

## Capítulo 15

---

### **Métodos de Irrigação e Quimigação**

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade  
Ricardo Augusto Lopes Brito

## **15.1 Métodos de irrigação**

O interesse pela irrigação, no Brasil, emerge nas mais variadas condições de clima, solo, cultura e socioeconomia. Não existe um sistema de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente a todas essas condições e aos interesses envolvidos. Em conseqüência, deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado para uma certa condição e para atender aos objetivos desejados. O processo de seleção requer análise detalhada das condições apresentadas (cultura, solo e topografia), em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas.

Com a expansão rápida da agricultura irrigada, no Brasil, muitos problemas têm surgido, em conseqüência do desconhecimento das diversas alternativas de sistemas de irrigação, conduzindo a uma seleção inadequada do melhor sistema para uma determinada condição. Esse problema tem causado o insucesso de muitos empreendimentos, com conseqüente frustração de agricultores com a irrigação e, muitas vezes, degradação dos recursos naturais.

### **15.1.1 Principais métodos e sistemas de irrigação**

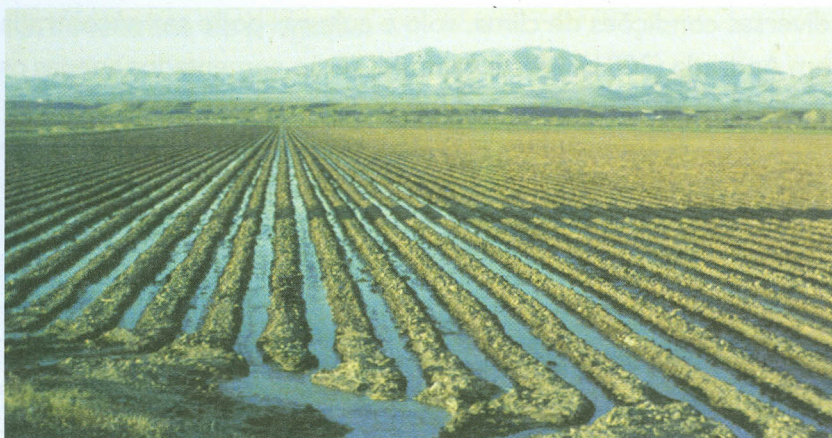
Método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Basicamente, são quatro os métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação, que podem ser empregados. A razão pela qual há muitos tipos de sistemas de irrigação é a grande variação de solo, clima, culturas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o sistema de irrigação deve ser adaptado. Uma abordagem detalhada dos métodos e sistemas de irrigação e suas adaptabilidades às mais

diversas condições de clima, solo e culturas pode ser encontrada em Andrade (2001). Neste capítulo, serão comentados apenas os métodos e sistemas mais apropriados para a cultura do milho.

#### **15.1.1.1 Irrigação por superfície**

No método de irrigação por superfície (Figura 15.1), a distribuição da água se dá por gravidade através da superfície do solo. As principais vantagens do método de superfície são: 1) menor custo fixo e operacional; 2) requer equipamentos simples; 3) não sofre efeito de vento; 4) menor consumo de energia quando comparado com aspersão; 5) não interfere nos tratos culturais; 6) permite a utilização de água com sólidos em suspensão. As principais limitações são: 1) dependência de condições topográficas; 2) requer sistematização do terreno; 3) o dimensionamento envolve ensaios de campo 4) o manejo das irrigações é mais complexo; 5) requer freqüentes reavaliações de campo, para assegurar bom desempenho; 6) se mal planejado e mal manejado, pode apresentar baixa eficiência de distribuição de água; 7) desperta pequeno interesse comercial, em função de utilizar poucos equipamentos.

Para a cultura do milho, o sistema de irrigação por superfície mais apropriado é o de sulcos, os quais são localizados entre as fileiras de plantas, podendo ser um sulco para cada fileira ou um sulco para duas fileiras (Figura 15.2). Nos terrenos com declividade de até 0,1%, os sulcos podem ser em nível ou com pequena declividade. Para declividades de até 15%, os sulcos podem ser construídos em contorno ou em declive, o que permite lances de sulcos com comprimento maior.



**Figura 15.1.** Irrigação por superfície (fonte: ERS-USDA).



**Figura 15.2.** Irrigação superficial, com um sulco por fileira.

#### 15.1.1.2 Irrigação por aspersão

No método de aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre a cultura, na forma de chuva (Figura 15.3). As principais vantagens dos sistemas de irrigação por aspersão são: 1) facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia; 2) apresenta potencialmente maior eficiência de distribuição de água, quando comparado com o método de superfície; 3) pode ser to-

talmente automatizado; 4) pode ser transportado para outras áreas; 5) as tubulações podem ser desmontadas e removidas da área, o que facilita o tráfego de máquinas. As principais limitações são: 1) os custos de instalação e operação são mais elevados que os do método por superfície; 2) pode sofrer influência das condições climáticas, como vento e umidade relativa; 3) a irrigação com água salina, ou sujeita a precipitação de sedimentos, pode reduzir a vida útil do equipamento e causar danos a algumas culturas; 4) pode favorecer o aparecimento de doenças em algumas culturas e interferir com tratamentos fitossanitários; 5) pode favorecer a disseminação de doenças cujo veículo é a água.

Os sistemas de irrigação por aspersão mais usados são apresentados e discutidos a seguir.



**Figura 15.3.** Irrigação por aspersão.

#### **15.1.1.2.1 Aspersão convencional**

Podem ser fixos, semifixos ou portáteis. Nos sistemas fixos, tanto as linhas principais quanto as laterais permanecem na mes-

ma posição durante a irrigação de toda a área. Em alguns sistemas fixos, as tubulações são permanentemente enterradas.

Nos sistemas semifixos, as linhas principais são fixas (geralmente enterradas) e as linhas laterais são movidas, de posição em posição, ao longo das linhas principais. Nos sistemas portáteis, tanto as linhas principais quanto as laterais são móveis (Figura 15.4).



**Figura 15.4 .** Sistema de aspersão portátil com laterais móveis.

Os sistemas semifixos e portáteis requerem mão-de-obra para mudança das linhas laterais. São recomendados para áreas pequenas, geralmente com disponibilidade de mão-de-obra familiar. Todavia, é possível utilizar minicanhões no lugar dos aspersores, o que permite a irrigação de áreas maiores, em condições de pouco vento e quando a uniformidade da irrigação não é crucial.

#### **15.1.1.2.2 Autopropelido**

Um único canhão ou minicanhão é montado num carrinho, que se desloca longitudinalmente ao longo da área a ser irrigada. A conexão do carrinho aos hidrantes da linha principal é feita por

mangueira flexível. A propulsão do carrinho é proporcionada pela própria pressão da água (Figura 15.5).



**Figura 15.5.** Sistema de irrigação autopropelido.

É o sistema que mais consome energia e é bastante afetado por vento, podendo apresentar grande desuniformidade na distribuição da água. Produz gotas de água grandes que, em alguns casos, podem causar problemas de encrostamento da superfície do solo. Existe também o risco de as gotas grandes promoverem a queda de flores e pólen de algumas culturas. Presta-se para irrigação de áreas retangulares de até 70 ha, com culturas e situações que podem tolerar menor uniformidade da irrigação.

#### **15.1.1.2.3 Pivô central**

Consiste de uma única lateral, que gira em torno do centro de um círculo (pivô). Segmentos da linha lateral metálica são suportados por torres em formato de "A" e conectados entre si por juntas flexíveis. Um pequeno motor elétrico, colocado em cada torre, permite o acionamento independente dessas (Figura 15.6).

O suprimento de água é feito através do ponto pivô, reque-  
rendo que a água seja conduzida até o centro por adutora enter-  
rada ou que a fonte de água esteja no centro da área. Pivôs po-  
dem ser empregados para irrigar áreas de até 117 ha. O ideal,  
todavia, é que a área não ultrapasse 50 a 70 ha, embora o custo  
por unidade de área tenda a reduzir à medida em que aumenta a  
área. Quanto a limitações de topografia, alguns autores afirmam  
que, para vãos entre torres de até 30 metros, declividades de até  
30% na direção radial podem ser toleradas, enquanto outros au-  
tores indicam que essa declividade máxima só pode ser tolerada  
na direção tangencial (ao longo dos círculos). Pivôs centrais com  
laterais muito longas, quando não corretamente dimensionados  
em função da taxa de infiltração da água no solo, podem apresen-  
tar sérios problemas de erosão no final da lateral, devido à alta  
taxa de aplicação de água necessária nessa área. Podem também  
apresentar problemas de "selamento" (impermeabilização) da su-  
perfície, em função da textura do solo. São sistemas que permi-  
tem alto grau de automação.

#### 15.1.1.2.4 Deslocamento linear

A lateral tem estrutura e mecanismo de deslocamento simi-  
lar à do pivô central, mas desloca-se continuamente, em posição  
transversal e na direção longitudinal da área. Todas as torres des-  
locam-se com a mesma velocidade. O suprimento de água é feito  
através de canal ou linha principal, dispostos no centro ou na ex-  
tremidade da área (Figura 15.7). A água é succionada diretamente  
do canal ou mangueiras são empregadas para conectar hidrantes  
da linha principal à linha lateral. A bomba desloca-se junto com  
toda a lateral, o que requer conexões elétricas mais complicadas  
ou a utilização de motores de combustão interna. É recomenda-  
do para áreas retangulares planas e sem obstrução.





**Figura 15.6.** Sistema pivô central (Fonte: Walfrido Machado, Emater-MG).

#### 15.1.1.2.5 Lepa

São sistemas tipo pivô central ou deslocamento linear, equipados com um mecanismo de aplicação de água mais eficiente. No Lepa ("low energy precision application"), as laterais são dotadas de muitos tubos de descida, onde são conectados bocais que operam com pressão muito baixa. A água é aplicada diretamente na superfície do solo, o que reduz as perdas por evaporação e evita o molhamento das plantas (Figura 15.8) O solo deve ter alta taxa de infiltração ou ser preparado com sulcos e microdepressões.

#### 15.1.1.3 Irrigação localizada

No método da irrigação localizada a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo po-

roso ou "tripa") ou superficiais (microaspersores). A proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, o que pode resultar em economia de água. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto, através de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição, como é o caso da produção de milho verde. O custo inicial é relativamente alto, tanto mais alto quanto menor for o espaçamento entre linhas laterais, sendo recomendado para situações especiais como pesquisa, produção de sementes e de milho verde. É um método que permite automação total, o que requer menor emprego de mão-de-obra na operação. Os principais sistemas de irrigação localizada são o gotejamento, a microaspersão e o gotejamento subsuperficial. A seguir, apresentam-se os sistemas mais usados.



**Figura 15.7.** Sistema de irrigação por deslocamento linear (fonte: FOCKINK).



**Figura 15.8.** Sistema de irrigação do tipo Lepa (fonte: ARS-USDA).

#### 15.1.1.3.1. Gotejamento

No sistema de gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo (Figura 15.9). Os gotejadores podem ser instalados sobre a linha, na linha, numa extensão da linha, ou ser manufaturados junto com o tubo da linha lateral, formando o que popularmente denomina-se "tripa". A vazão dos gotejadores é inferior a  $12 \text{ L h}^{-1}$ .

A grande vantagem do sistema de gotejamento, quando comparado com o de aspersão, é que a água, aplicada na superfície do solo, não molha a folhagem ou o colmo das plantas. Comparado com o sistema subsuperficial, as vantagens são a facilidade de instalação, inspeção, limpeza e reposição, além da possibilidade de medição da vazão de emissores e avaliação da área molhada. As maiores desvantagens são os entupimentos, que requerem excelente filtragem da água e a interferência nas práticas culturais quando as laterais não são enterradas.



**Figura 15.9.** Sistema de irrigação por gotejamento.

#### 15.1.1.3.2 Subsuperficial

Atualmente, as linhas laterais de gotejadores ou tubos porosos estão sendo enterrados, de forma a permitir a aplicação subsuperficial da água (Figura 15.10). A vantagem desse sistema é a remoção das linhas laterais da superfície do solo, o que facilita o tráfego e os tratos culturais, além de uma vida útil maior. A área molhada na superfície não existe ou é muito pequena, reduzindo ainda mais a evaporação direta da água do solo. As limitações desse sistema são as dificuldades de detecção de possíveis entupimentos ou reduções nas vazões dos emissores.

A instalação das laterais pode ser mecanizada, o que permite utilizar o sistema em grandes áreas.



**Figura 15.10.** Sistema de irrigação localizada subsuperficial (Fonte: USA).

#### **15.1.1.4 Subirrigação**

Com a subirrigação, o lençol freático é mantido a uma certa profundidade, capaz de permitir um fluxo de água adequado à zona radicular da cultura. Geralmente, está associado a um sistema de drenagem subsuperficial. Havendo condições satisfatórias, pode-se constituir no método de menor custo. No Brasil, esse sistema de irrigação tem sido empregado com relativo sucesso no projeto do Formoso, no estado de Tocantins.

#### **15.1.2 Seleção do método de irrigação**

O primeiro passo no processo de seleção do sistema de irrigação mais adequado para uma certa situação consiste em selecionar antes o método de irrigação. Vários fatores podem afetar a seleção do método de irrigação. Os principais são resumidos na Tabela 15.1 e discutidos a seguir, juntamente com outros fatores importantes.

**Tabela 15.1.** Fatores que afetam a seleção do método de irrigação.

Método	Fatores			
	Declividade	Taxa de Infiltração	Sensibilidade da Cultura ao molhamento	Efeito do vento
<b>Superfície</b>	Área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas tomando-se cuidados no dimensionamento	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 60 mm h <sup>-1</sup> ou com taxa de infiltração muito baixa	Adaptável à cultura do milho, especialmente o sistema de sulcos	Não é problema para o sistema de sulcos
<b>Aspersão</b>	Adaptável a diversas condições	Adaptável às mais diversas condições	Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência
<b>Localizada</b>	Adaptável às mais diversas condições	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Nenhum efeito no caso de gotejamento
<b>Subirrigação</b>	Área deve ser plana ou nivelada	O solo deve ter uma camada impermeável	Adaptável à cultura do milho desde que o solo não fique	Não tem efeito

Adaptado de Turner (1971) e Gurovich (1985)

### **15.1.2.1 Topografia**

Se a área a ser irrigada é plana ou pode ser nivelada sem gasto excessivo, pode-se empregar qualquer um dos quatro métodos. Se a área não é plana, deve-se limitar ao uso de aspersão ou localizada, para as quais a taxa de aplicação de água pode ser ajustada para evitar erosão. O método de irrigação por superfície pode ser desenvolvido em áreas com declividades de até 15%. Aspersão pode ser empregada em áreas de até 30%, enquanto gotejamento pode ser implementado em áreas com declives de até 60%.

A presença de obstrução na área (rochas, voçorocas, construções) dificulta o emprego do método de superfície e subirrigação, mas pode ser contornada com os métodos de aspersão e, principalmente, com o método de irrigação localizada.

Áreas com formato e declividade irregulares são mais facilmente irrigáveis com métodos de aspersão e localizada do que com o método de superfície.

### **15.1.2.2 Solos**

Solos com velocidade de infiltração básica maior que 60 mm h<sup>-1</sup> devem ser irrigados por aspersão ou com irrigação localizada. Para velocidades de infiltração inferiores a 12 mm h<sup>-1</sup>, em áreas inclinadas, o método mais adequado é o da irrigação localizada. Para valores intermediários de velocidade de infiltração, os quatro métodos podem ser empregados.

Nos casos em que os horizontes A e B são pouco espessos, deve-se evitar a sistematização (prática quase sempre necessária nos sistemas de irrigação por superfície), de forma a evitar a ex-

posição de horizontes com baixa fertilidade. No caso de lençol freático alto, deve-se dar preferência a métodos de irrigação por superfície ou subirrigação. Entretanto, em solos com problemas potenciais de salinidade, deve-se evitar os métodos de superfície e subirrigação, dando-se preferência aos métodos de aspersão e localizada.

O emprego de irrigação por aspersão ou localizada em solos com reduzida capacidade de retenção de água, em geral, propicia melhor eficiência.

### **15.1.2.3 Cultura**

No caso da cultura do milho, os sistemas mais apropriados são o de sulcos e subirrigação (muito pouco utilizados no Brasil), aspersão convencional, autopropelidos, pivô central (o mais empregado) e gotejamento (uso crescente entre as empresas de semente e produtores de milho verde).

Na escolha do sistema de irrigação para produção comercial de milho, os aspectos mais importantes a serem considerados são o retorno econômico e a questão fitossanitária. Deve-se observar também a rotação de culturas, de forma que o sistema de irrigação atenda a todas as culturas a serem cultivadas no sistema de produção. Para essa situação, o sistema mais flexível é o de aspersão convencional ou pivô central. Em cultivos de milho que podem proporcionar maior retorno econômico e em situações de escassez de água, pode-se empregar sistemas mais eficientes e mais caros, como o gotejamento.

### **15.1.2.4 Clima**

A frequência e a quantidade das precipitações que ocorrem durante o ciclo das culturas ditam a importância da irrigação para



a produção agrícola. Nas regiões áridas e semi-áridas, é praticamente impossível produzir sem irrigação. Todavia, em regiões mais úmidas, a irrigação pode ter caráter apenas complementar e os sistemas de menor custo, como subirrigação e sulcos, se atenderem a outros requisitos (descritos posteriormente), devem ser selecionados para esse caso.

Em condições de vento forte, a uniformidade de distribuição de água pode ser muito prejudicada no método da aspersão e, portanto, ele deve ser evitado. O sistema de irrigação por pivô central apresenta melhor desempenho, em condições de vento, que os sistemas autopropelidos e convencionais, particularmente quando utilizado o sistema LEPA. Praticamente não há efeito de vento em sistemas de irrigação localizada e subirrigação.

As perdas de água por evaporação direta do jato, nos sistemas de aspersão, podem chegar a 10%, sem considerar a evaporação da água da superfície das plantas.

Sistemas de aspersão podem ser empregados para proteção contra geadas. Entretanto, isso só é possível em sistemas de aspersão fixos, dimensionados para permitir que toda a área possa ser irrigada simultaneamente.

#### **15.1.2.5 Disponibilidade e qualidade de água para irrigação**

A vazão e o volume total de água disponível durante o ciclo da cultura são os dois parâmetros que devem inicialmente ser analisados para a determinação, não só do método mais adequado, mas também da possibilidade ou não de se irrigar, conforme foi discutido em tópico anterior. A vazão mínima da fonte deve ser igual ou superior à demanda de pico da cultura a ser irrigada, levando-se em consideração também a eficiência de aplicação de

água do método. Pode-se considerar a construção de reservatórios de água, o que, todavia, onera o custo de instalação.

Sistemas de irrigação por superfície, em geral, requerem vazões maiores com menor frequência. Sistemas de aspersão e localizada podem ser adaptados a fontes de água com vazões menores. Sistemas de irrigação por superfície são potencialmente menos eficientes (30-80%), quando comparados com sistemas de irrigação por aspersão (75-90%) e localizada (80-95%).

A altura de bombeamento da água, desde a fonte até a área a ser irrigada, deve ser considerada quando da seleção do método de irrigação. À medida em que essa altura aumenta, sistemas de irrigação mais eficientes devem ser recomendados, de forma a reduzir o consumo de energia.

Fontes de água com elevada concentração de sólidos em suspensão não são recomendadas para utilização com sistemas de gotejamento, devido aos altos custos dos sistemas de filtragem. Todavia, tais impurezas não seriam problema para os métodos de irrigação por superfície.

A presença de patógenos nocivos à saúde humana pode determinar o método de irrigação de culturas consumidas in natura, como é o caso de hortaliças. Sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão não são adequados para esses casos. Todavia, gotejamento, sobretudo gotejamento enterrado, e métodos superficiais podem ser empregados.

Finalmente, deve-se considerar o custo da água na seleção do método. Quanto maior o custo da água, mais eficiente deve ser o método de irrigação. Vale aqui lembrar que o Brasil está atualmente implementando as outorgas de água, conseqüência da

Lei 9433/97, que determina a cobrança pelo uso da água em todo o país.

### **15.1.2.6. Aspectos econômicos, sociais e ambientais**

Parece óbvio que a meta principal da implementação de qualquer atividade agrícola, envolvendo irrigação, seja a obtenção do máximo retorno econômico. Todavia, os impactos nos aspectos sociais e ambientais do projeto não podem ser ignorados.

Cada sistema de irrigação potencial, adequado a uma certa situação, deve ser analisado em termos de eficiência econômica. Pode-se empregar a relação benefício-custo do projeto ou retorno-máximo para se determinar sua eficiência econômica. O projeto que apresentar melhor desempenho econômico deve, então, ser selecionado. A análise econômica de sistemas de irrigação é geralmente complexa, devido ao grande número de variáveis envolvidas. Deve-se empregar planilhas ou programas de computador para auxiliar nos cálculos. A descrição dessas ferramentas foge ao escopo deste trabalho.

Como regra geral, sistemas de irrigação de custo inicial elevado, como os de irrigação localizada, são recomendados para cultivos de maior valor, como sementes e milho verde. Os custos operacionais, principalmente energia, são geralmente maiores nos sistemas de irrigação por aspersão, intermediários nos de irrigação localizada e menores nos sistemas superficiais. Os custos de manutenção são geralmente elevados nos sistemas de irrigação por superfície, o que pode levar à frustração de muitos irrigantes.

Fatores como a geração de emprego, a produção local de alimentos e a utilização de equipamentos produzidos localmente devem também ser considerados na seleção dos métodos de irri-

gação. Se há incentivos governamentais para um ou mais desses fatores, deve-se levá-los em consideração na análise econômica. Finalmente, os impactos ambientais de cada método, como erosão, degradação da qualidade da água e destruição de habitats naturais, devem ser considerados. Tais efeitos podem ser considerados na análise econômica, na forma de multas ou incentivos governamentais, ou analisados em termos de limites toleráveis.

### **15.1.2.7 Fatores humanos**

Diversos fatores humanos, de difícil justificativa lógica, podem influenciar a escolha do método de irrigação. Hábitos, preferências, tradições, preconceitos e modismo são alguns elementos comportamentais que podem determinar a escolha final de um sistema de irrigação.

De forma geral, existe uma certa desconfiança entre os agricultores com relação à inovação tecnológica. Tecnologias já assimiladas são prioritariamente consideradas e suas inconveniências aceitas como inevitáveis, o que dificulta a introdução de sistemas de irrigação diferentes daqueles praticados na região.

O nível educacional dos irrigantes pode influir na seleção de sistemas de irrigação. A irrigação por superfície tem sido praticada com sucesso por agricultores mais tradicionais em diferentes regiões do mundo. Todavia, os sistemas de irrigação por superfície são pouco empregados no Brasil, à exceção da cultura do arroz, no Sul. Sistemas de aspersão e localizada requerem algum tipo de treinamento dos agricultores.

### **15.1.3 Considerações finais**

A seleção do sistema de irrigação mais adequado é o resultado do ajuste entre as condições existentes e os diversos siste-

mas de irrigação disponíveis, levando-se em consideração outros interesses envolvidos. Sistemas de irrigação adequadamente selecionados possibilitam a redução dos riscos do empreendimento, além de uma potencial melhoria da produtividade e da qualidade ambiental.

## 15.2 Quimigação

A quimigação consiste em aplicar uma solução ou calda de agroquímicos (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida ou nematicida) por meio do sistema de irrigação. Quando se trata de produtos que atuam no solo, a aplicação, em princípio, pode ser feita por meio de qualquer método de irrigação: gravitacional, aspersão ou localizado. Porém, a aplicação de produtos com atividade foliar somente é viável nos sistemas de irrigação por aspersão: laterais portáteis (convencional), pivô central, rolão e outros.

Uma vez que a solução estará misturada à água de irrigação, a uniformidade de aplicação do agroquímico se confunde com a da aplicação da água e, portanto, é necessário que essa uniformidade seja elevada, para que se obtenha uma boa uniformidade de aplicação do produto. A quimigação é praticamente restrita aos métodos pressurizados (aspersão e irrigação localizada).

Os sistemas pressurizados vêm sendo cada vez mais utilizados nesse processo, devido ao movimento turbulento da água, que ajuda a manter o material químico uniformemente distribuído nas tubulações. Essa característica contribui na obtenção de boa uniformidade de aplicação. Esses sistemas podem ser usados para aplicar diversos produtos químicos, como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e até mesmo outros produtos não tradicionais, como bioinseticidas e vírus. A injeção é feita na tubulação principal ou lateral e o ponto de aplicação será o aspersor

ou emissor. No caso da cultura do milho, pelas suas características de densidade de plantio, a irrigação localizada tem pouco uso comercial.

A injeção dos produtos pode ser efetuada utilizando-se diferentes métodos e equipamentos (COSTA & BRITO, 1994). Porém, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimigação depende do cálculo correto de variáveis como taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetada, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada na área irrigada, concentração do produto na água de irrigação, entre outros.

Além dos cálculos operacionais feitos corretamente, é necessário assegurar-se de que o sistema, tanto de irrigação quanto de injeção, está funcionando de acordo com os parâmetros para os quais está ajustado, ou seja, que a vazão calculada corresponde àquela efetiva no sistema ou que a taxa de injeção desejada estará realmente ocorrendo no campo. Portanto, tão importante quanto os cálculos operacionais, é proceder à calibração periódica dos equipamentos (BRITO & COSTA, 1998).

### **15.2.1 Informações preliminares sobre produtos**

A quimigação requer que os produtos usados estejam em solução ou que possam ser disponibilizados em forma líquida ou fluida. Portanto, se os materiais usados não forem originalmente fluidos, é necessário preparar a solução desejada antes de proceder à injeção. Para tanto, é importante conhecer algumas características dos produtos, como solubilidade, conteúdo do elemento ou princípio ativo desejado, densidade e/ou concentração e limite de tolerância pelas culturas, entre outros.

### **15.2.2 Aplicação via aspersão com laterais portáteis (convencional)**

A injeção de produtos químicos pode ser realizada utilizando vários métodos (COSTA & BRITO, 1994). Pelo fato de o sistema permanecer estacionário durante a aplicação de água, é comum a utilização de depósitos hermeticamente fechados, constituídos de fibra de vidro ou de metal protegido contra a ação corrosiva dos agroquímicos. Nesse caso, o volume do depósito é função da área a ser irrigada, do método de injeção e das condições de suprimento de água.

A quantidade do produto a ser aplicada por hectare depende da dose recomendada e é determinada a partir das análises laboratoriais ou do receituário agrônômico. A quantidade total do produto requerida pela cultura pode ser parcelada em diversas aplicações, conforme as exigências da mesma em cada estágio de desenvolvimento. O tipo e a concentração da solução a ser aplicada dependem das recomendações agrônômicas estabelecidas para a cultura e do manejo a ser usado na aplicação.

A área a ser irrigada e o tempo requerido para cada posição das linhas laterais são informações que devem estar disponíveis para que se possa calcular as quantidades de produto ou solução a injetar. O tempo é função da capacidade do sistema de irrigação, da capacidade de retenção de água no solo, do clima e da cultura.

#### **15.2.2.1 Quantidade do produto injetada por lateral**

A aplicação de agroquímicos, num sistema de aspersão com laterais portáteis, consiste de várias etapas, cujos cálculos são apresentados na sequência seguinte (FRIZZONE et al., 1985):

### 15.2.2.2 Quantidade de produto a ser injetada

Para calcular a quantidade de produto a ser injetada, pode-se usar a fórmula:

$$Q_i = \frac{E_a E_l N_a P_d}{10.000} \quad (\text{eq. 1})$$

Em que  $Q_i$  é a quantidade de produto, ou princípio ativo, a ser aplicada por linha lateral (kg);  $E_a$  é o espaçamento entre aspersores na linha lateral (m);  $E_l$  é o espaçamento entre laterais (m);  $N_a$  é o número de aspersores na linha lateral;  $P_d$  é a dose recomendada do produto ou princípio ativo ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ).

### 15.2.2.3 Quantidade de produto sólido a ser colocada no tanque

Quando o produto, no seu estado original, é sólido, é necessário preparar a solução no tanque, podendo-se usar a equação:

$$Q_p = \frac{C_a Q V_a}{q_i P} \quad (\text{eq. 2})$$

Em que  $Q_p$  é a quantidade de produto a ser colocada no tanque (g);  $C_a$  é a concentração desejada do elemento ou princípio ativo na solução na saída dos aspersores ( $\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$  ou ppm);  $Q$  é a vazão do sistema de irrigação ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  $V_a$  é a capacidade do tanque ( $\text{m}^3$ );  $q_i$  representa a taxa de injeção ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ );  $P$  é a porcentagem do elemento no produto, expresso em valor decimal. Vale mencionar que a presença de  $C_a$  na fórmula deve-se ao fato de que alguns produtos, dependendo de sua concentração na água, podem produzir efeitos de queima ou toxidez na folhagem. Ao



utilizar algum produto dessa natureza, deve-se verificar o limite recomendável de concentração.

#### 15.2.2.4 Número necessário de tanques do produto (NT)

Para estabelecer o número de tanques que serão necessários para comportar a solução ou calda a ser injetada, faz-se o cálculo seguinte:

$$N_T = \frac{P_d A}{PQ_p} \quad (\text{eq. 3})$$

Em que  $Q_p$  representa a quantidade do produto (sólido) em cada tanque, que, nessa fórmula, é comumente usado em quilograma (kg), diferentemente da (eq. 2);  $A$  é a área irrigada, em cada posição da linha lateral (ha) e os outros termos já foram anteriormente definidos.

#### Exemplo I.

Pretende-se aplicar nitrogênio (N) numa área, utilizando-se uréia, com um sistema de irrigação com laterais portáteis (convencional), em que cada lateral é composta de 12 aspersores, com vazão individual de  $3 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ , espaçamento igual entre linhas e aspersores de 18 m. As seguintes informações são disponíveis:

- concentração desejada na água de irrigação,  $C_a = 250 \text{ ppm de N}$ ;
- capacidade de injeção da bomba,  $q_i = 0,50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ;
- capacidade do tanque,  $V_a = 400 \text{ L } (0,40 \text{ m}^3)$ ;
- dose recomendada do nutriente (N),  $P_d = 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$ ;

Calcular:

- a. a quantidade de nutriente (N) a ser aplicada, por lateral;
- b. a quantidade de fertilizante sólido (uréia) a ser colocada em cada tanque;
- c. o número necessário de tanques, por aplicação;

Solução:

- a. quantidade de N a ser injetada, em cada lateral :

Usando a eq. 1, tem-se:

$$Q_i = \frac{(18)(18)(12)(50)}{10.000} = 19,44 \text{kg}$$

como a uréia tem 45% de N, esses 19,44 kg equivalem a 43,2 kg de uréia.

- b. quantidade de fertilizante sólido (uréia) a ser colocada em cada tanque:

Como cada lateral contém 12 aspersores, com vazão individual de  $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , a vazão na lateral, Q, será de  $36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . A uréia contém 45% de N ou 0,45. Usando a eq. 2, calcula-se:

$$Q_p = \frac{(250)(36)(0,4)}{(0,50)(0,45)} = 16.000 \text{g} = 16 \text{kg}$$

que é a quantidade de uréia sólida a ser colocada em cada tanque.

A solubilidade da uréia é de 120 kg 100L<sup>-1</sup>. Como o tanque tem capacidade de 400 litros, para diluir 16 kg de uréia, isso equivale a uma solubilidade de 4 kg 100 L<sup>-1</sup>, bastante inferior à da uréia. Portanto, o produto será facilmente diluído.

c. Número necessário de tanques (NT):

A área irrigada a cada posição da lateral, considerando o espaçamento de 18 x 18 m, será de 12 x 324 m<sup>2</sup> = 3.888 m<sup>2</sup> ou aproximadamente 0,39 ha. Usando a eq. 3, obtém-se:

$$N_t = \frac{(50)(0,39)}{(0,45)(16)} \cong 2,7$$

Serão necessários três tanques (arredondando-se 2,7). Multiplicando-se o número de tanques pela quantidade de uréia a ser colocada em cada um (3 x 16), obtém-se o total de 48 kg, portanto, superior ao valor encontrado no final do item (a) do exemplo, 43,2 kg, devendo-se a diferença a erros de arredondamento. Nesse caso pode-se ajustar a quantidade do produto a ser colocada em cada tanque para  $43,2/3 = 14,4$  kg.

### 15.2.3 Aplicação via pivô central

O sistema pivô central tem sido amplamente usado para quimigação, graças à sua facilidade de automação e às possibilidades de aplicação eficiente da água. O comprimento da lateral do sistema é bastante variado, dependendo da necessidade do produtor, das características topográficas e das dimensões da área a ser irrigada, variando de 60 m até aproximadamente 650 m, correspondendo a uma área irrigada de 1,31 a 133 ha, respectivamente. Os métodos de injeção empregados normalmente utili-

zam as bombas de deslocamento positivo, que se caracterizam por baixas vazões e altas pressões, ideais para a aplicação de produtos químicos via pivô central.

### 15.2.3.1 Cálculo da taxa de injeção

A taxa de injeção de produtos químicos via pivô central deve ser constante durante a aplicação de uma determinada dose na área irrigada. Essa condição é necessária porque o equipamento opera com um deslocamento contínuo e uniforme para aplicação da lâmina de água requerida.

A taxa de injeção de determinado produto químico depende da dose do produto a ser distribuída na área, da velocidade de deslocamento do equipamento, da área irrigada e da concentração do produto no tanque de injeção. Essas variáveis estão todas relacionadas e a taxa de injeção pode ser calculada pela equação:

$$q_i = \frac{P_d r^2 v_t V_a}{20.000 r_t Q_p} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que  $q_i$  é a taxa de injeção ( $\text{L min}^{-1}$ );  $P_d$  é a dose do produto na área irrigada ( $\text{kg}$  ou  $\text{L ha}^{-1}$ );  $v_t$  é velocidade do pivô na última torre ( $\text{m min}^{-1}$ );  $r_t$  é a distância do ponto do pivô até a última torre (m);  $r$  é o raio irrigado do pivô central;  $Q_p$  é a quantidade do produto no tanque de injeção ( $\text{kg}$  ou  $\text{L}$ ); e  $V_a$  é o volume de água no tanque em que o produto é diluído (L). Na constante 20.000, está embutida a unidade  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ . Na prática, geralmente a taxa de injeção é pré-fixada, calculando-se a quantidade do produto a ser diluída em um determinado volume de água.

Dependendo da concentração da solução injetada, de sua taxa de injeção e da vazão do sistema de irrigação, poderão surgir efeitos indesejáveis, como precipitação de sais da água, corrosão dos materiais componentes do equipamento, toxicidade das plantas ou contaminação do ambiente. Por isso, considera-se muito importante obter a concentração final do produto injetado na água de irrigação e avaliar as possibilidades de dano ao equipamento de irrigação e ao sistema de produção utilizado. O cálculo da concentração do produto na água de irrigação,  $C_a$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), pode ser realizado utilizando a seguinte expressão:

$$C_a = \frac{q_i \left( \frac{Q_p}{V_a} \right)}{60Q} 10^6 \quad (\text{eq. 5})$$

Em que  $Q$  representa a vazão do sistema de irrigação ( $\text{L s}^{-1}$ ).

Quando o sistema não dispõe de um medidor de vazão, recomenda-se estimar seu valor a partir de informações sobre a lâmina média aplicada e a uniformidade de distribuição de água do equipamento, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Q = 3,636(10)^{-5} \frac{r^2 L_i}{U_i} \quad (\text{eq. 6})$$

Em que  $L_i$  é a lâmina média aplicada ( $\text{mm d}^{-1}$ ) e  $U_i$  representa o índice de uniformidade adotado, expresso em forma decimal.

O número de tanques a serem utilizados na aplicação depende do tamanho do pivô, da capacidade do reservatório de injeção utilizado, da velocidade de deslocamento do equipamento

e da taxa de injeção empregada. Pode ser calculado da seguinte forma:

$$N_T = \frac{2\pi r_i q_i}{v_i V_a} \quad (\text{eq. 7})$$

Em que  $N_T$  representa o número de tanques necessários para a aplicação em um círculo completo; as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

### Exemplo 2.

Deseja-se aplicar uma dose de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de uréia através de um pivô central, com raio irrigado de 400 m. O equipamento irá deslocar-se numa velocidade de  $2,5 \text{ m min}^{-1}$ , na última torre, que se encontra a 385 m do ponto pivô. Pretende-se dissolver 360 kg do fertilizante, de uma só vez, em 800 L de água no tanque de injeção. Pede-se determinar: a) a taxa de injeção necessária para aplicar uréia uniformemente; b) a concentração do produto na água de irrigação, sabendo que a vazão no sistema de irrigação é de  $47,5 \text{ L s}^{-1}$ ; c) o volume total de solução necessário para aplicação da dose requerida em toda a área desse pivô central.

Solução:

Sendo o raio irrigado de 400 m, a área total é  $\pi (400)^2 = 502.654 \text{ m}^2$ , ou 50 ha. Com a dose de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ , isso representa um total de 1.000 kg de uréia a serem aplicados.

a. Taxa de injeção:

Usando a eq. 4

$$q_i = \frac{(20)(400)^2 (2,5)(800)}{20.000(385)(360)} = 2,31L / \text{min}$$

b. Concentração do produto na água de irrigação:

Aplicando o valor obtido acima na eq. 5

$$C_a = \frac{(2,31)\left(\frac{360}{800}\right)}{60(47,5)} 10^6 \cong 365mg / L$$

Se for o caso de produto com maior nível de toxidez, esse valor de concentração deverá ser comparado ao limite tolerável pela cultura.

c. Volume total de solução:

Redistribuindo os termos da eq. 7

$$\text{Volume total} = N_T V_a = \frac{2\pi r_f q_i}{v_f} = \frac{2\pi(385)(2,31)}{(2,5)} = 2.234L$$

o que equivale aproximadamente a 2,8 tanques de 800 L, ou seja, serão usados três tanques. Ajustando-se os 1.000 kg de uréia para três tanques, deverão ser diluídos 333 kg de uréia por tanque.

O equipamento de pivô central deve estar bem ajustado, para promover uma aplicação eficiente. Em geral, equipamentos com uniformidade de distribuição acima de 85% são considerados adequados para a quimigação.

## 15.2.4 Calibração

Na produção agrícola, são usados diferentes tipos de equipamentos e técnicas de medição. Uma vez tomada a decisão de "quimigar", deve-se ter em mente que uma calibração bem feita é essencial para a segurança do operador e ambiente e para a economia do empreendimento. Erros de calibração podem resultar no desperdício de grandes somas em químicos, além do risco de contaminação que isso representa.

Para que a uniformidade de distribuição dos produtos químicos seja efetiva na área irrigada, ela deve ser similar à uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação. O processo de calibração dos sistemas envolvidos na quimigação deve ser iniciado com a checagem do coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação empregado. Após esse procedimento, pode-se iniciar a calibração dos equipamentos de injeção dos produtos químicos e do sistema de irrigação.

O sistema de injeção é o equipamento usado para adicionar o produto à água de irrigação. As peças individuais incluem: bomba injetora, tubo de calibração, tanque-depósito com agitador e as conexões e tubulações associadas. Conforme sugestões da Universidade de Nebraska (1996), para segurança e precisão na aplicação deve-se ter sistemas diferentes de injeção para pesticidas e fertilizantes. Os sistemas são semelhantes, mas as capacidades são diferentes. Pesticidas geralmente são aplicados com bombas de diafragma de baixo volume, que podem ser ajustadas durante o bombeamento, portanto, agilizando o processo de calibração. Os tanques normalmente têm capacidade de 200 a 400 L. A taxa de injeção de pesticidas, em média, está em torno de 30 a 200 mL  $\text{min}^{-1}$ . Portanto, um tubo de calibração de 1000 mL é adequado.



Em contraste, os fertilizantes são aplicados em quantidades relativamente grandes e tanques com capacidade de até 4000 L são comuns.

Geralmente, os equipamentos vêm com recomendações dos fabricantes, com o objetivo de diminuir a margem de erros durante o processo de injeção. Entretanto, as possibilidades de aplicação de produtos químicos são muito variadas, em função das características dos produtos e dos sistemas de irrigação. Por isso, é de bom senso que, junto com as informações dos fabricantes, haja monitoramento dos sistemas de injeção em intervalos regulares ou no começo de cada operação, com o objetivo de assegurar a aplicação uniforme e segura do produto.

A calibração dos equipamentos de injeção é relativamente simples e direta, se um mínimo de material é colocado à disposição para esse procedimento. Nesse material, incluem-se basicamente um cilindro graduado com capacidade de até 20 L, para coletar o efluente do sistema de injeção, um hidrômetro e um cronômetro.

Os passos requeridos para uma calibração acurada são (UNIVERSIDADE DE NEBRASKA, 1996):

- determinação da área a ser tratada;
- cálculo da quantidade de químico necessária;
- determinação do tempo de aplicação (ou de revolução, no caso de pivô central);
- cálculo da taxa de injeção;
- conversão da taxa de injeção para as unidades do tubo de calibração.

A calibração é conduzida pelo ajuste da taxa de injeção de produto da bomba injetora para injetar a quantidade correta do produto. Pequenos erros na entrada de produtos podem causar taxas mais altas ou mais baixas de aplicação e podem-se obter resultados insatisfatórios.

Dentre os vários tipos de equipamento de injeção, os sistemas baseados no venturi e as bombas injetoras de pistão e diafragma são os mais usados na injeção de fertilizantes nitrogenados (MOREIRA & STONE, 1994). O processo de calibração, quando se usa venturi, é feito determinando-se a vazão derivada, que é uma parte da vazão total que passa pelo tanque de solução. A determinação dessa vazão é feita instalando-se um hidrômetro na mangueira entre o ponto de tomada de água na tubulação de irrigação e o tanque de solução. Após a determinação da vazão derivada, é feita a calibração, isto é, a vazão derivada é ajustada à taxa de aplicação do produto determinada antecipadamente.

Por exemplo, deseja-se aplicar uma solução de agroquímico a uma taxa de 20 L, em dez minutos. Com o sistema em funcionamento e o tanque com água, mede-se o tempo gasto para passar os 20 litros pelo hidrômetro; se o tempo for menor que os dez minutos necessários, é sinal de que o registro está muito aberto e deve ser fechado um pouco. Se maior, está muito fechado e deve ser aberto um pouco mais. Esse procedimento deve ser repetido até se obter a vazão desejada de 20 litros em dez minutos. Na ausência de um hidrômetro, pode-se utilizar o cilindro graduado e coletar a vazão derivada em um tempo preestabelecido ou determinar o tempo de uma vazão preestabelecida. Em ambos os casos, deve-se utilizar a unidade de litros por minuto ( $L \text{ min}^{-1}$ ) (MOREIRA & STONE, 1994).

As bombas injetoras de pistão são bastante apropriadas para a injeção de fertilizantes nitrogenados. Nesse equipamento, a taxa de injeção do produto químico é determinada pelo número de golpes dados por um pistão de determinado comprimento e diâmetro. Normalmente, a relação taxa de injeção por número de golpes é fornecida pelo fabricante através de catálogos, o que não deve impedir que se faça uma nova calibração a cada aplicação, uma vez que os valores dessa relação estão sujeitos a variações resultantes de alterações na pressão diferencial a que o injetor é submetido.

O procedimento de calibração é o seguinte (MOREIRA & STONE, 1994): com a bomba instalada e o sistema de irrigação em funcionamento, abre-se lentamente o registro de entrada de água localizado na parte inferior da bomba. A bomba entra imediatamente em funcionamento. Ligado à bomba, um contador registra o número de golpes do pistão. A cada movimento do pistão, a bomba injeta determinada vazão, que deve ser medida por meio de um cilindro graduado. Como a quantidade de produto por área é calculada antecipadamente, ajusta-se o funcionamento da bomba injetora a esses valores. Isso é feito mediante a abertura do registro de água, que regula a frequência dos golpes, que normalmente são de um a doze por minuto, o que corresponde aproximadamente a 30 a 360 L h<sup>-1</sup> de solução.

Em seguida, são apresentados procedimentos de calibração para sistemas de irrigação por laterais portáteis, pivô central e gotejamento, extraídos de Moreira & Stone (1994).

#### **15.2.4.1 Sistema de aspersão por laterais portáteis (convencional)**

(a) Determinar a área irrigada por uma linha lateral. Multiplicar o espaçamento entre laterais ao longo da linha principal pelo com-

primento da lateral. Se mais de uma linha lateral funciona simultaneamente, multiplicar também pelo número de laterais.

Exemplo:

6 laterais com 240 m de comprimento cada, espaçadas entre si de 6 m.  $(240\text{m} \times 6\text{m} \times 6) / (10.000\text{m}^2 \text{ha}^{-1}) = 0,86 \text{ ha}$

(b) Determinar a quantidade necessária do produto químico por hectare (especificação do produto)

Exemplo:

Dose de  $4 \text{ L ha}^{-1}$ .

(c) Determinar a quantidade total de produto químico necessária, multiplicando-se a área irrigada pela quantidade do produto por hectare:  $0,86 \text{ ha} \times 4 \text{ L ha}^{-1} = 3,44 \text{ L do produto}$ .

(d) Determinar a quantidade de água a ser aplicada durante a irrigação de uma lateral (calculada na elaboração do projeto de irrigação).

Exemplo:

28 mm de água devem ser aplicados na irrigação de uma lateral.

(e) Determinar a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação (obtida de tabelas, em função das características do aspersor em uso).

Exemplo:

De acordo com a tabela de aspersores, a taxa de aplicação de água será de  $7\text{mm h}^{-1}$ .

(f) Determinar o tempo de irrigação, dividindo-se a quantidade de água a ser aplicada (item 4) pela taxa de aplicação de água (item 5):  $(28 \text{ mm}) / (7 \text{ mm h}^{-1}) = 4 \text{ h}$  de irrigação.

Recomenda-se que alguns produtos, como herbicidas, sejam aplicados durante a primeira metade do tempo de irrigação ou durante as primeiras duas horas.

(g) Encher parcialmente o tanque de solução com água, deixando espaço suficiente para a adição do produto químico. Acionar o agitador do tanque e adicionar o produto.

### Exemplo

Para um tanque de 50 L, adicionar aproximadamente 46,5 L de água, ligar o agitador e adicionar os 3,44 L do produto para completar o volume total.

(h) Determinar a taxa de injeção, dividindo o total de litros no tanque (item 7) pelo tempo, em horas, requerido para aplicar o produto (item 6):  $50 \text{ L} / 2 \text{ h} = 25 \text{ L h}^{-1}$ .

(i) Ajustar a taxa de injeção da bomba para  $25 \text{ L h}^{-1}$ , para assegurar a aplicação correta do produto químico.

(j) Se a solução for aplicada no final do tempo de irrigação, deixar o sistema de irrigação em funcionamento por tempo suficiente, após o término da injeção, para assegurar que a solução foi completamente removida do sistema.

#### 15.2.4.2 Pivô central

a) Determinar a área irrigada pelo pivô central. O cálculo é:

$$A = \frac{\pi r^2}{10000}$$

Em que A é área irrigada (ha) e r é o raio máximo molhado (m).

Exemplo:

Se r = 280 m

$$\text{Área} = \pi \frac{(280 \times 280)}{10000} \cong 24,6 \text{ ha}$$

b) Determinar a quantidade total de produto químico a ser aplicada, multiplicando-se a área irrigada pela quantidade de produto por hectare.

Exemplo:

Supondo-se uma dose recomendada para o produto de 3 L ha<sup>-1</sup>, tem-se:

Volume = 24,6 ha x 3 L ha<sup>-1</sup> = 73,8 L do produto a serem injetados.

c) Encher parcialmente o tanque de solução com água e deixar espaço suficiente para a adição do produto químico. Acionar o agitador do tanque e adicionar o produto.

Exemplo:

Num tanque de 200 L, adicionar aproximadamente 126 L de água, ligar o agitador e adicionar os 73,8 L do produto, para completar o volume total.

d) Determinar a velocidade de deslocamento do pivô central. A velocidade rotacional do pivô é dada geralmente em metros por minuto.

Exemplo:

Distância percorrida em 10 minutos = 200 metros.

$$\text{Velocidade} = \frac{200}{10} = 2 \text{ m/min}$$

e) Determinar o tempo de uma revolução completa do pivô central. A circunferência e a velocidade rotacional do pivô são necessárias nesse cálculo. A circunferência (C) é calculada pela fórmula:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Em que r é o raio medido do centro até a última torre do pivô (m).

Exemplo:

Raio do pivô = 250 metros

$$C = 2 \times \pi \times 250 = 1.570,8 \text{ m}$$

O tempo de revolução é calculado dividindo-se a circunferência pela velocidade de deslocamento do pivô:

$$\frac{1570,8m}{2m/min} = 785,4 \text{ min} = 13,1 \text{ h por revolução}$$

(f) Determinar a taxa de aplicação/injeção do produto, que é obtida dividindo-se a quantidade de solução necessária para a quimigação (item 3) pelo tempo de revolução do pivô (item 5):

$$\text{Taxa de aplicação/injeção} = 200 \text{ L de solução} / 13,1 \text{ h} \approx 15,3 \text{ L/h}$$

(g) Ajustar a taxa de injeção da bomba injetora para  $15,3 \text{ L h}^{-1}$  para assegurar a correta aplicação do produto.

(h) Deixar o pivô central em operação por tempo suficiente (normalmente em torno de cinco minutos) após o término da injeção, para assegurar que a solução foi completamente removida do sistema de irrigação.

### 15.3 Referências

ANDRADE, C. L. T. **Seleção do Sistema de Irrigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2001. 18 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 14).

BRITO, R. A. L.; COSTA, E. F. Cálculos operacionais e calibração nos sistemas pressurizados. In: COSTA, E. F. da; BRITO, R. A. L.; VIANA, P. A.; TEIXEIRA, D. M. C.; PITTA, G. V. E.; COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; VALICENTE, F. H.; PINTO, N. S. J. A.; SILVA, J. B. da; KARAM, D.; VIEIRA, R. F. **Curso de engenharia e manejo de irrigação: quimigação - aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação**. Brasília, DF: ABEAS / Viçosa: UFV, 1998. Módulo 9, Cap. 4, p. 37-56.



COSTA, E. F.; BRITO, R. A. L. "Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: DF: EMBRAPA-SPI, 1994. Cap. 3, p. 85-109.

FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31 p (Boletim Técnico, 2).

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

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F. Calibração. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed.). **Quimigação** aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: DF: EMBRAPA-SPI, 1994. Cap. 6, p.

NEBRASKA UNIVERSITY. **Calibration of Center Pivot**. Lincoln: Extension Service, 1996. (Video - Proj 87-EXCA-3-0796)

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