caxias do Sul, onde situam-se médias e grandes empresas pomicultoras do estado. Já em Santa Catarina, cuja produção representa aproximadamente 54,7% da produção nacional (IBGE, 2022), o cultivo de macieiras está concentrado nas regiões do Planalto Serrano e Meio-Oeste do estado.

Após vários anos de pesquisas na Embrapa Uva e Vinho, os resultados indicam que, para as condições do sul do Brasil, a irrigação e a fertirrigação em pomares de macieiras aumentam a produtividade e qualidade dos frutos (Nachtigall, 2018). Estes resultados positivos ocorrem justamente quando se tem verificado frequentes cenários de deficits hídricos nos solos da região, que ocorrem de forma mais acentuada no período de desenvolvimento vegetativo da cultura. Esta situação tem levado a um número crescente de fruticultores a buscar informações técnicas sobre irrigação, visando implementar o uso destas tecnologias em seus pomares.

Nestas condições de frequentes deficits hídricos no solo, um dos principais segredos para o sucesso da produção de maçãs envolve irrigar no momento apropriado e na quantidade adequada, juntamente com a escolha correta do sistema de irrigação. Além de garantir incremento de produtividade e produtos de melhor qualidade, o uso adequado da irrigação pode minimizar impactos ambientais, uma vez que, permite reduzir os gastos de água e energia e as perdas de nutrientes (Marouelli, 2008).

Para que o emprego da irrigação em pomares de macieira seja eficiente deve-se avaliar o momento e a quantidade de água adequados para aplicar esta tecnologia. Existem vários métodos para a obtenção destas informações, contudo, nesta publicação será tratado o uso da tensiometria. Os tensiômetros

podem ser descritos como sensores utilizados para estimar a tensão matricial de água no solo, fornecendo uma medida da tensão (“força”) com que a água está retida no solo. Desta forma, é possível estabelecer o momento apropriado para realizar as irrigações, bem como estimar o volume de água a ser aplicado para estabelecer a melhor condição para o crescimento das plantas e obtenção de adequadas produtividades com qualidade de frutos.

O uso da tensiometria para estabelecer a irrigação em pomares de macieira requer uma série de premissas e cuidados, sem os quais ocorrem erros que podem promover o uso inadequado de água e, por consequência, perdas na eficiência produtiva do pomar.

A presente publicação tem por objetivo apresentar, de forma simplificada, indicações para o uso de tensiômetros em pomares de macieira, destacando os cuidados que devem ser tomados na utilização destes equipamentos para o controle de irrigação, incluindo os procedimentos para o estabelecimento do momento necessário e da quantidade de água por irrigação.

Disponibilidade de água no solo

O solo tem uma capacidade limitada de armazenar água e disponibilizá-la para as plantas, a qual é dependente das características de suas partículas, de sua estrutura, bem como da profundidade explorada pelas raízes das plantas.

A retenção e o movimento da água no solo, sua absorção e translocação nas plantas e sua perda para a atmosfera são fenômenos relacionados a uma grandeza da física, denominada energia. Na determinação do estado e do movimento da água no solo, a energia potencial é a mais importante.

Para se determinar o manejo da irrigação é necessário conhecer o comportamento dessa energia (“força”) com que a água é retida e se movimenta no solo. Em um solo úmido, a maior parte da água está retida em poros grandes e na forma de filmes

espessos de água envolvendo as partículas do solo e, nesta condição, a água está fracamente retida pelos sólidos do solo. Já numa condição de um solo mais seco, a água remanescente está retida em poros menores e em finos filmes de água, estando fortemente retida pelos sólidos do solo. Assim, a diferença entre os níveis de energia destas duas condições determina a direção e a taxa de movimento da água no solo e nas plantas. A água se movimentará de uma região mais úmida do solo (maior estado de energia) para uma região mais seca do solo (menor estado de energia).

O potencial da água no solo (Ψ) é definido por diversas forças, resultantes das forças gravitacional, mátrica, pressão e osmótica, que constituem o potencial gravitacional (Ψ_g), potencial mátrico (Ψ_m), potencial de pressão (Ψ_p) e potencial osmótico (Ψ_o), respectivamente:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_o \quad (1)$$

em que a força gravitacional, que constitui o potencial gravitacional (Ψ_g), representa a atração gravitacional ("força") que atua na água do solo em direção ao centro da terra. Já a atração da água pelas superfícies sólidas do solo constitui o potencial mátrico

(Ψ_m). Este potencial sempre é negativo, uma vez que a água atraída pela estrutura do solo tem estado de energia menor que o da água pura. O potencial de pressão (Ψ_p) é um componente que só é considerado em áreas saturadas, não atuando em condições de solos não saturados. O potencial osmótico (Ψ_o) representa os efeitos da presença de solutos na solução de solo. Quanto maior a concentração de solutos, menor o potencial osmótico, deste modo, sua maior importância está relacionada à absorção de água pelas células das raízes das plantas.

Para o correto manejo do suprimento e do movimento da água no solo é importante ter conhecimento da quantidade de água presente (em que θ é o conteúdo de umidade) e do estado de energia da água (em que, Ψ é o potencial da água no solo).

Existe uma relação inversa entre o conteúdo de água no solo (θ) e a energia com que a água é retida (Ψ), descrita como curva característica da água no solo. A expressão desta relação é influenciada pelas características do solo, como textura, estrutura, mineralogia e matéria orgânica (Gupta; Larson, 1979; Beutler et al., 2002), como exemplificam as relações obtidas em solos com diferentes texturas (Figura 1).

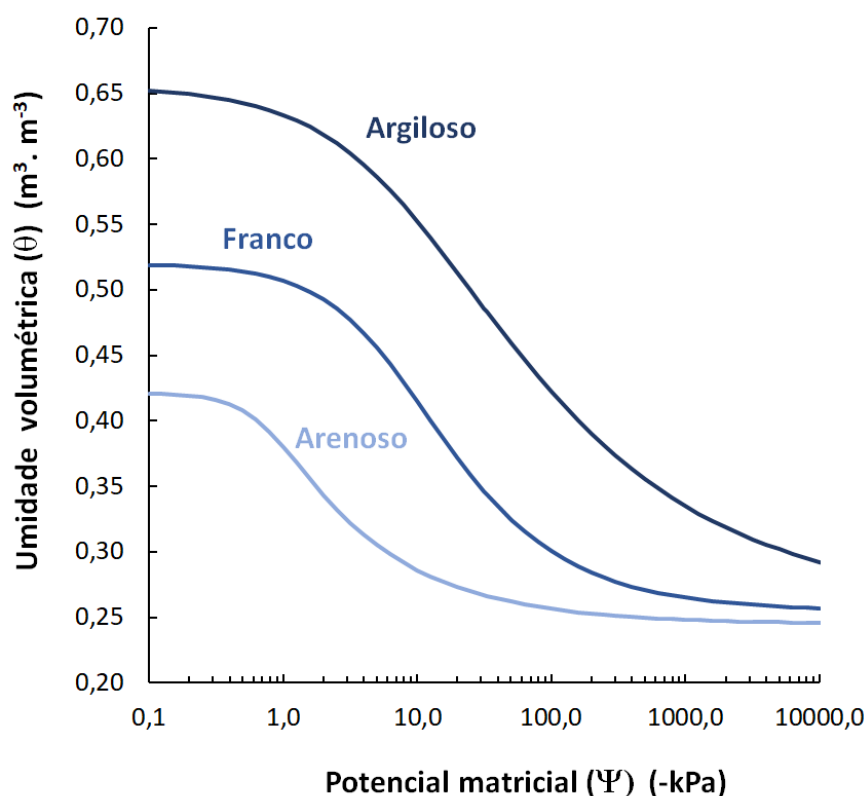


Figura 1. Curva de retenção de água no solo para solos argilosos, francos e arenosos, cujo potencial da água no solo está plotado em escala logarítmica.

Fonte: Adaptado de Brady e Weil (2002).

Um solo argiloso apresenta maior retenção de água, para um determinado potencial, do que um solo franco ou arenoso. Neste exemplo, para um determinado valor de umidade do solo, a água é retida mais fracamente no solo arenoso do que nos solos de textura franca e argilosa. Deste modo, a textura do solo exerce uma influência significativa sobre a capacidade de retenção de umidade no solo.

A quantidade de água disponível para as plantas em um determinado solo é determinada por vários fatores, entre eles as relações entre conteúdo de umidade (θ) e o potencial da água no solo (Ψ) de cada horizonte do solo, bem como aqueles que afetam o sistema radicular, como textura, profundidade e densidade do solo (Marouelli et al., 2011).

Para se determinar o momento adequado de irrigação do pomar, a informação referente ao potencial da água no solo (Ψ) nas diferentes profundidades do perfil do solo, é geralmente mais importante do que o conhecimento do conteúdo de umidade (θ) do solo nestas camadas. Isto pode ser exemplificado, com base nos pontos discutidos anteriormente, onde um determinado solo pode ter um volume considerável de água, porém retida fortemente, de modo que as raízes da planta enfrentam dificuldades para a sua absorção. Já outro solo, com textura arenosa, libera a água facilmente para as plantas, porém armazena menor quantidade.

Tensiometria

O tensiômetro consiste de um tubo rígido, normalmente de policloreto de vinila (PVC), contendo água, com uma cápsula de cerâmica porosa conectada em sua extremidade inferior, a qual possibilita a troca de água entre o interior do tubo e o solo. A parte superior do tubo possui uma rolha vedante de borracha ou uma tampa, para a manutenção do equipamento.

O funcionamento do tensiômetro envolve o princípio do equilíbrio entre a água contida no interior do tubo e o solo na região próxima cápsula. Quando o solo está seco, uma parte da água sai do tensiômetro através da cápsula para o solo, formando um vácuo parcial no interior do tensiômetro. Este vácuo gerado pode ser medido, possibilitando estimar o potencial da água no solo (Ψ) nas diferentes profundidades.

Após uma chuva e/ou irrigação, a água do solo pode voltar para o interior do tensiômetro pela ação do vácuo gerado durante a condição anterior, possibilitando nova estimativa do potencial da água no

solo (Ψ). Desta forma, os tensiômetros medem a tensão com que a água é retida pelos solos, a qual expressa o potencial da água do solo (Ψ).

Deve-se considerar que os tensiômetros são operantes entre potenciais de 0 a -85 kilopascal (kPa), o que representa, em termos gerais, mais que 50% da água armazenada na maioria dos solos. Em condições de solos muito secos, cujas leituras ultrapassam os valores de -85 kPa, os tensiômetros não são eficientes, uma vez que nestas condições o ar presente no solo também ultrapassa os poros da cápsula de cerâmica, reduzindo o vácuo, e afetando a leitura.

Tipos de tensiômetros

Os modelos de tensiômetros mais utilizados atualmente são os de punção e os com vacuômetros metálicos tipo Bourdon. Os tensiômetros de coluna de mercúrio, embora apresentem alta precisão, não devem ser utilizados, pois utilizam mercúrio metálico, não sendo seguros do ponto de vista ambiental.

Os tensiômetros de punção (Figura 2) são constituídos por um tubo de PVC, com comprimento variável em função da profundidade do solo que se deseja avaliar, no qual é conectado uma cápsula porosa em uma extremidade, e um tubo de acrílico transparente na outra extremidade, o qual é vedado por uma tampa de borracha (rolha) por onde é introduzida a agulha do tensiômetro portátil (Figura 3), no momento da leitura.

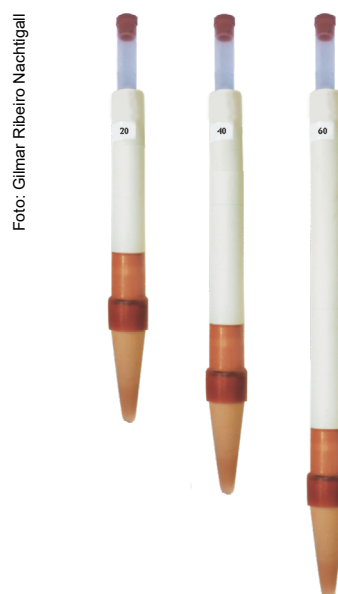


Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 2. Tensiômetro de punção para leitura com tensímetro.



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 3. Tensiômetro digital de punção.

Os tensiômetros com vacuômetro metálico tipo *Bourdon* (Figura 4) são constituídos por um tubo de PVC, um tubo de acrílico transparente, uma cápsula de porcelana porosa, um tampão e um vacuômetro metálico. A cápsula de porcelana fica localizada na extremidade inferior do tubo e o tampão e o vacuômetro na parte superior.

A utilização de tensiômetros de punção no pomar, considerando o custo relativamente alto do tensiômetro digital, somente passa a ser economicamente viável quando são utilizados acima de seis tensiômetros na propriedade. Considerando a precisão necessária para o manejo da irrigação do



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 4. Tensiômetro com vacuômetro metálico tipo *Bourdon*.

pomar, o uso de tensiômetro analógico não é indicado, embora apresente custo mais baixo do que o digital.

Considerando que o manejo da irrigação no pomar de macieira deve ser feito no momento necessário e no volume adequado, as informações coletadas para a tomada de decisão dependem do desempenho satisfatório dos tensiômetros, de modo que é necessário observar uma série de cuidados e procedimentos, desde o preparo e instalação dos tensiômetros no pomar, bem como durante o uso periódico e nas manutenções.

Escolha e preparação dos tensiômetros

Considerando que estes sensores serão responsáveis por informações fundamentais para a eficiência da irrigação, então a escolha da procedência deve priorizar a qualidade e a precisão dos tensiômetros, devendo-se evitar produtos que não tenham garantias mínimas de funcionalidade.

De forma a evitar problemas de funcionamento após a instalação, os tensiômetros devem ser devidamente preparados e testados antes da sua instalação. Esta é uma etapa importante e fundamental para o êxito do sistema de irrigação do pomar.

A fase de preparo dos tensiômetros envolve basicamente:

- Reparo de possíveis vazamentos entre as partes do tensiômetro, de modo a evitar a entrada de ar no interior do tubo. Para isso é necessário realizar uma inspeção visual dos tensiômetros, observando se a conexão entre o tubo e a cápsula, ou entre o vacuômetro e a tampa com o tubo, não apresentam problemas que possibilitem a entrada de ar.
- Umedecimento da cápsula porosa antes da instalação. Para isso, deve-se remover a tampa do tensiômetro e encher o tubo com água, preferencialmente destilada ou água mineral de garrafa. Após, deve-se colocar o tensiômetro, sem a tampa, em um recipiente (balde) com água durante pelo menos dois dias, tendo o cuidado de deixar submersas somente a cápsula porosa e parte do tubo.
- Retirada do ar presente nos poros da cápsula porosa (escorva). De modo a garantir a total saturação da cápsula porosa, deve-se submeter o tensiômetro a uma condição de vácuo. Para isso, pode-se utilizar uma seringa plástica (≥ 20 mL) adaptada para promover vácuo (Figura 5). Havendo

disponibilidade, pode ser usada uma bomba de vácuo. Assim, com o tensiômetro sempre dentro do balde, promover um vácuo até praticamente cessar a subida de bolhas de ar pelo tubo. Após

Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall



Figura 5. Seringa plástica adaptada para realizar a saturação de tensiômetros.

este procedimento, completar o volume do tubo com água destilada ou água mineral de garrafa e fechar a tampa.

Instalação dos tensiômetros

Um dos primeiros cuidados a serem tomados nesta fase é a seleção do local de instalação dos tensiômetros. O local selecionado no pomar deve ser representativo da área a ser avaliada, de modo que as leituras e a indicação de irrigação sejam adequadas. Assim, deve-se buscar uniformidade de tipo de solo, declividade do terreno e idade do pomar de macieira. Devem ser evitados locais onde pode ocorrer acúmulo de água ou próximos de plantas com problemas de crescimento.

Cada bateria de tensiômetros deve ser representativa de, pelo menos, duas profundidades: a primeira representando 50% da profundidade efetiva do sistema radicular (camada de 0 a 20 cm); e a segunda no limite inferior do sistema radicular (camada de 20 a 40 cm). A instalação de tensiômetros que represente a profundidade de 40 a 60 cm é importante para pomares que utilizam porta-enxertos mais vigorosos.

O número de baterias de tensiômetros no pomar deve atender a representatividade da unidade de irrigação, envolvendo a homogeneidade do solo, idade do pomar e tipo de cultivar utilizada. Como as cultivares de macieira do grupo 'Gala' apresentam ciclo vegetativo distinto das do grupo 'Fuji', a

avaliação da disponibilidade de água no solo e a irrigação são diferenciadas.

De modo geral, cada bateria de tensiômetro deve ser representativa de, no máximo, 5 ha de área homogênea de solos, sistema de cultivo e cultivar de macieira. Contudo quanto maior o número de baterias instaladas, maior é a representatividade das condições do pomar.

Os tensiômetros de cada bateria devem ser instalados lado a lado, na direção da linha de planta, distanciados uniformemente de cada planta (Figura 6). Para

Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall



Figura 6. Bateria de tensiômetros instalados nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm de profundidade em pomar de macieira irrigado por gotejamento.

a irrigação por gotejamento, os tensiômetros devem ser instalados 10 a 15 cm distantes do gotejador, para evitar leituras sob interferência do sistema.

A fase de instalação dos tensiômetros envolve basicamente:

- Manter as cápsulas de porcelana dos tensiômetros imersas em água, após o preparo dos tensiômetros e durante o transporte até o pomar, de modo a garantir que permaneçam saturadas.
- Após a escolha do local de instalação da bateria no pomar, deve-se garantir que o solo esteja preferencialmente úmido. Caso o solo esteja seco, aplicar água na área de instalação dos tensiômetros para facilitar a instalação.
- Fazer os furos no solo até as profundidades desejadas, utilizando um trado próprio para a instalação, de preferência um trado de rosca tipo Mathieson (Figura 7). É extremamente importante que o diâmetro do trado seja igual ou ligeiramente inferior ao da cápsula, de modo a garantir um perfeito contato entre a cápsula e o solo. A maioria dos problemas identificados no



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 7. Trado de rosca tipo Mathieson para a instalação de tensiômetros.

funcionamento dos tensiômetros está relacionada com a falta de contato entre o solo e a cápsula de porcelana do tensiômetro.

- Colocar cerca de 100 mL de água no furo para formar barro, o qual vai se moldar ao formato da capsula cerâmica.
- Colocar o tensiômetro até o final do furo empurrando firmemente com as mãos num movimento somente para baixo. Caso verifique obstáculo, retirar o tensiômetro de forma cuidadosa e utilizar o trado novamente para adequar o furo. Como a cápsula de porcelana é muito delicada, não usar força demasiada para a colocação do tensiômetro. Observar a marca de profundidade no corpo do tensiômetro para definir a profundidade de instalação.
- Comprimir levemente a superfície do solo ao redor do tensiômetro com as mãos. Pode-se utilizar uma vareta de metal ou madeira para facilitar a compactação do solo ao redor do tensiômetro. Deixar o nível do solo ao redor do tensiômetro levemente superior ao nível do solo, de modo a evitar acúmulo de água no local.
- Completar o volume de água do tensiômetro e fechar a tampa. De preferência, deve-se utilizar protetores para o tubo de acrílico transparente, de modo a evitar a proliferação de algas dentro do tubo. Também é recomendável utilizar grade de proteção para a bateria de tensiômetros (Figura 8), a fim de protegê-los de batidas de equipamentos ou mesmo de pisoteio de animais ou pessoas.
- Identificar a bateria de tensiômetros, anotando a ordem de instalação e profundidade dos tensiômetros, número da bateria, fila de plantas, cultivar, distância entre filas e entre plantas, vazão dos gotejadores, número da quadra e nome do



Foto: Gilmar Ribeiro Nachtigall

Figura 8. Exemplo de proteção metálica da bateria de tensiômetros e da proteção do tubo de acrílico transparente.

pomar. Estas informações serão importantes para a leitura dos sensores e cálculos relacionados ao manejo da irrigação.

Leitura dos tensiômetros e controle de irrigação

Considerando que, em uma condição de déficit hídrico, normalmente tem-se um gradiente de umidade ao longo do perfil do solo, com menor umidade na região superficial em comparação com áreas mais profundas, os tensiômetros mais rasos podem ser utilizados para indicar o momento a irrigar, enquanto os mais profundos podem ser utilizados para avaliar se o volume aplicado de água via irrigação está adequado.

Para a cultura da macieira, o monitoramento da disponibilidade de água do solo, através das leituras dos tensiômetros deve ser feita diariamente, preferencialmente nas primeiras horas da manhã. Para situações onde é necessária uma segunda irrigação por dia, realizar uma segunda leitura no período da tarde.

As leituras devem ser anotadas em uma ficha de controle mensal (Figura 9), contendo informações sobre o pomar, a quadra, a safra e o responsável pela informação. Na tabela de leitura de controle também deve ser anotada a intensidade de cada chuva no período.

Quando se dispõe da curva característica de retenção de água do solo predominante do pomar, a lâmina de água a ser aplicada por irrigação deve ser determinada utilizando o modelo matemático da curva e as leituras dos tensiômetros.

Várias publicações científicas já disponibilizaram as equações das curvas características de retenção



Pomar: _____
 Quadra: _____

FICHA DE CONTROLE MENSAL

Safra: ____/____
 Responsável: _____



LEITURA DIÁRIA DOS TENSÍÔMETROS (kPa)											MÊS/ANO: ____/____/20__		
DIA	BATERIA 1			BATERIA 2			BATERIA 3			BATERIA 4			Chuva (mm)
	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													

Figura 9. Exemplo de ficha de controle mensal das leituras da bateria de tensiômetros.

de água para os principais solos cultivados com macieira no Sul do Brasil (Conceição et al., 2011; Costa, 2012; Bortolini, 2016), o que permite a estimativa mais precisa do volume de água a ser aplicado nos pomares por irrigação.

Para facilitar o manejo da irrigação por gotejamento em pomares de macieira, a Embrapa Uva e Vinho, em parceria com a empresa Agrimar, desenvolveu o aplicativo Irrifert – Irrigação/Fertirrigação Maçã, o qual, a partir das informações do sistema de irrigação, do tipo de manejo do pomar, do tipo de solo e das leituras dos tensiômetros, permite definir o momento de irrigar e o tempo necessário para aplicar a quantidade necessária à cultura (Figura 10). Desta forma, o usuário não necessita fazer os cálculos necessários para o manejo da irrigação do pomar. Independente da planilha, o técnico ou o produtor podem calcular a lâmina de água a ser aplicada por irrigação, conforme o exemplo a seguir.

Neste aplicativo, basta o usuário configurar inicialmente o sistema de irrigação instalado no pomar e o tipo de solos predominante, inserindo posteriormente as leituras diárias dos tensiômetros de cada

bateria. O sistema automaticamente realiza os cálculos e identifica se existe necessidade de irrigação, bem como informa qual será o tempo necessário para que o sistema de irrigação reponha a quantidade de água demandada pela cultura.

Exemplos de cálculos

Considerando que a irrigação será baseada nos valores medidos pelos tensiômetros e na curva de retenção de água no solo, cada valor de tensão medido corresponde a um valor de umidade na curva de retenção.

A curva de retenção de água no solo é obtida empregando-se valores da relação entre umidade (θ) e tensão (Ψ) determinados em laboratório. A partir desses valores aplica-se a equação de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)[1 + (a \cdot \Psi^m)^{-m}] \quad (2)$$

em que θ é a umidade correspondente ao potencial matricial (tensão) Ψ , $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$; θ_r é a umidade residual, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$; θ_s é a umidade na saturação, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;

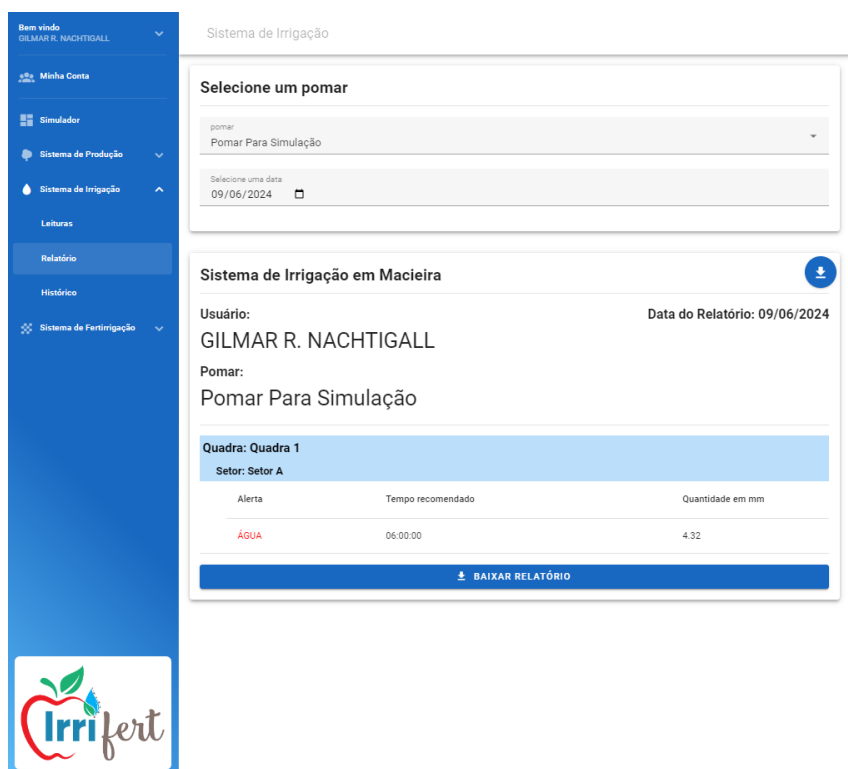


Figura 10. Tela inicial do aplicativo, mostrando menu com cinco opções de navegação e telas do relatório com as informações diárias sobre a necessidade ou não de aplicação de água via irrigação.

Ψ é o potencial matricial (tensão) da água no solo, cm (1 kPa = 10 cm); a , n , m são parâmetros empíricos, ajustados pelo modelo.

Nessa equação, para cada valor de Ψ (tensão), determinado pela leitura dos tensiômetros, tem-se um valor de θ (umidade) correspondente. No presente exemplo, as equações utilizadas foram as seguintes:

$$\theta_{20} = 0,36 + (0,61 - 0,36) \cdot [1 + (0,018 \cdot \Psi) 1,640] 0,390 \quad (3)$$

$$\theta_{40} = 0,36 + (0,54 - 0,36) \cdot [1 + (0,016 \cdot \Psi) 1,644] 0,392 \quad (4)$$

em que θ_{20} e θ_{40} são os valores de umidade a 20 e 40 cm de profundidade, respectivamente, representando as camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, respectivamente.

Com base nessas equações e na profundidade de cada camada de solo, se estima os valores da umidade total na profundidade de 0 a 40 cm.

A capacidade de campo (Cc), neste exemplo, foi considerada como sendo a umidade correspondente ao potencial Ψ (tensão) de 10 kPa (100 cm). A diferença entre $\theta(Cc)$ e θ corresponde ao volume de água a ser aplicado.

- Se os valores médios de $\theta(Cc) = 0,512 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^3$ e $\theta = 0,495 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^3$ então serão aplicados:

$0,512 - 0,495 = 0,017 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^3$ (representa cm^3 de água por cm^3 de solo).

- Esse valor corresponde a $0,017 \text{ cm}$ de água/cm de profundidade do solo = $0,17 \text{ mm cm}^{-1}$ de solo.
- Multiplicando-se pela profundidade do sistema radicular de 50 cm tem-se: $50 \text{ cm} \times 0,17 \text{ mm cm}^{-1} = 8,5 \text{ mm}$ de água.
- Se o sistema de irrigação aplicar $1,6 \text{ mm h}^{-1}$ o tempo de irrigação (TI) será: $8,5 \text{ mm} \div 1,6 \text{ mm h}^{-1} = 5,3 \text{ horas}$.

Deve-se ressaltar que os cálculos de $\{\theta(Cc) - \theta\}$ foram feitos considerando-se, separadamente, as profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, obtendo-se posteriormente a média para se calcular, então o tempo de irrigação.

Caso o produtor ou técnico não disponha da curva característica de retenção de água do solo do pomar, a lâmina de água pode ser estimada por tentativa, com base nas leituras diárias dos tensiômetros instalados nas profundidades de 0 a 40 cm (rasos) e da profundidade de 40 a 60 cm (profundos). Neste caso, aplicar uma lâmina de água que reduza a tensão nos tensiômetros rasos para valores entre 5 a 10 kPa, acompanhando as leituras dos tensiômetros profundos, para que permaneçam entre 15 e 25 kPa.

Embora seja um método empírico (e pouco eficiente), pode-se considerar que se a medida da tensão nos tensiômetros rasos, medida entre duas e quatro horas após a irrigação, for maior que 10 kPa representa que o volume de água aplicado foi insuficiente, enquanto que menor que 5 kPa pode ser considerado excessivo. Nestas situações, aumentar o tempo de irrigação entre 10 e 25% ou reduzir nas mesmas proporções, respectivamente, e observar o comportamento dos tensiômetros durante as próximas irrigações.

Para irrigação por aspersão e gotejamento, deve-se considerar a eficiência do sistema de irrigação durante a determinação da lâmina total de água a ser aplicada. Em geral, a eficiência varia entre 60 e 75% para aspersão e entre 75 e 90% para gotejamento.

Manutenção dos tensiômetros

É normal que o volume de água no interior do tensiômetro diminua, podendo, inclusive, baixar além do nível visível do tubo. Isso ocorre porque após alguns ciclos de secagem e umedecimento do solo, esse ar poderá se acumular no interior do tensiômetro. Deste modo, a presença de um nível baixo de água no interior do tensiômetro é um indicativo da necessidade de manutenção.

A água no interior do tensiômetro deve ser repostada quando o nível de água se encontrar abaixo da metade do tubo de acrílico. Quando retirar a rolha e fizer a reposição da água, aguardar entre 3 e 5 horas para uma nova leitura.

Embora seja usada água destilada ou água mineral de garrafa, podem ocorrer situações de formação de colônias de algas no interior do tensiômetro, facilmente identificável pelo aparecimento de uma mucilagem verde. Nesta situação, deve-se retirar toda a água do tensiômetro através de sucção e escovação para a limpeza do tubo. Após repetir os procedimentos descritos no item “Instalação dos Tensiômetros”.

Outro ponto que deve ser observado na manutenção de tensiômetros de punção é o estado da rolha de borracha. Como esta é diariamente perfurada na leitura com o tensiômetro, pode ocorrer que ao longo do tempo a vedação não seja adequada, ocorrendo entrada de ar no tubo, e com isso, alterado a tensão gerada. Pode, também, ocorrer o ressecamento da borracha ao longo do tempo de uso. Assim, recomenda-se substituir as rolhas de borracha a cada ciclo vegetativo ou então quando identificar defeitos.

De modo geral, a manutenção de tensiômetros no campo ocorre em função de problemas de funcionamento identificados por: a) leituras discrepantes das condições visuais de umidade no solo, como por exemplo, solo seco e tensiômetro indicando baixa tensão; b) leituras discrepantes entre tensiômetros instalados na mesma condição; c) ausência de água na parte superior do tubo mesmo após a realização de uma irrigação ou recolocação de água. Nestas situações, deve-se seguir os seguintes procedimentos:

- Retirar o ar presente na cápsula porosa e no interior do tensiômetro conforme recomendado no item “Instalação de Tensiômetros”.
- Retirar a tampa do tensiômetro, completar o volume de água e fechar a tampa.

Caso, no dia seguinte, o tensiômetro não volte a funcionar corretamente, este deve ser substituído por outro devidamente preparado.

Para a retirada do tensiômetro do solo, tanto para a substituição, como para conclusão do manejo de irrigação no pomar, sempre é recomendável que o solo esteja úmido. A retirada dos tensiômetros em condições de solo seco predispõe a quebra da cápsula porosa, além de poder danificar outras partes do equipamento.

Após concluído o uso dos tensiômetros no pomar, estes devem ser armazenados devidamente limpos. Para isso, deve-se deixar a parte do tubo de PVC que estava em contato com o solo e a cápsula porosa dos tensiômetros imersos em água sanitária entre 5 e 7 dias. Após esse período, a cápsula porosa deve ser lavada com água e, em seguida, mergulhada em um recipiente com água limpa. O tubo e o vacuômetro devem ser limpos com pano úmido. Deve-se, também, eliminar as partículas de solo, algas e mucilagens da parte interna do tubo, através de escova de cerdas macias. Após secos, os tensiômetros devem ser devidamente acondicionados e armazenados.

Durante o preparo, a instalação e a manutenção do tensiômetro devem-se evitar o contato direto da cápsula porosa com as mãos, pois a gordura da mão pode reduzir a molhabilidade da cápsula e prejudicar a sensibilidade de resposta do tensiômetro.

Referências

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 3, p. 829-834, set. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029>.

BORTOLINI, D. **Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina**. 2016. 238 p. Tese. (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**, 13th ed. New Jersey: Prentice- Hall, 2002. 960 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; FIORAVANÇO, J. C.; ANTONIOLLI, L. R. Fertirrigação da cultura da macieira. In: NACHTIGALL, G. R. (ed.). **Inovações tecnológicas para o setor da maçã - Inovamaçã**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. p.199-218.

COSTA, A. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 424 p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, v. 15, n. 6, p.1633-1635, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01633>.

IBGE. **PAM - Produção Agrícola Municipal**. Culturas temporárias e permanentes. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados/>. Acesso: em 29 jul. 2024.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Embrapa Hortaliças. Circular técnica, 57). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/780870>. Acesso em 29 jul. 2024.

NACHTIGALL, G. R. Irrigação e fertirrigação em pomares de macieira nas condições do sul do Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 13., 2018, São Joaquim, SC. **Anais [...]**. São Joaquim, SC: Senafrut, 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1098019>. Acesso em: 17 jul. 2024.

VAN GENÜCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept. 1980. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>.

