

Capítulo 7

Seleção do método de irrigação

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
João Carlos Ferreira Borges Júnior

Introdução

O método de irrigação ideal é aquele que possibilita o aumento da produtividade das culturas, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução do risco e que garanta a rentabilidade da atividade agrícola, com o menor dano ao ambiente e atendendo, ainda, às peculiaridades sociais e políticas locais. Dessa forma, a seleção do método de irrigação mais adequado é o resultado do ajuste entre as condições existentes e os diversos tipos de irrigação disponíveis. Em muitos casos, não será possível a escolha do método ideal. Deve-se, todavia, procurar aproximar ao máximo desse objetivo, mesmo que isso implique num processo evolutivo ou realizado por etapas. Portanto, o conhecimento das características dos diversos tipos de irrigação disponíveis é essencial, mas não suficiente para que se possa proceder a uma escolha inteligente. É preciso conhecer o local onde o sistema de irrigação será implantado, as características institucionais e de viabilidade econômica do empreendimento, além de questões sociais e ambientais. Os fatores físicos do projeto são facilmente levantados, mas aqueles relacionados à interação homem-sistema de irrigação costumam ser relegados.

Um tipo de limitação econômica que pode afetar a decisão, por exemplo, é a pequena capacidade de investimento do cliente, o que recomendaria que o investimento inicial do projeto fosse reduzido, a despeito de o gasto posterior com a operação ser maior. Os objetivos sociais do empreendimento podem ser a geração de empregos, o estímulo à permanência do agricultor na terra e o aumento da oferta de produtos agrícolas. Na questão ambiental, além

de respeitar as leis vigentes de proteção ambiental e de uso da água, deve-se atentar para o impacto da irrigação ao ambiente. Questões como a necessidade de manter certa qualidade da água a jusante do projeto e de preservar as matas ciliares ajudam a definir o método e as culturas a serem plantadas.

Alguns métodos de irrigação requerem a manutenção de equipamentos mais sofisticados ou especiais, como válvulas automáticas e controles eletrônicos. A disponibilidade de assistência para os componentes do sistema deve ser considerada, bem como a disponibilidade de mão de obra treinada para operá-los. O usuário do sistema deve ter discernimento suficiente para, pelo menos, identificar problemas e buscar assistência em tempo hábil, de forma a não afetar as lavouras.

A disposição dos usuários dos sistemas para trabalhar em cooperação deve ser considerada quando se tenciona projetar sistemas com estruturas comuns, como estações de bombeamento e canais. Deverá haver também disponibilidade para se compartilhar trabalho, custos e políticas de desenvolvimento e de controle ambiental.

O nível de conhecimento da mão de obra que vai lidar com os componentes do sistema deve ser considerado. Se há escassez de mão de obra qualificada, devem-se considerar métodos mais simples de operar e de manter ou mesmo o treinamento das pessoas envolvidas.

Vários aspectos dos métodos de irrigação, com implicações institucionais, devem ser considerados, ressaltando-se:

- **Divisibilidade:** capacidade de ser compartilhado para atender a vários usuários e áreas de diferentes formas e tamanhos.
- **Complexidade de manutenção:** que nível de manutenção o método requer, se o próprio usuário pode executar, se requer um profissional local mais qualificado, se requer uma oficina ou mesmo uma empresa especializada para dar manutenção.
- **Risco às culturas:** refere-se ao risco de ter a cultura afetada pela quebra de um componente; em geral, sistemas mecanizados têm maior risco de quebra que os de superfície.
- **Facilidade de operação:** alguns sistemas como os de aspersão convencional são muito simples de operar, quando comparados com um sistema de gotejamento subsuperficial.
- **Necessidade de mão de obra:** alguns sistemas, como o de sulcos, requerem muita mão de obra, quando comparados com um pivô central, que é semiautomático.
- **Robustez:** refere-se à durabilidade do sistema; alguns métodos, como os de superfície, são menos vulneráveis, enquanto outros podem parar totalmente e são frágeis, como os de irrigação localizada.

Fatores influenciadores na seleção do método de irrigação

Os fatores que podem afetar a seleção do método de irrigação são, sobretudo, aqueles relacionados ao dimensionamento do sistema, tais como: culturas, fonte de água, qualidade da água, condições da área a ser irrigada, clima, suprimento de energia e fatores econômicos.

Culturas

Na seleção do método de irrigação, é importante saber quais culturas serão cultivadas na área, bem como as práticas culturais que serão empregadas. Deve-se observar também o tipo de

cultura, a facilidade de germinação, as doenças foliares, o efeito do microclima na cultura e as práticas culturais comuns, como cultivos, fertilizações e aplicações de herbicidas. Saber se haverá rotação de cultura e quais culturas farão parte dessa rotação é uma informação extremamente importante na escolha do método. Isso porque, alguns métodos podem ser bons para uma cultura, mas não para a seguinte. Algumas culturas, por exemplo, são muito susceptíveis a doenças causadas pelo molhamento das folhas, o que limita a prática de alguns métodos.

Fonte de água

As principais fontes de água para irrigação são rios, lagos, barragens, açudes, canais ou redes de tubulações comunitárias e poços profundos (Figura 1). Vários fatores devem ser considerados na análise da adaptabilidade da fonte para irrigação, entre os quais a distância da fonte ao campo, a necessidade (ou não) de bombeamento, a altura em que a água deve ser bombeada, se for o caso, o volume de água disponível (no caso de lago ou reservatório), a vazão da fonte no período de demanda de pico da cultura, a confiabilidade do suprimento de água e a frequência e duração do suprimento, além da qualidade da água. O volume de água disponível deve atender à necessidade sazonal de água da cultura (no caso de lago ou reservatório), e a vazão da fonte deve suprir a demanda durante todo o ciclo, principalmente durante o período de pico de consumo.

Fontes com vazões pequenas, mas contínuas e confiáveis, são adequadas para sistemas de irrigação por aspersão ou localizada, ao passo que suprimentos de água em grande quantidade, mas com pouca frequência, servem para o uso de métodos de superfície.

Em geral, fontes de água com frequência e vazões de distribuição rígidas limitam o uso de métodos de irrigação mais eficientes. Da mesma forma, perímetros com a distribuição de água pouco confiável limitam a seleção das culturas e afetam a rentabilidade da atividade agrícola.



Figura 1. Fontes de água para irrigação indicando uma barragem de terra (A) e um canal de irrigação (B).

Qualidade da água

A qualidade da água, com relação à presença de sais, poluentes e materiais sólidos, deve ser analisada. Essas informações são essenciais para a escolha do método e para o dimensionamento dos sistemas.

Para casos em que a fonte de água é salina em regiões semiáridas, alguns métodos são mais apropriados por facilitar a lixiviação dos sais, se corretamente dimensionados e manejados. Água com alta relação entre sódio mais magnésio e cálcio pode afetar a estrutura do solo e, conseqüentemente, a taxa de infiltração. Em outro extremo, a água muito pura pode também reduzir a capacidade de infiltração de muitos solos, o que afeta a irrigação com alguns métodos.

Algumas culturas são sensíveis a certos íons, como sódio, boro e cloreto. A variação da concentração desses íons ao longo do ano deve ser avaliada para que se possa realizar a escolha correta das culturas e dos métodos a serem empregados.

Águas com concentrações de agroquímicos acima do limite permitido podem contaminar os produtos, o solo e mesmo a água percolada ou drenada da área. Cuidados especiais devem ser tomados nesse caso, para que se possam diluir os efeitos. O mesmo cuidado vale para águas com contaminantes biológicos. O nível de con-

taminação pode estar abaixo dos limites, mas a informação vai ajudar na escolha do método. Pode-se evitar, por exemplo, a utilização da irrigação por aspersão em hortaliças quando a água tem algum resíduo biológico. É possível, em alguns casos, realizar o tratamento da água antes da utilização para evitar tais problemas.

Os contaminantes físicos podem causar problemas em bombas, filtros, válvulas, tubulações e emissores. Uma análise do tipo e teor de contaminação é requerida para a escolha e o dimensionamento do sistema de irrigação.

Condições da área a ser irrigada

Dados da forma da área, obstruções, topografia, risco de enchente, profundidade do lençol freático e parâmetros do solo são essenciais para a escolha do método e dimensionamento do sistema.

A forma da área e as obstruções devem ser consideradas e anotadas nos mapas. A presença de construções, de redes hidráulicas e elétricas no interior ou nas bordas da área pode afetar a escolha do método. Redes enterradas, por exemplo, limitam a altura de corte do solo para sistemas de superfície que requerem nivelamento do terreno. Redes elétricas aéreas podem afetar os sistemas mecanizados como pivôs, ramal rolante e sistemas lineares. Se as bordas da área ou os prédios internos não podem receber

água, sistemas especiais, com aspersores setoriais, por exemplo, devem ser dimensionados.

A topografia do terreno pode influenciar decisivamente a escolha de um método. Áreas planas, com poucas irregularidades e uniformes, após pequenas regularizações da topografia, permitem a escolha de métodos de superfície. Áreas muito desuniformes em termos topográficos podem limitar o tamanho dos campos em alguns sistemas de superfície. Dados topográficos são fundamentais na escolha dos métodos de irrigação.

Outro dado importante é a profundidade do lençol freático. Locais planos com lençol raso e onde não há problemas de sais podem ser subirrigados. Em outras situações, a profundidade do lençol vai ditar a cultura a ser plantada. Se existe o risco de o lençol subir com o tempo, métodos com menor percolação de água devem ser considerados. Um possível sistema de drenagem artificial poderá ser considerado se a drenagem natural não for suficiente.

Finalmente, há que se levantar se existe risco de enchentes na área. Algumas culturas não toleram encharcamento, mesmo que seja temporário. Da mesma forma, alguns métodos de irrigação não suportariam enchentes, sobretudo aqueles que contenham componentes elétricos ou eletrônicos. Alguns métodos de superfície podem tolerar enchentes, desde que com pequena velocidade da água, que não causariam problemas sérios na superfície do solo que foi sistematizado.

Clima

Além dos aspectos de precipitação e requerimento de água, discutidos em outros capítulos, que definem a necessidade ou não de irrigar, outros parâmetros climáticos são necessários para a seleção do método. Entre esses outros dados devem-se considerar a temperatura do ar, o risco de geada, a umidade relativa e a velocidade do vento. Se a irrigação, além de proporcionar água para as plantas, for empregada para a proteção contra geada, para reduzir o efeito do

calor nas plantas ou para manter certo nível de umidade relativa no ar, essas informações devem ser anotadas para ajudar na escolha futura. Alguns tipos de cultivo, especialmente aqueles relacionados com ambientes protegidos, requerem informações extras das condições climáticas internamente.

Suprimento de energia

A maioria dos métodos de irrigação requer alguma fonte de energia para bombear a água e controlar os equipamentos. A disponibilidade, qualidade e confiabilidade da fonte de energia devem ser levantadas. A potência disponível, as variações de tensão e o número e a duração dos períodos de interrupção, no caso de energia elétrica, são informações valiosas na seleção do método e da cultura a ser cultivada. Em locais onde há frequentes interrupções de energia, métodos de irrigação que tenham frequência de irrigação alta e muitos equipamentos eletroeletrônicos devem ser evitados.

Outras fontes de energia, como diesel, gás natural, solar e eólica, devem ser consideradas e terem seus custos computados. Há uma tendência de se estimular o uso de energias renováveis, como solar (Figura 2) e eólica, sobretudo para pequenas irrigações. Usinas termoeletricas, que utilizam biomassa como fonte de energia, também têm potencial para serem empregadas na irrigação.

Fatores econômicos

Enquanto vários fatores têm uma grande importância na escolha do método mais adequado para uma dada situação, a maioria deles, senão todos, têm implicações econômicas.

Os dados econômicos a serem levantados são aqueles necessários para se proceder uma análise econômica detalhada após a pré-seleção dos métodos. Eles podem estar relacionados ao local ou à área onde o sistema será implantado ou ao método de irrigação com potencial para ser selecionado.



Foto: Primate's World Relief and Development Fund

Figura 2. Bombeamento de água em Fazenda de Tamil Nadu, na Índia.

Os parâmetros econômicos relacionados ao local são aqueles que não dependem, exclusivamente, do sistema de irrigação, mas são necessários para se determinar a eficiência econômica do empreendimento. Incluem-se aí taxa de juros, custo da mão de obra e da energia, taxa de inflação, custo da água, da terra e retorno econômico de cada cultura.

Os dados econômicos dependentes do sistema de irrigação são aqueles afetados pelos componentes de cada método e, portanto, são específicos para cada um. Incluem-se custo dos componentes, vida útil, necessidade de mão de obra e de energia e custo de manutenção.

Considerando todos os sete fatores apresentados anteriormente (culturas, fonte de água, qualidade da água, condições da área a ser irrigada, clima, suprimento de energia e fatores econômicos), na Tabela 1 são listados aqueles

mais importantes e suas relações com os métodos de irrigação, e é indicado que tipo de influência cada um tem na escolha de certo método. Essa tabela pode auxiliar um estudo de pré-seleção, somando-se os pontos obtidos para os diferentes métodos. Os métodos mais viáveis seriam aqueles para os quais forem obtidas as maiores pontuações, devendo-se, também, observar a não ocorrência de restrições severas em relação a um determinado fator. A tabela não é definitiva e deve ser empregada apenas como um guia, já que as informações nela contidas são generalizadas.

Pré-seleção dos métodos

Uma vez que os objetivos do empreendimento forem claramente estabelecidos e que os dados do local forem levantados, o processo de seleção pode prosseguir. O conhecimento da região é fundamental nessa fase. Cuidados devem ser tomados para evitar que métodos, com alguma chance de serem adequados, sejam eliminados em função da experiência em outras regiões e situações diferentes. Na dúvida, o método deve ser incluído na lista dos promissores.



A pré-seleção é feita comparando as características e potencialidades de cada método com os objetivos do empreendimento e com as condições do local onde será instalado. Aqueles métodos que não atenderem aos objetivos esperados e não se enquadrarem nas exigências físicas do local devem ser eliminados.

A Tabela 1 pode servir de guia para eliminar aqueles métodos cuja inadequação, para atender aos objetivos do empreendimento e do local onde será implantado, seja óbvia.

Dimensionamento dos sistemas e análise econômica

Se a lista dos métodos pré-selecionados é grande, uma primeira análise não muito detalhada

Tabela 1. Fatores que afetam a seleção do método de irrigação: (0) indica nenhuma influência na seleção, (1) indica possíveis razões para a preferência e (-1) indica possíveis razões para a escolha de algum outro método⁽¹⁾.

Fator	Método de irrigação													
	Superfície					Localizado			Aspersão					
	Sulcos	Sulcos mecanizados ⁽²⁾	Faixas	Tabuleiros	Tabuleiro com inundação contínua	Microaspersão	Gotejamento ⁽³⁾	Fita gotejadora ⁽⁴⁾	Sistema linear	Pivô central	Autopropelido	Ramal rolante	Convencional	Convencional fixo
Tipo de cultura														
Culturas anuais, porte alto e médio ⁽⁵⁾	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	0
Culturas anuais, porte baixo, espaçamento largo ⁽⁶⁾	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	-1	-1	0
Culturas anuais, porte baixo, espaçamento pequeno ⁽⁷⁾	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	0	0
Forrageiras de porte alto	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	-1
Pastagens e forrageiras de porte baixo	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	0	0
Arroz	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	0	-1
Batata	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	0	0	1
Olerícolas sensíveis ao molhamento do dossel	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Demais olerícolas	0	0	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	-1	1	1	1
Frutíferas de porte baixo ⁽⁸⁾	0	0	0	0	-1	1	1	-1	0	0	0	-1	0	1
Frutíferas de porte alto ⁽⁹⁾	0	0	0	0	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1
Café	0	0	0	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	0	0
Cana-de-açúcar	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	-1	0	0
Rotação, clima e mecanização e tratos culturais														
Rotação de culturas	0	0	0	1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	-1	0	0
Modificação do microclima	-1	-1	-1	0	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
Mecanização e tratos culturais	0	0	0	-1	-1	0	0	1	0	0	0	-1	-1	0
Condições da área														
Áreas irregulares	0	0	0	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	0	0
Obstruções na área	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	-1	0	0
Lençol freático alto	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Topografia ondulada, solos rasos	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Declividades elevadas	0	0	0	-1	-1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Solos pedregosos, declividade elevada	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	1
Solos arenosos, alta taxa de infiltração	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Fator	Método de irrigação													
	Superfície					Localizado			Aspersão					
	Sulcos	Sulcos mecanizados ⁽²⁾	Faixas	Tabuleiros	Tabuleiro com inundação contínua	Microaspersão	Gotejamento ⁽³⁾	Fita gotejadora ⁽⁴⁾	Sistema linear	Pivô central	Autopropelido	Ramal rolante	Convencional	Convencional fixo
Solos de textura média, taxa de infiltração moderada	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solos pesados, baixa taxa de infiltração	0	0	0	0	1	0	0	1	-1	-1	-1	0	0	0
Solos altamente não uniformes	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Solos com baixa capacidade de retenção de água	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Solos salinos	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	0	0	-1	-1	-1	0
Solos com problemas de drenagem	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Solos muito erosíveis	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	0	0	-1	0	0	0
Solos com baixa capacidade de sustentação	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
Suprimento de água														
Água subterrânea	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Água superficial, suprimento flexível	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	1	0	1	0
Água superficial, suprimento rígido	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Água superficial, suprimento contínuo	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Suprimento com vazão e turno não confiáveis	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
Alta carga de sedimento	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
Alta carga de matéria orgânica	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
Alta salinidade	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Águas servidas (esgoto semifiltrado)	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0
Vazão elevada	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Vazão pequena	0	0	-1	-1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Clima														
Altas precipitações	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Precipitações limitadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altas temperaturas, úmido	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Altas temperaturas, seco	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Muito vento	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Geadas	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Fator	Método de irrigação													
	Superfície					Localizado			Aspersão					
	Sulcos	Sulcos mecanizados ⁽²⁾	Faixas	Tabuleiros	Tabuleiro com inundação contínua	Microaspersão	Gotejamento ⁽³⁾	Fita gotejadora ⁽⁴⁾	Sistema linear	Pivô central	Autopropelido	Ramal rolante	Convencional	Convencional fixo
Energia														
Escassa e pouco confiável	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
Tarifa diferenciada no período noturno	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Fatores sociais e institucionais														
Mão de obra pouco qualificada	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Dificuldade de obtenção de peças de reposição	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
Dificuldade de assistência técnica	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Pouca disponibilidade de mão de obra	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	-1	-1	1
Potencial para automação	-1	0	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
Potencial para vandalismo	1	0	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
Pequena habilidade com manejo de irrigação	0	-1	0	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
Geração de emprego	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	-1
Fatores econômicos														
Baixa capacidade de investimento	0	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	-1
Elevada capacidade de investimento	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
Acesso a crédito	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
Preocupações com o meio ambiente e saúde														
Adequação da área e mobilização do solo	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Uso de agroquímicos	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Propensão à proliferação de mosquitos	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Propensão à ocorrência de esquistossomose	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

⁽¹⁾ Com modificações para a realidade brasileira. ⁽²⁾ Entende-se por sulcos mecanizados aqueles que empregam redução de vazão, vazão intermitente (*surge flow*) e tubo janelado com cabo (*cablegation*). ⁽³⁾ Refere-se a sistemas de gotejamento providos de laterais com paredes espessas. ⁽⁴⁾ Refere-se a sistemas de gotejamento providos de laterais com fitas ou tripas com paredes de pequena espessura. ⁽⁵⁾ Exemplo: milho, sorgo, algodão, girassol. ⁽⁶⁾ Exemplo: feijão, soja. ⁽⁷⁾ Exemplo: trigo, cevada, aveia. ⁽⁸⁾ Exemplo: parreira, goiabeira, maracujazeiro, entre outras. ⁽⁹⁾ Exemplo: mangueira, citros, bananeira, entre outras.

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1999).

deve ser realizada visando reduzir a lista. Se a lista é pequena, procede-se com o dimensionamento dos sistemas e uma posterior análise completa.

Uma vez dimensionados e listados todos os componentes dos sistemas mais promissores, uma análise econômica completa deve ser realizada, levando-se em consideração as restrições impostas pelos objetivos do empreendimento.

Seleção final

A seleção final deve ser realizada levando-se em consideração todos os fatores nas etapas descritas anteriormente. Devem ser identificados aqueles sistemas que melhor atendem aos objetivos de desenvolvimento do projeto, sejam eles institucionais, sociais, econômicos ou de adaptação às condições do local. Como na pré-seleção já se eliminou aqueles métodos que não atendem às condições não econômicas, a decisão final vai depender da análise dos sistemas que proporcionem melhor benefício líquido ou que proporcionem melhor retorno ao investimento.

Em alguns casos, haverá uma escolha simples e direta. Todavia, em outros casos, mais de um sistema atenderá aos objetivos do projeto de forma razoável. Nesse caso, deve-se reavaliar o dimensionamento do sistema de irrigação e considerar os riscos envolvidos em sua operação. Modificações no sistema de bombeamento, adutoras, tipo de tubulação e de emissores podem reduzir custos operacionais, embora aumentem custos de investimentos. Também, deve-se selecionar aquele método que seja mais confiável ou que seja mais simples de operar, se os usuários assim o desejarem.

Em todos os casos, a decisão final deve ser tomada em conjunto com o cliente, a quem devem ser apresentadas as vantagens e limitações, custos e benefícios dos diferentes métodos em apreço.

Descrição dos principais métodos de irrigação

Há um grande número de métodos de irrigação disponíveis hoje, capazes de atender às mais diversas condições de solo, clima, cultura, disponibilidade de água e energia e requisitos sociais, econômicos e institucionais. Os métodos de irrigação foram agrupados em quatro categorias: superfície, localizada, aspersão e subirrigação, as quais podem ser subdivididas conforme as características peculiares dos diferentes métodos.

Irrigação por superfície

A característica principal dessa categoria de métodos de irrigação por superfície é que ela emprega o solo como meio de transporte para a água. As características do solo controlam a lâmina infiltrada; logo, como essas características mudam com o tempo, fica impossível prever, com precisão, a lâmina de irrigação aplicada. O manejo da irrigação é feito em campo e requer muita experiência do operador para que as eficiências de irrigação e de aplicação de água¹ e a uniformidade de distribuição² sejam adequadas.

Há basicamente dois grupos de métodos de irrigação por superfície: com água parada e com água em movimento. Nos métodos com água parada, a lâmina de irrigação cobre toda a superfície do solo. Nos métodos com água em movimento, é requerido, geralmente, escoamento superficial, para fora da área, ou empoçamento no final da área para garantir a infiltração da lâmina pretendida no trecho final da área irrigada.

¹ Eficiência de aplicação de água é a relação entre a lâmina de irrigação desejada, que pode ser para repor o déficit de água no solo, e a lâmina de água efetivamente aplicada.

² Uniformidade de distribuição que pode ser a do menor quarto (DU), que é a relação entre a lâmina média infiltrada no menor quarto do campo e a lâmina média infiltrada em todo o campo, ou a uniformidade de distribuição absoluta (DUa), que é a menor lâmina infiltrada dividida pela lâmina média infiltrada em todo o campo (Walker, 1989).

Bacia ou tabuleiro em nível

É o método empregado para aplicar água em uma área plana cercada por diques. O volume de água necessário para repor certa lâmina de irrigação é rapidamente aplicado de uma única vez em uma área fechada, onde não ocorre escoamento superficial na parte mais baixa. A água fica empoçada na superfície só pelo tempo necessário para infiltrar no solo. Pode ser empregado com culturas anuais de espaçamento médio (milho, sorgo, algodão) ou pequeno (arroz, trigo, aveia, alfafa) e mesmo com culturas perenes, como fruteiras (Figura 3).

Variações nesse método incluem bacias planas e bacias com pequenos sulcos ou canteiros. Bacias planas são plantadas com culturas que podem tolerar um encharcamento temporário, como alfafa, trigo, sorgo, algodão, cevada, arroz e variedades apropriadas de milho. Esse método facilita a aplicação de grande quantidade de água de uma única vez, o que é desejável quando há problemas de salinidade no solo. Culturas perenes também podem ser cultiva-

das tanto nas bacias planas, quanto naquelas com canteiros.

Bacias com sulcos ou canteiros são utilizadas com culturas que não toleram inundação, mesmo que temporária. São adequadas também quando se deseja aplicar pequena lâmina de irrigação para germinar sementes nos canteiros. Culturas como hortaliças, melão, algodão, milho, batata e beterraba podem ser cultivadas nas bacias com canteiros, principalmente se estas são pequenas.

Esses métodos são mais eficientes em áreas com solos uniformes, bacias niveladas de forma precisa e com a fonte de água com altas vazões relativas ao tamanho da bacia. O nivelamento preciso da área da bacia é crucial para o manejo adequado da irrigação nesse método, pois reduz os problemas de inundação em pontos isolados e propicia melhor uniformidade de distribuição da irrigação. Operações de nivelamento podem ser realizadas com equipamentos dotados de laser ou GPS para orientação de cortes e aterros (Figura 4).

Foto: Jeff Vanuga (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



Figura 3. Tabuleiro irrigando a cultura de citros.

Foto: Jeff Vanuga (United States
Department of Agriculture - Usda, Natural
Resources Conservation Service - NRCS)



Figura 4. Sistematização de área empregando equipamento de nivelamento a laser.

Em regiões com alta precipitação e solos pouco permeáveis, as bacias devem ser dotadas de um sistema de drenagem superficial para evitar danos às culturas que não toleram encharcamento.

O tamanho das bacias pode variar de alguns metros quadrados até 10 ha a 15 ha, dependendo da topografia, textura do solo, taxa de infiltração, profundidade do horizonte A do solo, vazão da fonte de água, tipo de cultura e outras práticas culturais. Para solos com altas taxas de infiltração, o comprimento da bacia pode ser de cerca de 100 m. Para solos com taxa de infiltração intermediária, o comprimento da bacia pode chegar a 400 m. Para solos pesados, com baixas taxas de infiltração, um sistema de drenagem é necessário. Bacias de comprimento menor possibilitam melhor uniformidade de distribuição de água. A largura da bacia pode ser ajustada à vazão disponível para permitir o avanço rápido da água e, assim, proporcionar melhor uniformidade.

Tabuleiro com inundação contínua

Neste método, que pode ser considerado uma variação do método Tabuleiros em nível, uma lâmina d'água é mantida cobrindo a superfície do solo durante todo o tempo. O suprimento pode ser contínuo ou intermitente. É o método típico empregado para a cultura do arroz inundado (Figura 5); melhor adaptado para

condições de solo com baixa taxa de infiltração e lençol freático alto. A vazão da fonte de água deve ser elevada no momento de enchimento dos tabuleiros, embora possa ser reduzida, subsequentemente, para uma vazão suficiente para manter uma lâmina cobrindo a superfície do solo no tabuleiro.

O tamanho e a forma dos tabuleiros são ditados pelas condições de topografia da área e variabilidade da textura do solo. Todavia, os diques devem ser de preferência paralelos para facilitar a mecanização e o nivelamento. Os tabuleiros podem ser totalmente em nível, o que permite que uma lâmina de água de igual altura seja mantida em toda a área. Isso é uma vantagem para a cultura do arroz inundado. Eles podem também ser construídos com pequena declividade para permitir que o arroz seja cultivado na época das chuvas e outra cultura possa ser plantada no período seco. Nesse caso, os diques podem ser removidos ou realocados e sulcos ou canteiros podem ser construídos para propiciar a irrigação de culturas que não toleram encharcamento constante. O nivelamento é crucial para que se possa obter boa uniformidade de distribuição da irrigação, e um sistema de drenagem deve ser construído para que se possa remover excesso de água na época das chuvas e enxugar a área para a colheita.

Tabuleiro com inundação intermitente

É uma variação do método Tabuleiro com inundação contínua, no qual um sistema de drenagem remove a água da bacia após o tempo necessário para infiltrar a lâmina requerida pela cultura. Isso permite que culturas que toleram um encharcamento temporário sejam cultivadas nas áreas de arroz inundado, possibilitando, assim, a sucessão de culturas (Figura 6). Aplica-se a locais com solos de baixa capacidade de infiltração e não muito bem nivelados. Requer uma fonte de água de alta vazão e permite a lixiviação de sais, quando isso é necessário.



Figura 5. Arroz irrigado por tabuleiro em nível em área plana do Brasil (A) e em área montanhosa da China (B).



Figura 6. Experimento de milho (A) e soja (B) plantados em sucessão ao arroz inundado na região Sul do Brasil.

Faixas

Consiste em uma faixa de terra com declividade muito pequena na direção transversal e maior no sentido longitudinal, delimitada por camalhões para evitar o espalhamento da água. Os camalhões laterais podem ser paralelos ou não, a depender da topografia da área. A largura da faixa depende da declividade transversal do terreno e o comprimento depende da capacidade de infiltração de água do solo e da vazão da fonte de água.

A superfície do solo é inundada temporariamente. O método é mais adequado para culturas perenes, como pastagem, parreira e outras fruteiras (Figura 7), ou semiperenes, como alfafa, as quais têm o limite de esgotamento de água no solo aproximadamente constante ao longo do ciclo.

Há basicamente três variações desse método: faixas em contorno; faixas sistematizadas; e fai-

xas guiadas morro abaixo. Faixas em contorno acompanham as curvas de nível do terreno e são, geralmente, estreitas e quase nunca retas. Em geral, pouca sistematização do terreno é requerida. Faixas sistematizadas são preparadas com uma declividade constante ao longo do seu comprimento e, por isso, requerem mais movimento de terra. É o método mais moderno de irrigação por faixas no qual equipamentos a laser ou com GPS podem ser empregados para sistematizar o terreno. As faixas guiadas morro abaixo são empregadas quando o solo é raso e a topografia não é uniforme. A irrigação é feita no sentido do maior declive, o que requer que culturas que cobrem bem o solo, como pastagens, sejam empregadas.

O dimensionamento e, sobretudo, o manejo da irrigação no método de faixas é o mais complicado entre todos os métodos de irrigação.

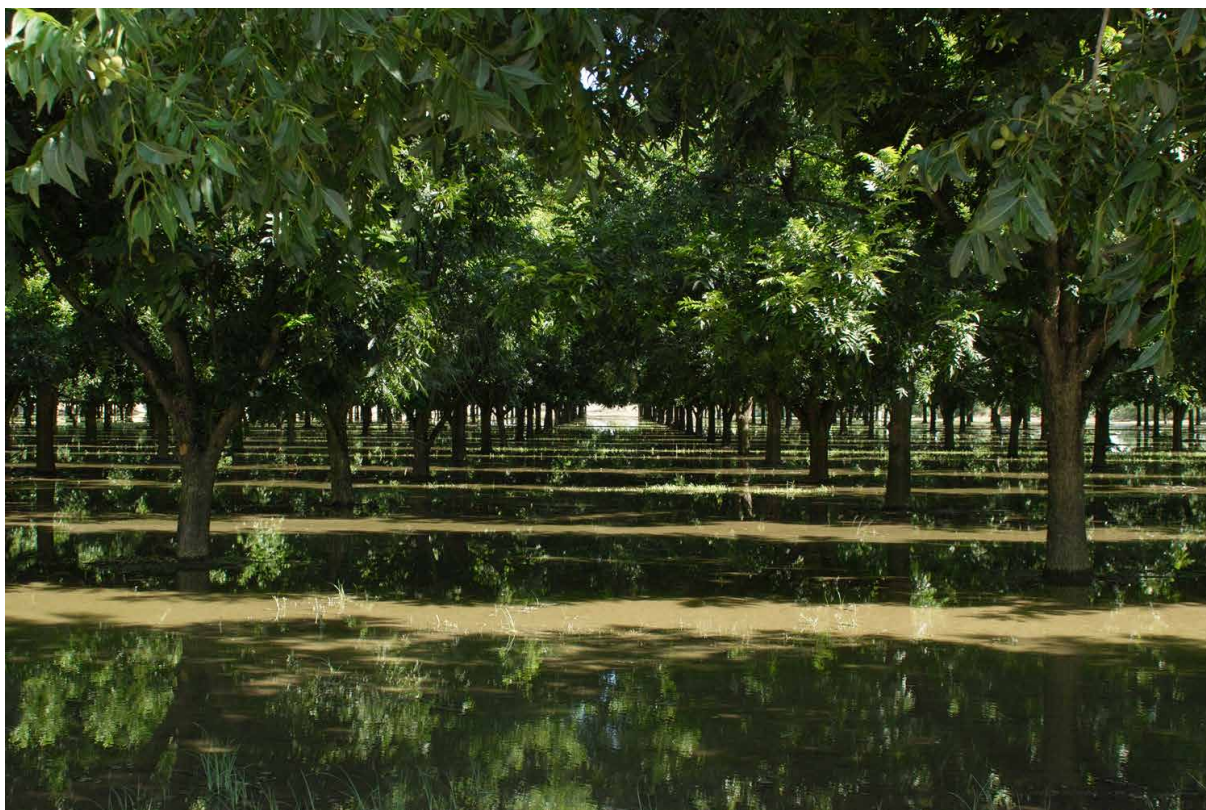


Foto: Dick Lyon

Figura 7. Irrigação por faixa em pomar noqueira pecã.

Sulcos

Este método consiste em utilizar sulcos abertos na superfície do solo para conduzir a água e permitir o umedecimento do solo até a profundidade desejada (Figura 8). A água é deixada fluir pelos sulcos até que a lâmina adequada de irrigação seja aplicada no final da área. Isso implica que ocorre um excesso de irrigação no início dos sulcos e, possivelmente, um déficit

no final, além de perdas por escoamento se não houver um mecanismo de reaproveitamento da água.

É mais adaptado a culturas anuais em linha e pomares, embora possa ser utilizado com outras culturas, como hortaliças. A forma e o espaçamento entre sulcos podem variar muito para atender às exigências das culturas e aos tratos culturais. Sulcos podem ser planejados e exe-



Fotos: Jeff Vanuga (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)

Figura 8. Sulcos após primeira irrigação (A) e em lavoura de alface sendo irrigada (B).

cutados de forma a evitar o molhamento das plantas ou o umedecimento total da superfície do solo, quando isso for desejável para certas culturas.

O comprimento dos sulcos pode variar, geralmente, de 60 m a 600 m, dependendo da velocidade de infiltração da água e erosividade do solo e da vazão aplicada na cabeceira do sulco, embora sulcos curtos possam ser empregados em algumas situações. A vazão de cada sulco, com declividade de 0 a 2%, pode variar de $0,2 \text{ L s}^{-1}$ a 2 L s^{-1} . A declividade na direção perpendicular aos sulcos pode chegar a 5%, desde que se empreguem dispositivos especiais para evitar erosão no canal de cabeceira, como tubos janelados e revestimento associado ao uso de sifões (Figura 9).

O método se aplica a solos com as mais variadas velocidades de infiltração, menos os extremos, como os muito porosos ou muito pouco permeáveis. A uniformidade é melhor quando a capacidade de infiltração é similar ao longo da direção dos sulcos. Melhores uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação são obtidas quando se tem flexibilidade de vazão e tempo de fornecimento da fonte de água e se faz uso de mecanismos de reúso da água, redução de vazão nos sulcos, vazão intermitente (*surge flow*) e dispositivos de automação, como tubos janelados comuns e tubos janelados com cabo (*cablegation*).

O método requer sistematização do terreno tanto quanto os métodos de tabuleiros ou faixas descritos anteriormente. Áreas sistematizadas com auxílio de equipamentos a laser ou GPS geralmente permitem a obtenção de boa uniformidade de distribuição da irrigação.

A disposição dos sulcos no campo, em relação à declividade do terreno, permite a acomodação do método a diversas situações. Os sulcos podem ser retos em nível, o que favorece a uniformidade de distribuição de água. Podem ser retos em declive, com comprometimento da uniformidade, risco de erosão e piora da eficiência de aplicação de água. Sulcos em contorno se ajustam melhor a áreas com declividade mais acentuada em uma direção, mas requerem algum tipo de controle da água no canal de cabeceira para evitar erosão. Podem também ser em ziguezague ou contornar covas, em terrenos com baixa velocidade de infiltração, cultivados com culturas perenes (Figura 10).

Pode-se empregar pouca ou muita mão de obra na operação e ser bom ou ruim em termos de uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação de água. Algum tipo de automação no fornecimento da água aos sulcos pode ser utilizado, o que reduz o uso de mão de obra, mas torna mais cara a implantação. Sistemas sistematizados a laser ou com GPS e com mão de obra treinada e experiente em operação podem ser tão eficientes quanto os pressurizados. Como nos sistemas de sulcos, os fatores que

Foto: Horace G.



Foto: Dan Ogle (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)

Figura 9. Tubo janelado em lavoura de cana-de-açúcar na Austrália (A) e sifões irrigando gramínea nos EUA (B).

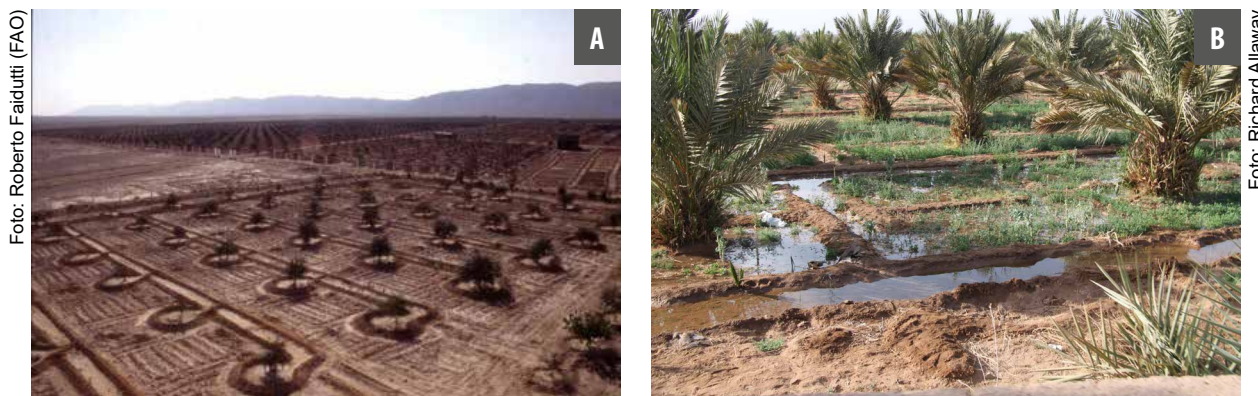


Figura 10. Sulcos contornando covas de oliveira na Síria (A) e irrigando tamareiras no Marrocos (B).

afetam a uniformidade e eficiência da irrigação variam com o tempo. A experiência do operador é crucial para se obterem bons resultados.

Corrugação

Este método é uma variação do método de sulcos, e, por isso, a ele se aplicam os mesmos princípios de operação e automação. Os sulcos são mais rasos, mais próximos e locados na direção de maior declividade da área. Podem ser empregados em áreas com declividade longitudinal maior que no método de sulcos se o comprimento for curto, uma vez que empregam pequenas vazões não erosivas. Pode ser empregado em áreas de topografia irregular e com maior declividade onde a sistematização do terreno não seria prática.

Adaptável a culturas de espaçamento pequeno, sendo que os pequenos sulcos podem ser construídos antes ou depois do estabelecimento das plantas. Como nesse método as glebas são geralmente pequenas, ele requer pequenas vazões da fonte de água. Práticas modernas de automação e manejo da irrigação são mais difíceis de ser implementadas com esse método, em razão da dificuldade de sistematização do terreno.

Drenos em contorno

Este é um método de irrigação bastante rústico. Drenos são construídos aproximadamente em contorno. Para irrigar a área abaixo dos drenos,

uma pequena barragem ou contenção é colocada para bloquear o fluxo de água no dreno fazendo-o transbordar (Figura 11). Não se faz qualquer sistematização da área, o que implica em pouco gasto na implantação desse método. É empregado em locais onde o custo da água é baixo, como nos vales em que a água é proveniente do degelo da neve. A superfície do solo deve estar coberta por vegetação, geralmente pastagem ou forragem para feno. Quando não há água suficiente, a cultura é deixada em dormência.

Requer pouca mão de obra para ser operado e a eficiência e uniformidade da irrigação são, geralmente, muito baixas.



Figura 11. Dreno em contorno para irrigação de milho no México.

Vantagens da irrigação por superfície

- Muito pouco equipamento é, geralmente, empregado nos métodos de superfície.

- Menor investimento inicial para a maioria dos solos e topografia.
- Água com impurezas físicas pode ser empregada normalmente, pois não há necessidade de filtragem.
- Uniformidade e eficiência de irrigação podem ser altas se a correta combinação de condições for empregada, como em solos uniformes de textura média a pesada, excelente sistematização do terreno, fonte de água de alta vazão e com possibilidade de variação da vazão, reúso da água de escoamento superficial e excelente manejo do sistema.
- Na maioria dos casos, não requer bombeamento da água de suprimento, mas requer o bombeamento da água de escoamento superficial para reúso.
- Pode requerer pouca mão de obra para operação, caso se reúnam as condições adequadas, como fonte de água de grande vazão e possibilidade de variação da vazão, reúso da água de escoamento.
- Maior flexibilidade para superar eventuais problemas de interrupção das operações.

Limitações da irrigação por superfície

- Alguns métodos de irrigação por superfície, para permitirem a aplicação de água de forma eficiente e uniforme, requerem excelente sistematização do terreno, e isso é difícil de obter em pequenas glebas, comuns na maior parte do mundo, em razão da dificuldade de operação das máquinas.
- A uniformidade da irrigação depende em grande parte da uniformidade do solo na gleba.
- Nos métodos de superfície, é difícil aplicar uma pequena lâmina de irrigação uniformemente.
- O manejo da irrigação nos métodos de superfície é difícil, pois as propriedades de infiltração de água do solo variam com o tempo;

ademais, requer experiência do operador e boa base de dados históricos de cada gleba.

- A irrigação por superfície é uma arte que requer do projetista e do operador conhecimento, prática e muita habilidade.

Fatores influenciadores na escolha dos métodos de superfície

Nos tópicos seguintes, serão analisados os fatores que afetam a escolha dos métodos de superfície.

Culturas

Teoricamente, qualquer cultura pode ser irrigada por métodos de superfície. Todavia, para se obter boa uniformidade de distribuição de água, as lâminas mínimas de irrigação devem ser superiores a 50 mm, o que pode não ser adequado para culturas como hortaliças e algumas fruteiras, que requerem irrigações leves e frequentes. Culturas com sistema radicular profundo são mais facilmente irrigadas por métodos de superfície que permitem a aplicação rápida de grandes lâminas de água.

Algumas culturas como batata, citros e fumo não toleram o solo saturado por muito tempo e, portanto, não devem ser irrigadas por alguns dos métodos de superfície. Entretanto, sistemas de irrigação por sulcos podem ser projetados para umedecer, sem saturar a zona das raízes de culturas, como a batata (Figura 12). A cultura



Foto: Mario Marzot (FAO)

Figura 12. Sulcos curtos em plantação de batata.

do arroz, todavia, responde muito bem ao encharcamento e, quando o solo o permitir, deve ser preferencialmente irrigada por inundação.

Culturas plantadas em linha com espaçamento adensado ou semeadas a lanço, como espécies forrageiras, podem ser irrigadas por faixas, corrução ou drenos em contorno. Culturas que ocupam parcialmente a superfície do solo são mais eficientemente irrigadas com o método de sulco.

Um aspecto importante a observar é a rotação de culturas. O método selecionado deve atender a todas as culturas envolvidas no sistema de produção.

Solos

Métodos de superfície são mais adequados a solos com velocidade de infiltração de água entre 12 mm h^{-1} e 70 mm h^{-1} . Não se recomenda irrigar, com métodos de superfície, solos com velocidade de infiltração nos extremos dessa faixa. De uma forma geral, os solos de textura arenosa apresentam alta velocidade de infiltração e baixa capacidade de retenção de água e devem ser irrigados preferencialmente por métodos pressurizados. Um grande equívoco é generalizar que os solos de textura argilosa têm baixa velocidade de infiltração e alta capacidade de retenção de água. Os solos sob Cerrado se comportam de forma diferente do que, no passado, se difundia nos livros, sobretudo os internacionais.

Em solos com horizontes A e B pouco espessos, devem-se evitar métodos que requerem sistematização rigorosa do terreno para evitar a exposição de horizontes de baixa fertilidade. Alguns métodos de superfície devem ser evitados em solos com problemas de salinidade e nos pedregosos.

Topografia e condições da área

A declividade ideal para métodos de superfície é de 1%, em que se pode sistematizar o terreno sem gasto excessivo e sem expor horizontes do

solo pobres em fertilidade. Todavia, alguns métodos de superfície, como sulcos em contorno e com tubos janelados, podem ser acomodados em terrenos com declividade de até 5%. Há uma tendência nos países desenvolvidos em substituir os sistemas de irrigação por superfície, implantados em áreas com declividade acima de 1%, por métodos de aspersão e localizada.

A presença de obstrução na área (voçorocas, rochas, construções, etc.) dificulta a implantação de métodos de superfície, assim como áreas de formato e declividades irregulares.

Suprimento e qualidade da água

Os métodos de superfície, em geral, requerem grandes vazões com baixa frequência, embora reservatórios possam ser construídos na área para propiciar maior flexibilidade e confiabilidade quanto ao suprimento de água.

A altura de bombeamento de água deve ser considerada na seleção do método de irrigação. Sistemas de superfície não são recomendados para situações em que se devem bombear grandes volumes de água por desníveis elevados. Da mesma forma, em situações em que o custo da água é elevado, deve-se dar preferência para métodos em que a eficiência de aplicação é menos dependente do manejo.

Métodos de superfície podem operar razoavelmente bem com água ou solo salino, principalmente aqueles que proporcionam altas taxas de percolação, como nos tabuleiros e nas faixas. Problemas com salinidade podem ocorrer; todavia, com o método de sulcos quando canteiros são construídos na área ou no método de faixas dotados de camalhões longitudinais. Esses problemas podem ser minimizados com técnicas especiais de plantio. Uma vantagem dos métodos de superfície é que neles a água salina não entra em contato direto com a folhagem das plantas, o que minimiza os problemas de queima pelo sal. Da mesma forma, a presença de patógenos, nocivos à saúde humana, pode ser tolerada mediante a escolha

adequada de alguns métodos de superfície, como sulcos e faixas, para irrigar culturas frutíferas, para produção de fibras e algumas anuais, mas nunca hortaliças para consumo in natura (Figura 13).



Figura 13. Irrigação por faixa num plantio de álamo (*Poplar*), empregando águas residuárias.

Águas com elevada concentração de sólidos em suspensão, que poderiam ser problemáticas para sistemas de irrigação localizada, podem perfeitamente ser utilizadas nos métodos de superfície. Não se pode descuidar da questão da outorga de água, que deve ser obtida antes do projeto ser implantado.

Clima

Exceto em grandes áreas irrigadas por tabuleiros ou faixas, o efeito do vento é desprezível nos métodos de superfície. Em regiões áridas e semiáridas, a evaporação direta da água acumulada em tabuleiros pode ser significativa e deve ser considerada no dimensionamento. Métodos que umedecem toda a superfície do solo (tabuleiros, faixas) também favorecem a evaporação da água do solo em comparação com aqueles que umedecem parcialmente (sulcos, corrugação, tabuleiros com canteiros).

A estratégia de manejar a irrigação de forma a deixar o solo com uma reserva para absorver a água de chuva é muito difícil de ser aplicada em sistemas de superfície, que normalmente permitem a aplicação de grandes lâminas de irrigação por vez.

Em alguns países, os métodos de superfície são empregados para umedecer o solo antes de geadas, tornando-os mais escuros e, assim, favorecer o armazenamento de calor absorvido durante o dia. Entretanto, em regiões muito quentes, os métodos que mantêm a água acumulada na superfície, como nos de tabuleiros, permitem o abaixamento da temperatura do ar e do solo, reduzindo danos à cultura do arroz.

Eficiência

A eficiência de aplicação de água nos métodos de superfície varia muito com as condições locais de solo, topografia, flexibilidade no suprimento de água, forma da área que, de alguma forma, restringem o dimensionamento do sistema e, posteriormente, do manejo da irrigação. Sob condições ideais, quando bem projetados e operados, a maioria dos métodos apresenta eficiência potencial de aplicação de água elevada. Todavia, tais condições ocorrem com menos frequência. Na prática, a eficiência de aplicação de água varia de 40%, no método de drenos em contorno, a 80%, nos métodos de faixas sistematizadas e tabuleiros com inundação contínua. O método de sulco, quando totalmente automatizado em locais de suprimento flexível de água, pode atingir uma eficiência de aplicação de cerca de 75%.

Quanto maior e mais flexível for a vazão de suprimento de água e mais automatizado for o sistema, inclusive com reúso da água de escoamento superficial, maior será a chance de alcance das melhores eficiências.

Manejo da irrigação

O manejo científico da irrigação é muito mais complicado e difícil de ser implementado nos métodos de superfície que nos de aspersão e localizada. O solo, e não os aspersores ou emissores, é que controla a lâmina de água aplicada. Como a velocidade de infiltração de água do solo nos métodos de superfície varia com o tempo e com as condições da superfície do solo, fica difícil prever o tempo necessário para

infiltrar a lâmina de água requerida pela cultura em toda área. Para complicar, em razão de a taxa de infiltração ser elevada num solo recém-preparado, é praticamente impossível aplicar uma lâmina pequena de irrigação para suprir um menor requerimento de água pelas culturas anuais no início do ciclo.

O manejo da irrigação nos métodos de superfície é uma arte. Só a experiência e a observação de campo poderão dar confiança ao operador para irrigar de forma eficiente.

Necessidade e qualidade da mão de obra

Os métodos de superfície mais grosseiros, como os drenos em contorno, não necessitam de mão de obra muito treinada, ao passo que os sistemas mais mecanizados e automatizados requerem pessoal treinado para operar. O requerimento de mão de obra será tanto menor quanto maior for a vazão de projeto e mais flexível for o suprimento de água, melhor sistematizado for o terreno e melhores forem as estruturas para distribuição de água (por exemplo, comportas automáticas e tubos janelados com válvulas solenoides), dentre outros fatores.

Os métodos de irrigação por superfície têm sido utilizados com sucesso por agricultores mais primitivos do mundo, enquanto os sistemas pressurizados requerem algum treinamento.

Disponibilidade de assistência técnica

A disponibilidade de equipamento a laser ou GPS para orientar a sistematização do terreno e de válvulas, comportas e tubos, empregados na mecanização dos sistemas, pode ditar a escolha de um método. Terrenos sistematizados a laser ou com GPS e sistemas automatizados potencialmente podem proporcionar melhor eficiência de aplicação de água e requererem menos mão de obra. Em países subdesenvolvidos, há certa dificuldade de se contar com esse tipo de assistência, o que torna esses métodos menos eficientes na aplicação da irrigação.

Fatores econômicos

O custo de projetos de irrigação por superfície varia muito com as condições do local onde serão implantados. Se o terreno é plano, requer pouca sistematização de terra; e, se a fonte de água estiver localizada em ponto mais elevado e for de fácil captação, os custos de implantação dos métodos de superfície costumam ser menores que os de aspersão e localizada.

À medida que aumenta a complexidade do projeto, contemplando barragem para captação da água, canais de distribuição, estruturas de controle, de derivação e de reúso da água, o custo dele aumenta, embora, potencialmente, se possam conseguir melhores eficiências de aplicação de água.

Os custos de energia também são dependentes das condições do projeto. Se houver necessidade de bombeamento da água da fonte e desta para as áreas a serem irrigadas, os custos de operação serão maiores quando comparados com os dos sistemas de distribuição totalmente por gravidade. Para situações em que se faz o reúso da água, há necessariamente um custo de bombeamento envolvido, a não ser que a água seja prontamente aproveitada a jusante de uma área inicialmente irrigada.

Os custos da mão de obra dependem do grau de automação do sistema e das características do projeto. Projetos com suprimento flexível de água (água disponível quando necessário) e de grande vazão, canais revestidos, comportas e válvulas automáticas e estrutura para reúso da água, geralmente, requerem menos mão de obra. Nesse caso, um homem pode cuidar de cerca de 200 ha a 400 ha. Os métodos de tabuleiros com inundação contínua ou não, sulcos e corrugação mecanizados são os que requerem menos mão de obra (0,1 a 0,25 homens-hora por hectare, por irrigação), enquanto os métodos mais grosseiros, como drenos em contorno e sulcos tradicionais, necessitam de mais pessoas para serem operados (até 6,2 homens-hora por hectare, por irrigação).

Os custos de manutenção se limitam ao renivelamento de terreno e reparo em canais, comportas, válvulas, tubulações e drenos. Alguns métodos requerem que as estruturas internas da área, como canteiros, sulcos e camalhões, sejam refeitos várias vezes ao ano, entre irrigações e entre cultivos diferentes. A manutenção de drenos de terra é muito mais cara do que de canais revestidos e tubulações. Um projeto de irrigação por superfície pode, aparentemente, ser mais barato para ser implantado, mas poderá demandar custos elevados de manutenção e operação (Figura 14). Como regra geral, pode-se considerar que métodos de irrigação de custo inicial elevado são mais recomendados para culturas de maior valor econômico.

Fatores humanos e sociais

A escolha do método de irrigação deve levar em consideração fatores como a geração de emprego, a produção local de alimentos e a utilização de equipamentos produzidos localmente. Se há incentivo ou restrição para algum desses fatores, isso deve ser levado em consideração na escolha do método. Em regiões de agricultura familiar, com pouco acesso a crédito, os métodos de irrigação por superfície costumam ser bem aceitos.

Diversos fatores humanos de difícil justificativa técnica podem influenciar a escolha do método. Em regiões com tradição no uso da irrigação por superfície, verifica-se uma grande resistên-

cia dos irrigantes para trocarem para métodos mecanizados, pressurizados ou semiautomáticos. Há uma tendência de se aceitarem as inconveniências dos métodos de superfície como inevitáveis, o que dificulta a introdução de novas técnicas.

Fatores ambientais

Os impactos ambientais dos métodos de irrigação devem ser considerados na seleção do método. No passado, era muito comum a implantação de projetos de irrigação por superfície em várzeas, sem levar em consideração os aspectos ambientais, sobretudo o habitat natural da fauna. Hoje, as leis ambientais devem ser respeitadas, incluindo os limites das áreas de proteção dos cursos d'água e das nascentes.

Outro ponto importante é a erosão e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Em alguns países, há leis que regulam a questão do escoamento superficial e da erosão nos métodos de irrigação por superfície. De uma forma geral, os métodos de superfície são potencialmente mais propensos a causar problemas ambientais ligados à erosão e à contaminação das águas superficiais e subterrâneas, uma vez que a eficiência de aplicação da água é, comumente, baixa.

Irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizada permitem irrigações frequentes, mantendo o solo com



Figura 14. Limpeza de drenos e canais com máquina (A) e manual (B).

teor de água próximo à capacidade de campo, beneficiando, assim, culturas que respondem a essa condição. A água é aplicada apenas na área adjacente às plantas. Empregam-se emissores instalados na linha de irrigação ou em um prolongamento da linha, cuja vazão pode variar de 0,5 L a 120 L por hora. Os emissores podem ser do tipo gotejadores individuais ou lineares, como os tubos porosos e as tripas ou do tipo microaspersores (Figura 15), que podem ser fixos, como os sprays, ou móveis com bailarinas. A fração da área molhada pode variar de 20% a 80%, podendo chegar a 100% em alguns casos.

Os sistemas de irrigação localizada são, quase sempre, fixos, o que permite total automação das operações, incluindo a fertirrigação, reduzindo-se, dessa forma, os custos com mão de obra na operação. Alguns sistemas permanecem fixos na mesma gleba durante uma safra, mas podem ser removidos para outra área na safra seguinte.

Esses métodos requerem que a água seja filtrada (Figura 16) para evitar o entupimento dos emissores, o que onera o custo de implantação dos sistemas. Dependendo da qualidade da água, há ainda a necessidade de aplicação de produtos químicos via água para minimizar o problema de entupimento dos emissores,

sobretudo dos gotejadores. Fertilizantes e alguns defensivos podem ser aplicados via água de irrigação (Figura 16), com potencial para aumento da produtividade das culturas, mas com perigo de contaminação do solo e da água subterrânea.

Por ter custo elevado, os métodos de irrigação localizada são recomendados para culturas de alto valor econômico e maior espaçamento entre plantas. O tipo de solo e a cultura a ser irrigada é que, geralmente, ditam o tipo de irrigação localizada que dever ser empregada. Se há necessidade de controle de geadas, o método da microaspersão com cobertura total pode ser recomendado. Culturas de espaçamento pequeno entre plantas na linha, como café e algumas hortaliças, se adaptam melhor ao gotejamento do tipo fita ou tripa. Sistemas de microaspersão não funcionam bem em culturas que apresentam uma saia fechada junto ao solo; no entanto, são adequados a solos muito arenosos e para culturas de espaçamentos largos, como da manga e da banana.

Gotejamento

No sistema de gotejamento, a água é aplicada com baixas vazões ($0,5 \text{ L h}^{-1}$ a 10 L h^{-1}) de forma

Foto: Marcelino Ribeiro



A

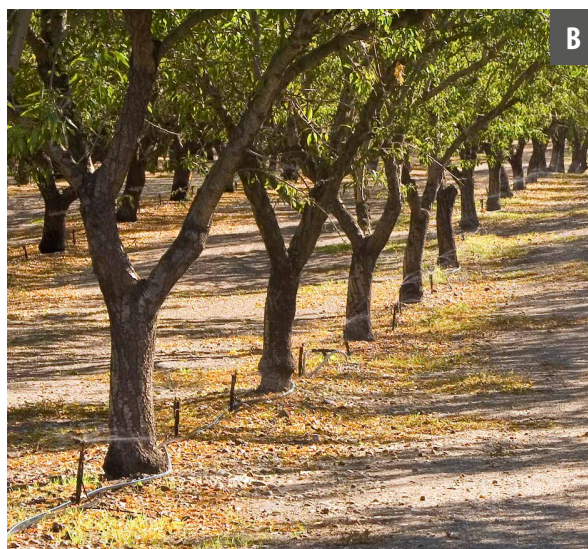


Foto: Jeff Vanuga (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)

Figura 15. Gotejador na cultura do melão (A) e microaspersor em pomar de amêndoas (B).

Foto: J. M. Villarreal (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



Foto: Cássio Sampaio Pupo Nogueira (empresa Terra Molhada Irrigação)

Figura 16. Bateria de filtros de areia de um sistema de irrigação localizada (A) e injetor de agroquímicos do tipo venturi (B).

pontual na superfície do solo. Para tal, empregam-se laterais de polietileno (mangueiras) com diâmetro de 16 mm a 30 mm e comprimento, normalmente, de 100 m a 200 m, que são dispostas ao longo das linhas de plantio da cultura. A espessura da parede dos tubos usados como laterais varia muito, dependendo da durabilidade esperada e se o sistema será enterrado ou não. Para culturas permanentes, como pomares e café, geralmente são utilizadas laterais de parede mais grossa, de maior durabilidade. Já para culturas anuais e hortaliças, é comum o emprego de laterais de parede fina, chamadas de fitas ou tripas, cuja durabilidade é de uma a duas safras apenas.

Os gotejadores são instalados sobre a linha, no prolongamento da linha ou podem ser manufaturados na parede do tubo como nas fitas (Figura 17). Há, basicamente, dois tipos de gotejadores, os de labirinto e os de compensação de pressão. Por não terem partes móveis, os de labirinto são mais baratos, duráveis e costumam entupir menos, pois as passagens da água são maiores. Os autocompensantes são dotados de um mecanismo que mantém a mesma vazão no gotejador para diferentes pressões na linha lateral, o que permite o uso de laterais mais longas e de menor diâmetro. Esse tipo de gotejador costuma apresentar maior coeficiente de variação da vazão e ter a durabilidade reduzida; é, portanto, necessário estabelecer claros critérios de garantia quando da aquisição do sistema.

Um ou mais gotejadores por planta podem ser instalados nas laterais para permitir que se aplique a lâmina de irrigação necessária à cultura e também proporcionar o umedecimento mínimo do volume de solo na zona das raízes, requerido pela cultura em certo ambiente e tipo de solo. Em regiões semiáridas, esse volume mínimo é de 60%, enquanto em regiões úmidas, onde o gotejamento é suplementar às chuvas, volumes de solo úmido menores podem ser empregados (Figura 18).

Para culturas de espaçamento até 4 m, geralmente utiliza-se uma lateral por linha de cultura. Para culturas de espaçamento maior, é necessário utilizar duas laterais por fileira de plantas para que se obtenha o volume adequado de solo úmido. Em cultivos de uva, as laterais podem ser suspensas aproveitando o espalderamento, o que facilita os tratos culturais e reduz os danos a elas (Figura 19). Estudos demonstram vantagens para o uso de duas laterais por linha de videira, para que se possam alternar as irrigações e, assim, evitar o estresse do sistema radicular da cultura, favorecendo a qualidade dos frutos e também reduzindo a evapotranspiração.

O uso do método de gotejamento tem-se expandido consideravelmente nos cultivos de hortaliças, principalmente naquelas espécies que não toleram o molhamento das folhagens ou dos frutos. Em cultivos realizados em am-

Foto: Jisl

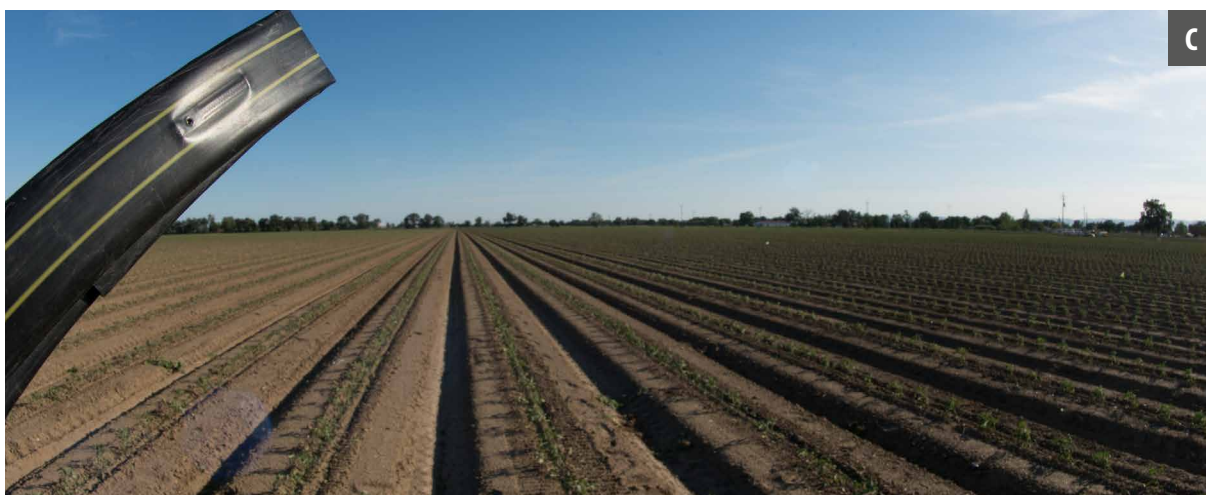


A



B

Foto: United States Department of Agriculture (Usda), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Montana



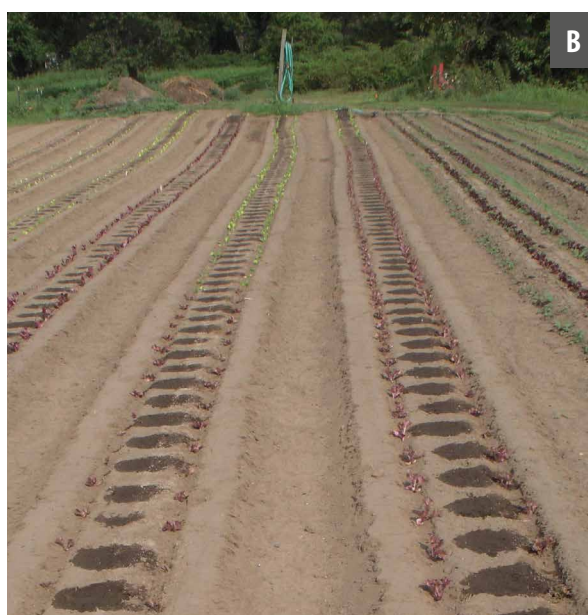
C

Foto: Lance Cheung (United States Department of Agriculture - Usda)

Figura 17. Gotejador sobre a linha de irrigação (A), no prolongamento da linha (B) e construído na parede da linha (C).



A



B

Fotos: Dwight Sipler

Figura 18. Sistema de gotejamento subsuperficial umedecendo parte da superfície do solo em lavoura de tomate (A) e de alface (B).

Foto: Tim McCabe (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



Figura 19. Sistema de gotejamento com linha lateral suspensa amarrada no espalderamento de parreira.

biente protegido e em vaso, utiliza-se gotejamento; em campo, é comum o uso de fitas ou tripas, que são laterais de parede muito fina com os gotejadores tipo labirinto construídos na própria parede da lateral (Figuras 17 e 20). O custo de instalação do sistema é menor em razão do menor custo das laterais e do sistema de filtragem menos exigente, uma vez que as laterais têm vida útil curta. As laterais costumam ser recolhidas ao final do ciclo das culturas de forma manual ou empregando-se equipamento acoplado ao trator. A durabilidade das laterais depende da espessura da parede do tubo, dos cuidados no manuseio e nos tratamentos culturais e da presença ou não de ventos fortes que podem danificar os tubos.

Nos últimos anos, expandiu-se consideravelmente o uso de fitas com furos construídos a laser em toda a sua extensão (Figura 21).

Foto: Goldlocki



A



B

Foto: United States Department of Agriculture (Usda)

Figura 20. Sistema de gotejamento para produção de tomate em estufa (A) e no campo (B).

São furos muito pequenos que requerem filtragem da água.



Foto: Anjari

Figura 21. Sistema de irrigação localizada com fita perfurada.

Gotejamento subsuperficial

Trata-se de uma variação do sistema de gotejamento convencional, usada desde a década de 1970 nos Estados Unidos, no qual toda a rede é enterrada, inclusive as laterais de irrigação (Figura 22). As principais razões para se optar por um sistema totalmente enterrado são a menor evaporação da água pela superfície do solo, menos plantas daninhas nas regiões semiáridas, menos umidade e, portanto, menos problemas de doenças para aquelas culturas mais suscetíveis e a possibilidade de tráfego e cultivar o solo em qualquer época e em qualquer direção. Na prática, nem todas essas vantagens são obtidas por causa de vários fatores. A água pode

Foto: Mark Meyer (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS, Texas)

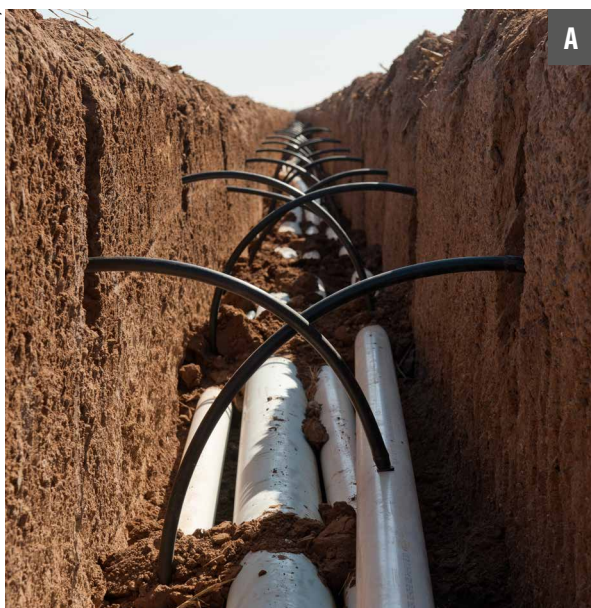


Figura 22. Laterais de irrigação por gotejamento subsuperficial (A) e detalhe do umedecimento em uma lavoura de tomate (B).



Foto: Lance Cheung (United States Department of Agriculture - Usda)

subir por capilaridade e umedecer a superfície quando a vazão dos gotejadores é elevada ou quando as laterais são enterradas muito rasas (Figura 18). A qualidade da água pode também afetar a condutividade hidráulica do solo e favorecer a ascensão da água para a superfície. Soluções para esses problemas têm sido praticadas, como o tratamento da água, o uso de emissores de baixa vazão, uso de irrigação pulsante a cada 30 minutos ou 1 hora. Outro problema é o rompimento das mangueiras das laterais pelas raízes das plantas perenes e a intrusão de raízes nos gotejadores, que pode ser minimizada com o uso de gotejadores impregnados com trifluralina (herbicida) ou a injeção de trifluralina na água de irrigação, de tempos em tempos.

Um complicador do sistema de gotejamento subsuperficial é a profundidade de instalação das laterais, que pode variar de 0,10 m a 0,75 m. Essa profundidade deve ser tal que as laterais não sejam danificadas pelo tráfego de máquinas, que não permitam o umedecimento da superfície, mas que proporcionem umidade

suficiente para a germinação de culturas anuais ou hortaliças.

Esse método pode ser empregado em culturas perenes, anuais e hortaliças. Deve-se ter mais cuidado para instalar o gotejamento subsuperficial em culturas já implantadas por causa do dano causado às raízes.

Os sistemas de gotejamento enterrado podem ser do tipo de uma safra ou permanentes. Nos sistemas de uma safra, as linhas principais e secundárias são permanentemente enterradas, o sistema de filtragem não é tão rigoroso, e as laterais são do tipo fitas ou tripas, enterradas entre 10 cm e 25 cm. As laterais são removidas ou descartadas ao final do ciclo das culturas ou são deixadas enterradas no solo, como em lavouras de cana. Na próxima safra, outras laterais são instaladas.

Os sistemas permanentes são cuidadosamente projetados para atender a várias culturas, geralmente hortaliças, com demandas de água, germinação, transplante e espaçamentos diferentes. As laterais de maior durabilidade (6 a 10 anos) são enterradas entre 20 cm e 40 cm.

Equipamentos especiais são empregados para cultivar o solo e incorporar restos culturais sem danificar ou mover as laterais enterradas. As principais culturas irrigáveis com esse método são hortaliças, mas está sendo utilizado para irrigar culturas anuais e gramados. No Brasil, há relatos de experiências bem-sucedidas com a irrigação subsuperficial nas culturas de tomate, milho, soja e cana-de-açúcar. Nas lavouras de cana, tem-se observado aumento considerável da produtividade e da longevidade do canavial.

Para a germinação de sementes e pegamento de mudas, costuma-se operar o sistema com pressões mais altas de forma a se ter maior vazão nos gotejadores e, assim, forçar o umedecimento da superfície do solo. Em algumas situações, todavia, há necessidade de um sistema auxiliar, geralmente, de aspersão móvel, para facilitar a implantação das culturas de hortaliças.

Um grande problema desse tipo de sistema é a detecção de entupimento que fica dificultada, sobretudo nos sistemas projetados para não umedecer a superfície do solo.

Microaspersão

Como o nome indica, nesse sistema, a água é aplicada por emissores rotativos ou fixos, com vazão entre 12 L e 120 L por hora e molhando um diâmetro de 2 m a 6 m (Figura 23). As laterais são geralmente de diâmetro maior e de comprimento mais curto que no método de

gotejamento, quando os microaspersores não dispõem de regulador de pressão. Para culturas de espaçamento pequeno, o custo dos sistemas de microaspersão é maior que o dos sistemas de gotejamento, sendo equivalente ou mais barato, todavia, para culturas de espaçamento mais largo, como manga, banana, mamão e citros (Figura 24). Em solos arenosos, quando se deseja um volume maior de solo úmido, os sistemas de microaspersão são mais vantajosos, bem como para culturas cujo sistema radicular é raso e se espalha lateralmente. Se projetado adequadamente, os sistemas de microaspersão podem ser empregados para controle de geada nas plantações (Figura 25). Os sistemas de microaspersão costumam ser mais simples de manter que os de gotejamento e, principalmente, que os de gotejamento subsuperficial.

Aparentemente, os sistemas de microaspersão requerem filtragem menos rigorosa da água, uma vez que os orifícios de passagem são maiores. Entretanto, em razão da alta velocidade de saída da água combinada com a presença de silte, vem sendo observado elevado desgaste dos bocais. Em culturas de porte baixo, como hortaliças, ou em pomares jovens, os microaspersores podem sofrer a influência do vento afetando a uniformidade de distribuição da água. A evaporação direta da água do jato e da superfície do solo também é maior nos sistemas de microaspersão, principalmente nos locais de clima seco. Além disso, por proporcionar um ambiente mais úmido, os sistemas de microas-

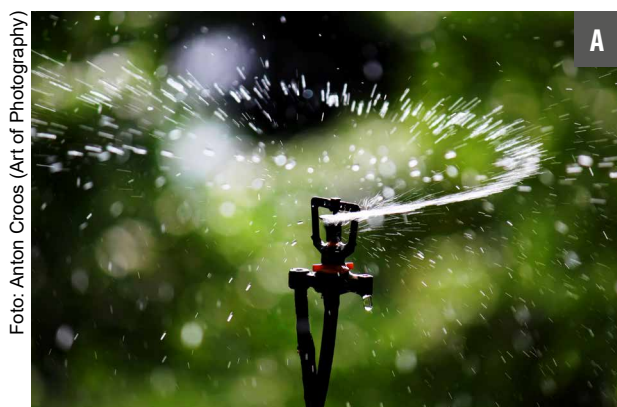


Figura 23. Microaspersor com bailarina (A) e do tipo spray setorial (B).



Foto: Cássio Sampaio Pupo Nogueira (empresa Terra Molhada Irrigação)

Figura 24. Microaspersão em pomar.



Foto: Joaquín Perales Martínez (Refor S.L)

Figura 25. Microaspersão para proteção contra geada em pomar.

persão podem favorecer o desenvolvimento de doenças em culturas mais sensíveis.

Vantagens da irrigação localizada

- Pode ser implantada em áreas de declividade elevada (Figura 26).
- Não requer qualquer tipo de sistematização do terreno, exceto quando drenagem superficial é necessária.
- É geralmente alta (acima de 93%) a uniformidade de distribuição de água, principalmente nos sistemas novos, bem projetados e com gotejadores autocompensantes.
- Permite a irrigação com alta frequência sem reduzir a uniformidade (ao contrário do que ocorre nos sistemas de superfície) e com menor perda por evaporação direta (comparado com aspersão).
- Pouco afetada pelo vento.
- Pode ser implantada em glebas de qualquer formato e não tem problemas de escoamento superficial.
- Fertilizantes podem ser aplicados de forma uniforme em qualquer estágio da cultura e com qualquer dose, o que, combinado com o maior umedecimento do solo, favorece o aproveitamento dos nutrientes.

Limitações da irrigação localizada

- A uniformidade de distribuição de água pode se reduzir rapidamente com o tempo por causa da filtragem e da operação inadequadas que causam o entupimento de emissores.
- Tanto no sistema superficial, quanto no subsuperficial, podem ocorrer danos nas laterais por roedores e pelas operações de cultivo e colheita (Figura 27).
- Em algumas situações, as gavinhas das próprias culturas irrigadas ou de plantas invasoras podem paralisar a bailarina de microaspersores (Figura 27).
- O potencial para uso mais eficiente de água e fertilizantes e otimização da produtividade existe, mas só poderá ser obtido se houver uma mudança de cultura dos irrigantes acostumados com outros sistemas, sobretudo no que diz respeito ao manejo da irrigação.
- As perdas de água por evaporação podem ser grandes nos sistemas de microaspersão que umedecem áreas maiores de solo nu.
- A fonte de água deve ser confiável e do tipo por demanda, com alta frequência de fornecimento; perímetros projetados para operar no sistema de rotação (muito comum no mundo e empregado para irrigação por superfície)



Vantagens e
limitações da
irrigação localizada

Fotos: Christian Fischer Johansson
(empresa Agronovedades, Chile)



Figura 26. Irrigação de pomar por gotejamento em área montanhosa, indicando detalhes de um plantio recente (A) e pomar estabelecido (B).



Fotos: Bruno Leite Teixeira Perroni

Figura 27. Lateral danificada por capina (A) e bailarina de microaspersor paralizada por planta invasora (B).

não atendem aos sistemas de irrigação localizada, a menos que reservatórios de água sejam construídos nas glebas ou que se faça uso de água subterrânea.

- Em razão da complexidade dos componentes, sobretudo dos sistemas automatizados, há necessidade de assistência técnica responsável, bem treinada e bem suprida de peças de reposição, o que, muitas vezes, é um problema nos países do terceiro mundo, principalmente quando os equipamentos são importados.
- Em regiões semiáridas, é possível que se necessite de um sistema auxiliar de aspersão para, de tempos em tempos, lixiviar sais; na época das chuvas, os sais acumulados na periferia dos bulbos molhados podem ser deslocados para a zona das raízes e afetarem as culturas.
- O custo inicial de implantação é, quase sempre, elevado.

Fatores influenciadores na escolha dos métodos de irrigação localizada

Nos tópicos seguintes, serão analisados os fatores que afetam a escolha dos métodos de irrigação localizada.

Culturas

Alguns aspectos relacionados às culturas, tais como tolerância ao molhamento do tronco e

das folhas, e propensão ao desenvolvimento de doenças em ambiente úmido, tanto no ar quanto no solo, devem ser considerados na seleção do método de irrigação localizada.

Algumas culturas como citros não toleram o molhamento do tronco. Nesse caso, para irrigá-las, deve-se empregar gotejamento, ou microaspersão com emissores setoriais. Algumas hortaliças, como tomate e pimentão, respondem melhor ao gotejamento que à microaspersão, uma vez que este último método pode criar ambiente úmido e propiciar o aparecimento de doenças.

Culturas de espaçamento mais largo, que requerem maior volume de solo úmido, são mais facilmente irrigadas com microaspersão. No Brasil, as culturas de mangueira e bananeira têm sido irrigadas de forma bem-sucedida com microaspersão. No entanto, a cultura do meloeiro tem sido adequadamente irrigada com gotejamento.

De uma forma geral, os métodos de irrigação localizada se adequam melhor às culturas de maior valor comercial, como fruteiras e hortaliças, e àquelas que ocupam parcialmente a superfície do solo e têm espaçamento mais largo.

Algumas pesquisas indicam que a videira, cultivada em regiões com estações úmida e seca bem definidas, reduz a produtividade e a qualidade dos frutos no período seco quando ocorre a morte das raízes que cresceram no

período chuvoso. Obviamente, os métodos que umedecem um volume maior de solo na zona das raízes seriam mais adequados para tal situação.

Solos

Os métodos de irrigação localizada têm sido empregados nos mais variados tipos de solo. Em solos muito arenosos, cultivados com plantas de espaçamento largo, deve-se dar preferência para a microaspersão, uma vez que seriam necessários muitos gotejadores para umedecer o volume requerido de solo. Em solos mais pesados, onde o movimento lateral da água é grande, pode-se utilizar gotejamento, sobretudo naqueles solos com baixa velocidade de infiltração de água. É possível irrigar com gotejamento solos com velocidade de infiltração tão baixa quanto 12 mm h^{-1} .

De uma forma geral, em solos com baixa capacidade de retenção de água, os métodos de irrigação localizada são mais eficientes que os de superfície e até aspersão.

Métodos de irrigação localizada também costumam apresentar bons resultados em solos salinos.

Topografia e condições da área

Os métodos de irrigação localizada são os mais adaptáveis às condições topográficas, podendo ser instalados em áreas com declividades de até 60% (Figura 26). Da mesma forma, esses métodos são facilmente ajustados a áreas irregulares e com obstruções, como prédios, voçorocas, rochas, etc.

Suprimento e qualidade da água

Os métodos de irrigação localizada requerem o suprimento praticamente contínuo de água, principalmente quando os sistemas são automatizados. Os perímetros de irrigação mais antigos foram projetados para fornecer água em um sistema de rotação, cuja frequência é, quase sempre, inadequada para os métodos de irri-

gação localizada. Isso limita sua modernização por meio da implementação da irrigação localizada. Uma forma de resolver esse problema é com a construção de reservatórios pulmão nos lotes ou a utilização de água subterrânea.

Quanto maior for a altura de recalque ou maior for o custo da água, mais eficiente deve ser o método de irrigação empregado. Nesse caso, os métodos de irrigação localizada levam vantagem.

Os métodos de irrigação localizada podem ser utilizados com água salina, uma vez que o solo é mantido mais úmido, o que reduz o estresse osmótico.

O gotejamento é extremamente sensível à presença de sólidos na água e, por isso, requer um sistema contínuo e rigoroso de filtragem. Em casos extremos, as impurezas da água são tais que inviabilizam os métodos de irrigação localizada por causa do custo das estruturas de filtragem. Nessas situações, é necessária a construção de reservatórios para sedimentar areia, silte, ou para oxidar óxidos de ferro e manganês, antes da filtragem convencional. Concentrações de ferro e manganês acima de 0,2 ppm podem causar entupimento de gotejadores, fazendo-se necessário o tratamento da água. Águas com elevada concentração de carbonatos de cálcio são problemáticas para os métodos de irrigação localizada, pois pode ocorrer a precipitação nas tubulações e, sobretudo, nos emissores expostos à evaporação da água.

Água com contaminantes nocivos à saúde humana pode ser empregada em sistemas de gotejamento, principalmente se as laterais forem enterradas, o que é mais difícil de ser operacionalizado com métodos de aspersão. Há uma tendência mundial de reutilização de água oriunda de estações de tratamento de esgoto doméstico e industrial. Esforços têm sido feitos para pesquisar a utilização desse tipo de água na agricultura ou para irrigação de parques e jardins, empregando-se, principalmente, o gotejamento.

Clima

Não se verifica efeito do vento no método de gotejamento e é mínimo na microaspersão, uma vez que os emissores são baixos e estão protegidos pelas plantas. A evaporação da água do solo depende do tipo de solo, da área molhada, da frequência da irrigação e da posição da área molhada em relação à incidência de luz. A evaporação costuma ser menor que nos métodos de aspersão e maior que em alguns métodos de superfície, como sulcos.

Eficiência

A indústria apregoa que os métodos de irrigação localizada são definitivamente os melhores em termos de uniformidade e eficiência de aplicação de água. Todavia, avaliações intensivas realizadas nos Estados Unidos têm demonstrado que altas uniformidades só são obtidas em sistemas cuidadosamente projetados, instalados e mantidos. Sistemas recém-instalados apresentam, geralmente, altos valores de uniformidade de distribuição (88% a 94%), enquanto sistemas mais antigos têm valores similares aos dos outros métodos (70% a 85%). As causas dessa baixa uniformidade são em razão da variação na vazão dos emissores decorrente de entupimento, variação de pressão dentro da área e escolha inadequada de emissores.

Quanto à eficiência de aplicação de água, em geral, os métodos de irrigação localizada apresentam valores maiores que os outros métodos, principalmente por permitirem o manejo mais acurado das irrigações, as quais podem ser realizadas a qualquer hora e por qualquer duração, além da limitação de vazão inerente ao sistema pressurizado.

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação nos métodos de irrigação localizada é o mais simples e preciso de todos. Qualquer quantidade de água, requerida pela cultura, pode ser aplicada com boa unifor-

midade. Em geral, há uma relação direta entre a lâmina a ser aplicada e o número de horas de funcionamento do sistema. As perdas por percolação são, quase sempre, pequenas.

Alguns irrigantes esperam grandes economias de água com os métodos de irrigação localizada, o que não vem ocorrendo na prática. A eficiência de aplicação de água anual observada tem sido em torno de 80% a 85% e nunca os 90% esperados. Isso tem levado muitos agricultores a aplicarem menos água que o requerido pelas culturas.

Ao contrário do que se prega, a evaporação da água da superfície do solo em pomares pode variar de 4% a 20% com alguns métodos de irrigação localizada. Já com culturas em linha, irrigadas por fitas, essas perdas são muito pequenas após o estabelecimento das culturas. Menores ainda são essas perdas nos métodos de gotejamento subsuperficial.

Necessidade e qualidade da mão de obra

Enquanto, nos métodos de aspersão e superfície, os problemas surgidos não requerem muita habilidade para se resolverem, nos sistemas de irrigação localizada há necessidade de mão de obra mais especializada.

Teoricamente, os métodos de irrigação localizada deveriam necessitar da menor quantidade de mão de obra, principalmente quando totalmente automatizados. Todavia, na prática, isso não acontece. Como os sistemas são dimensionados para operar com elevada uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação de água, qualquer erro na operação ou falha no sistema pode causar danos às culturas. Isso implica que deverá haver uma constante inspeção dos equipamentos para detectar falhas, especialmente nos sistemas mais antigos.

O conhecimento técnico sobre os sistemas de irrigação localizada deve ser elevado, tanto pelos agricultores como pelos operadores. Há necessidade, portanto, de constante treinamento e atualização das pessoas envolvidas, sobretu-

do quando se inicia a utilização desses métodos na fazenda.

Os sistemas de gotejamento enterrado são os que requerem mão de obra mais treinada, capaz de observar detalhes e detectar falhas que, muitas vezes, não estão visíveis. Mesmo os trabalhadores que não estão envolvidos diretamente com a irrigação devem ser treinados para evitar danos aos equipamentos na superfície, como em válvulas e nas laterais enterradas. Cuidados especiais devem ser tomados durante a colheita de certas culturas e durante tratamentos culturais, para evitar o colapso das laterais, principalmente quando estas são enterradas muito rasas.

Disponibilidade de assistência técnica

Um dos grandes desafios envolvidos na utilização dos métodos de irrigação localizada diz respeito à assistência técnica, principalmente nos países subdesenvolvidos. É crucial que haja, nas proximidades da fazenda, empresas capacitadas para dimensionar, vender e instalar esses sistemas. Como os sistemas de irrigação localizada são compostos por um grande número de componentes, muitos deles extremamente sensíveis, é fundamental que o projetista e o instalador sejam realmente capacitados.

Peças de reposição e pessoal treinado para identificar problemas e reparar os defeitos devem estar disponíveis a uma curta distância, pois, como foi mencionado anteriormente, a margem de segurança desses sistemas, em termos de armazenamento de água no solo, é muito pequena.

Fatores econômicos

Os métodos de irrigação localizada podem apresentar uma excelente relação custo-benefício em razão da economia com mão de obra, fertilização, água e melhoria na produtividade e qualidade dos produtos. Todavia, todos esses benefícios só são obtidos quando os sistemas são cuidadosamente projetados, instalados e mantidos.

Duas situações devem ser analisadas. A primeira consiste na conversão de métodos para irrigação localizada. Em muitos casos, a conversão não é viável economicamente em razão da perda dos investimentos já realizados com os métodos antigos. A segunda situação é quando se pretende instalar um sistema novo. Nesse caso, todos os cuidados já mencionados, com projeto, instalação e manutenção, devem ser tomados para se beneficiar das vantagens comparativas dos métodos de irrigação localizada. Há softwares específicos para dimensionamento otimizado e análise econômica de sistemas de irrigação.

O custo do investimento em sistemas de irrigação localizada varia muito com a localização da fazenda em relação aos fornecedores, com o tipo de cultura e com o grau de sofisticação do projeto. É mais barato implantar microaspersão em culturas de espaçamento mais largo que gotejamento. O inverso vale para culturas em linha, de espaçamento pequeno. Sistemas mais simples, com pouca automação, são mais baratos, embora requeiram mais mão de obra para operar e manter. Sistemas dotados de válvulas, filtros automáticos e dispositivos automáticos de quimificação são mais caros, mas requerem menos mão de obra para operar e menos cuidado para com a manutenção.

Um componente caro dos sistemas de irrigação localizada é o sistema de filtragem. Economizar no sistema de filtragem pode causar um problema sério de entupimento dos emissores. O rigor da filtragem depende da qualidade da água e do tipo de gotejador. Isso vale também para os dispositivos de quimificação. Com certos tipos de água, a injeção periódica de produtos químicos é crucial para evitar a formação de lodo nas tubulações, com consequente entupimento dos emissores. Esses custos devem ser considerados no estudo de viabilidade econômica.

Por permitir total automação, os métodos de irrigação localizada propiciam condições para economia com a conta de energia ao serem

operados em períodos fora dos horários de pico de consumo, sobre os quais incidem tarifas reduzidas. Como a eficiência anual de aplicação de água é, em geral, mais alta nos métodos de irrigação localizada e os sistemas operam com pressões baixas, há também uma economia em termos de consumo de energia. Há, todavia, que se fazer um balanço entre os custos com investimentos e os custos com operação do sistema. Economizar no investimento, tal como em bitola de tubos, pode implicar em gastos operacionais maiores com consumo e conta de energia.

Os gastos com mão de obra estão relacionados com a sofisticação do sistema. Sistemas dotados de mecanismos automáticos de filtragem, quimigação, limpeza das laterais e de controle de lâmina de irrigação requerem muito pouca mão de obra para operação. Se manutenções preventivas são realizadas, os gastos com inspeção, em geral, são mais reduzidos.

Há uma série de outros fatores que podem contribuir para aumentar os custos dos sistemas. Em algumas regiões, há necessidade do controle de roedores, pássaros, marimbondos e outros animais que apreciam, por alguma razão, os equipamentos, seja pela cor, pelo gosto ou pela temperatura.

Fatores humanos

Tal como foi mencionado para os métodos de superfície e também anteriormente, existem certos fatores humanos e sociais que devem ser levados em consideração quando da escolha da irrigação localizada. Todas as questões relacionadas aos incentivos, à geração de empregos e à produção local de equipamentos e alimentos devem ser consideradas à luz, principalmente, da disponibilidade de assistência técnica e custos.

Por serem sistemas com um grande número de componentes, sendo alguns deles sensíveis e complexos, os usuários e operadores devem ter um nível melhor de entendimento de todo o processo. A irrigação localizada é cara e funcio-

na diferente dos demais métodos. A sua adoção de forma intempestiva ou por modismo pode levar a grandes prejuízos e frustrações.

A conversão de um sistema simples de operar, como os de superfície, para a irrigação localizada deve ser feita gradativamente. Recomenda-se a instalação de pequenas áreas piloto, onde todas as pessoas envolvidas possam sentir as diferenças e aprenderem as peculiaridades desse tipo de irrigação. Deve-se evitar, a todo custo, as pressões comerciais e as promessas milagrosas.

Fatores ambientais

Os aspectos ambientais também devem ser levados em consideração na escolha dos métodos de irrigação localizada. Se utilizada de forma incorreta, a irrigação localizada pode afetar a qualidade nas águas subterrâneas. A implantação do método de gotejamento em solos muito arenosos pode aumentar o risco de contaminação e até de salinização das águas subterrâneas. Esse problema pode ser agravado quando se faz quimigação, especialmente em regiões semiáridas e com o lençol freático elevado. Nesse caso, o uso da microaspersão ou da aspersão pode ser mais adequado. Deverá haver, também, um maior rigor no dimensionamento e no manejo das irrigações para evitar a percolação excessiva de água, com consequente lixiviação de agroquímicos.

Se a irrigação tem outro papel além de fornecer água às plantas, como umedecer o ambiente ou abaixar a temperatura do ar ou do dossel, devem-se considerar os métodos de aspersão ou microaspersão, uma vez que o gotejamento não se prestaria para tal finalidade.

Irrigação por aspersão

Nos métodos de irrigação por aspersão, a água é aplicada no ar através de dispositivos chamados aspersores ou de furos na tubulação e cai sobre a cultura na forma de chuva. As tubulações que contêm os aspersores, chamadas

laterais, podem permanecer fixas quando irrigam ou se movimentarem continuamente no sentido longitudinal ou radial (Figura 28). Nos sistemas com laterais portáteis, após o término da irrigação numa certa posição, essas são mudadas para outra posição e permanecem nessa nova posição irrigando pelo tempo necessário.

Os aspersores podem ser basicamente do tipo tubo ou mangueira perfurada, impacto, rotor e spray, com variações para se adaptarem a diferentes condições e equipamentos (Figura 29). Os aspersores de impacto giram em torno da posição onde estão montados, aplicando água em uma área com formato circular ou parcialmente circular (aspersores setoriais). O jato de água, ao sair por um bocal, atinge um braço fazendo-o se deslocar contra a ação de uma mola, que, por sua vez, atua no braço na direção oposta e faz com que o braço retorne e se choque com um suporte. Isso faz com que o aspersor se desloque circularmente em peque-

nos ângulos. O diâmetro do círculo molhado depende do diâmetro do bocal, da pressão na base do aspersor, do desenho do aspersor e do ângulo do bocal. O jato pode sofrer influência do vento; e, quanto maior a pressão, menor o tamanho das gotas, menor o alcance e maior o efeito do vento.

Normalmente, o aspersor aplica mais água próximo ao ponto onde está localizado do que na periferia do círculo. Por isso, para que a uniformidade de aplicação de água seja adequada, há necessidade de superpor os círculos molhados. Isso é obtido instalando-se os aspersores na lateral com espaçamento menor que o diâmetro molhado deles, geralmente com uma superposição de 60% a 80% do diâmetro.

Os aspersores são classificados, de acordo com a pressão de operação, em:

- Baixa Pressão: 35 kPa a 100 kPa, diâmetro molhado de 6 m a 15 m, taxa de aplicação

Foto: Jeff Vanuga (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



A

Foto: Joel McNee (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



B

Foto: Carlos Timmermann Júnior (Irrigabrazil)



C

Foto: Gene Alexander (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resources Conservation Service - NRCS)



D

Figura 28. Irrigação por aspersão convencional móvel (A), ramal rolante (B), carretel irrigador (C) e pivô central (D).

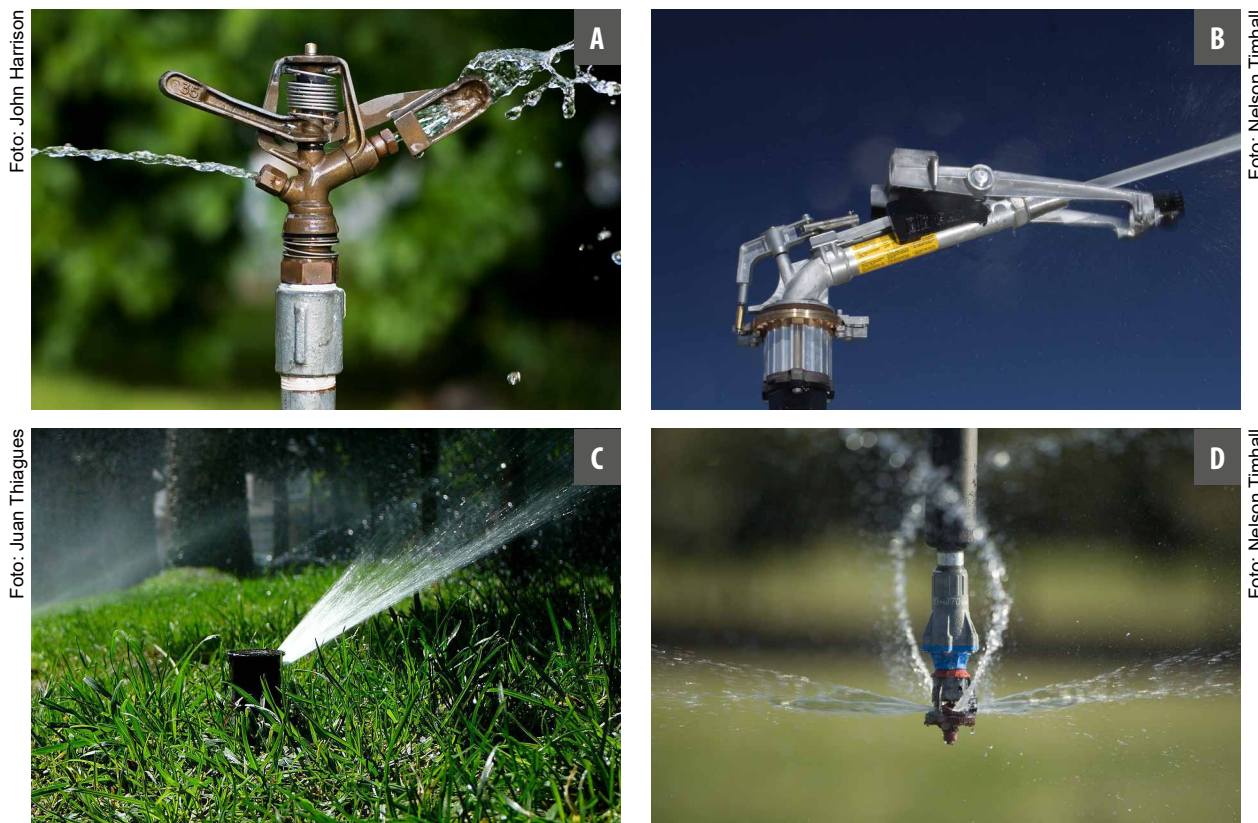


Figura 29. Aspersor de pequeno porte (A), tipo canhão (B), rotor pop-up (C) e spray com *accelerator* (D).

de água usual de 10 mm h^{-1} , empregados em pomares.

- Pressão moderada: 100 kPa a 200 kPa, diâmetro molhado de 20 m a 25 m, taxa de aplicação de água usual de 5 mm h^{-1} , adaptado a todas as culturas anuais e hortaliças.
- Pressão intermediária: 200 kPa a 410 kPa, diâmetro molhado de 25 m a 35 m, taxa de aplicação de água usual de 6 mm h^{-1} , adaptado a maioria das culturas anuais e irrigação sobre copa de pomares.
- Alta pressão: 410 kPa a 690 kPa, diâmetro molhado de 35 m a 70 m, taxa de aplicação de água média de 12 mm h^{-1} , adaptado a culturas anuais e irrigação sobre copa de pomares.
- Aspersores gigantes ou canhões: 550 kPa a 825 kPa, diâmetro molhado de 60 m a 120 m, taxa de aplicação de água usual de 16 mm h^{-1} , adaptado a culturas de espaçamento muito pequeno, que cobrem totalmente o solo.

Aspersores do tipo spray não dispõem do braço que impacta o suporte e o faz girar. Ao sair por um orifício vertical, a água atinge uma placa que pode ser fixa, girar, ser lisa ou ranhurada. A água é aplicada quase que num plano horizontal e pode cobrir um círculo total ou parcial. Esse tipo de aspersor opera com pressões entre 70 kPa e 200 kPa e apresenta um alcance menor que os de impacto e, por isso, pode irrigar com uma taxa de aplicação instantânea elevada. Placas ranhuradas, móveis tipo *accelerator* (Figura 29) ou *wobbler* (Figura 30) propiciam a emissão de gotas maiores e maior raio de alcance, o que reduz um pouco a taxa de aplicação e minimiza potenciais problemas de escoamento superficial no final de laterais de pivôs centrais, instalados em solos com baixa taxa de infiltração de água. São muito empregados em pivôs centrais e sistemas lineares, por permitirem menor consumo de energia. Por operarem com uma pressão mais baixa, os sprays sofrem mais o efeito das variações de pressão oriundas

Foto: United States Department of Agriculture (Usda), Natural Resource Conservation Service (NRCS), Montana



Figura 30. Pivô central equipado com emissor tipo *wobbler*.

das inclinações do terreno e perda de carga nas laterais e, por isso, quase sempre, requerem a utilização de reguladores de pressão.

Aspersores do tipo rotor (Figura 29) dispõem de um mecanismo de turbina e engrenagens que o faz girar lenta e continuamente, sem impacto. Pode operar com círculo total ou parcial. Uma variedade de tipos e ângulos de bocal favorecem um maior raio de alcance e uma melhor uniformidade na distribuição de água, quando comparado com os sprays e de impacto. Têm sido muito empregados em jardins e gramados. Requerem algum tipo de filtragem da água, pois impurezas, como folhas e lodo, podem afetar o funcionamento das engrenagens.

Tubos perfurados estão em desuso, se limitando a pequenos sistemas empregados em jardins. Mangueiras com perfurações a laser têm sido usadas pela facilidade de instalação e remoção da área e pelo custo inferior aos tubos.

A seguir, serão descritos os principais métodos de irrigação por aspersão.

Aspersão convencional

É um grupo de métodos de irrigação por aspersão, composto por uma estação de bombeamento, uma adutora, uma ou mais redes principais e uma ou mais laterais nas quais são instalados aspersores. As laterais permanecem paradas enquanto irrigam. Esse grupo pode ser

ainda subdividido em sistemas de cobertura parcial e de cobertura total, os quais podem ser fixos, semifixo ou portáteis.

Nos sistemas de cobertura parcial, as redes principais e/ou laterais, dotadas de engate rápido, são transferidas de uma posição a outra até toda a área ser irrigada. Nos sistemas de cobertura total, toda a área é servida por redes, e não há necessidade de mudança de tubulações. Nos sistemas fixos, todas as redes, inclusive as laterais, são permanentemente instaladas na área. As tubulações podem ser de engate rápido e serem instaladas na superfície ou podem ser de PVC e serem enterradas, aparecendo na superfície do solo as válvulas ou os tubos de subida dos aspersores. Nos sistemas semifixos, as adutoras e linhas principais são fixas, podendo ser enterradas ou não. As laterais, com engate rápido, conectam-se a hidrantes e são mudadas de posição ao término do tempo de irrigação. Nos sistemas portáteis, toda a rede de tubulações é dotada de engate rápido para facilitar a montagem e desmontagem das redes para mudança de local. Até mesmo a estação de bombeamento pode ser móvel, montada em carretinha. Enquanto o custo do investimento aumenta dos sistemas de cobertura parcial portátil para os sistemas de cobertura total fixos, a necessidade de mão de obra caminha na direção oposta.

O método mais simples de aspersão convencional é o sistema de cobertura parcial, totalmente portátil (Figura 31). Requer mão de obra para mudar tanto as laterais quanto a rede principal e, por isso, é recomendado para áreas pequenas e com disponibilidade de mão de obra familiar. É um sistema empregado em culturas nômades, como a batata e o tomate. Quando se empregam aspersores de maior alcance, esse método pode ser empregado para irrigar áreas maiores, principalmente aquelas com cultura de menor valor comercial, que não exigem grande uniformidade de distribuição de água e que cobrem totalmente o solo, como pastagem.

Uma variação do método anterior é obtida, quando se mantém tanto a estação de bom-

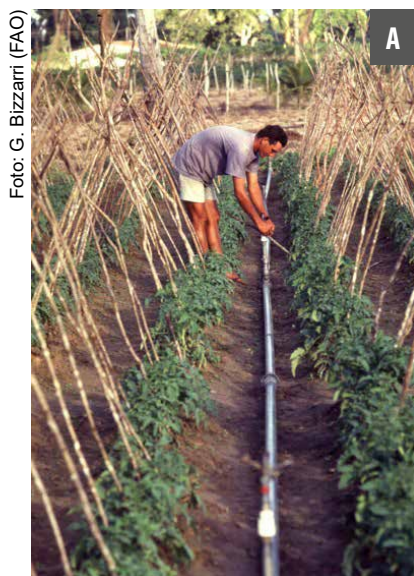


Foto: G. Bizzarri (FAO)



Foto: Jeff Vanuga (United States Department of Agriculture - Usda, Natural Resource Conservation Service - NRCS)

Figura 31. Aspersão convencional com laterais móveis, em cobertura parcial (A) e total (B).

beamento quanto as redes principais fixas. Para facilitar o tráfego de máquinas na área, as redes principais, geralmente de PVC, costumam ser enterradas, aparecendo na superfície do solo apenas os hidrantes, onde se conectam as laterais que permanecem paradas quando irrigam (Figura 32).

As laterais, dotadas de engate rápido, são desmontadas e transferidas para outra posição manualmente, o que demanda mão de obra. Todavia, esse método pode ser empregado com as mais diversas condições de topografia e tipos de culturas.



Foto: G. Bizzarri (FAO)

Figura 32. Hidrante onde se conectam as laterais móveis dos sistemas de aspersão convencional.

Um método que vem sendo empregado em pastagens e café no Brasil é do tipo aspersão convencional semifixa, com cobertura parcial, denominado de malha. Toda a rede de adutoras, linhas principais e laterais são de PVC enterradas, movendo-se apenas os aspersores. As laterais têm diâmetro menor que o usual, pois apenas um aspersor, de baixa vazão, opera em cada uma e, geralmente, são interconectadas, duas a duas, nas suas extremidades. Os tubos de subida dos aspersores permanecem no local, tutorados por um mourão, e recebem um tampão quando não há aspersor conectado. O sistema é, geralmente, dimensionado para operar com um aspersor em cada lateral, que permanece irrigando por 12 horas. É um sistema que requer pouca mão de obra para operação. Apenas uma pessoa muda os aspersores de posição duas vezes por dia, geralmente no intervalo de outras atividades (Figura 33).

Sistemas de cobertura total, fixos, semifixos ou portáteis são empregados em culturas de alto valor comercial e que respondem bem a irrigações leves e frequentes, como algumas fruteiras e hortaliças. Quando adequadamente dimensionados, esse método pode ser utilizado para proteger as culturas contra geada (Figura 25). Os sistemas de cobertura total



Figura 33. Sistema de aspersão em malha aplicado em pastagem (A) e em café (B).

portáteis são empregados em hortaliças e são instalados após o plantio e removidos no final do ciclo, para facilitar o preparo do solo para a próxima cultura ou para mudar para outra área. Os sistemas de cobertura total semifixos ou fixos são empregados para irrigar fruteiras, embora os fixos possam também ser utilizados em hortaliças e jardins, uma vez que as redes de tubulações são enterradas e não atrapalham o preparo do solo, plantio e tratos culturais. Sistemas de cobertura total fixos podem ser totalmente automatizados, o que reduz ainda mais a necessidade de mão de obra para operação. Em pomares, os aspersores são cuidadosamente selecionados para evitar o molhamento da folhagem e do tronco de culturas sensíveis ou para proteger contra geada. Um grande número de arranjos das laterais e dos aspersores pode ser empregado para baratear os custos de investimento, sem comprometer a eficiência da

irrigação. Laterais podem ser instaladas entre fileiras alternadas de plantas e um único aspersor, geralmente do tipo subcopa, pode irrigar quatro plantas de espaçamento maior, como a cultura da mangueira (Figura 34).

Ramal rolante ou rolão

Este é uma variação do método de aspersão convencional. As laterais de irrigação são compostas por tubos dotados de uma roda de metal no centro e engates rápidos especiais que suportam a torção. A tubulação da lateral funciona como eixos e permite o deslocamento de toda a lateral para uma nova posição. Uma mangueira ou tubo é empregado para conectar a lateral aos hidrantes da linha principal que, geralmente, é enterrada no centro da área. Um pequeno motor à gasolina, montado sobre quatro rodas, é posicionado no centro da



Figura 34. Sistema de aspersão convencional móvel em pomar de mangueira (A) e sistema de aspersão fixo em parreira (B).

lateral. Durante a irrigação, as laterais permanecem paradas. Para mudar a lateral de posição, a conexão com a linha principal é desligada, e o motor à gasolina é acionado fazendo a lateral rolar até a nova posição, onde é novamente conectada com a linha principal. Cada tubo da lateral é dotado de uma roda e de um aspersor escamoteável que permanece de cabeça para cima, independentemente da posição do tubo. O diâmetro das rodas é geralmente de 1 m, o que restringe a utilização desse método em culturas de porte baixo como pastagem, feijão, arroz, trigo, cevada, alfafa, etc. Tal como no método de aspersão convencional em malha, descrito anteriormente, os sistemas desse tipo são dimensionados para operar geralmente por 12 horas em uma posição, de forma a conciliar a troca de posições com as outras atividades da fazenda. É um sistema recomendado para áreas retangulares, relativamente planas e sem obstrução (Figura 35).

Autopropelido

É composto por um único canhão ou minicanhão montado em uma carretinha que se desloca longitudinalmente ao longo da área a ser irrigada. O suprimento de água ao canhão é feito através de uma mangueira flexível, conectada a um hidrante da linha principal que, geralmente, é enterrada. A carretinha se move tracionada por um cabo de aço ou pela própria

mangueira de alimentação do canhão. Antes de chegar ao tubo de subida do canhão, a água passa por uma turbina e aciona o carretel que enrola a mangueira ou o cabo de aço. Ao se deslocar, a carretinha pode danificar uma faixa da cultura. Ao final do percurso, o sistema é desligado, a mangueira desconectada do hidrante, e a carretinha é rebocada, por um trator, para a próxima posição, que pode variar de 30 m a 72 m ao longo da linha principal. O carretel é desenrolado, e a carretinha posicionada no início da área (Figura 36).

O canhão, geralmente setorial, opera com pressão elevada e irriga com uma alta taxa de aplicação de água, o que pode propiciar escoamento superficial em áreas com solos de baixa capacidade de infiltração e declividade elevada. O jato do canhão, mesmo produzindo gotas grandes, sofre a ação do vento, o que prejudica a uniformidade da irrigação. Gotas grandes podem causar problemas a algumas culturas, como queda de flores em feijão.

Por operar com pressões elevadas e por apresentar altas perdas de carga na mangueira, esse método consome muita energia. Todavia, o uso de mão de obra é reduzido, quando comparado com outros sistemas de aspersão convencional.

É um método adequado para áreas retangulares de até 70 ha, com declividade de até 20%, com solos de alta velocidade de infiltração de

Foto: Camilo de Lelis Teixeira de Andrade



Foto: United States Department of Agriculture (Usda), Natural Resource Conservation Service (NRCS)

Figura 35. Ramal rolante (rolão) irrigando trigo (A) e detalhe do aspersor escamoteável (B).



Figura 36. Sistema de irrigação autopropelido indicando o carretel enrolador (A), barra irrigadora (B) e faixa irrigada (C).

água, cultivado com culturas de boa cobertura, como cana-de-açúcar, milho e pastagem, principalmente para aplicar irrigação suplementar.

Pivô central

Uma única lateral gira em torno do centro de um círculo onde ela é ancorada. Segmentos da lateral de 30 m a 50 m, composta por tubos metálicos, são sustentados por torres em formato de A e conectados entre si por juntas flexíveis. Um pequeno motor elétrico, colocado em cada torre, permite o acionamento do pivô. A velocidade de deslocamento da lateral do pivô é ditada pela velocidade da última torre. Quanto mais afastado do ponto pivô, mais rápido a torre se desloca. Um sistema de microinterruptores, posicionado em cada torre, controla a operação do motor da torre que está imediatamente mais próxima em direção ao ponto pivô (Figura 37).

A água é suprida à lateral por meio do ponto pivô, sendo obtida de poço profundo perfurado próximo ao centro ou de uma adutora enterrada. A velocidade de deslocamento do pivô varia de 12 a 120 horas por volta para uma lateral típica de 400 m de comprimento. A lâmina de irrigação aplicada varia com a velocidade de rotação. Para uma mesma vazão da bomba, a

taxa de aplicação de água aumenta do ponto pivô para a última torre. Se o sistema não for dimensionado e operado corretamente, poderão ocorrer problemas de escoamento superficial e erosão no final da lateral, que ainda pode ser agravado se a área for declivosa.

Pivôs centrais se adaptam aos mais diversos tipos de culturas anuais, olerícolas e algumas perenes de porte baixo, como café, videira e fruteiras mantidas baixas (Figura 38). De uma forma geral, os pivôs operam melhor em áreas planas sem obstrução, mas podem tolerar alguma declividade. Alguns autores afirmam que, para vãos entre torres de até 30 m, declividades de até 30% na direção radial podem ser toleradas, enquanto outros indicam que essa declividade máxima só pode ser admitida na direção tangencial (ao longo dos círculos).

Pivôs têm custo inicial médio, mas o requerimento de mão de obra para operação é mínimo. Quanto mais longa a lateral, menor é o custo do sistema por unidade de área. Isso tem levado ao dimensionamento de pivôs exageradamente longos, que apresentam problemas de alinhamento e, principalmente, de elevada taxa de aplicação



Aspersão por
pivô central



Foto: Barbosa de Menezes

A



Foto: Tequask

B



Foto: United States Department of Agriculture (Usda), Natural Resource Conservation Service (NRCS)

C



Foto: United States Department of Agriculture (Usda), Natural Resource Conservation Service (NRCS)

D

Figura 37. Lateral de um pivô central indicando a estrutura de sustentação em formato de “A” (A), base do pivô (B), motor com motorreductor de acionamento das rodas (C) e caixa com micro interruptor (D).



Foto: Luis Cesar Drumond (UFV)

Figura 38. Pivô central dotado de *low elevation spray application* (Lesa) em café cultivado em topografia ondulada.

de água no final da lateral. É um equipamento que requer manutenção periódica, mas fácil de operar.

Um grande número de aparatos vem sendo desenvolvido para reduzir as limitações dos pivôs. Dispositivos especiais permitem aos pivôs cruzarem cercas em áreas de pastagens irrigadas e também escamotear as rodas para que possam ser rebocados para outras áreas (Figura 39).

Os pivôs centrais podem ser equipados com os mais variados tipos de aspersores para atender a diversas condições de solo, vento e culturas. Há uma tendência, todavia, de se empregarem aspersores do tipo spray, de baixa pressão, dotados de reguladores de pressão.

Foto: Bruno Leite Teixeira Perroni



Foto: Bruno Leite Teixeira Perroni



Figura 39. Pivôs centrais rebocáveis, indicando base dotada de quatro rodas (A) e de duas rodas (B) para mudança de área.

Sistema linear ou deslocamento linear

É uma variação do pivô central, no qual são empregadas as mesmas estruturas de sustentação com torres em A e os mesmos mecanismos de deslocamento. A lateral desloca-se no sentido longitudinal de uma área retangular. Todas as torres deslocam-se com a mesma velocidade. O suprimento de água é feito através de canal ou adutora com hidrantes posicionados no centro ou na extremidade da área. A água é sucionada diretamente do canal por um sistema de bombeamento que se desloca com a lateral. Utiliza-se também mangueira flexível, que é conectada a hidrantes da adutora, para alimentar a lateral. Em alguns sistemas, dispositivos especiais desconectam e conectam a mangueira aos hidrantes sem necessidade de desligamento do sistema (Figura 40).

No sistema linear, não há perda de área nos cantos, e não há problema de altas taxas de aplicação de água no final da lateral, como nos pivôs centrais. A uniformidade de distribuição de água é também melhor. Como nos pivôs, um grande número de tipos de aspersores pode ser empregado para atender a necessidades especiais da área, do solo, do vento e das culturas.

Lepa e Lesa

Low energy precision application (Lepa) é um dispositivo no qual os aspersores, que operam com pressão muito baixa, e dotados de reguladores de pressão, são colocados na extremidade dos tubos de descida dos pivôs centrais e sistemas lineares e despejam a água diretamente na superfície do solo. Quando se utilizam emissores com taxas de aplicação de água elevadas em solos com baixa capacidade de infiltração, há necessidade da construção de sulcos com camalhões, regularmente espaçados, para reter a água. Sistemas Lepa mais recentes substituíram os emissores por linhas de gotejadores de baixa pressão. A vantagem desse dispositivo é que, em algumas situações, se molha pouco ou não se molha a folhagem das culturas plantadas em linha, e reduz-se a evaporação direta da água do jato dos aspersores convencionais, que pode ser significativa em locais de umidade relativa baixa e ventos intensos (Figura 41).

No dispositivo tipo *Low elevation spray application* (Lesa), os aspersores tipo spray são colocados nos tubos de descida para aplicar a água diretamente sobre o dossel das culturas. Para solos com baixa taxa de infiltração, há necessidade de sulcos fechados para melhorar a uni-



Foto: Tsogni

Figura 40. Sistema linear em lavoura de milho, indicando a mangueira de alimentação.



Foto: Kansas State University

Figura 41. Pivô central tipo Lepa sendo testado em lavoura com detalhe das mangueiras com gotejadores.

formidade de distribuição de água e reduzir os problemas com escoamento superficial. É um dispositivo muito empregado nos Estados Unidos para irrigar batata e cebola. Não funciona bem com culturas mais altas nas quais os sprays podem se enroscar ou afetar a uniformidade de distribuição de água (Figura 42).

O uso desses dois dispositivos é promissor, pois requer menor consumo de energia, reduz o efeito do vento nos jatos e a evaporação direta da água. Necessita, todavia, de muito mais planejamento para implantar o sistema de irrigação e a lavoura. Aplica-se melhor em áreas planas e solos com maior capacidade de infiltração de água. O dispositivo Lesa pode ser empregado em culturas perenes de porte menor, como café e citros, plantadas em círculo.

Vantagens da irrigação por aspersão

- O manejo da irrigação é simples, uma vez que a taxa de aplicação de água é fixa, definida no dimensionamento do sistema de irrigação, e não há efeito da variação temporal das propriedades do solo, tão expressivo como nos métodos de superfícies.
- Não há necessidade de sistematização do terreno.

Foto: Luiz Antônio Lima (Ufla)

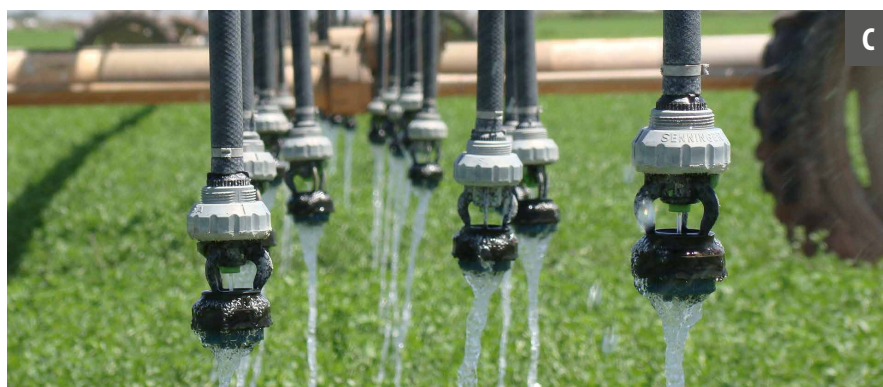


A



B

Foto: Wenderson Santos (Fockink)



C

Foto: United States Department
of Agriculture (Usda)

Figura 42. Pivôs centrais dotados de dispositivos tipo Lesa na cultura do café (A e B) e detalhe do emissor (C).

- Para alguns sistemas, como pivô central, a necessidade de mão de obra é mínima.
- Adapta-se às mais diversas condições de topografia, tipos de solo e de culturas.

- Os métodos de aspersão, que aplicam água na folhagem, podem causar problemas de doenças e de toxicidade em algumas culturas, quando a água apresentar alto teor de sal ou de fertilizantes (fertirrigação).

Limitações da irrigação por aspersão

- Normalmente, métodos de aspersão necessitam de mais energia que os métodos de superfície e irrigação localizada.
- Pode requerer, dependendo da situação, algum tipo de filtragem mínima da água, o que não ocorre com os métodos de superfície.
- Alguns métodos de aspersão, como os convencionais portáteis, requerem mão de obra para mudança de laterais, que é um tipo de trabalho considerado pesado.
- Pode haver perda de área como nos pivôs centrais (cerca de 20% de área perdida nos cantos).

Fatores influenciadores na escolha dos métodos de aspersão

Nos tópicos seguintes, serão analisados os fatores que afetam a escolha dos métodos de aspersão.

Culturas

Praticamente, qualquer cultura pode ser irrigada por algum método de aspersão. Algumas culturas de porte alto, como milho e cana-de-açúcar, não podem ser irrigadas com ramal rolante ou rolão. Da mesma forma, muitas culturas perenes não podem ser irrigadas com pivô central ou sistema linear em razão da limitação de altura dos equipamentos. Para outras

culturas, como tomate para mesa e pimentão, os métodos de aspersão não seriam muito recomendados, pois podem favorecer o desenvolvimento de doenças. Culturas com sistema radicular raso, plantadas em solos arenosos, demandam irrigações leves e frequentes e devem ser irrigadas por aspersão ou microaspersão. Cultivos que requerem proteção contra extremos de temperatura, como geadas e calor, devem ser irrigados por sistemas de aspersão com cobertura total fixos ou portáteis.

Uma regra geral é que os sistemas de aspersão devem ser empregados em culturas que cobrem a maior parte da superfície do solo, durante boa parte do ciclo fenológico.

Solos

A maior limitação dos solos para os métodos de irrigação por aspersão está relacionada com a velocidade básica de infiltração da água.

Solos com menos de 3 mm h^{-1} de velocidade de infiltração básica não são facilmente irrigáveis com aspersão, a menos que se usem dispositivos como o Lepa e que se construam sulcos de retenção na superfície do solo. Podem ser empregadas algumas técnicas como a cobertura do solo com palhada, cultivo em nível, construção de terraços e o plantio direto para melhorar a infiltração da água e permitir o uso da aspersão. Cuidados devem ser tomados quando há a combinação de baixa velocidade de infiltração da água no solo com alta declividade do terreno. Mesmo os solos rasos, tomando-se os devidos cuidados, podem ser irrigados por aspersão.

Em razão da não uniformidade, inerente aos métodos de aspersão, tem-se, como regra geral, verificar se o solo apresenta uma velocidade básica de infiltração de pelo menos 1,3 vezes a taxa média de aplicação de água prevista pelo sistema.

Topografia e condições da área

Os métodos de aspersão podem ser adaptados às mais diversas condições de topografia,

formas de área e obstruções, embora uma regra geral indique como limite uma declividade de 30%. Mesmo em áreas com restrições à mecanização, é possível implantar sistemas de aspersão, tomando-se as precauções quanto à conservação do solo e a um maior rigor no dimensionamento. Existe no mercado uma variedade grande de válvulas reguladoras de vazão e de pressão que possibilitam esse tipo de projeto, às vezes comuns em parques e jardins.

Entre os sistemas móveis, somente o pivô central se adapta às condições de topografia ondulada e declividades acentuadas.

Suprimento e qualidade da água

Para que os sistemas de irrigação por aspersão sejam dimensionados com menor custo e uso eficiente de energia, eles necessitam de uma fonte de água com vazão constante e com o fornecimento por demanda. Os perímetros de irrigação mais antigos, projetados para o fornecimento de água num esquema de rotação e com o tempo para uso da água fixo, são difíceis de serem convertidos de métodos de superfície para aspersão de alta frequência, como os pivôs. Reservatórios podem ser construídos nos lotes, e o projeto do sistema pode ser ajustado para operar em menor tempo, mas isso aumenta os custos.

Aspersão é mais eficiente para lixiviar sais que os métodos de superfície, pois a uniformidade de distribuição de água é maior e ocorre fluxo de água no solo não saturado, o que é vantajoso para locais com lençol freático elevado e mais efetivo na lixiviação que o fluxo em meio saturado.

Algumas culturas são sensíveis à aplicação de água salina nas folhas. Em regiões semiáridas, esse problema pode ser minimizado se as irrigações forem realizadas à noite. Isso é facilitado com os métodos de irrigação por aspersão convencional de cobertura total ou os mecanizados, como pivô central e sistema linear. Ramais rolantes e outros métodos convencionais tam-

bém podem ser dimensionados para operarem somente à noite, deixando para o período diurno a mudança das laterais.

Alguns aspersores, com bocais de pequeno diâmetro e rotores, são sensíveis a impurezas, fazendo-se necessário a filtragem da água. Águas com alta concentração de sedimentos também são problemáticas, pois corroem lentamente os bocais. Nesse caso, devem ser previstos tanques de sedimentação.

A altura de bombeamento deve ser levada em consideração na escolha do método de irrigação. Quanto maior a altura, maior será o custo da água, mais eficiente deverá ser o sistema e maior retorno econômico deve ser esperado.

Finalmente, águas contaminadas com produtos nocivos à saúde humana não devem ser empregadas com métodos de aspersão, sobretudo se os produtos agrícolas forem consumidos in natura, mas poderiam ser utilizadas com outros métodos. Tem sido comum, todavia, o emprego da aspersão com canhão ou pivô central para aplicar dejetos de animais, devidamente estabilizados biologicamente, em culturas anuais e pastagens.

Clima

Os fatores relacionados ao clima mais importantes são o vento e a umidade relativa. Em regiões com velocidade do vento elevada, a uniformidade de distribuição da água fica muito prejudicada, sobretudo com aspersores de grande porte, que operam com pressões altas. A evaporação da água, diretamente do jato, pode chegar a 10% em regiões semiáridas, sem considerar a evaporação da água da superfície do solo e do dossel que pode contribuir com outros 10%. Dispositivos do tipo Lepa ou Lesa, empregados em pivôs e sistemas lineares, podem minimizar consideravelmente esse problema.

O controle de temperatura (geada ou calor) empregando a irrigação por aspersão só é possível quando o sistema é dimensionado para cobertura total, fixo ou portátil, de forma que toda a

área possa ser irrigada simultaneamente. O custo desse tipo de sistema é, geralmente, muito elevado.

Eficiência

A eficiência de aplicação de água dos métodos de irrigação por aspersão depende da adequação do projeto, da uniformidade de distribuição, da programação da irrigação e do rigor na operação do sistema. A programação da irrigação e a operação dos métodos de aspersão são muito simples, quando comparadas com os métodos de superfície, sendo que os mais simples são o pivô central, o sistema linear e o convencional com cobertura total.

Os sistemas de irrigação por aspersão, se corretamente dimensionados e operados, não causam problemas de escoamento superficial ou erosão. Todavia, é comum, no Brasil, pivôs centrais com laterais excessivamente longas para certos tipos de solo e topografia, fazendo com que esse problema se pronuncie.

Os menores valores de uniformidade de distribuição, de 60%, são esperados com autopropelidos e sistemas convencionais, que dependem de superposição em duas dimensões, tais como os convencionais de cobertura total, fixa ou de cobertura parcial, porém que não alternam a posição das laterais. Nesse caso, a origem da não uniformidade está na variação de vazão dos aspersores, decorrente da variação da pressão na lateral, entupimento e desgaste dos bocais e da própria desuniformidade da superposição dos jatos.

O uso de posições alternadas das laterais, comum quando se emprega ramal rolante ou mesmo métodos convencionais de cobertura parcial, permite uma melhoria considerável da uniformidade de distribuição de água, pelo menos em uma das direções.

As melhores uniformidades de distribuição (até 93%) são obtidas com aspersão subcota de cobertura total fixa em pomar, onde o dimensionamento foi rigoroso, o sistema tem filtros para

a água, e um aspersor é colocado para uma ou duas covas. Dessa forma, não há efeito de superposição de jatos, e a variação de vazão entre emissores é controlada no dimensionamento.

Valores intermediários de uniformidade de distribuição são obtidos com pivôs centrais e sistemas lineares. O problema da não uniformidade, oriunda da superposição dos jatos, só ocorre ao longo da lateral (entre aspersores) e não no sentido do movimento. Com o correto dimensionamento e o uso de reguladores de pressão, a uniformidade de distribuição desses métodos pode atingir 90%.

Manejo da irrigação

A programação da irrigação deve ser levada em consideração quando da escolha dos métodos de aspersão. Para os sistemas convencionais e lateral rolante, é desejável que a duração da irrigação seja de 12 ou 24 horas (descontado o tempo necessário para mudar as laterais de posição) para liberar a mão de obra para outros serviços na propriedade. No Brasil, como os solos têm características de retenção de água muito menores que os solos dos Estados Unidos e da Europa, os tempos de irrigação são muito menores, o que implica em maior uso de mão de obra. Exceção é o método de irrigação em malha, empregado em pastagem e café, que é projetado para operar com aspersores com taxa de aplicação muito pequena. Se isso não é desejável, deve-se optar por outros métodos.

Nos pivôs centrais e sistemas lineares, a vazão de aplicação de água é fixa, podendo-se variar a velocidade de deslocamento, o que implica na variação da taxa de precipitação (em mm h^{-1}) para diferentes velocidades de deslocamento. São sistemas muito mais flexíveis para serem manejados e requerem pouca mão de obra para operação.

Pastagens irrigadas necessitam de área livre e da superfície do solo seca, preferencialmente, durante o dia. Além do mais, o turno de irrigação deve ser ajustado de acordo com o tempo

de permanência dos animais no piquete. Culturas que demandam trabalhos na área (como pulverizações, tratos culturais, desbaste, etc.) praticamente contínuos durante o dia, como algumas hortaliças e fruteiras, devem ter a irrigação muito bem planejada e manejada para evitar conflito entre operações.

Necessidade e qualidade da mão de obra

A necessidade de mão de obra dos métodos de irrigação por aspersão depende do grau de automação dos sistemas. Aspersão convencional de cobertura parcial portátil requer mais mão de obra que pivô central ou sistema linear, embora a qualificação técnica da mão de obra deste último deva ser mais elevada, sobretudo quando se utiliza Lepa. Os sistemas de cobertura total fixos são os que demandam menos mão de obra.

Disponibilidade de assistência técnica

Quanto mais automatizados forem os métodos de irrigação, maior será a necessidade de assistência técnica, sobretudo no que diz respeito às partes elétricas e mecânicas. Nesse aspecto, os pivôs, os sistemas lineares e os convencionais de cobertura total fixos, com controles automáticos, são os métodos que mais demandariam assistência de boa qualidade.

Os demais métodos requerem manutenção mais simples, que pode ser providenciada na própria fazenda, por meio do treinamento de pessoal.

Fatores econômicos

O custo do investimento, por unidade de área, varia muito entre os métodos de irrigação por aspersão, e o mais barato é o convencional com cobertura parcial móvel, e o mais caro, o convencional com cobertura total fixo.

Nos métodos convencionais e pivôs com Lepa ($0,9 \text{ kWh ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ a $2,1 \text{ kWh ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), o consumo de energia é menor, e muito elevado nos métodos autopropelidos ($3,5 \text{ kWh ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ a

4,9 kWh ha⁻¹ mm⁻¹), por operarem com pressões muito altas.

Os custos com mão de obra estão estreitamente relacionados com a sua necessidade, sendo maiores nos convencionais de cobertura parcial, portáteis.

Os custos com manutenção são tão maiores quanto mais automatizados ou mecanizados forem os métodos, sendo os sistemas lineares, pivôs, autopropelidos e ramal rolante os mais caros.

Alguns métodos, como os pivôs ou sistemas lineares com Lepa, quando instalados em solos com baixa velocidade de infiltração, requerem operações especiais para construção de sulcos com bloqueios para evitar escoamento superficial. Esses custos devem ser computados.

Todos esses fatores econômicos devem ser levados em consideração na seleção do método. Após a eliminação de alguns métodos por fatores técnicos, o retorno econômico passa a ser o principal determinante na escolha.

Fatores humanos

O método de aspersão convencional do tipo cobertura parcial portátil é considerado o mais simples de se manter. O tipo de manutenção requerida pode ser perfeitamente realizado na propriedade, por pessoal local ou por empresas especializadas. De Norte a Sul do Brasil, há pequenas empresas e profissionais especializados, capazes de dar manutenção em bombas, motores e painéis elétricos.

Esse método é, portanto, o ideal para se iniciar a atividade da irrigação ou como passo intermediário para a conversão de métodos de superfície para outros que propiciam o uso mais racional da água. A programação e o manejo da irrigação são muito mais simples, quando comparados com os métodos de superfície, favorecendo a introdução da irrigação em comunidades com pouco conhecimento da área. Vale lembrar ainda que, quando há interesse na geração de emprego,

sobretudo no âmbito da agricultura familiar, o método de aspersão convencional do tipo cobertura parcial pode ser um dos mais adequados. Entretanto, se o custo da mão de obra é elevado ou se há escassez, deve-se optar por outros métodos mais automatizados ou mecanizados.

Alguns métodos, como pivô central e sistema linear, não são adequados para perímetros e assentamentos com lotes pequenos. Tentativas de se dividir o pivô em várias fatias para colonos não têm sido bem-sucedidas, pois essa divisão reduz a flexibilidade de escolha de culturas e manejo da irrigação. Em contrapartida, esses métodos são os preferidos para aqueles empresários agrícolas que cultivam grandes áreas, empregando alta tecnologia de produção.

Não se pode esquecer também do hábito das pessoas. Não é comum em muitas regiões no Brasil, na área de irrigação, o trabalho noturno e aos domingos, principalmente a mudança de laterais. Se esse tipo de trabalho tiver que ser executado, haverá um custo adicional com o pagamento de horas extras, quando a mão de obra familiar não for disponível ou suficiente.

Fatores ambientais

Assim como todos os outros métodos, se não for utilizado corretamente, poderão ocorrer problemas ambientais. Alguns desses problemas já foram discutidos anteriormente.

Pivôs centrais com laterais muito longas, instalados em solos com baixa velocidade de infiltração de água e topografia muito inclinada, podem causar problemas de excessivo escoamento superficial e até erosão (Figura 43). Escoamento superficial em áreas agrícolas pode conter agroquímicos dissolvidos na água ou adsorvidos nas partículas de solo, com elevado potencial poluidor.

O manejo inadequado das irrigações, como aplicação de água em excesso, quando associado com fertilizações nitrogenadas pesadas,



Figura 43. Escoamento superficial e erosão em área irrigada.

principalmente se realizadas via água (fertirrigação), pode levar à lixiviação de nitrato e contaminar as águas subterrâneas. O mesmo vale para outros agroquímicos empregados no controle de plantas daninhas, insetos e doenças.

No período das chuvas, as irrigações complementares devem ser planejadas de tal forma a deixar um espaço na capacidade de retenção de água do solo para, assim, tentar reter parte das chuvas e minimizar a lixiviação de agroquímicos.

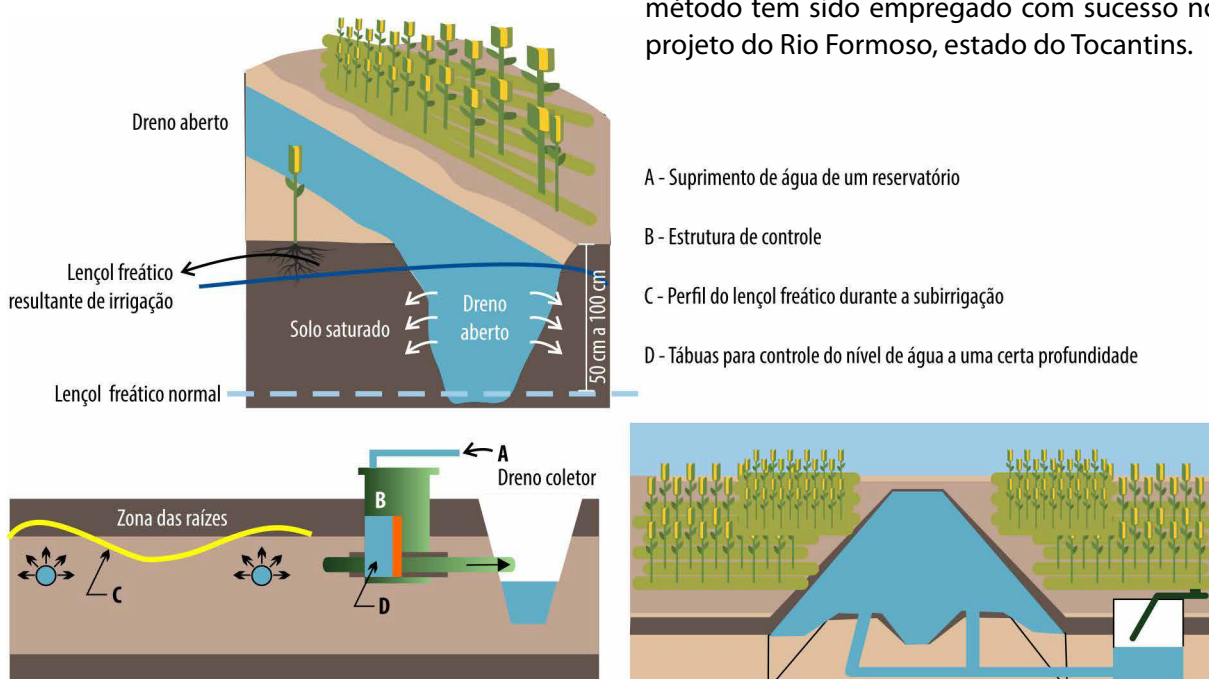


Figura 44. Esquema de subirrigação e detalhe de uma estação de controle de nível do lençol freático.

Ilustração: Paula Cristina Rodrigues Franco.

Os cuidados devem ser maiores nos locais com solos arenosos, com lençol freático raso e com topografia declivosa.

Métodos como o pivô central, sistema linear e aspersão convencional com cobertura total, quando cuidadosamente projetados, são mais fáceis de se manejar corretamente para reduzir os problemas com escoamento superficial e lixiviação de agroquímicos.

Subirrigação – Irrigação subterrânea

É um método no qual se controla a profundidade do lençol freático de forma a fornecer água à cultura por capilaridade. Em algumas situações, a água de um lago próximo é aplicada em fossos que alimentam os drenos subterrâneos (Figura 44). Para que funcione a contento, a subirrigação requer condições de topografia, solo e clima muito especiais. Está, geralmente, associada a um sistema de drenagem subterrânea, necessário para remover o excesso de umidade do solo na zona das raízes em regiões úmidas. Havendo condições satisfatórias, pode-se constituir num método de custo de implantação e operação relativamente baixo. No Brasil, esse método tem sido empregado com sucesso no projeto do Rio Formoso, estado do Tocantins.

Vantagens da subirrigação

- Se o sistema de drenagem existe para remover o excesso de água, pode-se considerar que o custo de implantação do sistema é pequeno.
- Permite viabilizar o cultivo de outras culturas em tabuleiros empregados para o plantio de arroz inundado.
- A necessidade de bombeamento pode ser nula, se o sistema foi dimensionado para operar por gravidade.
- A necessidade de mão de obra para operação costuma ser pequena.

Limitações da subirrigação

- Requer condições especiais de solo, topografia e clima para funcionar adequadamente.
- A germinação das sementes de algumas culturas pode ficar prejudicada.
- Não funciona bem em solos muito pesados que demoram para ser drenados.
- Não é adequado para culturas que não toleram solo muito úmido, podendo favorecer o aparecimento de doenças.
- Pode favorecer o acúmulo de sais na superfície do solo em regiões semiáridas.
- Pode ser limitante para algumas culturas de sistema radicular muito raso.

Fatores influenciadores na escolha da subirrigação

Nos tópicos seguintes, serão analisados os fatores que afetam a escolha da subirrigação.

Culturas

A subirrigação não interfere com os tratos culturais, podendo ser irrigadas culturas que demandam constantes operações na área. Algumas

culturas não toleram solo muito úmido, mesmo que temporariamente. O manejo da irrigação, que é feito controlando o nível do lençol por certo tempo, deve ser bem rigoroso, principalmente em solos muito pesados, que demoram muito para ser drenados. Plantas muito suscetíveis a doenças no sistema radicular devem ser evitadas.

A germinação de sementes plantadas muito rasas pode ser prejudicada, havendo necessidade de se empregarem métodos de aspersão para essa finalidade.

Solos

Os solos mais apropriados para esse tipo de irrigação são aqueles com condutividade hidráulica saturada elevada e com lençol freático relativamente alto. Solos muito pesados, de difícil drenagem, não são adequados para a subirrigação. No entanto, a ascensão capilar em solos arenosos é reduzida, o que pode inviabilizar o método. É possível manter o nível do lençol freático elevado durante a entressafra para o controle de nematoides.

Topografia e condições da área

As áreas para se instalar subirrigação devem ser preferencialmente planas ou com declividade pequena. O sistema de drenagem subterrânea deve estar implantado. As estruturas de controle de nível da água devem ser colocadas nos drenos coletores. Os drenos laterais devem ser preferencialmente enterrados para facilitar o cultivo e o tráfego na área.

Suprimento e qualidade da água

Em algumas situações, há necessidade de fornecimento de água para a área subirrigada, além daquela do lençol freático. Nesse caso, o suprimento de água deve ser capaz de atender à evapotranspiração da cultura e às perdas por percolação profunda e laterais. Em outras situações, a própria água do lençol é suficiente para

suprir a necessidade da cultura, e não há necessidade de suprimento externo de água.

O nível do lençol pode ser controlado de forma a reduzir ao mínimo a evaporação de água pela superfície do solo.

Esse método não é recomendado para regiões com problemas de salinidade no solo e na água. Deve-se dar preferência para regiões úmidas, com precipitação anual suficiente para lixiviar os sais, quando for o caso.

Clima

Esse método não sofre efeito de vento ou umidade relativa elevados. Não se presta para controle de geada ou para redução da temperatura.

O sistema deve ser dimensionado para operar de modo integrado com a drenagem, constituindo-se, portanto, um sistema de manejo da altura do lençol freático.

Eficiência

Nos Estados Unidos, a eficiência de aplicação de água em alguns sistemas de subirrigação, com lençol freático alto e pouco movimento lateral de água, chega a ultrapassar 80%. É possível que não chegue a essa cifra em outros locais.

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação pode ser feito de duas formas. Em uma, a quantidade de água requerida pela cultura e necessária para suprir as perdas laterais e por percolação profunda é fornecida diariamente através dos drenos. O mesmo resultado também pode ser obtido mantendo-se o lençol a uma profundidade tal que o fluxo de ascensão capilar supra a evapotranspiração da cultura. Nesse caso, há que se fazer alguns ensaios de campo.

Outra forma consiste em monitorar a umidade na zona das raízes e fazer subir o nível do lençol quando os valores observados caírem de certo

valor crítico já estabelecido para a área e cultura plantada.

A experiência de campo é fundamental para o manejo desse tipo de irrigação.

Necessidade e qualidade da mão de obra

A quantidade de mão de obra requerida para operar sistemas de subirrigação pode ser mínima se dispositivos automáticos são empregados para manter o nível da água nos drenos. Alguma mão de obra, não muito especializada, é necessária se o manejo é feito por elevação periódica do nível do lençol ou se o nível for variar ao longo do ciclo da cultura.

Disponibilidade de assistência técnica

Pode ser necessária assistência técnica para reparar bombas e estruturas de controle de nível, como vertedouros.

Quando os drenos são enterrados, poderá ser necessária a limpeza deles, o que é feito, geralmente, por empresas especializadas. Se os drenos forem abertos, deve-se dispor, na região, de profissionais capacitados a operar escavadeiras, retroescavadeiras e dragas, a serem utilizadas na limpeza dos drenos.

O conhecimento das relações solo-água-planta e o monitoramento do nível do lençol e teor de água do solo são cruciais nesse método. Serviço profissional especializado pode ser requerido para auxiliar na determinação do manejo.

Fatores econômicos

O custo de investimento em projetos de subirrigação varia muito com o local e com o tipo e espaçamento de drenos a serem implantados. Em média, o custo de implantação de um sistema de subirrigação com drenos fechados, enovelados e utilizando água subterrânea para irrigar, está em torno de U\$ 2.200,00 por hectare. A maior parte do custo está nos drenos enterrados. Esses custos podem ser bastante reduzidos

quando as condições do local permitirem espaçamentos mais largos e drenos abertos.

Os custos com mão de obra são pequenos, uma vez que se requer pouco pessoal não muito qualificado. Gastos com energia existirão se a água for bombeada. A limpeza periódica dos drenos, principalmente se forem abertos, será significativa.

Fatores humanos e sociais

Esse tipo de sistema é mais fácil de ser adotado por aqueles agricultores que já têm alguma experiência com irrigação por superfície do tipo tabuleiros e em drenagem. Em alguns locais, o custo de implantação pode ser baixo, o que favorece a introdução da irrigação, principalmente visando à diversificação de culturas e ao abastecimento local ou regional com algum produto hortícola estratégico.

Fatores ambientais

Diferentemente dos métodos de tabuleiros ou faixas, em que a água pode permanecer estagnada na superfície, na subirrigação, a superfície do solo não tem água acumulada. Isso evita o desenvolvimento de insetos, como pernilongos ou mosquitos, além de patógenos, principalmente se os drenos forem fechados.

Cuidados devem ser tomados quanto ao uso de agroquímicos, uma vez que o lençol freático é raso, e, normalmente, os sistemas são instalados em regiões chuvosas. Os íons solúveis, especialmente nitrato, são facilmente lixiviados para o lençol.

Deve-se atentar também para as leis de proteção ambiental, no que diz respeito a faixas de mata ciliar, áreas de nascentes e outorga de água.

Referências

BURT, C. M.; CLEMMENS, A. J.; BLIESNER, R.; MERRIAM, J. L.; HARDY, L. **Selection of irrigation methods for agriculture**. Reston: ASCE, 1999. 129 p.

WALKER, W. R. **Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems**. Utah: Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, 1989. 148 p.

Literatura recomendada

ALVES, E. J.; DANTAS, J. L. L.; SOARES FILHO, W. S.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, L. S.; CINTRA, F. L. D.; BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; OLIVEIRA, S. L.; FANCELLI, M.; CORDEIRO, Z. J. M.; SOUZA, J. S. **Banana para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI/CNPMPF, 1995. 106 p. (EMBRAPA-SPI. Série Publicações Técnicas FRUPEX, 18).

ANDRADE, C. L. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; TEIXEIRA, E. G. Irrigação do milho na região centro-sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 80, p. 36-44, 2004.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. Viabilidade da irrigação. **Redecampo comunicação em agronegócios**, v. 1, n. 4, p. 33-34, 2004.

CUNHA, G. A. P.; MATOS, A. P. de; SOUZA, L. F.; SANCHES, N. F. REINHARDT, D. H. R. C.; CABRAL, J. R. S. **A cultura do abacaxi**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI/CNPMPF, 1994. 80 p. (Coleção Plantar, 12).

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R.; POSSÍDEO, E. L. de Aducação orgânica e mineral na cultura do melão em um vertissolo do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 191-197, 1994.

FRANÇA, G. E.; COELHO, A. M.; RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. C. Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em milho irrigado. In: EMBRAPA. Centro de Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**: período 1992-1993. Sete Lagoas, 1994. p. 30-32.

GOMIDE, R. L. Seleção do sistema de irrigação. In: CURSO DE USO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO, 8., 1993, Sete Lagoas. **Apostila...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1993. 13 p.

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, M. M.; LEAL, I. M. **A cultura da acerola**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1995. 101 p. (EMBRAPA-SPI. Coleção Plantar, 22).

GUROVICH, L. A. **Fundamentos y diseño de sistemas de riego**. San Jose, Costa Rica: IICA, 1985. 433 p. (IICA. Serie de Libros y Materiales Educativos, 59).

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. **Irriga**, v. 5, n. 1, p. 52-82, 2000. DOI: [10.15809/irriga.2000v5n1p52](https://doi.org/10.15809/irriga.2000v5n1p52).

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production - Design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p. (ASAE. Developments in Agricultural Engineering, 9).

OLIVEIRA, A. M. G.; FARIAS, A. R. N.; SANTOS FILHO, H. P.; OLIVEIRA, J. R. P.; DANTAS, J. L. L.; SANTOS, L. B.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA JR, M. T.; SILVA, M. J.; ALMEIDA, O. A.; NICKEL, O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. **Mamão para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 52 p. (Séries Publicações Técnicas. FRUPEX, 9).

PARSONS, L. R.; BOMAN, B. J. **Microsprinkler irrigation for cold protection of Florida citrus**. University of

Florida, 2003. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/CH/CH18200.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2019.

SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 139. p. 54-62, 1986.

TURNER, J. H. **Planning for an irrigation system**. Athens: American Association for Vocational Instructional Materials/Soil Conservation Service, 1971. 107 p.

