

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

**Guilherme Augusto Biscaro
(organizador)**

Universidade Federal da Grande Dourados
Reitor: Damião Duque de Farias
Vice-Reitor: Wedson Desidério Fernandes

Editora UFGD
Edvaldo Cesar Moretti (coordenador)
Givaldo Ramos da Silva Filho (técnico de apoio)
Raquel Correia de Oliveira (redatora)
Tiago Gouveia Faria (revisor)
Marise Massen Frainer (programadora visual)

Conselho Editorial da UFGD
Edvaldo Cesar Moretti,
Wedson Desidério Fernandes
Paulo Roberto Cimó Queiroz
Rita de Cássia Aparecida Pacheco Limberti
Rozanna Marques Muzzi
Fábio Edir dos Santos Costa

Fotos e ilustrações: Guilherme Augusto Biscaro,
Reginaldo Coelho Rodrigues, Luciano Oliveira Geisenhoff, Luiz Antônio Lima, Mariana Freire, Thaís Helena
Pereira (capa), Aline Baptista Borelli e Kamila de Almeida Monaco.

Imagens retiradas de sites da Internet (créditos na página 250).
Tratamento de imagens: Dhiones Dias
Revisão gramatical: Fabiana Biscaro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S623 Sistema de irrigação localizada. / Organizador: Guilherme Augusto Biscaro – Dourados, MS:
Ed. UFGD, 2014.
256p.

ISBN: 978-85-8147-085-6
Possui referências

1. Irrigação. 2. Microaspersão. 3. Gotejamento. I. Título.

CDD – 631.587

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.
© Todos os direitos reservados. Conforme Lei nº 9.610 de 1998

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Guilherme Augusto Biscaro
(Organizador)



Sumário

Capítulo 1 - Irrigação Localizada: aspectos gerais	09
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 2 - Dimensionamento Hidráulico	37
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 3 - Escolha do Emissor	61
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 4 - Fertirrigação	69
Guilherme Augusto Biscaro e Alessandra Conceição de Oliveira	
Capítulo 5 - Qualidade da Água	109
Raimundo Leite Cruz	
Capítulo 6 - Necessidade Hídrica das Culturas	121
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 7 - Determinações de Campo	133
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 8 - Automação	145
Luciano Oliveira Geisenhoff	
Capítulo 9 - Conjunto Motobomba	169
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 10- Sistemas de Filtragem	195
Eder Pereira Gomes	
Capítulo 11 - Exemplo de Projeto	217
Guilherme Augusto Biscaro	
Capítulo 12 - Outorga da Água	237
Guilherme Augusto Biscaro	
Bibliografia Consultada	247

Nomenclatura das Unidades	251
Créditos de Imagens Retiradas da Internet	252
Agradecimentos Especiais	253
Sobre os autores	255



Capítulo 1

Irrigação Localizada: aspectos gerais

Capítulo 1

1. Introdução

A aplicação de água no método de irrigação localizada visa molhar especificamente a área de solo na qual se encontra o sistema radicular da cultura (Figura 1.1). Por meio de tubulações a água é conduzida sob baixa pressão, sendo fornecida para a região do solo próxima ao pé da planta por meio de emissores (que variam conforme o sistema utilizado). A umidade do solo é mantida próxima à capacidade de campo, caracterizando assim uma irrigação de alta frequência.



Figura 1.1 - Sistema de irrigação localizada por gotejamento.

Os emissores são os mecanismos mais importantes desse método de irrigação. Sua função é proporcionar baixas vazões de água, o que permite diminuir o diâmetro das tubulações, reduzindo assim parte dos custos (cerca de 10% do custo total de um projeto).

A pressão de serviço, porém, não deve ser baixa em demasia, para que não ocorram problemas de desuniformidade na distribuição de água nem perdas de cargas desnecessárias.

2. Vantagens e Desvantagens

As principais vantagens desse método de irrigação são: economia de mão de obra; possibilidade de utilização ininterrupta do equipamento; distribuição mais uniforme de água e produtos químicos; adaptação a qualquer gradiente de declive do solo; apresentação de poucas perdas por percolação, evaporação e deriva (vento); possibilidade de economia na aplicação de água e fertilizantes, de energia elétrica ou combustível (motobombas); não há estímulo ao crescimento exagerado de plantas daninhas; e apresentação de elevada eficiência na aplicação de água (85% a 95%).

Suas desvantagens são: elevado custo inicial (quando comparado a outros métodos); exigência de um sistema de filtragem mais rigoroso; susceptibilidade ao entupimento devido aos pequenos orifícios de passagem de água; e necessidade de um manejo de irrigação mais rigoroso e diferenciado em áreas de solos salinos ou na utilização de águas salobras.

3. Tipos de Emissores

Os tipos mais comuns de emissores utilizados nos sistemas de irrigação localizada são: gotejadores, mangueiras gotejadoras, microtubos, mangueiras exudantes, difusores e microaspersores.

Gotejadores

Têm por função conduzir a água que se encontra sob pressão dentro da tubulação para o sistema radicular da planta, por meio de gotas (Figura 1.2). Os gotejadores são instalados na parede externa da tubulação de polietileno (on-line), em quantidade e distâncias preestabelecidas no projeto (Figura 1.3).



Figura 1.2 - Formação da gota.



Figura 1.3 - Gotejador do tipo on-line.

Em gotejadores denominados autocompensados existe uma membrana flexível de borracha que se deforma quando submetida à pressão da água, restringindo sua passagem pelo orifício de saída, tornando constante a vazão em todos os emissores de uma determinada área (Figura 1.4).

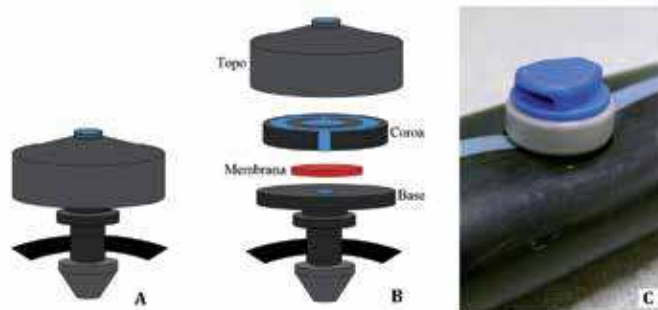


Figura 1.4 - Gotejador autocompensado on-line: ilustração dos componentes (A e B) e inserido na tubulação (C).

Ao final da irrigação a pressão sobre a membrana é reduzida, o que faz com que a passagem de água no gotejador fique desimpedida, facilitando a eliminação de eventuais partículas acumuladas, e tornando-o assim autolimpante. É recomendada sua utilização em terrenos com topografia irregular.

Gotejadores com Vazão Regulável

Os gotejadores com vazão regulável (Figura 1.5) possuem as mesmas funções de um gotejador comum, porém com a vantagem de possibilitar a regulação da vazão de acordo com as necessidades do projeto.

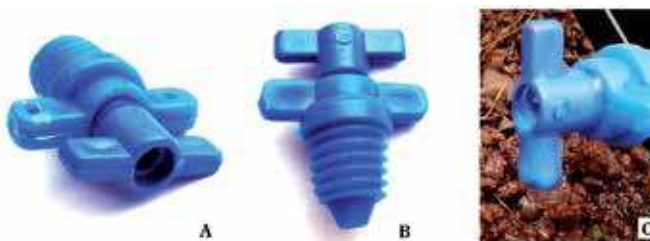


Figura 1.5 - Gotejador com vazão regulável: em destaque (A e B) e em funcionamento (C).

Gotejadores com Múltiplas Saídas

Esse tipo de gotejador possui mais de uma saída de água, onde são conectados micro-tubos auxiliares, irrigando vários pontos simultaneamente (Figura 1.6).



Figura 1.6 - Gotejador com múltiplas saídas: em destaque (A) e em funcionamento (B).

Tubos Gotejadores

Os tubos gotejadores (Figura 1.7) consistem em tubos flexíveis de polietileno cujos emissores fazem parte da parede da tubulação (in-line). Dependendo do modelo e da marca podem possuir paredes duplas, sistemas de pré-filtragem interna, labirinto, etc., que visam aumentar a eficiência e uniformidade de aplicação de água.

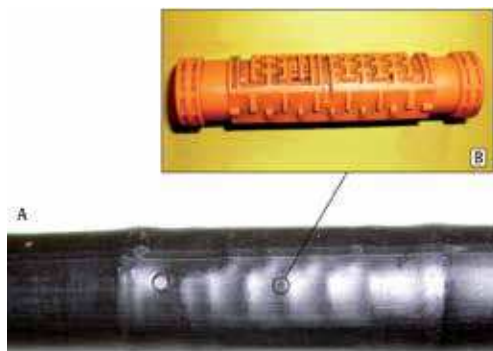


Figura 1.7 - Tubo com gotejador in-line (A) e detalhe da parte interna (B).

Os gotejadores são inseridos durante a fabricação da tubulação de polietileno, por meio de máquinas extrusoras (Figura 1.8), em diversos espaçamentos. Também podem ser do tipo autocompensado.



Figura 1.8 – Máquina extrusora.

Microtubos do Tipo Spaghetti

São tubos de pequeno diâmetro (variam entre 0,6 a 1,5 mm), são inseridos na tubulação de polietileno da mesma maneira que os gotejadores on-line. São conhecidos também como gotejadores de longo percurso (Figura 1.9). Sua instalação é bem simples e apresentam baixo custo quando comparados com outros tipos de emissores.

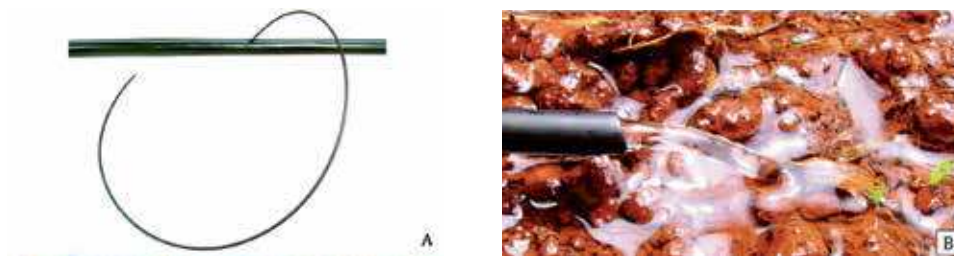


Figura 1.9 - Microtubo do tipo spaghetti: inserido na tubulação (A) e em detalhe (B).

Ao longo de seu comprimento (que é recomendado pelo fabricante) ocorre a dissipação de energia por perda de carga, o que faz com que a água saia em pequena quantidade.

Mangueiras Exudantes

As mangueiras exudantes são tubulações feitas de uma malha porosa (Figura 1.10), com poros de 4 a 5 micras de diâmetro, que ocupam em torno de 50% da sua superfície, feita de microfibras de polietileno.

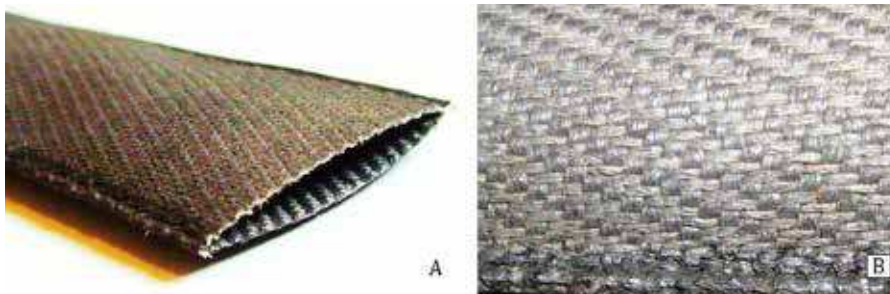


Figura 1.10 - Malha porosa da mangueira exudante: em destaque (A) e detalhe da malha (B).

Necessitam de baixas pressões (3 m c. a., em média) para seu funcionamento e apresentam também vazões de mesma grandeza (1 a 1,75 litros por hora por metro de mangueira). A água sai por toda a sua extensão e circunferência (Figura 1.11).



Figura 1.11 - Mangueira exudante em funcionamento.

Microaspersores

Os microaspersores (Figura 1.12) são emissores instalados sobre uma estaca de plástico que é cravada no solo, e conectados (on-line) com a tubulação lateral por meio de um microtubo de polietileno de 3 a 5 mm de diâmetro.



Figura 1.12 – Microaspersor: em funcionamento (A e B) e em detalhe (C).

Possuem uma peça dotada de movimento giratório (bailarina) que tem por função distribuir a água, que irá incidir sobre a superfície do solo (Figura 1.13).

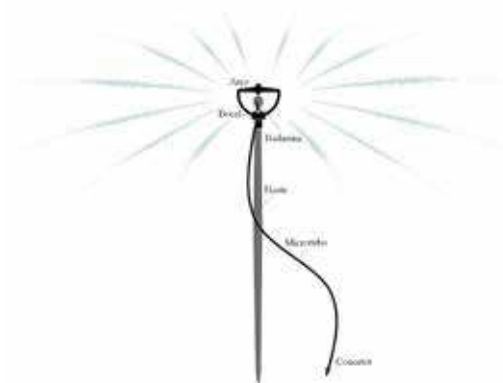


Figura 1.13 - Componentes de um microaspersor.

Possuem um raio com alcance, em geral, de 1 a 3 m (Figura 1.14), e trabalham com pressões que variam entre 10 e 20 m c. a. São utilizados com maior frequência na irrigação de fruticultura. O diâmetro do bocal desse emissor é menos susceptível ao entupimento devido ao seu diâmetro, maior que o dos gotejadores.



Figura 1.14 - Raio de alcance do microaspersor.

Mangueira ou Fita Gotejadora

São tubulações de polietileno de espessura fina (Figura 1.15), nas quais os emissores do tipo flat-dripper (Figura 1.16) são inseridos internamente em sua parede (in-line), durante o processo de extrusão. Esse sistema apresenta como principal característica a utilização de um material de polietileno de baixa densidade.



Figura 1.15 - Mangueira ou fita gotejadora: enrolada em bobina (A) e em funcionamento no campo (B).



Figura 1.16 - Gotejador tipo flat-dripper: inserido na tubulação (A) e em detalhes (B).

Apresentam diferentes espaçamentos entre emissores e diferentes espessuras de parede, cuja utilização depende de critérios estabelecidos pelo projetista. É um dos sistemas de irrigação por gotejamento mais populares e relativamente de menor custo.

Difusores

Ao contrário dos microaspersores, os difusores (Figura 1.17) não possuem movimento giratório, o que reduz a necessidade de manutenção no campo. São conectados com a tubulação de polietileno da mesma maneira que os microtubos. Podem possuir sistema autocompensante.



Figura 1.17 - Difusor em funcionamento (A e B) e em detalhe(C).

Este tipo de emissor também é bastante empregado em sistemas de irrigação de jardins e gramados, mas possui diferenças significativas em sua construção.

Sprays Micro Jet

Os sprays micro jet (Figura 1.18) pulverizam o jato de água, formando gotículas bastante finas, que, além de realizarem o molhamento, também proporcionam a umidificação do ar e o abaixamento da temperatura (quando utilizados em estufas). Também não possuem movimento giratório e aplicam água em baixas vazões.



Figura 1.18 - Spray Micro Jet em funcionamento (A e B) e em detalhe(C).

4. Distribuição de Água dos Emissores

A distribuição de água no solo depende do tipo de emissor utilizado. Em gotejadores, mangueiras gotejadoras e microtubos, os emissores aplicam a água na forma de gotas na superfície do solo em um determinado ponto, formando um bulbo molhado (Figura 1.19).

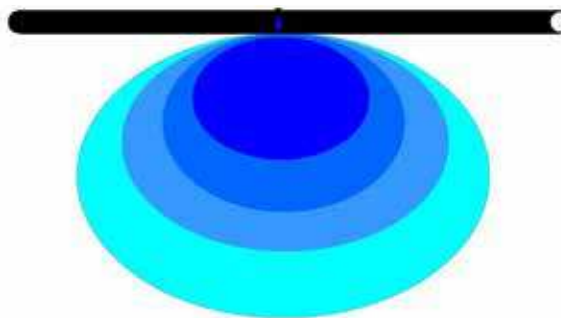


Figura 1.19 - Gotejador formando um bulbo molhado.

Nas mangueiras exudantes, a água é distribuída por toda a superfície próxima, formando uma faixa molhada (Figura 1.20).



Figura 1.20 - Superfície molhada por uma mangueira exudante.

No caso dos difusores e microaspersores, a água é aplicada em vários pontos de maneira simultânea sobre a superfície do solo, proporcionando um raio maior de alcance (Figura 1.21).

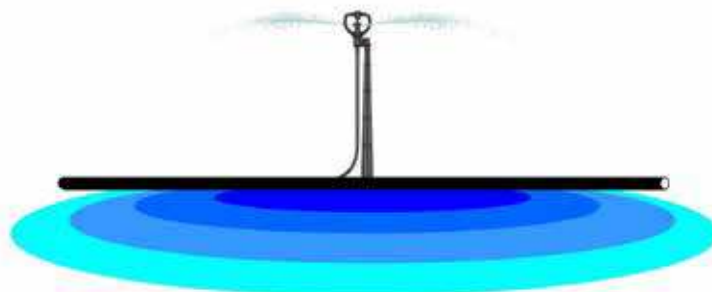


Figura 1.21 - Superfície molhada por um microaspersor.

De acordo com o espaçamento entre emissores, a irrigação pode ocorrer de duas formas distintas: pontual ou em faixa contínua (Figura 1.22).

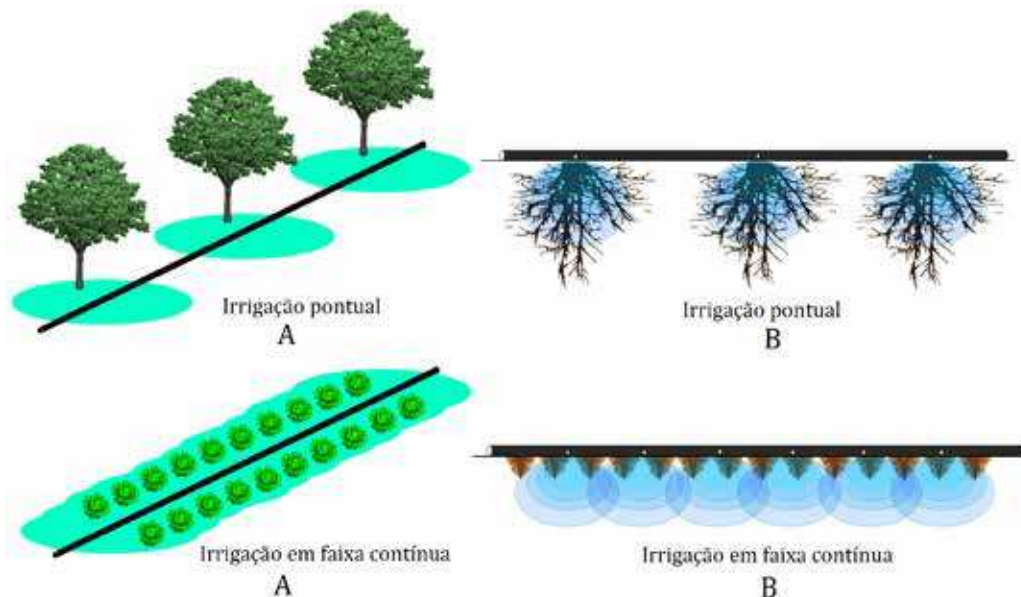


Figura 1.22 - Irrigação pontual e em faixa contínua: visão superior (A) e visão lateral de formação dos bulbos molhados (B).

5. Vazão dos Emissores

A vazão de um emissor pode ser determinada pela seguinte equação:

$$q = K \cdot H^n$$

Em que

q = vazão do emissor ($L \cdot h^{-1}$);

H = pressão de serviço (kPa ou m c. a., dependendo de K);

K = constante característica de cada emissor;

n = expoente caracterizado pelo regime de fluxo do emissor.

O regime de fluxo dos emissores na maior parte dos casos é turbulento, o que corresponde a um expoente n aproximadamente igual a 0,5. Isso significa que a vazão do gotejador varia com a raiz quadrada da pressão ($\sqrt{4} = H^{1/2} = H^{0,5}$). Quando o regime de fluxo for laminar, o valor do expoente n será igual a um, indicando que a vazão varia linearmente com a pressão de serviço. Nas situações em que o valor do expoente for próximo de zero, a variação da vazão será menor, tornando-se constante quando n for igual a zero, independentemente da variação de pressão da tubulação. Isso ocorre em emissores autocompensados.

A constante K depende do tipo e forma de construção de cada emissor, e deve ser fornecido pelo fabricante. No caso dos microtubos deve-se levar em consideração seu comprimento no cálculo da vazão. Segundo Vermeiren e Jobling (1980), pode-se calcular a vazão do microtubo com a seguinte equação:

$$q = \frac{k \cdot (D^a \cdot h^b)}{L^c}$$

Em que

q = vazão do microtubo ($L h^{-1}$);

k, a, b e c = coeficientes tabelados que dependem do diâmetro do tubo;

D = diâmetro do tubo (mm);

h = pressão de serviço (m c. a.);

L = comprimento do microtubo (m).

Os valores de k, a, b e c são apresentados no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 - Valores de a, b, c e k segundo Vermeiren e Jobling (1980).

Fonte: Bernardo et al. (1995).

Coeficiente	Diâmetro do microtubo (mm)						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
a	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
b	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65
c	0,78	0,75	0,72	0,68	0,65	0,62	0,58
k	0,86	0,91	1,02	1,14	1,16	1,28	1,38

Aplicação prática 1: Determine a vazão de um gotejador e de um microtubo, de acordo com as especificações a seguir:

- Gotejador → pressão de serviço de 110 kPa; equação: $q = 0,174 \cdot H^{0,4611}$.
- Microaspersor → diâmetro do microtubo de 0,9 mm; pressão de serviço de 11 m c. a.; comprimento do tubo de 60 cm.

Resolução:

Para o gotejador

$$q = 0,174 \cdot 110^{0,4611} = 1,52 \text{ L h}^{-1}$$

Para o microtubo

$$q = 1,16 \cdot \left(\frac{0,9^{3,1} \cdot 11^{0,72}}{0,60^{0,65}} \right) = 6,56 \text{ L h}^{-1}$$

6. Irrigação Localizada Subsuperficial

Na irrigação localizada subsuperficial (subsurface drip irrigation), os emissores e toda tubulação lateral são enterrados alguns centímetros abaixo da superfície do solo, e aplicam a água diretamente na zona radicular da cultura. São utilizados nessa técnica os gotejadores, as mangueiras (fitas) gotejadoras, tubo gotejadores e mangueiras exudantes. O principal objetivo é a redução de eventuais perdas por evaporação, além de uma possível otimização dos fertilizantes injetados na água e a menor ocorrência de danos no equipamento. Porém a tubulação fica bastante vulnerável ao entupimento devido à entrada de raízes e ao entupimento dos emissores com terra.

A irrigação localizada subsuperficial permite que a maioria dos tratos culturais sejam realizados sem danificar o equipamento, além de possibilitar a fertirrigação. As tubulações laterais podem ser instaladas diretamente sob as fileiras das plantas ou entre duas fileiras adjacentes (Figura 1.23).



Figura 1.23 – Canteiros com irrigação subsuperficial (A) e detalhe da mangueira gotejadora entre as fileiras da cultura (B).

Para evitar a entrada de radículas na tubulação, pesquisadores vêm estudando a injeção de pequenas doses de Trifluralina na água de irrigação. A Trifluralina é o ingrediente ativo de alguns herbicidas usados na agricultura. Alguns autores recomendam a injeção de 0,5 grama de Treflan® (produto que contém a Trifluralina como ingrediente ativo) por emissor durante a estação de crescimento da cultura, prevenindo a intrusão de raízes. De acordo com Pizarro (1996), a dose de Trifluralina a ser aplicada no sistema de gotejamento subsuperficial para prevenir a obstrução do emissor pelas radículas varia de 0,20 a 0,25 cm³ por emissor, com uma frequência de injeção de cinco a seis meses.

7. Componentes de um Sistema de Irrigação Localizada

Além dos emissores, também compõem um sistema de irrigação localizada: tubulações laterais, conexões, tubulações principais, de derivação e sucção, sistema de filtragem, componentes de automação, sistema de fertirrigação e sistema de bombeamento.

Tubulações Laterais

São tubulações de polietileno flexível (Figura 1.24) em que são inseridos os emissores (gotejadores, microtubos spaghetti, microaspersores, etc.), manualmente ou mecanicamente, no momento da fabricação (mangueiras gotejadoras e tubos gotejadores).

São comercializadas em bobinas de diferentes comprimentos, espessuras de parede e diâmetros internos.



Figura 1.24 - Tubulação de polietileno.

Conexões

As conexões utilizadas em irrigação localizada são, em sua maioria, peças de polietileno ou PVC cuja função é unir as tubulações, permitindo a instalação das mesmas no campo de diversas maneiras e configurações. Também permitem a instalação de acessórios necessários ao sistema. São compostas por curvas, tês, adaptadores, conectores iniciais, reduções, uniões, etc. (Figura 1.25).



Figura 1.25 – Conexões e conectores.

Tubulações de Derivação e Principais

As tubulações de derivação são normalmente de polietileno ou PVC e as principais, em geral, de PVC. Porém essa configuração depende das condições de cada projeto, de acordo com o tamanho da área a ser irrigada (Figura 1.26).

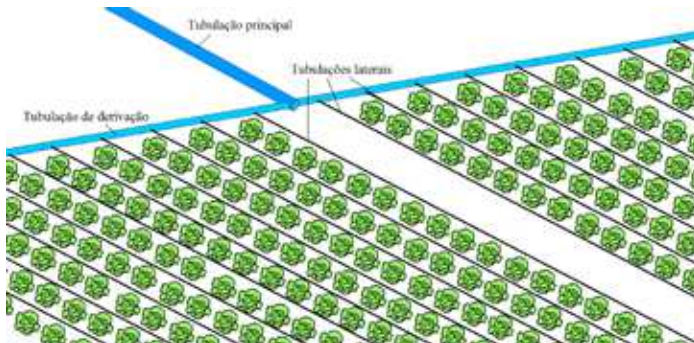


Figura 1.26 - Tubulações de PVC e de polietileno.

Sistema de Filtragem

É responsável pela remoção de partículas minerais e orgânicas em suspensão que podem causar o entupimento dos emissores. Os tipos mais comuns são o filtro de areia, o filtro de tela e o filtro de discos, além dos hidrociclones.

Os filtros de areia (Figura 1.27) são estruturas reforçadas, em geral de ferro fundido, bem vedadas, nas quais a água passa através dos grãos de areia deixando para trás as impurezas. Estas vão se acumulando com o tempo, aumentando a eficiência de filtragem. Contudo, se não forem periodicamente removidas, dificultam em demasia a passagem de água, gerando uma perda de carga muito grande no sistema. São bastante eficientes na remoção de materiais inorgânicos presentes na água. Seu processo de limpeza é denominado retrolavagem.



Figura 1.27 - Filtro de areia.

Os filtros de tela possuem em seu interior uma malha de nylon cujo objetivo é reter materiais inorgânicos em suspensão na água. Nos filtros de disco, o elemento filtrante é com-

posto por diversos discos plásticos ranhurados, que permitem a passagem de água e retêm os mesmos materiais que os filtros de tela (Figura 1.28).



Figura 1.28 - Elementos filtrantes dos filtros de tela (A) e de disco (B).

A limpeza dos filtros é determinada pela variação de pressão antes e depois do filtro, levando-se em consideração a perda de carga normal do seu funcionamento. É recomendado que um filtro seja limpo quando a perda de carga atingir valores maiores que 2,0 m c. a..

No hidrociclone, ao entrar de forma tangencial, a água é submetida a uma força centrífuga que a separa de quaisquer materiais inorgânicos em suspensão, que são depositados em um coletor na parte de baixo. A água então sai pela parte de cima do hidrociclone.

Acessórios

Os sistemas de irrigação localizada possuem um grande número de acessórios com objetivos os mais variados objetivos (Figura 1.29).



Figura 1.29 – Alguns acessórios utilizados em irrigação localizada: furador para instalação de gotejadores do tipo on-line (A), furador para instalação dos conectores iniciais (B), válvula ventosa de ação simples (C), regulador de pressão (D), válvula antivácuo (E), manômetro com extensor flexível (F) e válvula para checar pressão (G).

Automação

A automação tem por objetivo principal a redução da mão de obra e o aumento da eficiência da irrigação. Os principais elementos que compõem um sistema automatizado são as válvulas solenoides, os sensores (de umidade do solo, precipitação, pressão, etc.), os controladores e as chaves de acionamento das motobombas.

Esses sistemas são bastante empregados em irrigação de jardins, gramados, campos de golfe, etc. A Figura 1.30 ilustra o funcionamento de um sistema de irrigação automatizada.

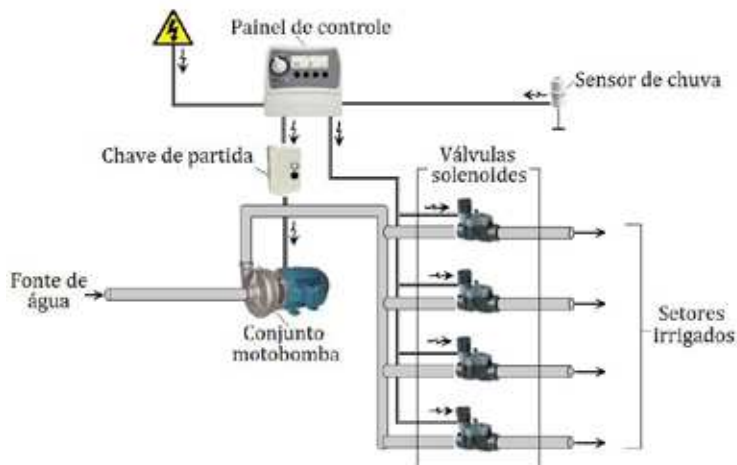


Figura 1.30 - Representação de um sistema automatizado.

As válvulas solenoides (Figura 1.31) possibilitam que a área irrigada seja dividida em setores independentes, cujo fluxo de água (abertura e fechamento da válvula possibilitando a passagem da água) é controlado por meio de acionamento direto ou pela prévia programação no painel de controle.



Figura 1.31 - Válvula solenoide.

Os sensores têm por finalidade detectar quaisquer alterações que possam prejudicar o correto funcionamento da irrigação. Por exemplo, se durante a irrigação de uma área previamente programada no controlador, ocorre uma precipitação, o sensor de chuva (Figura 1.32) irá detectá-la, enviará um sinal para o painel de controle que processará a informação e interromperá ou não o funcionamento da motobomba. De maneira inversa, sensores de umidade do solo podem monitor a quantidade de água nele presente, enviando um sinal para o acionamento da irrigação.



Figura 1.32 - Sensor de chuva.

O painel de controle (Figura 1.33) é o principal mecanismo de um sistema de irrigação automatizado e permite programar as irrigações de acordo com parâmetros preestabelecidos (turno de rega, horários de funcionamento, setores a serem irrigados, quantidade de água a ser aplicada, etc.).



Figura 1.33 – Exemplo de painel de controle para automação.

Os painéis de acionamento (Figura 1.34) são responsáveis pela partida e proteção dos motores elétricos dos conjuntos motobombas, evitando sobrecargas, variações extremas na tensão e oscilações ou falta de fase em redes trifásicas, aumentando a vida útil e evitando que o motor queime.



Figura 1.34 - Pannel de acionamento.

Sistema de Fertirrigação e Quimigação

A função desse sistema (Figura 1.35) é injetar na água uma quantidade preestabelecida de fertilizantes e/ou produtos químicos. Possui a vantagem de proporcionar economia de mão de obra e de fertilizantes. Após a injeção, o fertilizante ou o produto químico é conduzido pela água até a planta, sendo posteriormente absorvido pelo sistema radicular.



Figura 1.35 - Injetor de fertilizantes do tipo bomba de diafragma com acionamento hidráulico.

Sistema de Bombeamento

É composto por uma bomba d'água acionada por um motor que pode ser elétrico (Figura 1.36) ou a combustão (Figura 1.37). Sua função é sugar a água de rios, reservatórios, poços, etc., e fazer seu recalque em um sistema de canalizações sob pressão.



Figura 1.36 - Conjunto motobomba elétrica.



Figura 1.37 - Conjunto motobomba a combustão.

O sistema de filtragem, o painel de controle, o sistema de fertirrigação e em alguns casos o sistema de bombeamento, compõem o que normalmente é denominado de cabeçal de controle. Sua configuração varia de um projeto para outro, de acordo com as próprias características técnicas de dimensionamento.



CAPÍTULO 2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

1. Aspectos Gerais do Dimensionamento

Para que o dimensionamento de um sistema de irrigação localizada seja bem-sucedido, devemos levar em consideração algumas regras básicas:

- Em toda a extensão de uma tubulação lateral (em que são inseridos os emissores), não deve ocorrer variação de vazão do primeiro ao último emissor além da permitida no projeto.
- As tubulações laterais devem, sempre que possível, ser instaladas em nível no terreno. No caso da existência de um pequeno gradiente, seu comprimento deve ser reduzido, diminuindo assim as perdas de carga.
- Os equipamentos que compõem o cabeçal de controle devem ser instalados na parte mais elevada do terreno sempre que for possível.
- Em vez de irrigar grandes áreas de uma só vez, deve-se dividir o projeto em pequenas subáreas, fazendo com que a tubulação principal tenha o menor diâmetro e comprimento possíveis.
- A escolha do tipo do emissor a ser utilizado no projeto deve ser baseada em diversos critérios técnicos.

Seleção do Tipo de Emissor

O primeiro passo no dimensionamento de um sistema de irrigação localizada é a definição de qual emissor será utilizado. Essa escolha deverá ser baseada em diversos critérios, que serão apresentados com mais detalhes no Capítulo 3 - Parâmetros para escolha do emissor.

Após a escolha do emissor pode-se iniciar o dimensionamento, começando pelas tubulações laterais. Caso opte-se pela utilização de mangueiras ou fitas gotejadoras, mangueiras exudantes ou mesmo tubos gotejadores, não é necessário o dimensionamento da tubulação lateral, mas é preciso determinar seu comprimento (respeitando as especificações do fabricante) e a pressão e vazão requeridas. Em seguida se inicia o dimensionamento da tubulação de derivação e das demais tubulações que irão compor o sistema.

2. Dimensionamento das Tubulações Laterais

A tubulação lateral (Figura 2.1) é flexível, feita de polietileno, na qual são inseridos os emissores (gotejadores, difusores, microaspersores, etc.).



Figura 2.1 - Tubulação lateral.

O dimensionamento do diâmetro da tubulação lateral deve ser feito com base nos seguintes critérios:

- Recomenda-se que a área irrigada seja dividida em várias subáreas, retangulares e de mesmo tamanho, pois as condições observadas em uma tubulação lateral são as mesmas para as demais dentro da subárea, realizando-se o cálculo apenas uma vez.
- Deve-se obter a vazão total necessária no início da tubulação lateral multiplicando a vazão média dos emissores pelo número de emissores, de acordo com a pressão de serviço utilizada.
- Só é permitida uma variação máxima de 10% da vazão (e consequentemente 20% na pressão de serviço entre o primeiro e o último emissor da tubulação lateral.
- Como o dimensionamento das tubulações laterais se dá por tentativas, ele deve sempre começar utilizando o menor diâmetro possível. Os tubos de polietileno flexível podem ser encontrados com diversos diâmetros internos.

- Deve ser determinada a perda de carga na tubulação com o diâmetro previamente escolhido e ela não pode ultrapassar a perda de carga permitida. Se isso ocorrer, deve-se refazer os cálculos com uma tubulação de diâmetro maior.

Existem várias metodologias que realizam o dimensionamento de tubulações laterais e de derivação em sistemas de irrigação localizada. No entanto, serão apresentadas aqui apenas as que utilizam as equações de Darcy-Weisbach e de Hazen-Williams.

Dimensionamento Utilizando a Equação de Darcy-Weisbach Perda de Carga Permissível

A perda de carga permissível nas tubulações laterais é dada por:

$$h_f = 0,20 \cdot P_S$$

Em que

h_f = perda de carga permissível nas tubulações laterais (m);

P_S = pressão de serviço do emissor (m c. a.).

Cálculo da Perda de Carga Unitária

Várias equações podem ser utilizadas, sendo a mais recomendada segundo Bernardo et al. (2005) para o cálculo da perda de carga unitária a equação de Darcy-Weisbach:

$$J = f \cdot \left[\frac{V^2}{(2 \cdot g \cdot D)} \right]$$

Em que

J = perda de carga unitária ($m \cdot m^{-1}$);

f = fator de atrito (adimensional);

V = velocidade média da água dentro da tubulação ($m \cdot s^{-1}$);

g = aceleração da gravidade ($9,8 \cdot m \cdot s^{-2}$);

D = diâmetro da tubulação (m).

O fator de atrito é o componente mais difícil de determinar, pois envolve diversos parâmetros: número de Reynolds, rugosidade relativa das paredes dos tubos e altura da rugosidade do tubo.

O número de Reynolds é dado pela seguinte equação:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Em que

Re = número de Reynolds (adimensional);

V = velocidade da água no interior do tubo (m s^{-1});

D = diâmetro interno do tubo (m);

ν = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

Nas condições normais de escoamento o número de Reynolds é interpretado conforme segue:

- $Re > 4000$, então o escoamento é turbulento.
- $Re < 2000$, então o escoamento é laminar.

Entre esses dois valores há uma zona de transição (entre 2000 e 4000), onde não se pode determinar com precisão o tipo do escoamento. A velocidade média da água em tubulações é de $0,90 \text{ m s}^{-1}$ (varia entre 0,5 e 2 m s^{-1}). Caso se admita que a temperatura média da água esteja em 20°C , a viscosidade cinemática será de $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ (observação: a viscosidade varia de acordo com a temperatura do líquido).

Caso o número de Reynolds seja menor que 2000, pode-se calcular o fator de atrito (f) utilizando a seguinte expressão:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Uma equação simples proposta por Blasius (VON BERNUTH, 1990) permite calcular o fator de atrito quando $2000 < Re < 100000$ com base apenas no número de Reynolds (Re):

$$f = \frac{c}{Re^m}$$

Segundo Blasius, m é uma constante de valor igual a 0,25 e c é outro coeficiente de valor 0,316. Frizzone e Cardoso (2007), estudando a perda de carga em tubulações laterais de microirrigação, concluíram que o fator f da equação de Darcy-Weisbach pode ser estimado utilizando-se a equação de Blasius com $m = 0,25$ e $c = 0,300$.

Cálculo da Perda de Carga nas Tubulações Laterais

O cálculo da perda de carga ao longo das tubulações laterais, quando se utiliza a fórmula de Darcy-Weisbach na determinação da perda de carga unitária, é realizado pela seguinte equação:

$$\Delta h_{TL} = J_{\text{corrigido}} \cdot F \cdot L$$

Em que

Δh_{TL} = perda de carga na tubulação lateral (m.c.a.);

$J_{\text{corrigido}}$ = perda de carga unitária corrigida (m m^{-1});

F = fator de correção;

L = comprimento total da tubulação lateral (m).

O fator de correção é determinado pela expressão:

$$F = \frac{1}{(m + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot N)} + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6 \cdot N^2}$$

Em que

F = fator de correção, adimensional;

m = constante ($m = 1,75$ para a equação de Darcy-Weisbach);

N = número de emissores.

Segundo Pizarro Cabelo (1996), a perda de carga unitária corrigida ($J_{\text{corrigido}}$) é determinada pela seguinte equação:

$$J_{\text{corrigido}} = J \cdot \frac{(S_e + L_e)}{S_e}$$

Em que

J = perda de carga unitária (m m^{-1});

Se = espaçamento entre emissores (m);

Le = comprimento equivalente à perda de carga (m).

O comprimento equivalente à perda de carga está relacionado com a inserção do emissor na tubulação lateral e a perda de pressão que isso gera, pois, ao se conectar o emissor, abre-se um orifício de diâmetro n , conforme observado na Figura 2.2.

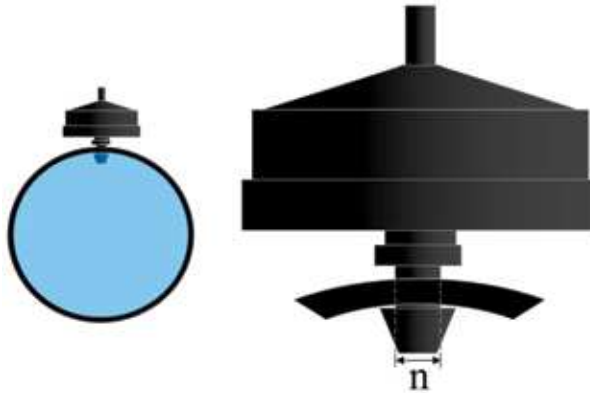


Figura 2.2 - Detalhe do gotejador inserido na tubulação lateral.

Montalvo (1983) apresenta as seguintes equações para o cálculo do comprimento equivalente quando se utilizam emissores on-line, sendo Le dado em metros e o diâmetro interno da tubulação lateral (Di), em milímetros. Em caso de emissores in-line, Le será sempre 0,23 m.

$$n < 5 \text{ (pequeno)} \rightarrow Le = 14,38 \cdot Di^{-1,89}$$

$$n = 5 \text{ (médio)} \rightarrow Le = 18,91 \cdot Di^{-1,87}$$

$$n > 5 \text{ (grande)} \rightarrow Le = 23,04 \cdot Di^{-1,84}$$

Dimensionamento Utilizando a Equação de Hazen-Willians

Uma opção mais prática e um pouco menos precisa para determinar a perda de carga unitária é utilizar a equação de Hazen-Willians que, apesar de ser mais indicada para tubulações com diâmetro superior a 50 mm, pode ser também aplicada neste caso:

A perda de carga permissível nas tubulações laterais é dada por:

$$hf = 0,20 \cdot PS$$

Em que

hf = perda de carga permissível nas tubulações laterais (m);

PS = pressão de serviço do emissor (m c. a.).

Em que

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}$$

J = perda de carga unitária (m m⁻¹).

D = diâmetro da tubulação (m);

Q = vazão (m³ s⁻¹);

C = 144 (para tubos de polietileno);

Cálculo da Perda de Carga nas Tubulações Laterais

Para calcular a perda de carga ao longo da tubulação lateral quando se determina a perda de carga unitária pela equação de Hazen-Willians, deve-se utilizar a seguinte equação:

$$\Delta h_{TL} = J \cdot L \cdot F \cdot \left(\frac{Q}{C_e}\right)^{1,852}$$

Em que

Δh_{TL} = perda de carga na tubulação lateral (m c. a.);

J = perda de carga unitária (m m⁻¹);

L = comprimento total da tubulação lateral (m);

F = fator de correção da perda de carga para tubulações com múltiplas saídas;

C = coeficiente de rugosidade que é função do tipo da parede da tubulação (C = 144 para tubos de polietileno);

Ce = coeficiente para tubulação lateral que possui emissor (Ce = 100).

O fator de correção (F) é determinado pela expressão:

$$F = \frac{1}{(m+1)} + \frac{1}{(2 \cdot N)} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 \cdot N^2}$$

Em que

m = constante (m = 1,85 para a equação de Hazen-Williams);

N = número de emissores.

Pressão no Início da Tubulação Lateral

Pode-se determinar a pressão necessária no início da tubulação lateral pela seguinte equação:

$$P_{in} = P_s + (0,75 \cdot \Delta h_{TL}) \pm (0,4 \cdot \Delta E)$$

Onde,

P_{in} = pressão no início da tubulação lateral (m c. a.);

P_s = pressão de serviço do emissor (m c. a.);

Δh_{TL} = perda de carga ao longo da tubulação lateral (m c. a.);

ΔE = variação de nível da tubulação lateral, em metros (m).

Observações importantes:

- Para tubulações laterais em auge: $P_{in} = P_s + (0,75 \cdot \Delta h_{TL}) + (0,4 \cdot \Delta E)$
- Para tubulações laterais em declive: $P_{in} = P_s + (0,75 \cdot \Delta h_{TL}) - (0,4 \cdot \Delta E)$
- Para tubulações laterais em nível: $P_{in} = P_s + (0,75 \cdot \Delta h_{TL})$

A seguir estão apresentados alguns dos diâmetros internos e nominais de tubulações de polietileno utilizadas em irrigação localizada, de diversos fabricantes, disponíveis atualmente no mercado nacional (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Diâmetros nominais e internos de tubulações de polietileno para irrigação.

Diâmetro nominal	Diâmetro interno
(referencial)	(mm)
4	4,30
5	5,30
10	10,00
13	13,00
14	13,80
16	16,00
17	17,20
20	20,60
26	26,00
27	27,20
32	32,00
38	38,00
40	40,00
50	50,00

Aplicação prática 2:

Dimensionar uma tubulação lateral, em nível, com 90 m de comprimento (L), com emissores espaçados de 1,5 m (Se). A vazão de cada emissor (q) é de 3,5 L h⁻¹ e sua pressão de serviço (PS) é de 10 m c. a.. A velocidade da água dentro da tubulação (v) é de 0,90 m s⁻¹ e a viscosidade (v) da mesma à temperatura de 20°C é de 0,000001 m² s⁻¹. O valor de n é 5 mm (médio). A aceleração da gravidade é de 9,8 m s⁻². Realizar o cálculo utilizando a equação de Darcy-Weisbach e a equação de Hazen-Williams.

Cálculos iniciais:

$$q = 3,5 \text{ L h}^{-1} = 0,000000972 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Número de emissores} = \frac{L}{Se} = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ emissores}$$

$$\text{Vazão da Tubulação Lateral (Q)} = 60 \text{ emissores} \cdot 0,000000972 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0,00005833 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$hf = 0,20 \cdot 10 = 2,0 \text{ m (perda de carga permissível)}$$

Resolução utilizando a equação de Darcy-Weisbach

- Primeira opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 10 mm (DN 10).

$$D = 10 \text{ mm} = 0,010 \text{ m}$$

$$Re = \frac{0,90 \cdot 0,010}{0,000001} = 9000 (>4000)$$

$$f = \frac{0,300}{9000^{0,25}} = 0,030801$$

$$J = 0,030801 \cdot \left[\frac{0,90^2}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,010)} \right] = 0,127289 \text{ m m}^{-1}$$

Como $n = 5$, temos:

$$L_e = 18,91 \cdot 10^{-1,87} = 0,2551 \text{ m} \quad (\text{Observação: Di nesse caso é dado em milímetros})$$

$$J_{\text{corrigido}} = 0,127289 \cdot \frac{(1,5 + 0,2551)}{1,5} = 0,14894 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3720$$

$$\Delta h_{\text{TL}} = 0,14894 \cdot 0,3720 \cdot 90 = 4,99 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (10 mm) não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{\text{TL}} > h_f$.

- Segunda opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 16 mm (DN 16).

$$D = 16 \text{ mm} = 0,016 \text{ m}$$

$$Re = \frac{0,90 \cdot 0,016}{0,000001} = 14400 (>4000)$$

$$f = \frac{0,300}{14400^{0,25}} = 0,02739$$

$$J = 0,02739 \cdot \left[\frac{0,90^2}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,016)} \right] = 0,07074 \text{ m m}^{-1}$$

$$L_e = 18,91 \cdot 16^{-1,87} = 0,10592 \text{ m}$$

$$J_{\text{corrigido}} = 0,07074 \cdot \frac{(1,5 + 0,10592)}{1,5} = 0,075731 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3720$$

$$\Delta h_{\text{TL}} = 0,075731 \cdot 0,3720 \cdot 90 = 2,54 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (16 mm) ainda não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{\text{TL}} > h_f$.

- Terceira opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 20 mm (DN 20).

$$D = 20 \text{ mm} = 0,020 \text{ m}$$

$$Re = \frac{0,90 \cdot 0,020}{0,000001} = 18000 (>4000)$$

$$f = \frac{0,300}{18000^{0,25}} = 0,02590$$

$$J = 0,02590 \cdot \left[\frac{0,90^2}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,020)} \right] = 0,05352 \text{ m m}^{-1}$$

$$Le = 18,91 \cdot 20^{-1,87} = 0,06979 \text{ m}$$

$$J_{\text{corrigido}} = 0,05352 \cdot \frac{(1,5 + 0,06979)}{1,5} = 0,05601 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3720$$

$$\Delta h_{\text{TL}} = 0,05601 \cdot 0,3720 \cdot 90 = 1,88 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (20 mm) atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{\text{TL}} < h_f$. Portanto o diâmetro da tubulação lateral nesse caso é de 20 mm.

Resolução utilizando a equação de Hazen-Willians

- Primeira opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 10 mm (DN 10).

$$D = 10 \text{ mm} = 0,010 \text{ m}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,010^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,00005833}{144} \right)^{1,852} = 0,084796 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 0,084796 \cdot 90 \cdot 0,3593 \cdot \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 5,4 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (10 mm) não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{TL} > h_f$.

- Segunda opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 13 mm (DN 13).

$$D = 13 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,013^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,00005833}{144} \right)^{1,852} = 0,02363 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 0,02363 \cdot 90 \cdot 0,3593 \cdot \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 1,5 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (13 mm) atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{TL} > h_f$. Portanto, o diâmetro da tubulação lateral nesse caso é de 13 mm.

Pode-se observar que, para as mesmas condições, as duas equações apresentam resultados diferentes. Embora alguns projetistas utilizem com frequência a equação de Hazen-Williams devido à sua praticidade, ela é mais recomendada para o cálculo de tubulações com diâmetro igual ou superior a 50 mm.

A equação de Darcy-Weisbach, apesar de levar em consideração vários fatores que Hazen-Williams não leva, não considera a vazão da tubulação no dimensionamento. A escolha da metodologia a ser utilizada no dimensionamento das tubulações cabe ao projetista. Entretanto, para diâmetros menores que 50 mm, recomenda-se a equação de Darcy-Weisbach.

3. Dimensionamento das Tubulações de Derivação

A tubulação de derivação é em geral de polietileno (Figura 2.3) mas, de acordo com o diâmetro, pode ser também de PVC. Nela serão inseridas as tubulações laterais.



Figura 2.3 - Tubulação de derivação.

É a tubulação de derivação que faz a conexão das tubulações laterais com a principal, e seu dimensionamento é baseado nos seguintes critérios:

- A vazão necessária no início da tubulação de derivação é obtida em função da soma das vazões das tubulações laterais.
- Elas deverão ser instaladas, quando necessário, na direção do maior declive do terreno.
- Poderão possuir, de acordo com as especificações do projeto, diâmetros diferentes.

Dimensionamento Utilizando a Equação de Darcy-Weisbach

Perda de Carga Permissível

A perda de carga permissível nas tubulações de derivação, segundo Bernardo et al. (1996), é dada pela seguinte equação:

$$hf = ((0,30 \cdot PS) - \Delta h_{TL}) \pm \Delta z$$

Em que

h_f = perda de carga permissível nas tubulações de derivação (m);

PS = pressão de serviço do emissor (m c. a.);

Δh_{TL} = perda de carga permissível nas tubulações laterais da subárea (m);

Δz = variação do desnível do início ao final da tubulação (m).

Observação:

- Para tubulações de derivação em aclave $\rightarrow h_f = ((0,30 \cdot PS) - \Delta h_{TL}) - \Delta z$
- Para tubulações de derivação em declive $\rightarrow h_f = ((0,30 \cdot PS) - \Delta h_{TL}) + \Delta z$
- Para tubulações de derivação em nível $\rightarrow h_f = ((0,30 \cdot PS) - \Delta h_{TL})$

O cálculo da perda de carga permissível não poderá fornecer um valor negativo para o dimensionamento. Isso pode ocorrer em função da variação da altura do terreno, da pressão de serviço e do comprimento da tubulação de derivação. Nessa situação deve-se considerar primeiramente a opção de reduzir o comprimento da tubulação e, se necessário, aumentar a pressão de serviço. Porém, esse aumento implica em recalcular as tubulações laterais para a nova pressão de serviço, já que influencia na perda de carga permissível e na vazão dos emissores.

A variação na altura do terreno (Δz) pode ser determinada por:

$$\Delta z = \frac{(D_n \cdot L_{TD})}{100}$$

Em que

Δz = variação do desnível do início ao final da tubulação (m).

L_{TD} = comprimento da tubulação de derivação (m);

D_n = desnível do terreno (%).

Cálculo do Diâmetro da Tubulação de Derivação

Utilizando o que foi proposto por Darcy-Weisbach, podem ser utilizadas as seguintes expressões para o cálculo do diâmetro da tubulação de derivação, segundo Bernardo et al. (1996):

Observação:

Para tubulações de derivação com $D < 125 \text{ mm} \rightarrow D = \left(\frac{1}{J} \cdot 789000 \cdot Q^{1,75} \right)^{0,2105}$

Para tubulações de derivação com $D > 125 \text{ mm} \rightarrow D = \left(\frac{1}{J} \cdot 959000 \cdot Q^{1,828} \right)^{0,2071}$

Em que

D = diâmetro interno da tubulação de derivação (mm);

Q = vazão da tubulação de derivação (L s^{-1});

J = perda de carga (m c. a.).

A perda de carga pode ser calculada por:

$$J = \frac{hf}{(L \cdot F)}$$

Em que

J = perda de carga unitária (m m^{-1});

hf = perda de carga permissível nas tubulações de derivação da subárea (m);

L = comprimento da tubulação de derivação (m);

F = fator de correção de perda de carga para tubulações com múltiplas saídas.

O fator de correção (F) é determinado pela expressão:

$$F = \frac{1}{(m + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot N)} + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6 \cdot N^2}$$

Em que

m = constante ($m = 1,75$ para a equação de Darcy-Weisbach);

N = número de tubulações laterais.

Dimensionamento Utilizando a Equação de Hazen-Willians

Perda de Carga Permissível

A perda de carga permissível nas tubulações de derivação, segundo Bernardo et al. (1996), é dada pela seguinte equação:

$$hf = (0,30 \cdot PS) \pm \Delta z$$

Em que

hf = perda de carga permissível nas tubulações de derivação (m);

PS = pressão de serviço do emissor (m c. a.);

Quando se utiliza a equação da Hazen-Willians no dimensionamento das tubulações laterais, pode-se calcular o diâmetro das tubulações de derivação utilizando a mesma sequência de cálculos.

Aplicação prática 3:

Dimensionar uma tubulação de derivação em aclave (0,5%), que possui 90m de comprimento, e tubulações laterais espaçadas de 3m, de ambos os lados. As tubulações laterais são as mesmas que foram calculadas na aplicação prática anterior. Realizar o cálculo utilizando a equação de Darcy-Weisbach e a equação de Hazen-Willians.

Cálculos iniciais:

$$\text{Número de tubulações laterais} = \frac{L_{TD}}{S_{TL}} = \frac{90}{3,0} = 30 \text{ tubulações laterais}$$

Como é de ambos os lados = 30 . 2 lados = 60 tubulações laterais

Vazão da Tubulação de Derivação (Q_{TD}) = 60 tubulações laterais . 0,00005833 m³ s⁻¹ = 0,0034998 m³ s⁻¹ = 3,4998 L s⁻¹

Resolução utilizando a equação de Darcy-Weisbach

$$\Delta z = \frac{(0,5 \cdot 90)}{100} = 0,45 \text{ m}$$

hf = ((0,30 . 10) - 1,88) - 0,45 = 0,67 m (perda de carga permissível)

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3720$$

$$J = \frac{0,67}{(90 \cdot 0,3720)} = 0,02001 \text{ m}$$

Para $D < 125 \text{ mm}$

$$D = \left(\frac{1}{0,02001} \cdot 789000 \cdot 3,4998^{1,75} \right)^{0,2105} = 62,99 = 63 \text{ mm}$$

Como o diâmetro calculado foi de 63 mm, deve-se optar por utilizar um diâmetro comercial disponível no mercado. Assim, opta-se pelo diâmetro superior e mais próximo ao valor encontrado, que no caso será de 75 mm, podendo-se utilizar inclusive tubos de PVC.

Quando o valor encontrado for intermediário entre dois diâmetros (no caso entre 50 e 75 mm), muitos projetistas optam por dimensionar a tubulação utilizando uma combinação desses dois diâmetros, ou seja, parte da tubulação utilizará o diâmetro maior (L1) e parte o menor (L2). Bernardo et al. (1996) apresenta as seguintes equações para o cálculo:

$$L2 = \left[\frac{\left(\left(\frac{D1}{D} \right)^{4,75} - 1 \right)}{\left(\left(\frac{D1}{D2} \right)^{4,75} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2,75}} \cdot L$$

$$L1 = L - L2$$

Em que

L2 = comprimento relativo ao menor diâmetro da tubulação (m);

L1 = comprimento relativo ao maior diâmetro da tubulação (m);

L = comprimento total da tubulação (m);

D1 = maior diâmetro (mm);

D2 = menor diâmetro (mm);

D = diâmetro calculado (mm).

Continuando a aplicação prática anterior,

$$L2 = \left[\frac{\left(\left(\frac{75}{63} \right)^{4,75} - 1 \right)}{\left(\left(\frac{75}{50} \right)^{4,75} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2,75}} \cdot 90 = 51,88 = 52 \text{ m (50 mm)}$$

$$L1 = 90 - 52 = 38 \text{ m (75 mm)}$$

No caso de utilizarem-se barras de PVC, deve-se considerar seu comprimento padrão (6 m), sendo necessário um pequeno ajuste no cálculo.

$$L2 = \frac{52}{6} = 8,67 = 9 \text{ barras de } 50 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$$

$$L1 = \frac{38}{6} = 6,33 = 6 \text{ barras de } 75 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$$

Resolução utilizando a equação de Hazen-Willians

- Primeira opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 16 mm (DN 10).

$$D = 16 \text{ mm} = 0,016 \text{ m}$$

$$\Delta z = \frac{(0,5 \cdot 90)}{100} = 0,45 \text{ m}$$

$$hf = (0,30 \cdot 10) - 0,45 = 2,55 \text{ m c.a.}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,016^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0034998}{144} \right)^{1,852} = 16,88 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 16,88 \cdot 90 \cdot 0,3593 \cdot \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 1072,48 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (16 mm) não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{TL} > hf$.

- Segunda opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 32 mm.

$$D = 32 \text{ mm} = 0,032 \text{ m}$$

$$\Delta z = \frac{(0,5 \cdot 90)}{100} = 0,45 \text{ m}$$

$$hf = (0,30 \cdot 10) - 0,45 = 2,55 \text{ m.c.a.}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,032^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0034998}{144} \right)^{1,852} = 0,5773 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 0,5773 \cdot 90 \cdot 0,3593 \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 36,67 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (32 mm) não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{TL} > h_f$.

- Terceira opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 50 mm.

$$D = 50 \text{ mm} = 0,050 \text{ m}$$

$$\Delta z = \frac{(0,5 \cdot 90)}{100} = 0,45 \text{ m}$$

$$h_f = (0,30 \cdot 10) - 0,45 = 2,55 \text{ m.c.a.}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,050^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0034998}{144} \right)^{1,852} = 0,06569 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 0,06569 \cdot 90 \cdot 0,3593 \cdot \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 4,17 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (50 mm) não atende ao critério da perda de carga permissível, pois $\Delta h_{TL} > h_f$.

- Quarta opção: utilizar a tubulação com diâmetro interno de 75 mm.

$$D = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$$

$$\Delta z = \frac{(0,5 \cdot 90)}{100} = 0,45 \text{ m}$$

$$h_f = (0,30 \cdot 10) - 0,45 = 2,55 \text{ m c.a.}$$

$$J = 10,646 \cdot \frac{1}{0,075^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0034998}{144} \right)^{1,852} = 0,00912 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{(1,85 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,85 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$\Delta h_{TL} = 0,00912 \cdot 90 \cdot 0,3593 \cdot \left(\frac{144}{100} \right)^{1,852} = 0,58 \text{ m}$$

O diâmetro escolhido da tubulação (75 mm) atende ao critério da perda de carga permitível, pois $\Delta h_{TL} < h_f$.

4. Dimensionamento das Tubulações Principal e de Recalque

A função da tubulação principal é conduzir a água (nas condições de vazão e pressão exigidas pelo sistema) para as tubulações de derivação e, em áreas menores, diretamente para as tubulações laterais. As tubulações de recalque conduzem a água do conjunto motobomba até às tubulações principais, podendo, em alguns casos, ser uma única tubulação.

O diâmetro da tubulação principal pode ser dimensionado adotando-se uma velocidade de escoamento de água na tubulação em torno de 1,5 a 2 m s⁻¹. A seguinte equação é utilizada:

$$D = \sqrt{1,2732 \cdot \left(\frac{Q}{V}\right)}$$

Em que

D = diâmetro da tubulação principal ou de recalque (m);

Q = vazão da tubulação (m³ s⁻¹);

V = velocidade da água (m s⁻¹).

Aplicação prática 4:

Dimensionar o diâmetro de uma tubulação principal que deve conduzir uma vazão de 9,97 L s⁻¹. A velocidade da água adotada no interior da tubulação é de 1,5 m s⁻¹.

Resolução:

$$9,97 \text{ L s}^{-1} \rightarrow 0,00997 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$D = \sqrt{1,2732 \cdot \left(\frac{0,00997}{1,5}\right)} = 0,092 \text{ m} = 92 \text{ mm} = 100 \text{ mm (diâmetro comercial)}$$

Correção da velocidade dentro da tubulação:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,00997}{\pi \cdot 0,100^2} = 1,27 = 1,3 \text{ m s}^{-1}$$

Obs.: a velocidade da tubulação não deve ultrapassar 2 m s⁻¹.

5. Dimensionamento das Tubulações de Sucção

No projeto de uma tubulação de sucção (Figura 2.4) deve-se adotar um diâmetro comercial acima do dimensionado para a tubulação principal. A tubulação de sucção deve ter o menor comprimento e altura possíveis, e a velocidade da água não deve ultrapassar 3 m s^{-1} .



Figura 2.4 - Tubulações de sucção.

Continuando a aplicação anterior,

$D = 125 \text{ mm}$

Cálculo da velocidade dentro da tubulação:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,00997}{\pi \cdot 0,125^2} = 0,81 \text{ m s}^{-1}$$



CAPÍTULO 3

ESCOLHA DO EMISSOR

1. Introdução

Em qualquer projeto de irrigação localizada, grande parte do sucesso do dimensionamento deve ser atribuída à determinação correta de diversos parâmetros iniciais, tais como o tipo de cultura e suas exigências hídricas, nutricionais e sanitárias; o tipo do solo, sua textura e condutividade hidráulica; as características do clima; o tipo de molhamento, além obviamente das características técnicas e operacionais do emissor.

2. A Cultura

A irrigação localizada é caracterizada por ser um método de irrigação de alta frequência, ou seja, apesar de a água ser aplicada em pequenas quantidades, o solo é mantido constantemente úmido. Para a escolha correta do emissor, deve-se primeiramente conhecer as características fisiológicas e nutricionais, as necessidades hídricas e a cultura a ser irrigada (Figuras 3.1 e 3.2). Até mesmo a susceptibilidade da cultura à ação de pragas e doenças deve ser levada em consideração.



Figura 3.1 - Espinafre (em estágio inicial) irrigado por gotejamento.

Dependendo da cultura, esse tipo de comportamento pode não ser favorável. Algumas culturas, devido à sua alta susceptibilidade à ação de agentes patógenos, não toleram o molhamento de sua parte aérea.



Figura3.2 - (descrição) milho verde(A) e beringela(B) irrigados por gotejamento.

De maneira geral, em culturas anuais cultivadas em canteiros (Figura 3.3), em áreas não muito extensas, com sistema radicular pequeno e pouco espaçadas entre si, como as olerícolas, é recomendado utilizar mangueiras ou fitas gotejadoras, tubos gotejadores ou mangueiras exudantes.

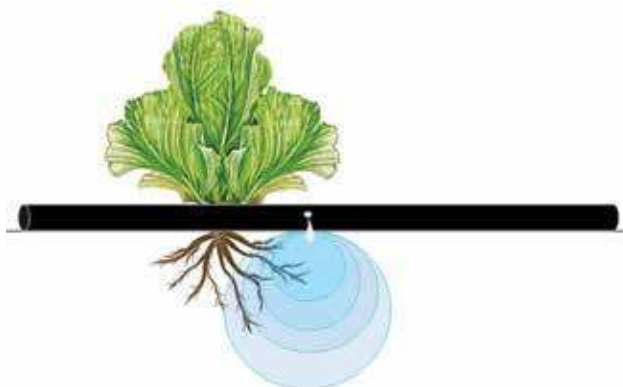


Figura 3.3 - Cultura anual irrigada por gotejamento.

Em culturas permanentes que possuem maiores espaçamentos (Figura 3.4), e maior sistema radicular, são mais recomendados os gotejadores (podendo ser instalados mais de um por planta), microaspersores, difusores e microtubos spaghetti (estes também utilizados na irrigação de vasos). Devido ao maior alcance, os microaspersores são os mais utilizados.

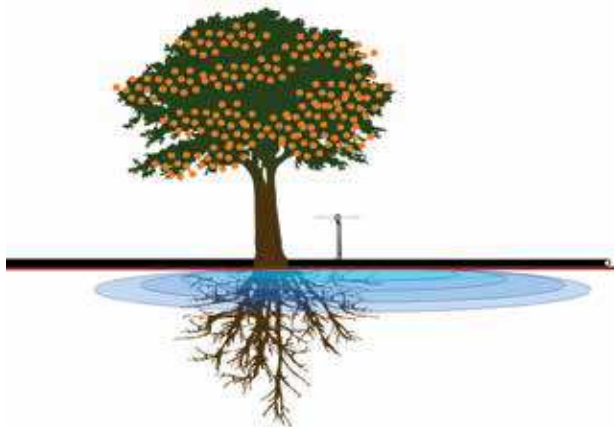


Figura 3.4 - Cultura permanente irrigada por microaspersão.

3. O Solo

Em relação ao tipo de solo, é importante conhecer sua textura e características físico-hídricas para entender como é o movimento da água em seu interior. Em solos com textura argilosa, onde a condutividade hidráulica é menor, a água no bulbo úmido se distribui predominantemente na horizontal, ficando com uma forma ovalada. Nos solos de textura mais arenosa, a água alcança maior profundidade, ficando também o bulbo com um formato oval, mas no sentido vertical, havendo pouca distribuição na horizontal. Já os solos de textura mediana favorecem a distribuição mais uniforme da água no solo, ficando o bulbo úmido com um formato mais arredondado (Figura 3.5).

A recomendação depende do tipo de cultura que será irrigada: para culturas permanentes em solos arenosos, deve-se utilizar os microaspersores ou os difusores para que a água possa atingir maior área de raízes; caso o solo seja argiloso, pode-se optar também pelos go-

tejadores ou os microtubos. Em culturas anuais, devido às características de seus sistemas radiculares, o gotejamento pode ser a melhor opção.

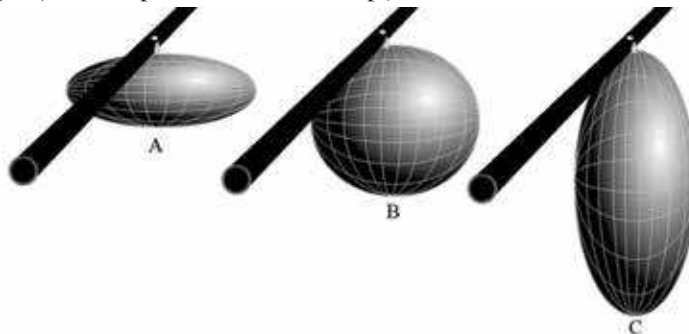


Figura 3.5 - Comportamento do bulbo úmido em diferentes tipos de solo: textura argilosa (A), textura média (B) e textura arenosa (C).

4. Condições Climáticas

No caso da irrigação localizada, uma das restrições às condições climáticas está relacionada à utilização de microaspersores e difusores em áreas de muito vento, o que pode ocasionar perdas de água por deriva (Figura 3.6). O calor excessivo também pode ser um fator adverso, pois parte da água aplicada pelo microaspersor poderá evaporar, reduzindo a eficiência da irrigação.

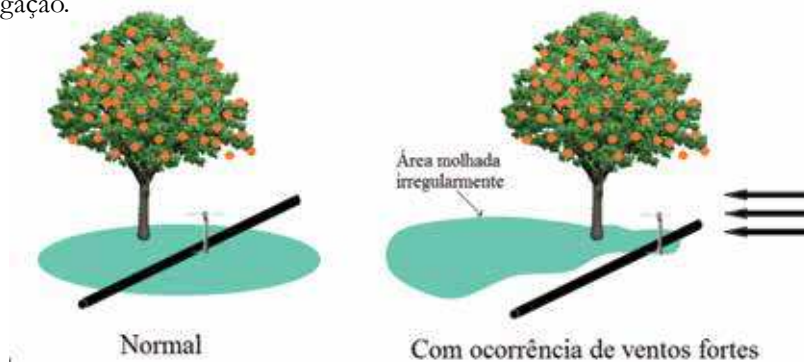


Figura 3.6 - Molhamento irregular do microaspersor na área devido a ventos fortes.

5. Relevo

Sistemas de irrigação localizada instalados em áreas com desníveis acentuados necessitam de emissores autocompensados para evitar que ocorra a desuniformidade na aplicação de água na área (Figura 3.7), além da redução do comprimento das tubulações laterais. Dependendo da situação pode-se dividir a área em mais setores.



Figura 3.7 - Desuniformidade na aplicação de água de emissores convencionais em área com desnível.

6. Características Técnicas dos Equipamentos

Escolher equipamentos de boa procedência, que tenham sido submetidos pelos seus fabricantes a rigorosos ensaios de qualidade e resistência e que apresentem o maior número de informações técnicas (como o exemplo da Figura 3.8), é a garantia de que dispõe o projetista para minimizar futuros problemas em seu funcionamento.

PETRODRIP		
Mangueira Gotejadora		
Modelo 701230	Espessura 0,20 mm	Diâmetro interno 16 mm
Pressão de serviço 100 kPa	Vazão por emissor 1,5 L/h	Espacamento 0,30 m
Pressão (kPa)	Vazão (L/h)	Equação do emissor $Q_{0,70} = 0,174 \times P^{0,50}$ Coeficiente de Variação de Fabricação 4,35% Comprimento de instalação 121 m (em nível)
60	1,15	
70	1,23	
80	1,30	
90	1,38	
100	1,46	
120	1,58	
Filtração mínima 120 mesh	Variação máxima de vazão 10% (em nível)	

Figura 3.8 - Informações da embalagem mangueira gotejadora Petrodrip®, da Petroisa Irrigação.



CAPÍTULO 4 FERTIRRIGAÇÃO

1. Princípios da Fertirrigação

A fertirrigação é a técnica na qual se realiza a aplicação de adubos (solúveis ou líquidos) na água de irrigação (Figura 4.1), em substituição à adubação convencional, com o objetivo de aumentar a eficiência no fornecimento de nutrientes para as plantas e reduzir os custos com mão de obra e fertilizantes.

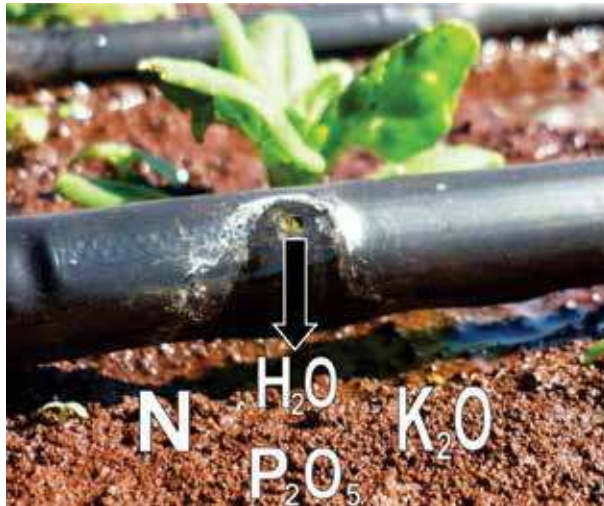


Figura 4.1 - Fertirrigação em gotejamento.

No Brasil a fertirrigação ainda é uma técnica relativamente recente e pouco empregada com eficiência, ao contrário do que ocorre em países como Israel e Estados Unidos, nos quais a sua utilização está diretamente associada ao funcionamento regular dos sistemas de irrigação.

O fornecimento de água para as plantas de forma localizada, da maneira que ocorre em sistemas como o gotejamento e a microaspersão, é o mais adequado para a utilização da fer-

tirrigação, por possibilitar maior uniformidade e eficiência e por aplicar a água e os nutrientes próximos ao sistema radicular das plantas.

2. Vantagens e Desvantagens

As principais vantagens apresentadas pela fertirrigação são:

- Economia na mão de obra e rapidez na aplicação dos fertilizantes, uma vez que são injetados na tubulação em um único ponto e distribuídos juntamente com a água, reduzindo o tempo gasto e a quantidade de pessoas envolvidas na operação.
- Economia de fertilizantes devido à utilização de produtos mais puros e aplicação mais eficiente, reduzindo assim perdas por volatilização, lixiviação, etc.
- Os fertilizantes injetados na água de irrigação são melhor distribuídos no perfil do solo e melhor assimilados pelas plantas, por já estarem dissolvidos na água, vindo a integrar rapidamente a solução do solo. Além disso, a fertirrigação permite promover o parcelamento das aplicações de nutrientes.
- Possibilidade de realizar a adubação segundo as necessidades da cultura em cada estágio de seu desenvolvimento, de acordo com as estratégias traçadas pelo agricultor e por observações do estado nutricional das plantas.

Os problemas inerentes à fertirrigação são:

- Possibilidade de entupimento dos emissores (no caso da irrigação localizada) devido à utilização de fertilizantes inadequados à fertirrigação, isto é, não solúveis em água ou com impurezas.
- Incompatibilidade de produtos, que irão formar compostos insolúveis e promover a precipitação da mistura dentro da tubulação, causando também a obstrução de emissores. Por exemplo, a utilização simultânea do nitrato de cálcio com o sulfato de amônia não pode ser realizada devido à incompatibilidade entre as duas substâncias.
- Ocorrem alterações no pH e na salinidade da água, quando não tomados os cuidados necessários.
- Possibilidade de haver a corrosão das tubulações dependendo do tipo de produto utilizado, se não houver a lavagem imediata do sistema depois de finalizada a fertirrigação.

3. Breve História da Fertirrigação

Alguns fatos marcaram a história de fertirrigação no Brasil e no mundo:

- Provavelmente surgiu com a criação dos sistemas de irrigação localizada por gotejamento em Israel entre os anos de 1950 e 1960 (CARRIJO et al., 1999).
- Em 1958 foi realizado o primeiro registro de aplicação de fertilizante comercial por meio de irrigação por aspersão (BRYAN e THOMAS, 1958, citados por VIEIRA, 1994).
- Foi introduzida no Brasil no início dos anos 1970, sendo toda tecnologia importada de Israel (CARRIJO et al., 1999).
- Realizaram-se os primeiros experimentos com fertirrigação de hortaliças na Embrapa Hortaliças em 1977 (SILVA et al., 1999).

4. Equipamentos Utilizados na Fertirrigação

Tanque de Preparo e Armazenamento

A função deste tanque é preparar e armazenar previamente a solução que será injetada na água de irrigação (Figura 4.2 A). Deve ser de um material resistente à corrosão, instalado ao lado do sistema injetor de fertilizantes e possuir um ponto de esgotamento com registro para haver a limpeza ao término de cada operação.

Apesar de os fertilizantes empregados na fertirrigação possuírem alta solubilidade, alguns produtores utilizam no tanque de armazenamento um dispositivo de agitação, ou misturador da solução (Figura 4.2 B), visando dissolver e misturar mais rapidamente todo o produto utilizado. Esse dispositivo é composto por um motor elétrico e um eixo alongado com uma espécie de hélice na extremidade inferior, e é instalado sobre o tanque de preparo. Mas com o tempo esse material pode apresentar corrosão devido aos respingos da água com fertilizante e aos gases emanados pelo tanque.

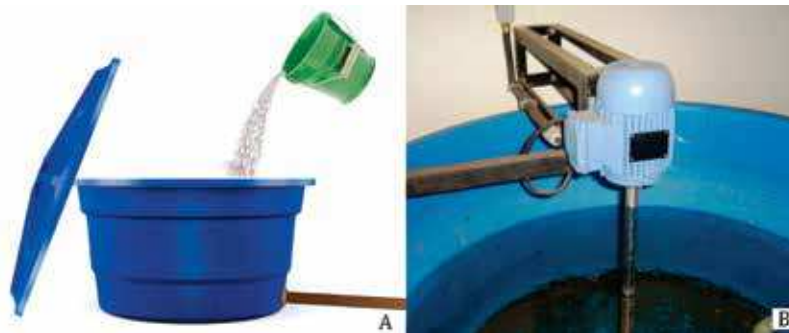


Figura 4.2 - Tanque de preparo (A) e dispositivo misturador (B).

Injetores de Fertilizantes

Estes equipamentos têm a função de injetar diretamente na água de irrigação o fertilizante que será aplicado na área irrigada. São mais comumente utilizados o injetor Venturi, as bombas de diafragma, as bombas de pistão, as bombas de acionamento hidráulico, as bombas centrífugas (sistema de injeção por pressão positiva), o sistema de injeção por pressão negativa e o sistema de by-pass.

Injetor Venturi

O princípio de funcionamento de um injetor Venturi (Figura 4.3) consiste na restrição gradual e acentuada da passagem de água na tubulação, mudando bruscamente a velocidade do fluxo de água.



Figura 4.3 - Injetor tipo Venturi em funcionamento

Ao passar pelo ponto de maior contração do diâmetro, a força da água gera uma pressão negativa (vácuo), em relação à pressão atmosférica, que aspira a solução fertilizante previamente preparada no tanque de armazenamento. Depois da restrição, a água volta a ser conduzida no diâmetro da tubulação anterior ao Venturi (Figura 4.4).

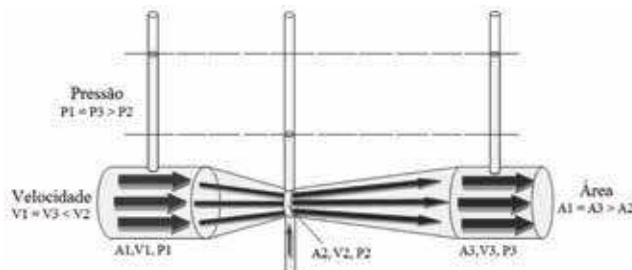


Figura 4.4 - Esquema de funcionamento do injetor Venturi.

Uma das principais vantagens desse sistema é não necessitar de nenhuma forma externa de energia para ser acionado, a não ser a da própria água. Porém, pode-se aumentar a sua eficiência acoplando uma bomba centrífuga auxiliar na tubulação (Figuras 4.5 e 4.6).

Esse tipo de injetor apresenta a desvantagem de não funcionar adequadamente em pequenas áreas, que geralmente trabalham com baixas vazões de água. Nesse caso a passagem de água pelo ponto de restrição não consegue gerar a pressão negativa. Para que funcione, deve haver um diferencial de pressão entre o ponto de entrada de água e o de saída de água mais fertilizante na tubulação.

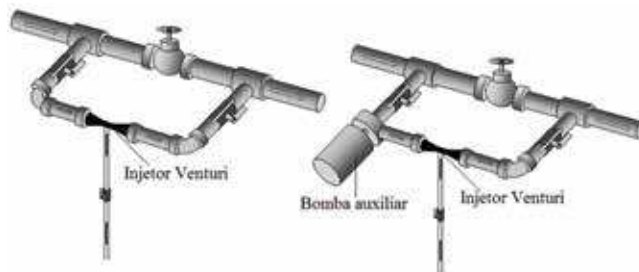


Figura 4.5 - Injetor Venturi sem (A) e com (B) bomba auxiliar.



Figura 4.6 - Venturi em funcionamento com bomba auxiliar.

No Quadro 4.1 são apresentadas as características de desempenho de injetores Venturi na Plasnova Tubos®.

Quadro 4.1 - Características de funcionamento de injetores Venturi da Plasnova Tubos®.
Fonte: www.plasnovatubos.com.br

Tabela de funcionamento dos injetores				
INJETOR VENTURI 3/4"				
Pressão de entrada (m.c.a.)	Diferencial e pressão (m)	Vazão de sucção (L h ⁻¹)	Vazão do sistema (L h ⁻¹)	Embalagem
10	3	18	Min. 768 / Max. 1041	01
	5	60		
	8	128		
15	3	---	Min. 931 / Max. 1181	
	5	28		
	8	80		
20	3	---	Min. 1088 / Max. 1300	
	5	---		
	8	50		

O Venturi deve ser instalado de forma paralela à tubulação, e necessita de registros para controlar a passagem da água e a taxa de aplicação. Em funcionamento gera grandes perdas de pressão no sistema, que segundo Pizarro Cabello (1996) chegam à ordem de 30%. Por isso, o seu uso deve ser previsto no dimensionamento do sistema de irrigação, fazendo com que sua utilização não comprometa a uniformidade e eficiência de aplicação de água.

Bomba Injetora de Diafragma com Acionamento Elétrico

Nas bombas injetoras de fertilizantes com esse tipo de sistema, o motor elétrico aciona um mecanismo que movimenta alternadamente o diafragma. Este, por sua vez, aspira o fertilizante no primeiro movimento e o injeta na tubulação no outro, repetindo esse processo durante toda a fertirrigação (Figuras 4.7 e 4.8).



Figura 4.7 - Bombas de diafragma.

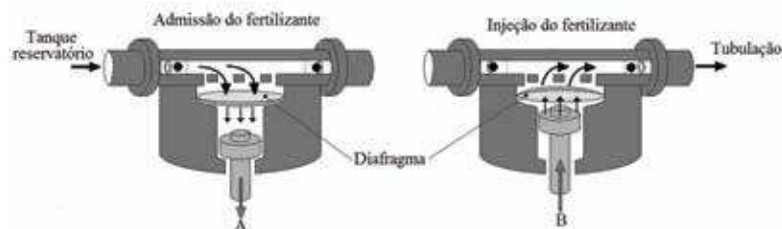


Figura 4.8 - Esquema de funcionamento de uma bomba de diafragma aspirando (A) e injetando (B) o fertilizante.

Na admissão o fertilizante entra no interior do cilindro através do movimento de sucção do diafragma (A), com o movimento descendente do mecanismo. Na injeção (B) o fertilizante é empurrado para o interior da tubulação principal pelo movimento inverso da membrana. A regulagem da dosagem da solução é feita alterando a quantidade de pulsos (injeções) por minuto em um regulador, de acordo com a curva de desempenho do injetor (Figura 4.9).

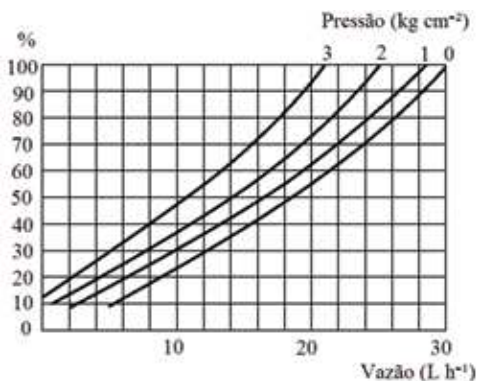


Figura 4.9 - Curva de desempenho de uma bomba dosadora de diafragma.

Bomba Injetora de Pistão com Acionamento Elétrico

O funcionamento e a regulagem das bombas injetoras de pistão com acionamento elétrico é bastante semelhante ao das bombas de diafragma, porém o que faz a sucção e a injeção é um pistão com movimentos consecutivos e alternados (Figuras 4.10 e 4.11).

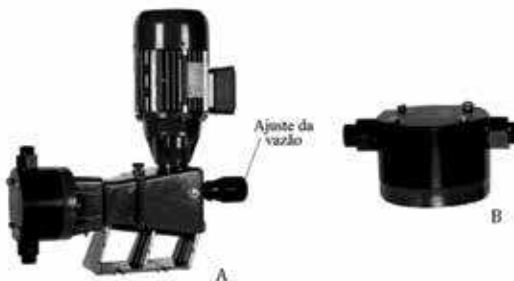


Figura 4.10 – Visão geral da bomba elétrica de pistão (A) e em detalhe (B).

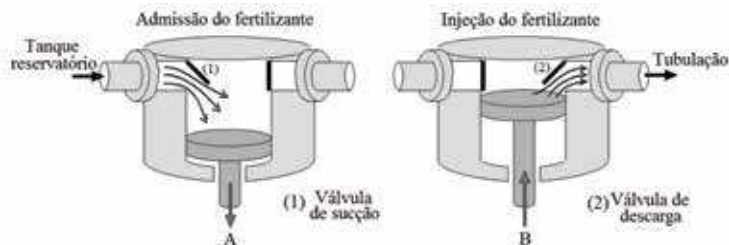


Figura 4.11 - Esquema de funcionamento de uma bomba de pistão aspirando (A) e injetando (B) o fertilizante.

Na admissão o fertilizante entra no interior do cilindro através da válvula de sucção (A), com o movimento descendente do pistão. Na injeção (B), o fertilizante é empurrado para o interior da tubulação principal por meio da válvula de descarga.

Bomba Injetora de Pistão com Acionamento Hidráulico

Este tipo de injetor é acionado pela própria água de irrigação, e não necessita de fonte de energia externa (Figura 4.12).

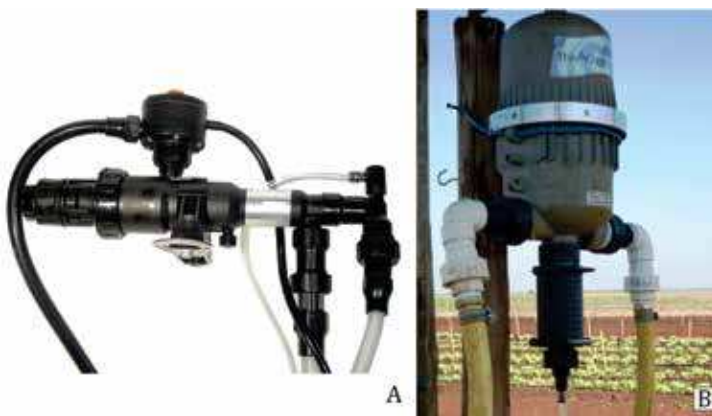


Figura 4.12 - Bombas injetoras de pistão com acionamento hidráulico (A e B).

A água é derivada da tubulação principal para dentro de uma câmara no injetor, sendo que, ao enchê-la, o fertilizante é aspirado. Em alguns modelos, a água de acionamento é expelida do injetor por um ponto de exaustão, o que esvazia a câmara e injeta o fertilizante dosado na tubulação principal, gerando o inconveniente da perda de água de acionamento (Figura 4.13).

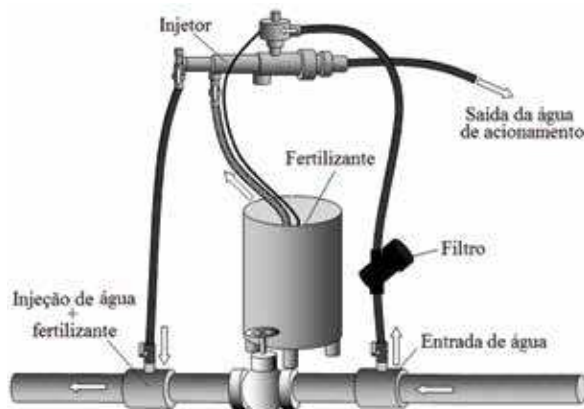


Figura 4.13 - Bomba de pistão com perda da água de acionamento.

Em outros tipos de injetores, a água de acionamento retorna para a tubulação principal sem que haja perdas (Figuras 4.14 e 4.15).

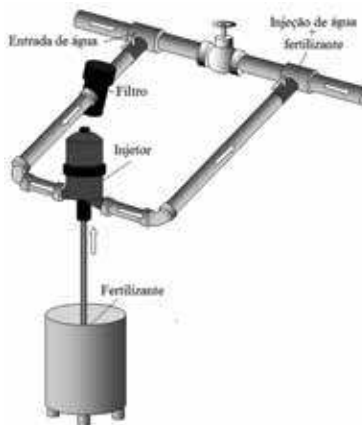


Figura 4.14 - Bomba de pistão sem perda da água de acionamento.

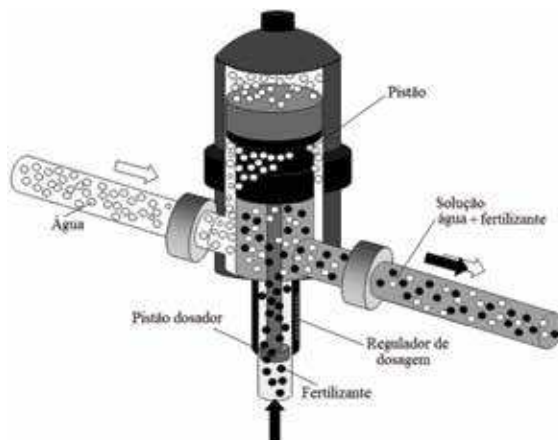


Figura 4.15 - Esquema ilustrativo do funcionamento de uma bomba de pistão sem perda de água de acionamento.

Qualquer que seja o tipo de injetor, seus fabricantes geralmente fornecem sua curva de desempenho (Figura 4.16), permitindo assim a calibração da injeção diretamente no equipamento. De acordo com o modelo pode-se determinar a taxa de injeção regulando o número de pulsos em um determinado espaço de tempo. Por exemplo, em um injetor de pistão de acionamento hidráulico disponível no mercado, deve-se contar o número de pulsos em 30 segundos e multiplicar por quatro para saber a taxa de injeção em litros por hora.



Figura 4.16 - Desempenho de uma bomba de acionamento hidráulico.

Bomba Injetora de Diafragma com Acionamento Hidráulico

O princípio de funcionamento de uma bomba de diafragma com acionamento hidráulico (vide Figura 1.35) é semelhante ao de acionamento elétrico, porém a membrana é acionada pela própria água derivada da tubulação principal (Figura 4.17).

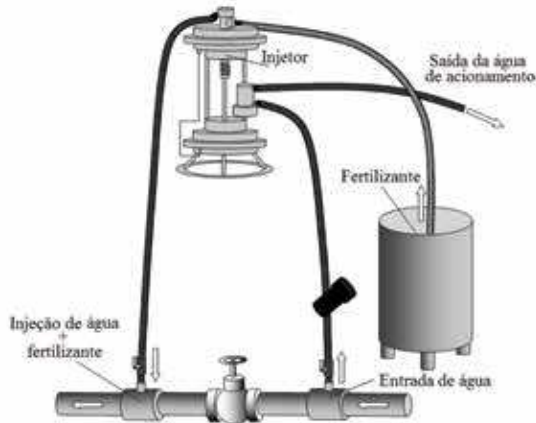


Figura 4.17 – Esquema de funcionamento de uma bomba de diafragma com acionamento hidráulico.

Pode-se regular o intervalo entre pulsos, alterando assim a taxa de injeção. Quanto menor o intervalo entre pulsos, maior será a taxa de injeção.

Bombas Centrífugas (Sistema de Injeção por Pressão Positiva)

As bombas centrífugas utilizadas para a injeção de fertilizantes são muito similares às de irrigação, mas possuem o rotor e o corpo da bomba feitos de materiais resistentes à corrosão (Figura 4.18). Sua função é aspirar o fertilizante e o injetar na tubulação.

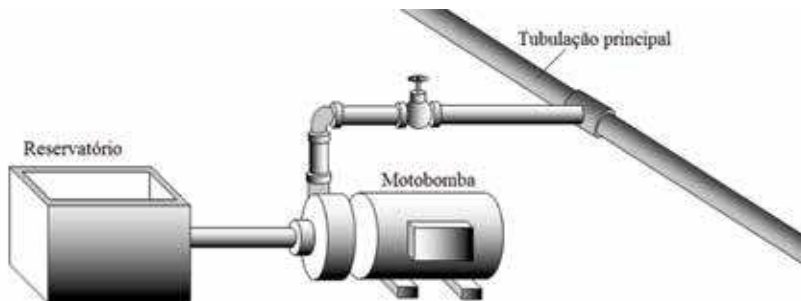


Figura 4.18 - Bomba centrífuga (sistema de injeção por pressão positiva).

Esse sistema de injeção é chamado também de sistema de injeção por pressão positiva, pois para conseguir injetar o fertilizante na tubulação principal a motobomba auxiliar deve possuir uma pressão maior do que a reinante no sistema de irrigação. Essa motobomba pode ser acionada eletricamente ou por algum tipo de combustível (gasolina ou diesel).

Sistemas de Injeção por Pressão Negativa

Os sistemas de injeção por pressão negativa (Figura 4.19) são geralmente utilizados na fertirrigação de grandes áreas, sendo instalados próximos à tubulação de sucção do sistema. Funciona da seguinte maneira: o tanque de preparo, que nesse caso pode ser de alvenaria ou lona de PVC, é conectado por meio de uma tubulação auxiliar à tubulação de sucção. Ao acionar a motobomba responsável pela irrigação da área, inicia-se a sucção da água; por meio de registros permite-se que juntamente com esse processo a motobomba aspire também o fertilizante já diluído no tanque de preparo.

Em alguns Estados brasileiros o sistema de injeção por pressão negativa é proibido, uma vez que pode haver refluxo e contaminar o corpo d'água.

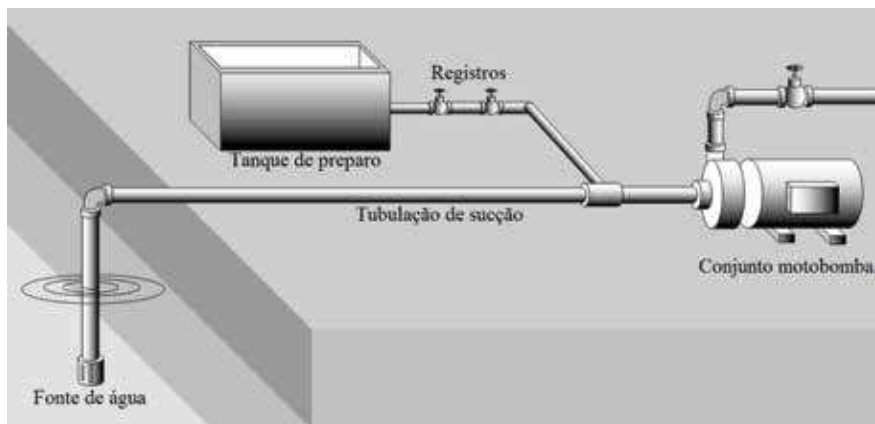


Figura 4.19 - Conjunto motobomba, tubulação de sucção e sistema de injeção por pressão negativa.

Tanques Pressurizados

O tanque pressurizado (Figuras 4.20 e 4.21) é consiste em um recipiente fechado, que contém a solução do fertilizante a ser aplicado e para o qual é desviada uma parte do fluxo de água, por meio de uma tubulação secundária com registros. A água entra nesse recipiente e se mistura à solução, saindo por outro lado, por outra tubulação conectada a um ponto à jusante da tubulação principal.



Figura 4.20 - Sistema de injeção de fertilizante por tanque pressurizado.

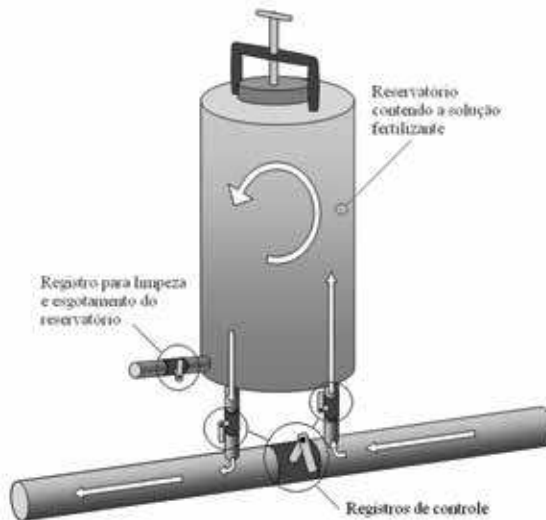


Figura 4.21 - Esquema de funcionamento do por tanque pressurizado.

É necessário que a tubulação principal possua um registro para restringir a passagem normal da água, forçando a sua entrada no recipiente. É um sistema prático e simples, mas não proporciona uniformidade na aplicação do produto, pois, à medida que a água entra no recipiente, sua concentração vai sendo reduzida.

Também existe a desvantagem de não se poder determinar ao certo o tempo gasto para que toda a solução preparada seja injetada.

5. Manejo da Fertirrigação

Algumas regras podem ser seguidas para se obter um manejo bem-sucedido da irrigação:

- A injeção de fertilizantes somente deve ser realizada algum tempo após o início do funcionamento da irrigação, proporcionando o tempo necessário para que a água possa circular em toda a tubulação e sair plenamente por todos emissores.
- Deve-se esperar que o solo fique umedecido antes de aplicar o produto.

- Bem antes do término da irrigação, deve-se encerrar a injeção de fertilizantes evitando, com isso, que fiquem resíduos dentro da tubulação.
- Recomenda-se injetar os produtos após $\frac{1}{4}$ do tempo total da irrigação e encerrar a injeção após $\frac{3}{4}$ do tempo total.
- Também existe uma tendência atual de se realizar a fertirrigação contínua, ou seja, realiza-se a injeção de fertilizantes em quase todas as irrigações durante o ciclo da cultura, necessitando-se para isso de um maior parcelamento das doses de fertilizantes aplicadas.
- O parcelamento da dose recomendada é bastante utilizado no manejo da fertirrigação, podendo aumentar sua eficiência. Em solos arenosos e locais com maior precipitação recomenda-se maiores parcelamentos.
- Fazer a avaliação periódica da uniformidade e eficiência de aplicação de água permite que se constatem e corrijam eventuais problemas, garantindo assim a distribuição uniforme de fertilizantes em toda área irrigada.
- Coletar amostras de água nos emissores e verificar se a quantidade requerida do ingrediente ativo do fertilizante realmente está chegando às plantas.
- Testar a compatibilidade entre fertilizantes misturando-os em um recipiente de vidro e deixando-os descansar por pelo menos duas horas. Após esse intervalo de tempo verifica-se se não ocorreu a formação de precipitados.
- Alguns fertilizantes podem causar o aumento da salinidade da água de irrigação, como, por exemplo, o cloreto de potássio.
- Por segurança utilizar apenas 80% da solubilidade recomendada para cada fertilizante.
- O fertilizante deve ser misturado em um tanque de preparo, dissolvendo eventuais torrões, agitando-se por meia hora. Conforme o produto a ser aplicado deve-se deixar a solução em repouso por pelo menos duas horas.
- Ao ser transferida para o tanque de injeção, a solução não deve mais ser agitada.
- Deve-se sempre proceder à calibração da injeção.

6. Escolha do Injetor

A escolha do injetor de fertilizantes depende do sistema de irrigação empregado, da vazão desse sistema, da capacidade de injeção desejada, da disponibilidade de energia elétrica

e do investimento que se deseja realizar. Equipamentos que apresentam maior precisão na injeção de produtos geralmente possuem um custo mais elevado do que outros mais simples.

Outro fator a ser considerado é que se deve prever a utilização de um sistema de injeção de fertilizantes durante o dimensionamento do sistema de irrigação, e não tentar adaptar um injetor ao sistema já em funcionamento. Mesmo assim, em sistemas já estabelecidos é possível instalar um sistema de injeção, porém ele deverá se adaptar ao regime de funcionamento, o que em alguns casos pode proporcionar redução do seu rendimento e de sua eficiência de aplicação.

Os cálculos da taxa de injeção variam de equipamento para equipamento. É necessário que o irrigante se familiarize com seu funcionamento e operação.

7. Segurança na Aplicação

Como toda prática que envolve o manuseio de produtos químicos e sua aplicação no meio ambiente, alguns cuidados se fazem necessários:

- A proteção do operador do sistema de injeção com a utilização de luvas, botas de borracha, óculos de proteção e máscara propicia que a pele e as mucosas do responsável pela operação não entrem em contato direto com os produtos químicos.

- Utilização de produtos de boa procedência, certificados e apropriados para utilização na fertirrigação, dentro do prazo de validade, podem reduzir eventuais problemas de contaminação ambiental.

- Manejo adequado da fertirrigação – as aplicações dos produtos de forma controlada, dentro das recomendações para cada cultura, evitam a salinização do solo e a contaminação do lençol freático.

- A avaliação periódica da uniformidade da irrigação garante que os fertilizantes sejam distribuídos uniformemente na área, evitando a concentração excessiva em um determinado local.

Dentre as formas de aplicação, a que requer mais cuidado em relação à segurança é a dos sistemas de injeção por pressão negativa. Devido à sua forma de funcionamento, após o desligamento da motobomba pode ocorrer um refluxo de água do tanque de preparo e de parte

do produto que eventualmente esteja na tubulação em direção à fonte de água, contaminando-a. O fato é realmente problemático se essa fonte for um curso d'água ou um poço artesiano. Nesse caso a solução é utilizar válvulas de retenção, instaladas próximas à sucção, para impedir o refluxo.

8. Principais Características dos Fertilizantes Utilizados em Fertirrigação

Para serem utilizados em fertirrigação, os fertilizantes devem apresentar algumas características importantes para que o sistema funcione adequadamente, aumentando a eficiência da operação e minimizando ou suprimindo eventuais problemas.

As principais exigências para um fertilizante ser utilizado em fertirrigação são:

- Apresentar boa solubilidade em água, para que não ocorram obstruções dos emissores, podendo ser sólidos ou líquidos.
- Ser compatível com outros fertilizantes.
- Ser puro.
- Não ser corrosivo e de manejo perigoso.

As principais causas do fracasso ou insucesso nas adubações, de modo geral, são: utilização de fertilizantes de má qualidade; utilização de fórmula inadequada de adubo; época de aplicação incorreta; localização mal planejada do fertilizante; mistura mal preparada, quantidade inadequada; fatores climáticos (umidade, frio, insolação, etc.); tratos culturais; pragas e/ou doenças; utilização de sementes e mudas de má qualidade; erros de espaçamento e época errada de plantio.

Solubilidade

Fertilizantes altamente solúveis são os recomendados para o uso em fertirrigação, pois não configuram em risco potencial para o entupimento dos emissores, além de não alterarem a concentração previamente calculada. Os fertilizantes convencionais apresentam em sua constituição certa quantidade de impurezas, fator que restringe sua utilização.

No preparo da solução a ser injetada, a concentração do fertilizante geralmente é elevada. Porém, ao entrar em contato com a água do sistema de irrigação, a solução se dilui, fazendo com que, ao ser distribuído no sistema radicular das plantas, o fertilizante já se encontre em quantidades adequadas para serem absorvidas. Segundo Villas Boas et al. (1999), a concentração no reservatório pode chegar a ser 200 vezes maior que a solução que sai pelos emissores.

A temperatura da água no preparo da solução fertilizante influencia em sua solubilidade, visto que, quanto maior a temperatura, maior será a quantidade dissolvida na água. Em épocas do ano mais frias pode-se aquecer a água do tanque de preparo para garantir maior solubilidade dos produtos utilizados. Os fertilizantes com maiores graus de pureza apresentam em geral maiores valores de solubilidade.

As Figuras 4.22 e 4.23 (adaptadas de VILLAS BOAS et al., 1999) apresentam as solubilidades de vários fertilizantes à temperatura de 20°C.

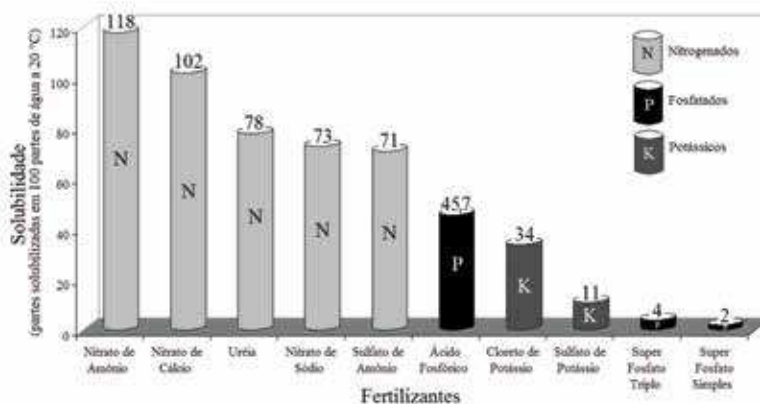


Figura 4.22 - Solubilidade de fertilizantes nitrogenados, fostatados e potássicos. Obs: o valor apresentado acima de cada coluna representa quantas partes do fertilizante em questão são solubilizadas em 100 partes de água, à temperatura de 20° C.

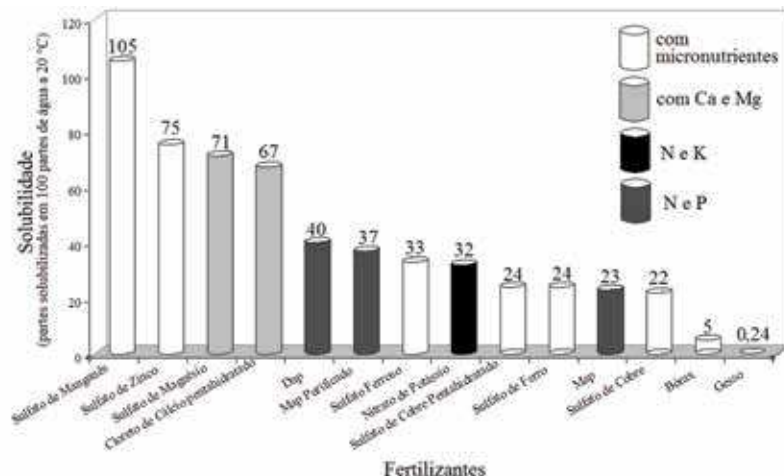


Figura 4.23 - Solubilidade de fertilizantes com micronutrientes e de fertilizantes compostos. Obs: o valor apresentado acima de cada coluna representa quantas partes do fertilizante em questão são solubilizadas em 100 partes de água, a temperatura de 20° C.

Vale ressaltar a necessidade de sempre verificar a temperatura da água no momento do preparo da solução, pois os valores apresentados nas figuras acima somente se aplicam para água à temperatura de 20°C. Temperaturas menores não solubilizam adequadamente os produtos, assim como temperaturas maiores ajudam no processo de solubilização.

Alguns fertilizantes, especialmente os nitrogenados, apresentam a propriedade de reduzir a temperatura da água (graças às reações envolvidas no processo de solubilização) quando são misturados e dissolvidos na água.

Deve-se prestar atenção especial na composição química dos produtos utilizados, pois, além das concentrações desejadas de nutrientes, eles podem apresentar outros componentes capazes de interferir no preparo adequado da solução por serem de difícil dissolução ou gerarem precipitados indesejados.

Compatibilidade

A compatibilidade entre fertilizantes distintos deve ser sempre verificada antes de proceder à fertirrigação quando eles forem aplicados simultaneamente. Fertilizantes incompatíveis podem gerar diversos problemas, entre eles a precipitação de elementos, o que pode causar a obstrução dos emissores.

Os principais fertilizantes utilizados em fertirrigação são: ureia; nitrato de amônio; sulfato de amônio; nitrato de cálcio; nitrato de potássio; cloreto de potássio; sulfato de potássio; fosfatos de amônio MAP e DAP; Fe, Zn, Cu, Mn sulfato; Fe, Zn, Cu, Mn quelato; sulfato de magnésio; ácido fosfórico; ácido sulfúrico e ácido nítrico.

O Quadro 4.2 apresenta a compatibilidade, a incompatibilidade e a solubilidade reduzida que alguns fertilizantes empregados na fertirrigação apresentam entre si.

Quadro 4.2 - Compatibilidade entre os fertilizantes empregados na fertirrigação.

Adaptado de: Landis et al. (1989).

Fertilizante	Ureia	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Fosfatos de amônio MAP e DAP	Fe, Zn, Cu, Mn sulfato	Fe, Zn, Cu, Mn quelato	Sulfato de magnésio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Ureia	--	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de amônio		--	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio			--	I	C	C	R	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio				--	C	C	I	I	I	R	I	I	I	C
Nitrato de potássio					--	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio						--	R	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio							--	C	R	C	R	C	R	C
Fosfatos de amônio MAP e DAP								--	I	R	I	C	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn sulfato									--	C	C	I	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn quelato										--	C	R	C	I
Sulfato de magnésio											--	C	C	C
Ácido fosfórico												--	C	C
Ácido sulfúrico													--	C
Ácido nítrico														--

C = compatível; R = solubilidade reduzida; I = incompatível.

Salinidade

No preparo das soluções de fertirrigação deve-se dar atenção especial à concentração de sais, pois, em doses elevadas, podem trazer danos às culturas e ao solo. Faz-se necessário conhecer as características do solo local e a tolerância da cultura à salinidade.

Nas regiões de clima árido ou semi-árido, onde há problemas relativos à salinidade do solo, a fertirrigação e o manejo inadequado da irrigação podem intensificá-los. Os fertilizantes são sais que elevam a concentração salina da água de irrigação. Por isso, não devem ser utilizadas quantidades que superem os valores críticos de tolerância de cada cultura.

Na formação de um bulbo úmido em irrigação localizada, os sais tendem a se concentrar em suas extremidades. Para evitar o contato das raízes com esses sais, geralmente é feita a aplicação de maiores volumes de água na irrigação, com objetivo de “lavar” essa área de solo. Porém isso causa também a lixiviação dos nutrientes.

Nas Figuras 4.24 e 4.25 (adaptadas de VILLAS BOAS et al., 1999) são apresentados os índices salinos dos fertilizantes de uso mais comum na agricultura.

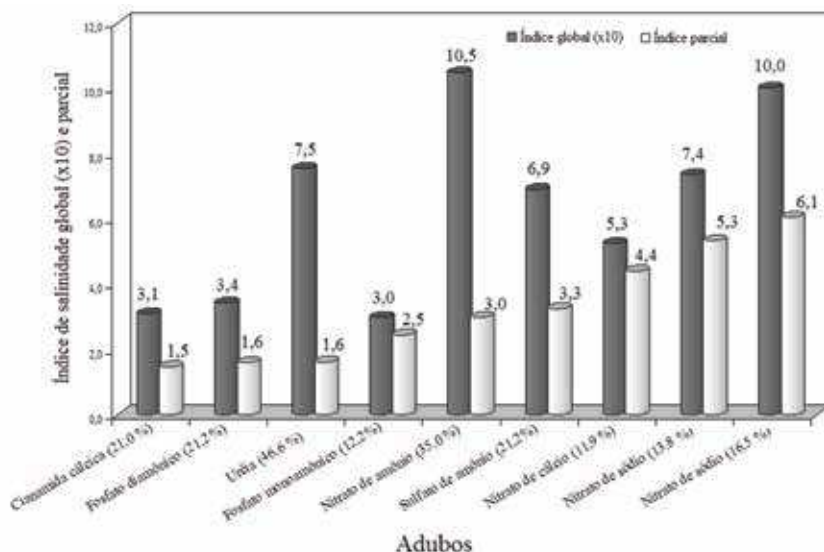


Figura 4.24 - Índice salino de fertilizantes nitrogenados. Obs: o valor apresentado acima das colunas escuras representa o índice de salinidade global (x 10) e o apresentado acima das colunas brancas representa o índice de salinidade parcial de cada fertilizante.

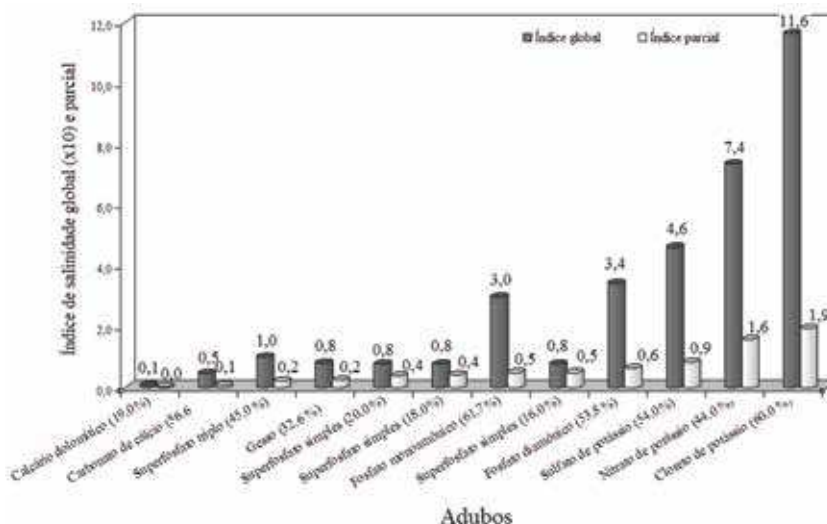


Figura 4.25 - Índice salino de diversos fertilizantes. Obs: o valor apresentado acima das colunas escuras representa o índice de salinidade global (x 10) e o apresentado acima das colunas brancas representa o índice de salinidade parcial de cada fertilizante.

O índice salino de um fertilizante indica a capacidade de elevação da pressão osmótica (concentração salina) da solução do solo. Quanto menor for o índice, menores são os riscos de danos às plantas. Se a pressão osmótica torna-se maior do que a solução das células das raízes, ocorre o deslocamento da água das células para o solo, causando murchamento e até a morte da planta. Plantas jovens são mais susceptíveis a problemas devidos ao aumento da salinidade no solo.

Segundo Villas Boas et al. (1999), o índice global mostra o poder de salinização de um dado fertilizante, de forma relativa, sendo que se atribui o valor 100 ao nitrato de sódio (NaNO_3) e os demais fertilizantes são comparados com ele. Já o índice parcial se refere ao poder de salinização por unidade de nutriente, obtido pela razão do índice global pela porcentagem do nutriente presente no fertilizante. Segundo esses autores, mais importante que o índice salino do adubo (índice global), é considerar o índice salino por unidade de nutriente (índice parcial).

9. Alguns Fertilizantes mais Utilizados em Fertirrigação

Nitrogenados

Podem estar na forma amoniacal (NH_3 e NH_4^+), nítrica (NO_3^-) e amídica (R-NH_2), que é uma forma orgânica (VILLAS BOAS *et al.*, 1999). As principais fontes de nitrogênio para o uso em fertirrigação são:

- Ureia: $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, 45% de N.
- Nitrato de amônio: NH_4NO_3 , 33% de N.
- Nitrato de cálcio: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 15% de N.
- Nitrato de potássio: KNO_3 , 14% de N.

Devem ser evitadas as fontes amoniacais, devido às perdas por volatilização e possíveis danos às folhas (quando aplicadas por aspersão).

Fosfatados

O uso de fertilizantes fosfatados em sistema de irrigação localizada não é muito recomendado, pois pode gerar problemas de entupimento nos emissores devido à precipitação de compostos químicos e físicos. Quando bem manejados, e com pH monitorado, podem-se utilizar o DAP, o MAP e o ácido fosfórico concentrado. Como fonte de fósforo para fertirrigação, segundo Carrijo *et al.* (1996), são utilizados:

- Ácido fosfórico: H_3PO_4 , com porcentagem variável de P_2O_5 .
- Fosfato monopotássio: KH_2PO_4 , 53% de P_2O_5 , fonte de fósforo e potássio.
- Fosfato monoamônio ou MAP: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 60% de P_2O_5 e 11% de N.
- Fosfato diamônico ou DAP: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 46% de P_2O_5 .

Potássicos

Os mais utilizados como fonte de potássio, segundo Carrijo *et al.*, (1996) são:

- Cloreto de potássio: KCl , é o mais utilizado e contém 60% de K_2O .
- Nitrato de potássio: KNO_3 , possui alta solubilidade e 44% de K_2O .

- Sulfato de potássio: K_2SO_4 , com 50% de K_2O .
- Fosfato monopotássio: KH_2PO_4 , fonte de fósforo e potássio, com 33% de K_2O .

Demais Nutrientes

Para os fertilizantes que contêm cálcio, o nitrato é a fonte com maior solubilidade, apesar da sua utilização restrita. Nos que utilizam magnésio, pode-se dispor do sulfato, que é bastante solúvel. Com enxofre, a utilização recomendada é de sulfato de amônio.

Quando se pretende utilizar micronutrientes, deve-se optar pelos quelatizados, bastante solúveis. A aplicação deve ser feita em pequenas quantidades.

10. Principais Características dos Nutrientes

Para que possam se desenvolver plenamente e propiciar altas produtividades, as plantas necessitam, além de condições favoráveis de clima e disponibilidade de água, absorver certa quantidade de nutrientes, dependendo da sua espécie e estágio de desenvolvimento.

Os principais nutrientes utilizados na agricultura são classificados em:

- Macronutrientes essenciais: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).
- Macronutrientes secundários: cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg).
- Micronutrientes: ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e molibdênio (Mo).

Nitrogênio (N)

O nitrogênio é um dos elementos mais utilizados em fertirrigação, apresentando ótimos resultados na produção agrícola. Quando uma planta está bem suprida de N ela apresenta: coloração verde escura (devido à maior presença de clorofila), maior quantidade de galhos e folhas e maior brotação.

Na deficiência de N (Figura 4.26 A) a planta apresenta menor desenvolvimento vegetativo e sintomas de clorose (estado da planta no qual as folhas não produzem clorofila suficiente), com as folhas apresentando uma coloração verde pálida ou mesma amarelada. Se aplicado

em excesso, o N pode ocasionar o retardamento na maturação e um crescimento exagerado da planta.

O caule não consegue ficar rígido o bastante, fazendo com que ocorra o acamamento das plantas. No solo podemos encontrar o nitrogênio em três formas principais: orgânica, amoniacal (NH_4) e nítrica (NO_3), dependendo do grau de mineralização (oxidação). Esse processo pode ser explicado da seguinte forma: o nitrogênio orgânico, sob a ação principal de bactérias aeróbias, sofre mineralização, passando para a forma amoniacal; na sequência do processo, e sob a influência também da temperatura e da aeração do solo, o N adquire a forma nítrica.

A forma nítrica do N é altamente solúvel em água e não fica retida no solo, o que o torna sujeito a perdas por lixiviação. Já a forma amoniacal fica totalmente retida. Ambas são absorvidas pelas plantas, sendo a maior parte absorvida pelas raízes na forma nítrica. O N orgânico não é absorvido.

O N é utilizado pelas plantas durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, porém, em algumas fases especificamente, com maior intensidade. Em geral, as maiores necessidades ocorrem no período de desenvolvimento vegetativo e radicular e no período de maturação.

Fósforo (P)

O fósforo é um nutriente que apresenta baixa mobilidade no solo, e ao mesmo tempo é essencial para as plantas, pois faz parte de seu metabolismo e participa de processos energéticos na forma de ATP (ou trifosfato de adenosina, um composto rico em energia responsável pelo armazenamento do P em suas ligações químicas), o que influi diretamente no crescimento vegetal.

Quando a planta está com deficiência de P, as folhas apresentam uma coloração verde amarronzado (com pontas e bordas amareladas e necrosadas), ou levemente arroxeada (Figura 4.26 B). No solo o P pode ser encontrado em várias formas, sendo a forma de fosfato (PO_4) dissolvido na solução no solo a ideal para a absorção das plantas. Na forma orgânica esse nutriente deverá ser mineralizado para se tornar disponível para as plantas.

Por ser pouco móvel no solo e não penetrar em profundidade, as raízes superficiais

são as que fazem a maior parte da absorção de P. Sua aplicação, diferentemente do nitrogênio, pode ser realizada apenas uma vez, pois o P não será lixiviado como o NO_3 .

Potássio (K)

O potássio possui várias funções nas plantas, sendo utilizado por elas em grandes quantidades. Atua na fotossíntese, no transporte dos hidratos de carbono, age como coenzima (substância orgânica não protéica necessária ao funcionamento de certas enzimas) em vários processos, é necessário para a síntese de proteínas, etc.

Esse nutriente também tem como função reduzir as perdas de água da planta por transpiração em situações de estresse hídrico, atuando no fechamento e abertura dos estômatos. Plantas com deficiência de K (Figura 4.26 C) apresentam uma cor amarelada nas bordas e no limbo das folhas mais velhas e frutos com tamanho menor que o normal e/ou com maior índice de queda. O K que pode ser aproveitado pelas plantas se encontra adsorvido pelo complexo de troca do solo ou dissolvido em sua solução.

Solos com teores elevados de Ca e Mg dificultam a sua absorção.

Cálcio (Ca)

O cálcio é um elemento indispensável para o desenvolvimento das plantas, atuando como regulador do crescimento em extensão basal, ativador de enzimas e na regulação da hidratação das plantas. Plantas com deficiência em Ca (Figura 4.26 D) apresentam deformação nas folhas, bordas ressecadas, alterações no crescimento da parte aérea e raízes e necrose das folhas mais novas e nas pontas das raízes.

Magnésio (Mg)

O magnésio tem importante função na clorofila, na regulação da hidratação das plantas e no metabolismo basal (quantidade calórica ou energética que a planta utiliza para o funcionamento de todos os órgãos). O principal sintoma de deficiência de Mg nas plantas é a clorose

das nervuras das folhas, seguida de necrose, ocorrendo primeiro nas folhas mais velhas (Figura 4.26 E).

Enxofre (S)

O enxofre nas plantas tem a função de componente do protoplasma e enzimas, e geralmente é oferecido adicionado a fertilizantes compostos de macronutrientes. Sua deficiência (Figura 4.26 F) é bem semelhante à deficiência de nitrogênio (clorose, crescimento reduzido, etc.). Porém ela aparece primeiramente nas folhas mais jovens.

Micronutrientes

A disponibilidade dos micronutrientes para as plantas é influenciada pelas características do solo, como textura e mineralogia, teor de matéria orgânica, umidade, pH, condições de oxirredução e interação entre nutrientes causando uma dinâmica complexa no solo. Cobre, ferro, manganês e zinco em solução apresentam-se na forma de cátions (íons com carga positiva), tornando-se insolúveis com a elevação do pH do solo, enquanto que o cloro e o molibdênio comportam-se como ânions (íons com carga negativa).

Os micronutrientes são utilizados pelas plantas em pequenas quantidades. Sua falta, no entanto, pode acarretar grandes perdas na produtividade. Zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl) são considerados micronutrientes essenciais. Outros elementos, como sódio (Na), cobalto (Co), silício (Si) e níquel (Ni), são considerados benéficos.

Os micronutrientes ocorrem em teores muito baixos e a quantidade total varia com o material de origem e o grau de intemperização dos solos. Solos derivados de basalto são mais ricos em micronutrientes que os derivados de arenitos.

Boro (B)

Um sintoma característico da deficiência de Boro (Figura 4.26 G) é a necrose preta de folhas jovens e gemas terminais, ocorrendo nas folhas, principalmente, na base da lâmina fo-

liar. Os caules ficam anormalmente rígidos e quebradiços. A dominância apical (quando o eixo central da planta cresce mais vigorosamente que os ramos laterais) pode ser perdida, tornando a planta altamente ramificada. Ocorre a necrose dos ápices terminais devido à inibição da divisão celular, podendo surgir anormalidades relacionadas à desintegração de tecidos internos.

As principais funções do B nas plantas são o transporte e o metabolismo de carboidratos, o metabolismo do fenol e a ativação de reguladores do crescimento. Sua deficiência pode causar alterações no crescimento devido à necrose no meristema (tecidos das plantas que asseguram o seu crescimento), redução da ramificação das raízes, necroses no floema e problemas na frutificação.

Cobre (Cu)

As principais funções do cobre são metabolismo basal (fotossíntese, oxidases), metabolismo do nitrogênio e metabolismo secundário. O sintoma inicial da deficiência de cobre é a produção de folhas verdes-escuras, que podem conter manchas necróticas. As manchas necróticas aparecem primeiramente nos ápices das folhas jovens e estendem-se em direção à base da folha, ao longo das margens. As folhas podem também ficar retorcidas ou malformadas (Figura 4.26 H). Sob deficiência extrema, as folhas podem cair prematuramente.

Ferro (Fe)

As principais funções do ferro nas plantas são metabolismo basal (reações redox), metabolismo do N e síntese da clorofila. O sintoma característico da ausência de Fe é a clorose internervura.

Tais sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais jovens porque o ferro não pode ser prontamente mobilizado nas folhas mais velhas. Sob condições de deficiência extrema ou prolongada, as nervuras podem se tornar cloróticas também, fazendo com que toda a folha se torne branca (Figura 4.26 I).

Manganês (Mn)

As funções do magnésio são o metabolismo basal (oxidases, fotossíntese, transferência de fosfatos), a estabilização da estrutura dos cloroplastos (organela presente nas células das plantas), o metabolismo do nitrogênio, a síntese do ácido nucléico e o sinergismo com magnésio. das espécies vegetais e da taxa de crescimento.

Os sintomas associados à sua deficiência são a clorose internervura (Figura 4.26 J) associada ao desenvolvimento de pequenas manchas necróticas, podendo ocorrer em folhas jovens ou maduras, dependendo das espécies vegetais e da taxa de crescimento.

Molibdênio (Mo)

As funções do molibdênio são a fixação do nitrogênio (redutases), o metabolismo do fósforo e a absorção e translocação de ferro. O primeiro indicativo da deficiência é a clorose generalizada (Figura 4.26 K) entre as nervuras e a necrose das folhas mais velhas.

Em algumas espécies pode não existir a necrose, mas as folhas podem ficar retorcidas e morrer. Existe a possibilidade de a formação de flores ser inibida ou as flores caírem prematuramente.

Zinco (Zn)

As funções do zinco nas plantas são a formação de clorofila, a ativação das enzimas, a atuação no metabolismo basal (desidrogenases), a promoção da degradação de proteínas e a biossíntese de reguladores de crescimento (AIA).

A deficiência de zinco é caracterizada pela redução do crescimento internodal e, como resultado, pelo crescimento rosetado da planta, no qual as folhas formam um agrupamento circular que se irradia do substrato ou próximo dele. As folhas podem se apresentar pequenas e retorcidas, com margens de aparência enrugada. Em algumas espécies as folhas mais velhas podem apresentar clorose internervuras e conseqüentemente desenvolver manchas necróticas brancas (Figura 4.26 L).

Cobalto (Co)

O cobalto tem papel importante como integrante da vitamina B12 e na fixação do nitrogênio atmosférico. Os sintomas de deficiência de Co são pouco documentados em plantas (Figura 4.26 M).

Cloro (Cl)

As funções do cloro são o efeito coloidal (aumento da hidratação) e ativação de enzimas (fotossíntese). Plantas deficientes em cloro desenvolvem ápices foliares murchos, seguidos por clorose e necroses generalizadas. As folhas podem exibir crescimento reduzido, eventualmente assumindo uma coloração bronzeada. Os íons de cloreto são muito solúveis e geralmente disponíveis no solo porque a água do mar é carregada para o ar pela evaporação, transportada pelo vento e distribuída pelo solo quando chove. Portanto, a deficiência de Cl é desconhecida nas plantas que crescem em habitats nativos ou agrícolas.

Silício (Si)

O silício foi recentemente incluído na legislação brasileira de fertilizantes como um micronutriente. Entre os principais benefícios destacam-se: aumento da tolerância ao estresse abiótico (hídrico e fitotoxidez) e biótico (ataque de pragas e doenças).

A deposição de Si junto à cutícula das folhas confere proteção às plantas e ameniza os efeitos de estresses de natureza biótica e abiótica. O silício ocorre com maior frequência nas regiões da planta onde a água é perdida em grande quantidade, ou seja, na epiderme foliar. Esses depósitos de sílica no tecido foliar promovem a redução na taxa de transpiração.

Além do efeito na transpiração, a deposição de sílica na parede das células torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos. Isso ocorre pela associação da Si com constituintes da parede celular, tornando-as menos acessíveis às enzimas de degradação (resistência mecânica).

Níquel (Ni)

As funções do níquel nas plantas são de compor a urease (mobilização do N durante a germinação) e catalisar a hidrólise da ureia em $\text{NH}_3^+ + \text{CO}_2$. Plantas deficientes em níquel acumulam ureia em suas folhas e, conseqüentemente, apresentam necrose nos ápices foliares.

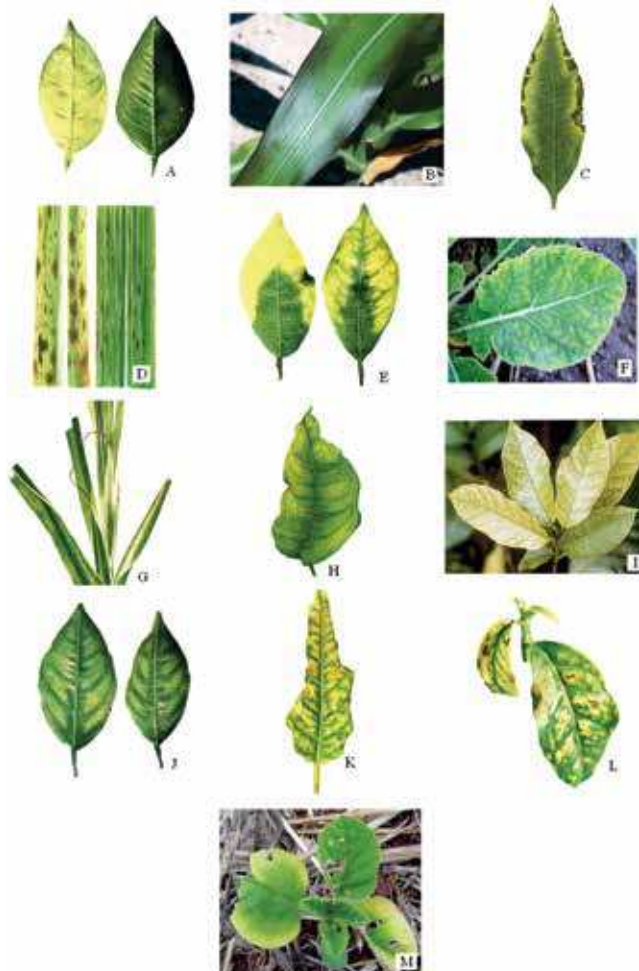


Figura 4.26 - Exemplo de deficiências em diversas plantas.

11. Monitoramento do pH da Solução Fertilizante

O monitoramento do pH da solução que será misturada no tanque reservatório é extremamente necessário, pois vários fertilizantes, dependendo da sua concentração, causam a acidificação da solução devido aos seus constituintes e às reações geradas pelo processo de solubilização. A utilização da fertirrigação durante o ciclo da cultura, sem que sejam tomados os cuidados necessários, pode resultar na acidificação do solo próximo ao sistema radicular.

Quando se requer maior disponibilidade de nutrientes na solução nutritiva do solo, o intervalo de pH mais adequado varia entre 6 a 6,5. Um peagâmetro portátil (Figura 4.27) facilita o trabalho de determinação do pH no local de preparo da solução.

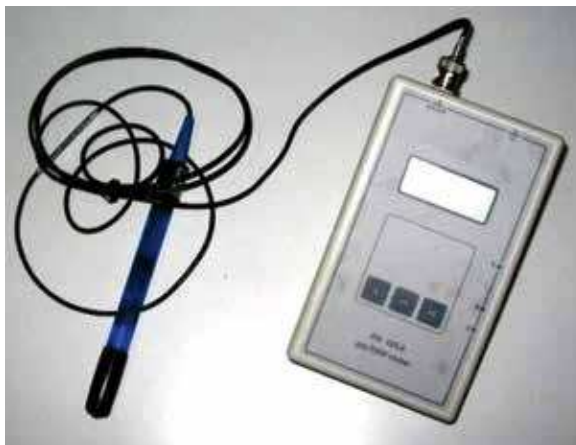


Figura 4.27 – Peagâmetro portátil.

12. Monitoramento da Condutividade Elétrica e pH da Solução do Solo

A condutividade elétrica é um indicativo da quantidade total de sais presentes na solução do solo. Pode-se monitorar a condutividade, juntamente com o pH da solução do solo, com o auxílio de extratores de solução (Figura 4.28).

Os extratores retiram uma pequena quantidade da solução presente no solo, em pontos pré-determinados, próximos ao sistema radicular da cultura, onde se formam os bulbos molhados. A profundidade de instalação depende da cultura, e para isso há valores tabelados.

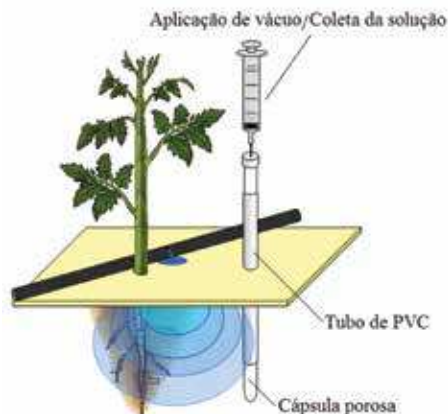


Figura 4.28 - Extrator de solução do solo.

Uma vez retirada a solução, realiza-se a determinação do pH e da condutividade elétrica, utilizando-se peagômetros e condutivímetros portáteis (Figura 4.29). A partir daí pode-se monitorar a quantidade de fertilizante aplicado, respeitadas as tolerâncias das culturas à salinidade. Recomenda-se retirar amostras da solução do solo em intervalos semanais.



Figura 4.29 - Condutivímetro portátil.

13. Instalação de Extratores e Coleta da Solução do Solo

Para instalação do extrator, e posterior retirada da solução do solo, devem ser seguidos os seguintes procedimentos:

O extrator deve ser previamente submerso em um recipiente com água para que ocorra a saturação dos poros da cápsula porosa por no mínimo 24 horas antes da sua instalação (Figura 4.30).

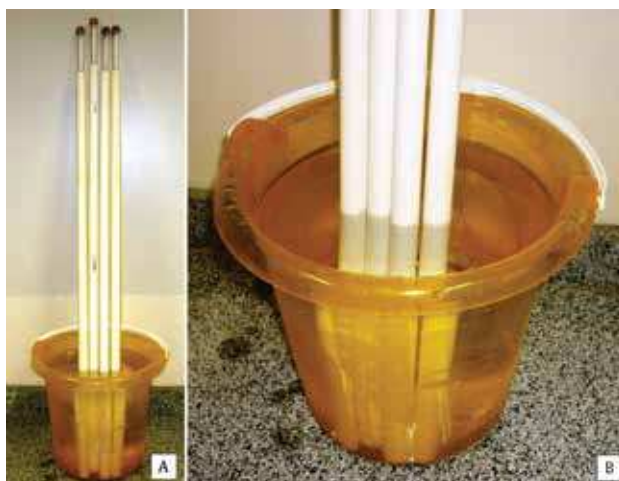


Figura 4.30 – Saturação das cápsulas porosas.

- Com um trado de igual diâmetro do tubo do extrator, deve-se perfurar o solo até a profundidade em que se deseja retirar amostras da solução do solo. É necessário assegurar que toda a cápsula porosa ficará em contato com o solo no fundo do buraco. Para que isso ocorra, deve-se colocar, no momento da instalação do aparelho, um pouco de terra solta no buraco (Figura 4.31).
- Os extratores podem ser instalados em profundidades diferentes para possibilitar a avaliação do movimento dos solutos no solo.

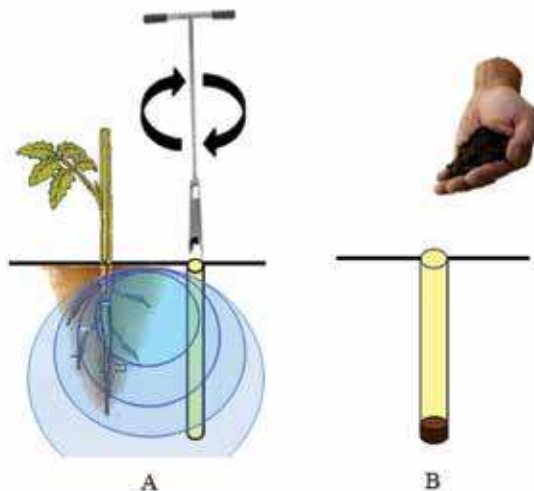


Figura 4.31 – Instalação do extrator: perfuração do solo (A) e preenchimento com terra no fundo do buraco (B).

Retira-se o ar do interior do extrator, criando um vácuo (cerca de 70 kPa), com auxílio de uma seringa ou bomba manual, um dia após a fertirrigação (Figura 4.32).

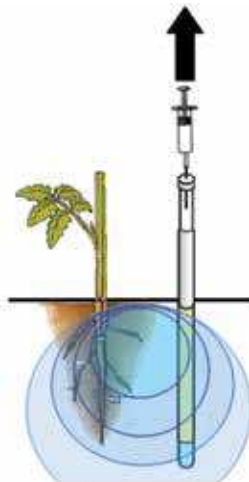


Figura 4.32 – Retirada de ar do interior do extrator.

Verifica-se com auxílio de um tensímetro (mecânico ou digital) se foi gerado o vácuo necessário para extração da solução do solo (Figura 4.33). Se isso não ocorreu, repetir a operação anterior.



Figura 4.33 – Tensímetro mecânico em detalhe (A) e em funcionamento (B).

Com a formação do vácuo, a água no solo próximo ao extrator se encaminhará para dentro da cápsula porosa, devido ao diferencial de pressão. No dia seguinte realiza-se a extração da solução que se encontra dentro do extrator, também com o auxílio de uma seringa (Figura 4.34).

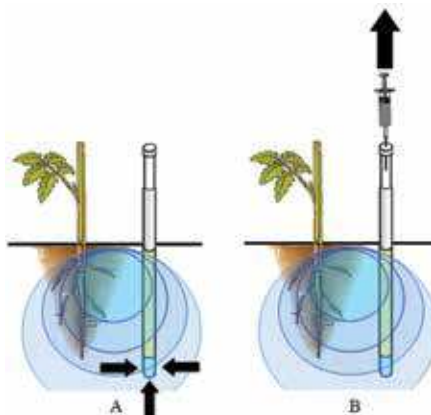


Figura 4.34 – Entrada da solução do solo no extrator (A) e retirada com auxílio da seringa (B).



CAPÍTULO 5

QUALIDADE DA ÁGUA

1. Introdução

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade quanto da qualidade da água a ser utilizada na irrigação. No entanto, a qualidade da água vem sendo desprezada ao longo do tempo, porque, no passado, as fontes em geral eram abundantes e de boa qualidade.

Quando se aborda o ciclo hidrológico, em suas fases básicas, tem-se a falsa ideia de que a água, sendo um recurso natural renovável, apresenta-se como um produto inesgotável. Assim sendo, não haveria grandes problemas quanto à sua pronta disponibilidade para atender às mais diversas finalidades. Esse pensamento decorre do fato de que toda água existente na superfície do planeta está sujeita a evaporação e retorna em seguida na forma de chuva ou qualquer outro tipo de precipitação.

Infelizmente, a realidade mostra que, devido à falta de critérios definidos para seu uso, há uma tendência cada vez maior de escassez desse indispensável recurso, prevendo-se, segundo alguns pesquisadores, a possível ocorrência de conflitos mundiais, o prejuízo no desenvolvimento de muitos países e o desencadear de disputas entre nações instáveis da África e do Oriente Médio localizadas em regiões menos privilegiadas por fontes de água. Algumas disputas já vêm sendo observadas entre Egito e Etiópia, pelas águas do rio Nilo; Iraque e Turquia, pelos rios Eufrates e Tigre; Jordânia, Síria e Israel, pelas águas do rio Jordão. Estima-se, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), que no mundo já existem cerca de 70 regiões em conflito pela posse de fontes superficiais de água potável.

A carência de critérios e padrões para definir a qualidade da água leva à necessidade urgente de discussão sobre o assunto. Águas classificadas como de qualidade inferior para um determinado uso podem ter qualidade superior para outro fim. Águas não potáveis, como as águas residuárias domésticas ou industriais, se tratadas, em um nível compatível à sua reutilização em outras finalidades, poupariam as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários. Em vários países a reutilização planejada faz parte de políti-

cas governamentais, sendo componente nos programas de irrigação e gestão de recursos hídricos. Com base em critérios para uma determinada finalidade e padrões de qualidade, pode-se estabelecer o grau de tratamento e, assim, garantir a segurança sanitária dos usuários.

2. Águas Residuárias

Com base em modelos epidemiológicos de riscos à saúde e identificação dos grupos de risco, pode-se pensar em medidas de proteção, na forma de barreiras aos agentes etiológicos. O reuso de águas residuárias ou receptoras de efluentes urbanos (Figura 5.1) em irrigação envolve a restrição de algumas culturas, a seleção do método de irrigação, o correto tratamento da água para a finalidade e o controle da exposição humana, lembrando ainda a saúde do irrigante e dos consumidores do produto agrícola e também a manutenção do sistema de irrigação.



Figura 5.1 - Águas receptoras de efluentes urbanos.

O potencial irrigável do Brasil é muito grande, mas apenas uma pequena parcela das suas terras agricultáveis é irrigada. A agricultura depende do suprimento de água e a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem novas fontes de suprimento.

Durante as duas últimas décadas, o uso de água com esgotos tratados em irrigação de culturas aumentou significativamente devido principalmente à dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação. O uso de água residuária em irrigação, além

de suprimento, pode constituir uma importante fonte de nutrientes para as plantas, uma vez que o esgoto doméstico contém nitrogênio e fósforo. Evidentemente, às vantagens citadas associam-se alguns inconvenientes, principalmente os de ordem sanitária que provocam riscos de contaminação por organismos patogênicos.

3. Contaminação e Entupimento

Dos métodos de irrigação conhecidos destaca-se a irrigação localizada, principalmente os sistemas de gotejamento, por preservarem folhas e frutos do contato direto com a água. No entanto, a concentração de sólidos dever ser controlada para evitar a obstrução dos emissores. Sistemas eficientes de filtros se tornam obrigatórios.

Os riscos de contaminação podem ser minimizados, desde que sejam seguidos determinados padrões de qualidade. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que as águas utilizadas nas irrigações irrestritas tenham menos de um ovo de nematoide por litro. Quanto aos coliformes fecais, estabelece um limite máximo de 1000/100 mL (Figura 5.2).

Quando adequadamente utilizada, a irrigação pode ser uma eficiente ferramenta para o aumento da produtividade e a economia de recursos.

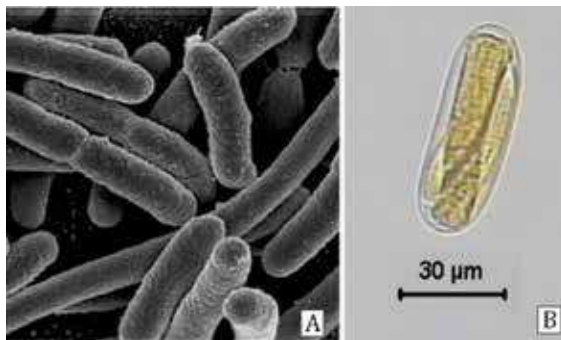


Figura 5.2 - Coliformes fecais (A) e ovo de nematoide (B).

A irrigação localizada vem ganhando vários adeptos, principalmente em regiões aonde o fator água é limitante. Nesse método, a água é aplicada molhando apenas uma fração do

sistema radicular das plantas. Os dois principais sistemas de irrigação localizada são a micro-aspersão e o gotejamento.

O problema mais comum e mais grave para as instalações de irrigação localizada é o entupimento, devido ao pequeno diâmetro dos emissores, principalmente no caso dos gotejadores. Portanto, é necessário conhecer a origem e os tipos de impurezas a que está sujeita a água que será utilizada para que se possam prever a filtragem e o tratamento adequados.

Muitos fatores podem influir na escolha correta de um método de irrigação. Após a avaliação da topografia do terreno, do solo e da cultura, cabe ainda uma análise detalhada da fonte hídrica a ser utilizada. A água pode ser oriunda de rios, açudes, riachos, poços artesianos, barragens, etc., sendo que sua composição química e física pode variar bastante.

O conhecimento dessas características da água é de fundamental importância para a escolha do método de irrigação. Presença de sais, materiais em suspensão e outros elementos podem comprometer não apenas a integridade do sistema de irrigação. Contaminações por microrganismos patogênicos podem oferecer algum tipo de risco à saúde dos operadores do sistema de irrigação ou daqueles que vierem a consumir os produtos agrícolas resultantes daquela cultura irrigada. Outros sistemas menos sensíveis a entupimentos podem sofrer danos devido a ataques químicos ou precipitações produzidas por elementos químicos presentes na água.

Microrganismos como *Shistosoma* sp e *Taenia* sp (Figura 5.3) são classificados como de risco irrelevante a alto, dependendo de fatores e circunstâncias locais. A transmissão de doenças a partir de irrigação de efluentes de acordo com os critérios da OMS, ou seja, da avaliação dos riscos reais, somente pode ser avaliada com base em estudos epidemiológicos. Entretanto, tais estudos merecem pesquisas aprofundadas devido à sua complexidade, uma vez que exigem a comparação entre populações expostas e não expostas aos riscos associados com a irrigação de águas residuárias. A sobrevivência de microrganismos patogênicos no solo e nas plantas tem sido o objetivo de alguns trabalhos, no entanto, cabe ressaltar que tais informações são bastante genéricas, sendo que fatores locais podem influenciar na sobrevivência dos microrganismos.



Figura 5.3 - Shistosoma (A) e Taenia (B).

Pode-se dizer que temperaturas mais elevadas, períodos de insolação mais prolongados, solos com boa capacidade de drenagem (arenosos), baixos teores de água e superfícies lisas de cultura irrigada são fatores que concorrem para a redução da sobrevivência de microrganismos.

As recomendações da OMS não incluem padrões bacteriológicos para a água a ser utilizada em de irrigação, de maneira irrestrita, devido à ausência de evidências epidemiológicas de riscos de transmissão de doenças bacterianas e viróticas aos agricultores. No entanto, pesquisas sugerem incluir a recomendação adicional de um limite de 10.000 CF por 100 mL para irrigação restrita. Estudos demonstraram que crianças são mais suscetíveis a doenças transmitidas por ascaridíase.

Quando a água vem de poços e passa diretamente às redes de irrigação, é normal o transporte de partículas minerais como limo e areia. A corrosão de tubulação de ferro também pode desprender partículas de ferrugem. Quando a água passa por depósitos livres pode estar sujeita ao desenvolvimento de algas tão pequenas que passam pelo sistema de filtragem. O desenvolvimento de bactérias também pode causar entupimentos.

As principais causas de entupimento de emissores são:

- Partículas inorgânicas ou orgânicas.
- Precipitações químicas.
- Crescimento de microrganismos (algas, fungos ou bactérias).

Também devemos classificar o risco de entupimento como:

- Imediato
- Potencial

As causas imediatas de entupimento normalmente decorrem de partículas inorgânicas ou orgânicas. O procedimento para evitá-las é a filtragem apropriada. Partículas orgânicas, como algas diatomáceas, moluscos, crustáceos, insetos e até mesmo pequenos peixes, são retidas em filtros de areia. Partículas inorgânicas, e até mesmo grãos de areia provenientes dos próprios filtros e restos de fertilizantes, normalmente exigem filtragem em filtros de tela ou de disco. As causas potenciais de entupimento devido ao crescimento de microrganismos, ou resultantes de precipitações químicas, devem ser previstas com tratamentos químicos e cuidados especiais que exigem atenção e estudo do problema para cada caso.

Elementos característicos da água que devem ser analisados para um bom planejamento e operação de um sistema de irrigação localizada: sais orgânicos, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), teor de matéria orgânica, microrganismos, ferro, oxigênio dissolvido, ferro-bactéria e bactéria redutora de sulfatos. O Quadro 5.1 resume o risco de entupimento de emissores causado por problemas relacionados à qualidade da água utilizada na irrigação.

Quadro 5.1 - Influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada. Fonte: Nakayama e Bucks (1980).

Problemas	Unidades	Grau de restrição de uso		
		Baixo	Médio	Alto
Físicos				
Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	< 50	50 - 100	> 100
Químicos				
pH	mg L ⁻¹	< 7	7 - 8	> 8
Sólidos solúveis	mg L ⁻¹	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganês	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ácido sulfídrico	mg L ⁻¹	< 0,1	0,5 – 2	> 2
Biológicos				
Populações bacterianas	Nº. Max. mL ⁻¹	< 10000	10000 - 50000	> 50000

As partículas mais pesadas da água podem ser filtradas ou sedimentadas. A sedimentação é o método mais antigo e barato, porém não é de eficácia segura. A filtração é mais confiável e consiste em forçar a passagem da água através de meios porosos, cujo diâmetro dos poros é selecionado segundo o tamanho e a composição do material a ser retido pelo filtro.

As obstruções e danos causados pelas precipitações químicas de materiais como carbonato e sulfatos de cálcio ou magnésio (Figuras 5.4 e 5.5) ocorrem gradualmente. As precipitações químicas são favorecidas por altas temperaturas, valores altos de pH ou oxidação do ferro que dá origem a um precipitado férrico insolúvel de cor marrom-avermelhada.



Figura 5.4 - Entupimento em tubulação.



Figura 5.5 - Rotor de motobomba danificado.

A maneira mais eficaz de evitar precipitações de CaCO_3 é o controle do pH da água. Alguns fertilizantes injetados na água podem provocar precipitações e entupimentos, por exemplo: fertilizantes fosfatados quando a concentração de Ca na água é superior a 6 meq l⁻¹. A adição de amônia líquida também provoca problemas pela elevação do pH a valores acima de 11, resultando em uma rápida precipitação de CaCO_3 . A potencialidade do ferro (Figura 5.6) em criar problemas é de avaliação mais difícil. Frequentemente esse elemento contribui para a formação de mucilagem pela ação de ferro-bactérias. O ferro deve ser precipitado e filtrado antes de entrar no sistema de irrigação. A precipitação do ferro geralmente é feita pela oxidação através da cloração ou pela aeração da água em tanques abertos.

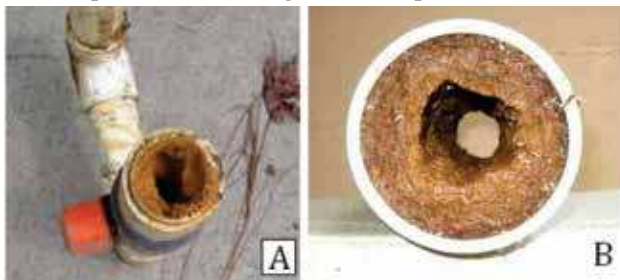


Figura 5.6 - Entupimento em tubulação por ferro (A) e em detalhe (B).

O tratamento químico com cloro é um dos métodos mais eficazes para controle do desenvolvimento de microrganismos, porém é caro e exige manejo cuidadoso, pois o cloro mata os organismos e oxida a matéria orgânica que deve ser eliminada através da filtragem.

O Quadro 5.2 resume as dosagens de cloro para tratamento da água de irrigação em função do problema observado, no entanto a experiência mostra que a injeção contínua de cloro no sistema é antieconômica e problemática.

Quadro 5.2 - Doses de cloro recomendadas para controlar o desenvolvimento microbiano.

Problemas	Doses de Cloro
Algas	0,5 a 1 mg L ⁻¹ de forma contínua ou 20 mg L ⁻¹ por 20 minutos
Ácido sulfídrico	0,5 a 9,0 vezes o conteúdo de ácido sulfídrico em mg L ⁻¹ .
Ferro-bactérias	1 mg L ⁻¹
Mucilagem (lodo)	0,5 mg L ⁻¹ de forma contínua

Também, em algumas regiões, o processo de salinização dos solos geralmente está relacionado ao tipo e à quantidade de sais presentes na água utilizada para irrigação.

4. Classificação da Água

Com relação à concentração total de sais, a água pode ser classificada como:

- C1 – água de baixa salinidade: pode ser usada em quase todas as culturas e quase todos os solos. A lixiviação é alcançada em condições normais de irrigação.
 - C2 – água de média salinidade: pode ser usada com lixiviação moderada de sais.
 - C3 – água de alta salinidade: deve ser usada em espécies vegetais com alta tolerância aos sais. Os riscos dessa classe de solo podem ser amenizados com a utilização de irrigação localizada.
 - C4 – água de muito alta salinidade: não é apropriada para irrigação.
- Sodicidade:
- S1 – água com baixa sodicidade: pode ser usada para irrigação na maioria dos solos.
 - S2 – água de sodicidade média: em solos argilosos representa perigo considerável de dispersão das argilas com redução de permeabilidade.

- S3 – água de alta sodicidade: pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos.

- S4 – água de muito alta sodicidade: inadequada para irrigação.

Concentrações elevadas de elementos tóxicos como cloro, sódio e boro podem reduzir a produção vegetal ou complicar os problemas relacionados à salinização e codificação do solo. A concentração elevada de íons bicarbonatos na água de irrigação leva a uma tendência de precipitação de cálcio e magnésio, consequentemente aumentando a concentração de sódio, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos carbonatos de cálcio e magnésio.

O aspecto sanitário é outro fator a ser considerado. Dependendo das condições da água de irrigação pode haver a possibilidade da contaminação do irrigante, da comunidade ou dos consumidores por verminoses transmitidas pela água, por simples contato ou por ingestão.



CAPÍTULO 6

NECESSIDADE HÍDRICA DAS CULTURAS

1. Introdução

Saber aplicar a quantidade e a intensidade de água que a planta realmente necessita é o que garante o sucesso da irrigação. Com isso, é possível – estando as demais condições plenamente atendidas (adubação, clima, época de cultivo adequada e potencial genético da planta) – obter as maiores produtividades da cultura.

É necessário determinar alguns parâmetros iniciais, que são essenciais para os primeiros cálculos de um projeto de irrigação localizada. Vale a pena aqui lembrar que nesse sistema de irrigação a água é aplicada em pequenas quantidades, mas com alta frequência, mantendo o solo constantemente em uma condição de umidade ótima para as plantas.

2. Reposição de Água para as Plantas

A quantidade de água repostada para as plantas no momento da irrigação deve ser a mesma que é perdida pelo processo de evapotranspiração. Precisa ser determinada com bastante critério para que sejam evitados excessos ou deficiências na aplicação de água.

Determinação da Evapotranspiração para Irrigação Localizada

A evapotranspiração pode ser determinada a partir da evaporação medida no tanque evaporímetro “Classe A”. Porém, ele fornece apenas o valor de sua evaporação (ECA), sendo necessária a utilização de um coeficiente do tanque (K_p) para obter a evapotranspiração de referência (E_{To}). Pode-se calcular a evapotranspiração de referência por meio da expressão:

$$E_{To} = ECA \cdot K_p$$

Em que

E_{To} = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

ECA = evaporação do tanque “Classe A” (mm);

K_p = coeficiente de tanque (adimensional).

O coeficiente do tanque (K_p) é tabelado, podendo ser facilmente encontrado, e é função da umidade relativa do ar, da velocidade do vento e do tamanho da bordadura ao redor do tanque.

Em seguida, deve-se calcular a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) de acordo com seu estágio de desenvolvimento:

$$E_{Tc} = E_{To} \cdot K_c$$

Em que

E_{Tc} = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

E_{To} = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

K_c = coeficiente da cultura (adimensional).

Cada cultura apresenta um ciclo de cultivo dividido em fases fenológicas distintas, cada qual com um valor de K_c . Na literatura encontram-se os valores para quase todos os tipos de culturas.

Segundo Bernardo et al. (1996), os sistemas de irrigação localizada apresentam uma particularidade em relação à evapotranspiração: como nem toda a área é efetivamente molhada pela irrigação (ao contrário dos sistemas de irrigação por aspersão), a evapotranspiração deve ser ajustada a essa condição, sendo calculada então a evapotranspiração para irrigação localizada ($E_{T_{LOC}}$):

$$E_{T_{LOC}} = E_{Tc} \cdot k_a$$

Em que

$E_{T_{LOC}}$ = evapotranspiração para irrigação localizada (mm dia^{-1});

E_{Tc} = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

K_a = coeficiente de ajuste (adimensional).

Determinação do Coeficiente de Ajuste

O coeficiente de ajuste (K_a) pode ser determinado pelas equações propostas por Keller (1978) e Fereres (1981), apresentadas por Bernardo et al. (1996) para os seguintes casos:

a) Culturas com plantio adensado (KELLER, 1978):

$$K_a = \left(\frac{P}{100} \right) + 0,15 \cdot \left(1 - \left(\frac{P}{100} \right) \right)$$

Em que

P = porcentagem de área molhada (%).

b) Culturas com plantio espaçado (FERERES, 1981):

- Para $P < 20\% \rightarrow K_a = (0,0194 \cdot P) + 0,1$
- Para $20\% < P < 65\% \rightarrow K_a = (0,0109 \cdot P) + 0,3$
- Para $P > 65\% \rightarrow K_a = 1$

A determinação da porcentagem de área molhada (P) pode ser realizada pelas seguintes equações:

a) Para microaspersores e difusores (BERNARDO et al., 1996):

$$P = N_{ep} \cdot \frac{A + \frac{(S_e \cdot P_e)}{2}}{S_p \cdot S_f} \cdot 100$$

Em que

P = porcentagem de área molhada (%);

N_{ep} = número de microaspersores/difusores por planta;

S_e = espaçamento entre emissores (m);

S_p = espaçamento entre plantas (m);

S_f = espaçamento entre tubulações laterais (m);

A = área do círculo cujo raio é igual ao alcance do microaspersor ou difusor (m^2);

P_e = perímetro do círculo cujo raio é igual ao alcance do microaspersor ou difusor (m).

b) Para gotejadores e microtubos (PIZARRO, 1996):

$$P = \frac{100 \cdot N_{ep} \cdot A_{me}}{S_{op}}$$

Em que

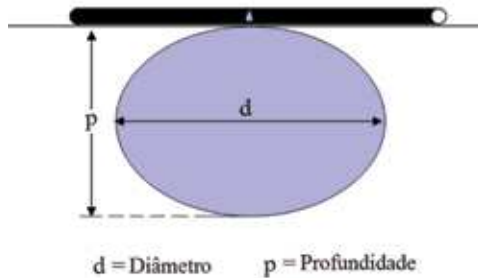
P = porcentagem de área molhada (%);

N_{ep} = número de gotejadores/microtubos por planta;

A_{me} = área molhada pelo emissor (m^2);

S_{op} = superfície ocupada pelas plantas (m^2).

A área molhada é representada na Figura 6.1.



Pode-se calcular a área molhada com a seguinte equação:

$$A_{me} = \frac{(\pi \cdot d^2)}{4}$$

Em que

A_{me} = área molhada pelo emissor (m^2);

d = diâmetro observado (m).

Figura 6.1 - Área molhada por um emissor.

A superfície ocupada pelas plantas é dada por:

$$S_{op} = S_p \cdot S_l$$

Em que

S_{op} = superfície ocupada pelas plantas (m^2);

S_p = espaçamento entre plantas (m);

S_l = espaçamento entre tubulações (m);

Lâmina de Água a ser Aplicada

A lâmina líquida de água que devera ser aplicada é calculada por:

$$LL = 0,1 \cdot (CC - PMP) \cdot dg \cdot z \cdot f \cdot \left(\frac{P}{100}\right)$$

Em que

LL = lâmina líquida (mm);

CC = capacidade de campo (%);

PMP = ponto de murcha permanente (%);

dg = densidade global (g cm^{-3});

z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

f = fração de água que pode ser extraída do solo (decimal);

P = porcentagem de área molhada (%).

Os valores da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente são determinados pela curva de retenção de água no solo, por meio da análise de amostras indeformadas de solo, cuja metodologia para coleta está descrita no Capítulo 7.

A fração de água que pode ser extraída do solo pode ser estimada pela equação apresentada por Allen et al. (1998):

$$F = 0,50 + 0,04 \cdot (5 - ET_{LOC})$$

Em que

F = fração de água que pode ser extraída do solo (decimal).

ET_{LOC} = evapotranspiração para irrigação localizada (mm dia^{-1});

Deve-se considerar a eficiência de aplicação de água (E_f) do sistema de irrigação para determinar a lâmina bruta de água. Em sistemas de irrigação localizada a eficiência de aplicação de água se mantém em torno de 90% a 95%. Então temos:

$$LB = \frac{LL}{E_f}$$

Em que

LB = lâmina bruta (mm);

LL = lâmina líquida (mm);

Ef = eficiência do sistema de irrigação (decimal).

Fixando-se um turno de rega, que devido às características da irrigação localizada (alta frequência de irrigações) deve variar entre um e quatro dias, deve-se refazer o cálculo e verificar a nova lâmina a ser aplicada.

$$LB = \frac{TR \cdot ET_{LOC}}{Ea}$$

Em que

TR = turno de rega (dias);

Ea = eficiência de aplicação de água (decimal).

Duração da Irrigação

Pode-se determinar o tempo de funcionamento do sistema de irrigação pelas seguintes equações:

a) Para irrigação pontual:

$$T_{irrig} = \frac{LB \cdot Sop}{Nep \cdot q}$$

Em que

T irrig = tempo de irrigação (h);

q = vazão do emissor (L h⁻¹).

No caso de se utilizarem duas tubulações laterais por fileira de plantas, deve-se corrigir o tempo de irrigação:

$$T_{corrigido} = \frac{T_{irrig}}{2}$$

No caso de se utilizar uma tubulação lateral para cada duas fileiras de plantas, deve-se corrigir também o tempo de irrigação:

$$T_{corrigido} = T_{irrig} \cdot 2$$

b) Para irrigação em faixa contínua:

$$T_{irrig} = \frac{LB \cdot Sc \cdot Sf}{q}$$

Em que

T_{irrig} = tempo de irrigação (h);
 Se = espaçamento entre emissores (m);
 LB = lâmina bruta (mm);
 Sf = espaçamento entre tubulações laterais (m);
 q = vazão do emissor (L h⁻¹).

Aplicação prática 5:

Realizar o manejo da irrigação, por meio da evaporação medida no tanque evaporímetro “Classe A”, para uma determinada cultura que apresenta os seguintes valores de K_c: 0,50 (estádio I: desde o plantio até 10% do desenvolvimento vegetativo), 0,75 (estádio II: desde o final do estágio I até 80% do desenvolvimento vegetativo), 1 (estádio III: desde o final do estágio II até o início da maturação) e 0,25 (estádio IV: desde o final do estágio III até a colheita).

Dados: evapotranspiração de referência (E_{To})* = 5 mm dia⁻¹; diâmetro do bulbo molhado = 0,80 m; espaçamento da cultura = 1 x 1 m, espaçamento entre emissores = 0,30 m; vazão do emissor = 2 L h⁻¹; ponto de murcha permanente = 12%; capacidade de campo = 28%; densidade global = 1,25 g cm⁻³; profundidade do sistema radicular = 40 cm; eficiência do sistema = 90%.

* valor médio mensal.

Resolução:

Cálculo da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) de acordo com seu estágio de desenvolvimento:

Fase inicial (K_c = 0,50) → E_{Tc} = 5 . 0,50 = 2,5 mm dia⁻¹

Fase vegetativa (K_c = 0,75) → E_{Tc} = 5 . 0,75 = 3,75 mm dia⁻¹

Fase reprodutiva (K_c = 1) → E_{Tc} = 5 . 1 = 5 mm dia⁻¹

Fase de maturação (K_c = 0,25) → E_{Tc} = 5 . 0,25 = 1,25 mm dia⁻¹

$$A_{mc} = \frac{\pi \cdot 0,80^2}{4} = 0,503 \text{ m}^2$$

$$S_{op} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ m}^2$$

$$N_{ep} = \frac{1,0}{0,30} = 3,33$$

$$P = \frac{(100 \cdot 3,33 \cdot 0,503)}{1,0} = 168\%$$

Adota-se nesse caso $P = 100\%$

$$K_a = \left(\frac{100}{100}\right) + 0,15 \cdot \left(1 - \left(\frac{100}{100}\right)\right) = 1$$

Evapotranspiração para irrigação localizada (ETLOC) para cada fase da cultura:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow \text{ETLOC} = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase vegetativa} \rightarrow \text{ETLOC} = 3,75 \cdot 1 = 3,75 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase reprodutiva} \rightarrow \text{ETLOC} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase de maturação} \rightarrow \text{ETLOC} = 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ mm dia}^{-1}$$

Fração de água que pode ser extraída do solo:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow F = 0,50 + 0,04 \cdot (5 - 2,5) = 0,60$$

A lâmina de água que deverá ser aplicada:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow LL = 0,1 \cdot (28 - 12) \cdot 1,25 \cdot 40 \cdot 0,60 \cdot \left(\frac{100}{100}\right) = 48 \text{ mm}$$

Deve-se considerar a eficiência de aplicação de água (Ef) do sistema de irrigação para determinar a lâmina bruta de água, que nesse caso é de 90%:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow LB = \frac{48}{0,90} = 53,3 = 54 \text{ mm}$$

Esta é a lâmina que deve ser aplicada na primeira irrigação. As demais irrigações serão realizadas de acordo com o turno de rega e a ETLOC da fase na qual a cultura se encontra.

Fixando-se um turno de rega de dois dias, deve-se refazer o cálculo e verificar a nova lâmina a ser aplicada.

$$\text{Fase inicial} \rightarrow \text{LB} = \frac{(2 \cdot 2,5)}{0,90} = 5,6 \text{ mm}$$

$$\text{Fase vegetativa} \rightarrow \text{LB} = \frac{(2 \cdot 3,75)}{0,90} = 8,3 \text{ mm}$$

$$\text{Fase reprodutiva} \rightarrow \text{LB} = \frac{(2 \cdot 5,0)}{0,90} = 11,1 \text{ mm}$$

$$\text{Fase de maturação} \rightarrow \text{LB} = \frac{(2 \cdot 1,25)}{0,90} = 2,8 \text{ mm}$$

Duração da irrigação em cada fase da cultura:

Fase inicial:

$$T_{\text{irrig}}^* = \frac{5,6 \cdot 0,30 \cdot 1}{2} = 0,84 \text{ h} = 51 \text{ min}$$

Fase vegetativa:

$$T_{\text{irrig}}^* = \frac{8,3 \cdot 0,30 \cdot 1}{2} = 1,25 \text{ h} = 1 \text{ h e } 15 \text{ min}$$

Fase reprodutiva:

$$T_{\text{irrig}}^* = \frac{11,1 \cdot 0,30 \cdot 1}{2} = 1,67 \text{ h} = 1 \text{ h e } 40 \text{ min}$$

Fase de maturação:

$$T_{\text{irrig}}^* = \frac{2,8 \cdot 0,30 \cdot 1}{2} = 0,42 \text{ h} = 25 \text{ min}$$



CAPÍTULO 7

DETERMINAÇÕES DE CAMPO

1. Introdução

Antes de iniciar um projeto de irrigação é necessário determinar alguns parâmetros básicos para os cálculos do projeto, além das tradicionais análises físico-químicas do solo. Depois de instalado o sistema, deve-se fazer periodicamente reavaliações de campo, para garantir a uniformidade e a eficiência da irrigação.

2. Determinação da Vazão Disponível ao Projeto

No caso de utilizar água de poços, no momento de sua perfuração geralmente são realizados testes de bombeamento que determinam sua vazão. Em reservatórios, a capacidade de armazenamento é facilmente determinada com base nas suas dimensões, restando saber qual é sua capacidade de reposição. Em canais e em cursos d'água, pode-se realizar o ensaio de determinação da vazão, apresentado no Capítulo 5 do livro “Sistemas de Irrigação por Aspersão”, de Biscaro (2009).

3. Determinação da Área Molhada pelo Emissor

Para estimar a área molhada pelo emissor devem-se conhecer as dimensões do bulbo molhado formado por ele, através de um teste de campo que consiste na instalação de alguns emissores no local em que se pretende realizar o projeto do sistema de irrigação. Existem diversas metodologias para realizar esse ensaio, sendo aqui apresentada uma bastante simples.

Equipamentos Necessários

Para o ensaio serão montados Vasos de Mariotte (Figura 7.1) feitos com garrafas PET de 2 litros, canudos de plástico (utilizados em balões de festa) e gotejadores de vazão regulável, facilmente adquiridos em lojas agropecuárias.

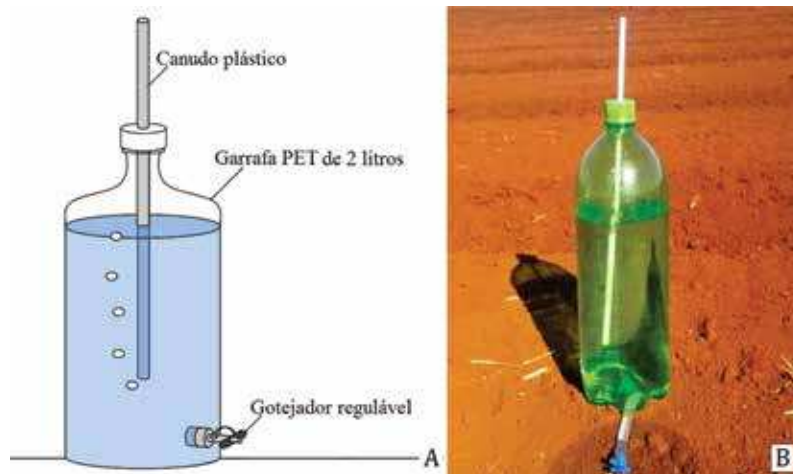


Figura 7.1 - Vaso de Mariotte com garrafa PET: ilustração dos componentes (A) e em funcionamento (B).

Utilizando o princípio do Vaso de Mariotte, o escoamento dentro da garrafa PET não sofrerá influência do nível da água à medida que a coluna d'água diminuir com o tempo, proporcionando uma vazão constante e isenta de oscilações. Como esse princípio é recomendado apenas para pequenas vazões de água, será perfeitamente adequado para o estudo da determinação do bulbo úmido.

Montagem do Equipamento

Para montar o Vaso de Mariotte deve-se seguir o seguinte procedimento:

Perfura-se a tampa da garrafa de maneira que o canudo plástico seja inserido sem folga.

Insere-se o gotejador na parte inferior da garrafa (vide Figura 7.1), vedando qualquer vazamento que possa ocorrer.

Antes de vedar o canudo na tampa, deve-se regular a altura h (Figura 7.2). Valores pequenos de h proporcionam maior regularidade no escoamento.

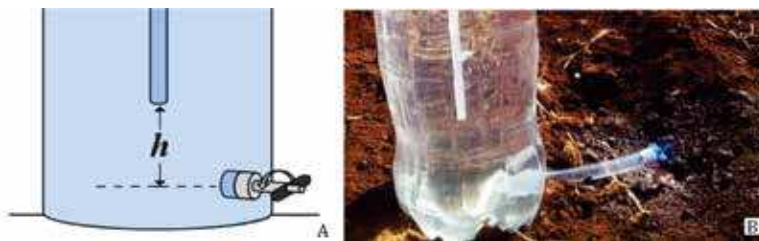


Figura 7.2 - Altura h .

- Regula-se a abertura do gotejador e faz-se uma pequena marca indicando o ponto que proporcione a vazão desejada (a do gotejador escolhido para o projeto).

- Afere-se a vazão com auxílio de uma proveta graduada.

Realização do Ensaio

- O ensaio deve ser conduzido no local em que será montado o sistema de irrigação, da seguinte maneira:

- Escolhe-se um ponto representativo da área, repetindo-se a determinação três vezes.

Instalam-se as garrafas conforme o esquema apresentado na Figura 7.3, mantendo-se o espaçamento de dois metros entre cada ponto de medição do bulbo molhado.

- As determinações do bulbo devem ser feitas em quatro leituras, divididas em intervalos de tempo pré-determinados: 1ª leitura após uma hora, 2ª leitura após duas horas, 3ª leitura após três horas e 4ª leitura após quatro horas de ensaio (Figuras 7.4).

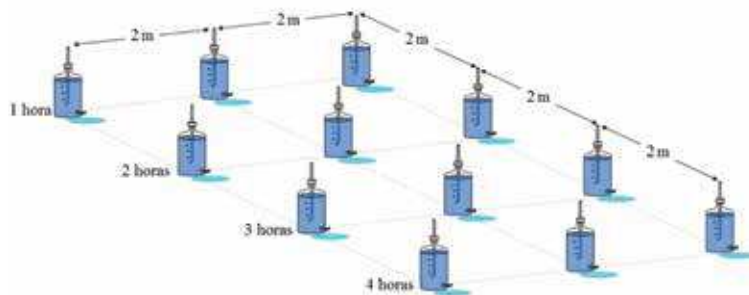


Figura 7.3 - Esquema de instalação das garrafas PET.

- Como a garrafa PET não terá quantidade de água suficiente para esses intervalos de tempo, ao esvaziar-se ela deverá ser substituída por outra com a mesma regulação de vazão, e colocada para gotejar exatamente no mesmo ponto da anterior.
- Para realizar a leitura deve-se abrir uma trincheira no local onde estava instalada a garrafa, medindo-se o diâmetro máximo do bulbo (Figura 7.5), em cada uma das três repetições.

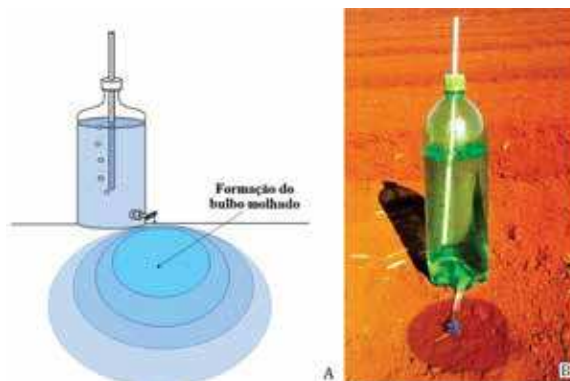


Figura 7.4 - Formação do bulbo molhado.



Figura 7.5 - Trincheira para medição da profundidade e da largura do bulbo molhado: abertura (A), visualização do bulbo (B), medição da profundidade (C) e medição da largura (D).

Avaliação dos Resultados

Depois de realizadas as leituras de campo, os valores devem ser plotados em um gráfico, determinando-se a largura e a profundidade do bulbo molhado de acordo com o tempo de irrigação (Figuras 7.6 e 7.7). Segundo Maia et al. (2010), a utilização de um modelo potencial é a mais adequada para estimar a profundidade e o diâmetro do bulbo em vários tipos de solo. Ao obter a equação do modelo, podem-se estimar as dimensões do bulbo para qualquer tempo de irrigação.

O ensaio pode ser realizado também para outras vazões de gotejador, sendo necessário apenas ajustar o tempo de reposição de água nas garrafas PET.

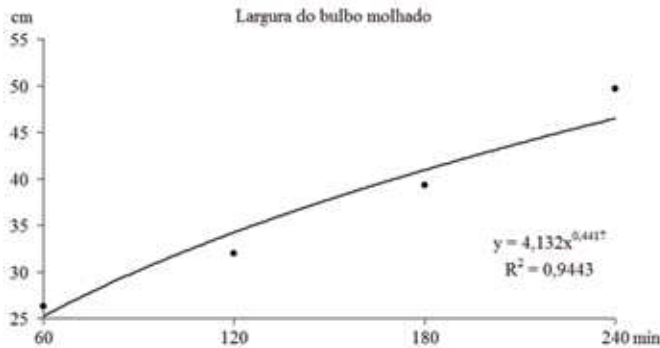


Figura 7.6 - Largura do bulbo molhado em função do tempo de irrigação.

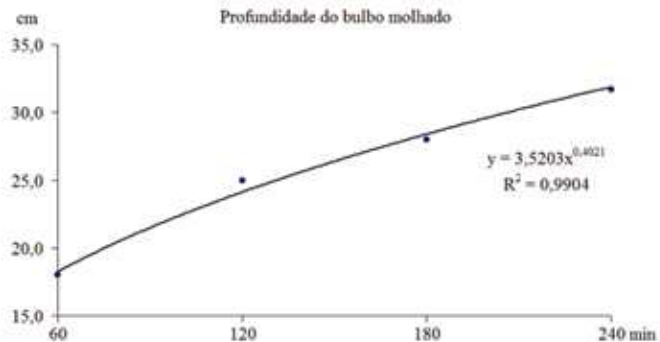


Figura 7.7 - Profundidade do bulbo molhado em função do tempo de irrigação.

4. Ensaio de Uniformidade e Eficiência de Aplicação de Água

Pode-se determinar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento através de vários coeficientes, sendo os mais utilizados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Segundo Keller e Bliesner (1990), um conceito mais apropriado para definir a uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por gotejamento é o conceito de coeficiente de uniformidade de emissão, também designado CUE. Para os sistemas de irrigação localizada, segundo Lopez et al. (1992), é mais frequente o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição, pois possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água.

O procedimento aqui apresentado é o método de CUC no qual se utiliza a equação de Christiansen, que segundo Bernardo (1989) permite a obtenção de resultados bastante confiáveis. O CUC é apresentado por:

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right]$$

Em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

q_i = vazão de cada gotejador ($L \cdot h^{-1}$);

q_m = vazão média dos gotejadores ($L \cdot h^{-1}$);

n = número de gotejadores.

Segundo o método proposto por Keller e Karmeli (1974) obtém-se a vazão em quatro pontos ao longo da tubulação lateral, sendo: no primeiro gotejador, no gotejador situado a 1/3 do comprimento, no gotejador situado a 2/3 do comprimento e no último gotejador. Na área irrigada também são escolhidas as seguintes tubulações laterais: a primeira, a situada a 1/3 do comprimento da tubulação de derivação, a situada a 2/3 e a última (Figura 7.8).

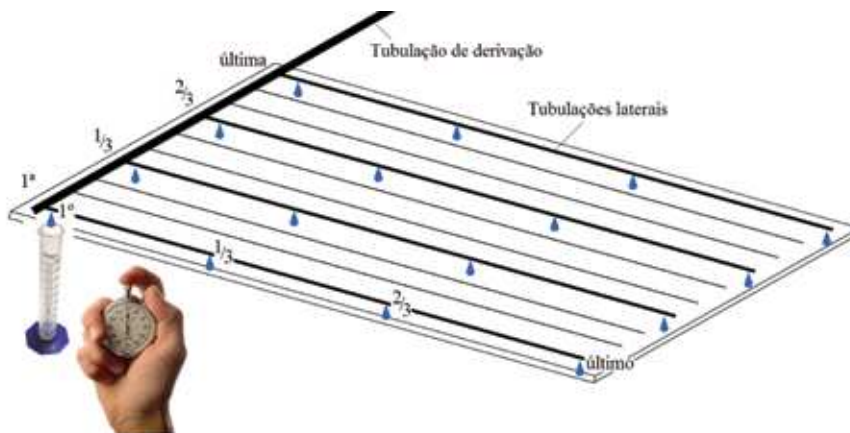


Figura 7.8 - Obtenção de vazão pelo método proposto por Keller e Karmeli (1974).

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) é determinado por:

$$CUD = \frac{q_{1/4}}{q_{\text{total}}} \cdot 100$$

Em que

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$q_{1/4}$ = média de $1/4$ das vazões que apresentaram os menores valores;

q_{total} = média de todas as vazões.

5. Determinação da Curva de Retenção de Água do Solo

Para determinar o valor percentual de água presente no solo em um determinado momento, sua capacidade de campo e ponto de murcha permanente, é necessária a curva de retenção de água do solo. Essa curva é obtida através de ensaios realizados em amostras de solo, geralmente indeformadas, coletadas na área em que se pretende realizar o manejo da irrigação, em diversas profundidades. As amostras são saturadas em laboratório, colocadas em câmaras especiais chamadas de extratores de Richards (Figura 7.9) e submetidas a valores de pressão preestabelecidos por um determinado período de tempo.



Figura 7.9 - Extrator de Richards: conjunto completo (A), unidade de controle de pressão (B) e câmara de extração (C).

Durante esse tempo, a água contida na amostra de solo começa a ser extraída até que sua tensão atinja um valor de equilíbrio com a pressão exercida, só que com sinal contrário. Nesse momento a tensão de água no solo é numericamente igual ao valor da pressão exercida. Determina-se então a porcentagem de água presente na amostra.

Devem ser coletadas várias amostras indeformadas de solo em uma mesma profundidade, que serão submetidas a diferentes valores de pressão, fornecendo assim vários pontos que permitem traçar o gráfico da curva de retenção para aquela profundidade. É importante também traçar mais de uma curva de retenção, uma para cada faixa de profundidade do solo, como é apresentado na Figura 7.10.

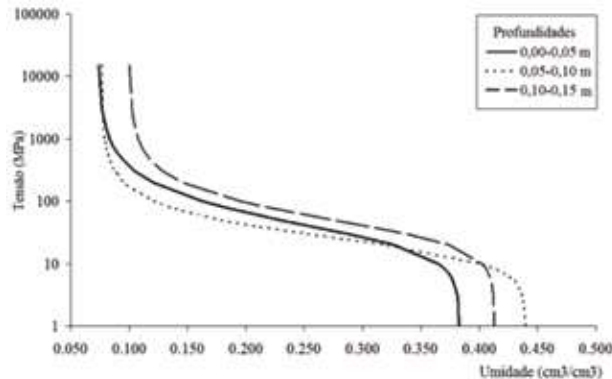


Figura 7.10 - Curvas de retenção para cada faixa de profundidade do solo.

As amostras indeformadas são obtidas através da cravação de um cilindro de metal no solo do local que será estudado. Depois de totalmente cheio de solo, escava-se em volta do ponto de coleta para retirar o cilindro, removendo os excessos com uma espátula. Em seguida, o cilindro deve ser embrulhado em plástico, alumínio ou envolto em parafina para que se mantenha a estrutura original do solo (Figura 7.11), e conduzido para um laboratório.

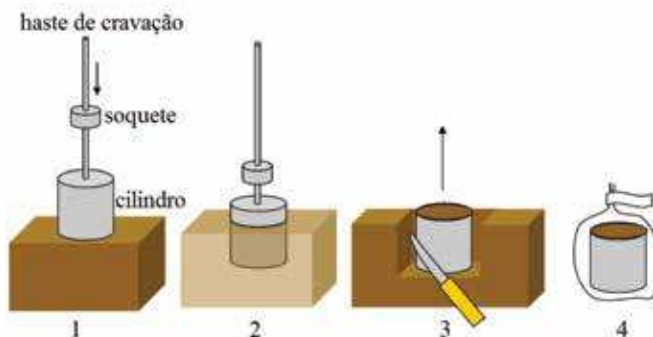


Figura 7.11 - Procedimento de coleta de amostras indeformadas de solo: (1) inserção do cilindro e do equipamento na área a ser amostrada; (2) cravação do cilindro do solo; (3) retirada do cilindro do solo; (4) acondicionamento do cilindro em um saco plástico vedado.

A norma técnica NBR 9813-ABNT, “Determinação da massa específica aparente “In Situ”, com emprego de cilindro de cravação (1987)”, especifica e normatiza os procedimentos e equipamentos de coleta.



CAPÍTULO 8 AUTOMAÇÃO

1. Introdução

A crescente demanda por alimentos, aliada à escassez de terras cultiváveis próximas a grandes centros consumidores, a diminuição da oferta de água de boa qualidade, a salinização do solo, a poluição ambiental, os problemas fitossanitários e a globalização do mercado, fazem com que a produção de alimentos se torne altamente tecnicizada para ser competitiva e sustentável. O grande avanço observado nos últimos anos em todo o setor do agronegócio brasileiro se deve principalmente ao início de um processo de profissionalização como um todo.

Os avanços tecnológicos estão presentes em todas as áreas da agricultura, desde o uso de sementes geneticamente modificadas até a colheita dos grãos feita por máquinas modernas e computadorizadas de altíssima precisão. Na área da irrigação, transformações se intensificaram a partir do final da década de 1970 e começo da de 1980. No caso da irrigação localizada, os avanços foram mais intensos em meados dos anos 1990. A abertura da economia brasileira perante o mundo (globalização) foi sem dúvida a grande mola impulsionadora para o desenvolvimento, o crescimento e a definição dessa técnica para uso intensivo na agricultura.

A modernização no setor agrícola, juntamente com a migração de mão de obra para o setor urbano-industrial, resultou na necessidade de o produtor rural selecionar alternativas que tornem o trabalho no campo mais produtivo, utilizando menor número de insumos e trabalhadores por unidade de área.

Atualmente, no Brasil, a automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade em função, principalmente, do surgimento de técnicas modernas de cultivo, aliadas à abertura do mercado às importações de equipamentos fabricados especialmente por empresas americanas, israelenses e europeias. Nesses países, dispositivos eletrônicos no controle e manejo da irrigação são utilizados, há bastante tempo, proporcionando excelentes resultados.

Nesse capítulo serão apresentadas informações sobre as técnicas e os equipamentos de controle comumente utilizados em sistemas de irrigação localizada e a caracterização sobre os seus princípios de operação.

2. Uso da Automação em Irrigação

Devido ao potencial em aumentar as eficiências do uso de água e energia, à possibilidade de controlar a aplicação de produtos químicos, à redução da mão de obra e principalmente à necessidade de incrementar a produção agrícola, cresce o interesse do produtor brasileiro na automatização da operação e consequentemente do manejo da irrigação.

Sistemas automáticos de controle de irrigação se tornaram uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no momento oportuno, contribuindo para a manutenção da produção agrícola e para a utilização eficiente e racional dos recursos hídricos. Com a tecnologia disponível atualmente, é possível automatizar praticamente todo o sistema de irrigação, desde o acionamento de motobombas, válvulas hidráulicas, injeção de fertilizantes (fertirrigação) e retrolavagem de filtros, até a impressão de relatórios de operação do sistema, dentre muitas outras possibilidades.

Outro ponto a salientar é que, neste momento, quando os órgãos governamentais passam a discutir a questão do uso da água pelos diferentes usuários (urbano, industrial e agrícola), a contribuição de sistemas automáticos de controle na área de manejo de irrigação poderá ser significativa no sentido de reduzir os custos de produção e diminuir os impactos gerados pelo uso da irrigação.

Os sistemas de controle de irrigação têm sofrido constante evolução, desde a utilização de temporizadores mecânicos ou eletromecânicos até, atualmente, a sistemas baseados em microcontroladores capazes de manter o controle preciso da disponibilidade de água, energia e insumos, necessários para o aumento da eficiência do sistema produtivo.

3. Vantagens e Limitações

Várias são as vantagens na utilização de controle automático em sistemas de irrigação localizada. Dentre elas podem ser citados:

- Uso racional dos recursos hídricos: ocorre em função de ser possível monitorar os volumes aplicados mais precisamente, e pelo fato de o momento da irrigação ser definido de forma mais racional. Outro fator importante é a possibilidade da não ocorrência de esvaziamento ou drenagem das tubulações após os eventos de irrigação, comum em sistemas que adotam a “irrigação por pulso”.

- Economia de energia: a operação do sistema de bombeamento é otimizada e ocorre somente em função das reais necessidades de irrigação. Evita-se, assim, a operação excessiva do sistema e permite-se também que os motores operem fora dos horários de pico, contribuindo para um melhor aproveitamento dos descontos concedidos pelas concessionárias de energia elétrica.

- Menor uso de mão de obra: A maioria das operações que ocorrem em um evento de irrigação pode ser automatizada. Por exemplo: ligar e desligar de motobombas, abrir e fechar de válvulas e registros, fertirrigação, retrolavagem de filtros. É muito provável que ocorra também uma substancial diminuição na necessidade de mão de obra e no custo operacional do sistema.

- Economia de fertilizantes: a automatização da operação de adubação (fertirrigação) permite administrar quantidades de fertilizantes de forma mais precisa e racional com aplicações a baixas concentrações, evitando perdas e contaminação ambiental.

- Melhor administração da atividade agrícola: em virtude de permitirem um controle centralizado de várias atividades, com o monitoramento do sistema sendo executado com segurança e precisão, os sistemas de controle garantem tomadas de decisão mais rápidas baseadas em históricos de aplicação de água e de fertilizantes.

Tais vantagens, somadas a um manejo e ao acompanhamento adequado da cultura em todas as suas fases de desenvolvimento, podem oferecer maior produtividade a um custo menor, aumentando, portanto, a lucratividade da atividade agrícola explorada. Mas, apesar do grande número de vantagens, também ocorrem limitações na implantação e uso desses sistemas. Dentre elas podem ser citados:

- Custo relativamente elevado: a incorporação de sistemas de controle em projetos de irrigação localizada exige investimento elevado, onerando o custo inicial e limitando seu uso apenas a produtores mais capitalizados.

- Mão de obra especializada: a complexidade dos sistemas de controle e sua forma pouco conhecida de programação exigem uma mão de obra especializada e treinada no uso e no gerenciamento das informações.
- Assistência técnica deficiente: como a maioria dos equipamentos utilizados ainda é importada, o agricultor fica na dependência de representantes e técnicos das empresas fabricantes e importadoras para a solução de problemas e reposição de peças.
- Confiança excessiva no sistema de controle: acreditando que o sistema automatizado é a solução para todos os seus problemas e que este consegue autossolucionar falhas técnicas e humanas, os agricultores passam a confiar excessivamente na automação e tornam-se relapsos com tratamentos culturais. Sendo assim, deixam de executar manutenção preventiva e, principalmente, não verificam se o manejo adotado automaticamente satisfaz as necessidades da cultura implantada.

4. Tipos de Controle

Sistemas de controle consistem basicamente em uma combinação de hardware e software que atuam como supervisores, com o objetivo de gerenciar o sistema controlado. Esse gerenciamento permite especificar, manter e executar ações de controle baseadas na entrada de dados fornecidos pelo próprio sistema.

Em sistemas de irrigação, dois tipos de controle são utilizados: sistemas de controle em malha aberta e sistemas de controle em malha fechada. A diferença entre eles é que os sistemas em malha fechada possuem realimentação, ou seja, existem elementos no sistema capazes de enviar informações sobre o processo ao controlador, para que ele seja capaz de definir seu modo de atuação.

Um sistema de controle de malha aberta possui basicamente dois elementos essenciais:

- **Central de controle ou controlador**, que pode ser um programador ou uma válvula volumétrica.
- **Atuadores** que serão acionados a distância, como as válvulas hidráulicas, e atuarão sobre o processo – nesse caso, a irrigação.

Por outro lado, os sistemas de malha fechada incorporam um terceiro elemento, o sensor, responsável por monitorar variáveis presentes no processo e realimentar o programador com informações que definem se é necessário ou não irrigar ou ativar outras ações no sistema. A seguir são apresentados, em detalhes, os sistemas de controle em malha aberta e fechada.

Sistema de Controle em Malha Aberta

A Figura 8.1 apresenta o exemplo de um sistema de controle de irrigação em malha aberta.

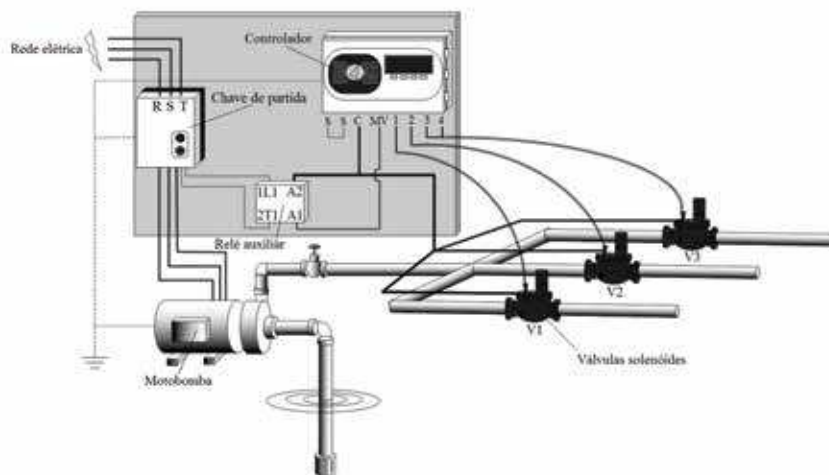


Figura 8.1 - Sistema de controle em malha aberta.

Neste tipo de sistema, um sinal de referência é aplicado ao controlador que, por sua vez, encaminha um sinal de controle ao processo a ser controlado. Para um sistema de irrigação o sinal de referência pode partir de uma decisão tomada pelo operador para acionar ou desligar o relê que comanda a bomba que irriga um determinado setor; ou até mesmo os instantes que determinam o intervalo de tempo no qual um relê temporizador deve manter a motobomba acionada e qual o volume total de água a ser aplicado.

Por sua vez, o sinal de controle enviado deve refletir a decisão do controlador, acionando ou desligando algum atuador presente no sistema. Para o caso de um sistema de irrigação, por exemplo, o sinal de controle deve efetivamente acionar ou desligar o conjunto motobomba que promove a irrigação. Nota-se que, nessa estratégia de controle para a irrigação, os parâmetros de controle são os instantes de acionamento ou desligamento da irrigação, a abertura e o fechamento de válvulas que controlam a irrigação em diversos setores e o volume de água aplicado.

A maioria dos sistemas de controle encontrados comercialmente funciona com microprocessadores que atuam através do acionamento temporizado dos eventos de irrigação. O produtor deve definir o intervalo de tempo entre irrigações e a duração da irrigação, pois a estratégia de controle é obtida basicamente em função da lógica programada pelo usuário.

A principal vantagem desse tipo de controle é seu baixo custo. Por outro lado, esse tipo de sistema não é capaz de responder automaticamente a mudanças no ambiente que exijam ação imediata por parte do controlador. Dessa forma, sistemas de controle em malha aberta podem comprometer a eficiência da utilização dos recursos hídricos, se concomitantemente ao seu uso não forem adotadas as técnicas de manejo adequado da irrigação.

Sistema de Controle em Malha Fechada

Em um sistema de controle em malha fechada há um sensor apto a enviar informações do processo ao controlador, permitindo que ele seja capaz de tomar decisões automaticamente a partir de alguma estratégia de controle definida pelo operador. A Figura 8.2 apresenta, com detalhes, um sistema de controle de irrigação em malha fechada.

Note-se que a única diferença entre este diagrama e o da Figura 8.1 está no sinal de estado do processo (sensor de umidade). De fato, todas as funcionalidades do sistema proposto na Figura 8.1 podem ser preservadas neste tipo de estratégia de controle.

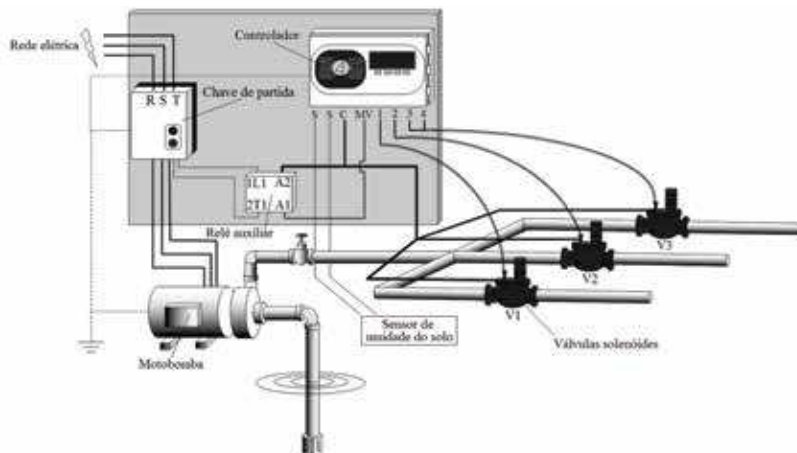


Figura 8.2 - Sistema de controle em malha fechada.

Portanto, o sistema de controle em malha fechada apenas acrescenta uma funcionalidade a mais ao sistema em malha aberta: a opção de realizar o controle do processo de maneira automática, mediante possíveis alterações no estado do processo.

5. Métodos de Controle em Irrigação Localizada

Os métodos de controle podem ser assim classificados, de acordo com sua forma de operação: método de controle por tempo ou volume e método de controle sequencial ou não sequencial.

Método de Controle por Tempo

A automação por tempo é obtida pelo uso de dois equipamentos: válvulas volumétricas ou elétricas e programadores eletromecânicos ou eletrônicos. Os programadores eletrônicos são instrumentos que possuem um relógio que pode ser acertado com a hora real. Por meio de dispositivos que variam segundo o modelo, fecham-se e abrem-se circuitos elétricos nas horas programadas. Esses circuitos acionam os solenóides das válvulas elétricas, que são geralmente fechadas e se abrem enquanto recebem o sinal elétrico.

São vários os modelos de programadores eletrônicos disponíveis no mercado. Os digitais permitem programação com intervalos de um minuto, enquanto os de acionamento mecânico, na faixa de 5 a 15 minutos. Alguns somente permitem programação por um período de 24 horas, e essa programação se repete todos os dias. Outros modelos permitem programação semanal, quinzenal ou até estabelecem os dias da semana nos quais se aplicará a irrigação programada.

A programação por tempo é confiável, de custo relativamente baixo e fácil de combinar com o arranque e a parada do conjunto motobomba. Entre seus inconvenientes está o fato de que se a vazão do sistema, por algum motivo, for alterada, a lâmina de água requerida e programada não será aplicada na quantidade suficiente. Os tipos de válvulas volumétricas e elétricas e também seu funcionamento, bem como os demais equipamentos utilizados no controle da irrigação em sistemas automatizados, serão apresentados e discutidos mais adiante.

Método de Controle por Volume

Nesse método, mede-se a água aplicada em cada irrigação e, quando é atingido o volume necessário, interrompe-se automaticamente a passagem de água.

A automatização por volume pode ser alcançada em vários níveis:

- Nível 0 – realiza-se a irrigação abrindo e fechando manualmente as válvulas da entrada de cada unidade assim que o medidor de volume (hidrômetro) indicar o momento certo. Nesse caso, pode-se dizer que não existe automação, e sim uma indicação visual no equipamento de medição de volume.
- Nível 1 – cada unidade dispõe de uma válvula volumétrica que é aberta manualmente. Quando a quantidade de água marcada no dial da válvula é ultrapassada, ela se fecha automaticamente.
- Nível 2 – irrigação sequencial com válvulas volumétricas.
- Nível 3 – irrigação com programação eletrônica por volumes.

Método de Controle Sequencial

Nas condições em que é possível irrigar toda a área de uma só vez, o controle mais simples é feito com o uso de um temporizador que permita ligar ou desligar a motobomba quando atingido o tempo de funcionamento preestabelecido. Também é possível instalar uma válvula volumétrica que fecha automaticamente quando o volume previamente definido é aplicado.

Entretanto, o emprego desse tipo de procedimento na maioria das propriedades que utilizam irrigação localizada dificilmente se torna possível, principalmente, devido à limitação na oferta de volume de água captada, e também por questões de economia em diâmetros de tubulações, equipamentos e dispositivos de controle e potência instalada do conjunto motobomba. Nesse caso a área deve ser dividida em setores que serão irrigados de forma sequencial, ou seja, em uma ordem preestabelecida de necessidade de irrigação. Após a irrigação de todos os setores o ciclo é finalizado e pode ser reiniciado.

A irrigação sequencial consiste em aplicar água consecutivamente às distintas unidades de irrigação, cada uma podendo inclusive necessitar de volumes diferentes. O método de controle da irrigação por sistema sequencial pode ser realizado com acionamento hidráulico, elétrico ou pneumático.

Sistema Sequencial com Acionamento Hidráulico

Esse sistema utiliza válvulas volumétricas automáticas que são acionadas hidraulicamente de forma sequencial. Elas são ajustadas manualmente para permitir a passagem de um determinado volume de água, após o qual se fecha automaticamente, independente de variações de pressão e vazão, e possibilitam a abertura de outra válvula, de forma sequencial e programada.

As válvulas de operação a distância com comando hidráulico mais utilizadas são as de membrana ou de pistão. A abertura e o fechamento dessas válvulas são realizados por pressão diferencial entre os dois lados da membrana ou pistão. Para a irrigação sequencial é fundamental a existência de válvulas volumétricas nas quais as válvulas de acionamento compostas de três vias são substituídas por válvulas de cinco vias, realizando-se as conexões na forma apresentada na Figura 8.3, que representa um sistema com comando hidráulico sequencial, acionado por válvulas volumétricas.

Inicialmente é necessário fixar em cada uma das válvulas o valor do volume correspondente às necessidades de cada setor. As válvulas estão interligadas por um capilar denominado tubo de comando hidráulico ou tubo de controle cuja função é determinar o funcionamento sequencial das válvulas. Um registro na tubulação principal é aberto e a pressão na tubulação determina que a primeira válvula (I), correspondente ao primeiro setor a ser irrigado, se abra e as demais se mantenham fechadas (II e III).

Quando o volume de irrigação é aplicado no primeiro setor, a válvula correspondente a esse setor se fecha e transmite pelo tubo de controle um valor de pressão para a próxima válvula que automaticamente se abrirá. Esse procedimento se repetirá até o acionamento da última válvula (III), que corresponde ao último setor de irrigação.

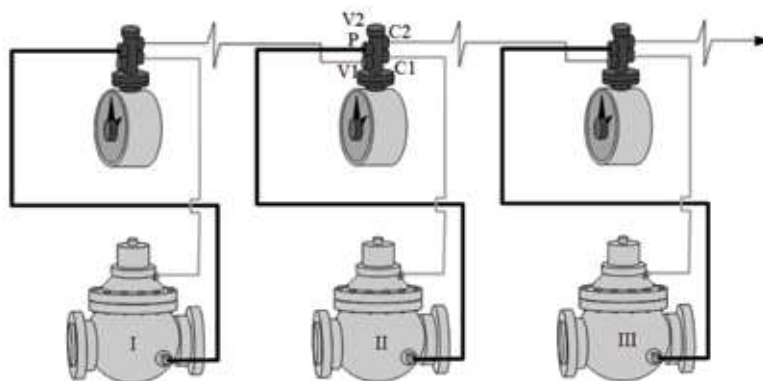


Figura 8.3 - Esquema de conexão de três válvulas volumétricas para irrigação sequencial.

Essa última válvula recebe, na saída do tubo de comando, um tampão. Quando essa última unidade terminar de irrigar, todas as demais válvulas permanecerão fechadas. Nesse momento o dial de cada válvula estará zerado, necessitando-se fixar novamente o volume desejado em cada uma das válvulas para o início de um novo ciclo. A Figura 8.4 apresenta em detalhes uma válvula volumétrica.



Figura 8.4 - Válvula volumétrica: vista lateral (A), superior (B) e em detalhe (C).

O acionamento das válvulas hidráulicas também pode ser realizado através de um sinal elétrico emitido por um controlador, que atua sobre uma válvula solenóide de acionamento “multivias”, interligada entre a tubulação pressurizada e uma das válvulas hidráulicas que receberá o comando (setores). Essa válvula solenóide, ao receber corrente elétrica, deixa passar um sinal hidráulico responsável pela abertura ou fechamento remoto de algum setor controlado.

Em sistemas que operam com baixas pressões e vazões, as válvulas de acionamento solenóides podem vir acopladas diretamente sobre as válvulas hidráulicas, sendo estas diretamente responsáveis pelo processo de abertura e fechamento de um determinado setor.

Por se tratar de um sinal elétrico, que necessita de condutores (cabos elétricos) para o acionamento dos setores controlados, há limitações em relação a grandes distâncias devido a quedas de tensão e consequentes perdas de sinal, devendo-se atentar para esses detalhes durante o dimensionamento do sistema.

Quando as tubulações são de diâmetros maiores, as válvulas solenóides acopladas diretamente sobre as válvulas hidráulicas necessitariam exercer, sobre estas, forças hidráulicas relativamente maiores em relação à potência elétrica de uma bobina solenóide. Nesses casos as válvulas solenóides são usadas somente como controladoras da operação de abertura e fechamento das válvulas hidráulicas, através do envio de um sinal hidráulico pelos capilares “tubos de comando” até as válvulas hidráulicas de maiores diâmetros. O controle passa, então, a ser denominado eletrohidráulico.

O acionamento obedece à sequência estabelecida pela programação do controlador. Essa sequência pode ser alterada a qualquer momento ou mesmo pode-se interromper o acionamento de qualquer válvula que se julgar necessário. Sistemas sequenciais com acionamento hidráulico apresentam falhas de funcionamento quando instalados a distâncias acima de 800 metros em nível, declives acima de 10 metros e aclives maiores que 12 metros, necessitando da instalação de acessórios e componentes extras, como relês hidráulicos Shastomit ou Galit, válvula antigotas LPD e amplificador de sinais, contribuindo pra o aumento no custo de implantação do projeto.

A instalação desses acessórios pode ser visualizada nos esquemas apresentados na Figura 8.5. Acessando o site <http://www.mad-takin.com> é possível obter informações mais detalhadas sobre o funcionamento desses acessórios, inclusive demonstrações animadas sobre sua forma correta de utilização.

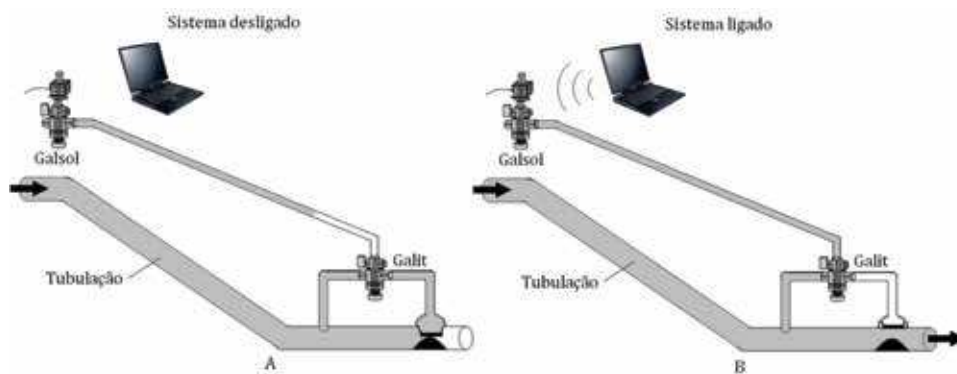


Figura 8.5 - Utilização de acessórios e componentes extras em sistemas com acionamento hidráulico: sistema desligado (A) e sistema ligado (B).

Sistema Sequencial com Acionamento Elétrico

Esse sistema se caracteriza por enviar sinais elétricos através de cabos ou por sinais de radio frequência RF, remotamente, para a unidade de controle das válvulas atuadoras.

Pode ser de malha aberta ou fechada, e trabalhar de forma sequencial ou não-sequencial. Geralmente, esse sistema atua de forma a cobrir todas as necessidades de automatização existentes em sistemas de irrigação localizada, utilizados principalmente em irrigação de hortaliças, parques e jardins, cultivo protegido, etc.

O funcionamento da automação desses sistemas ocorre em função do tempo e a sequência completa de acionamentos pode ser programada para diferentes conjuntos de setores.

Os sistemas sequenciais com comando elétrico normalmente utilizam válvulas operadas por solenóides. O sinal elétrico originado no controlador é enviado às válvulas através de cabos ou por sinal de radiofrequência RF.

Como medida de segurança, o sinal enviado corresponde a uma corrente alternada gerada por uma tensão de 24 volts. Uma das limitações desse sistema é que as válvulas solenóides, devido ao seu tamanho reduzido, são recomendadas para vazões relativamente baixas. A Figura 8.6 representa um sistema sequencial com acionamento elétrico.

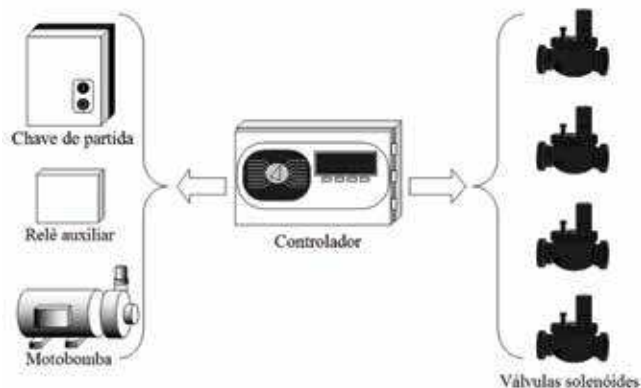


Figura 8.6 - Esquema de um sistema sequencial com acionamento elétrico.

Sistema Sequencial com Acionamento Pneumático

Esse sistema é muito semelhante ao sistema sequencial com acionamento elétrico e hidráulico, porém o sinal enviado para o acionamento das válvulas é feito através de tubo de comando provido de ar comprimido (Figura 8.7).

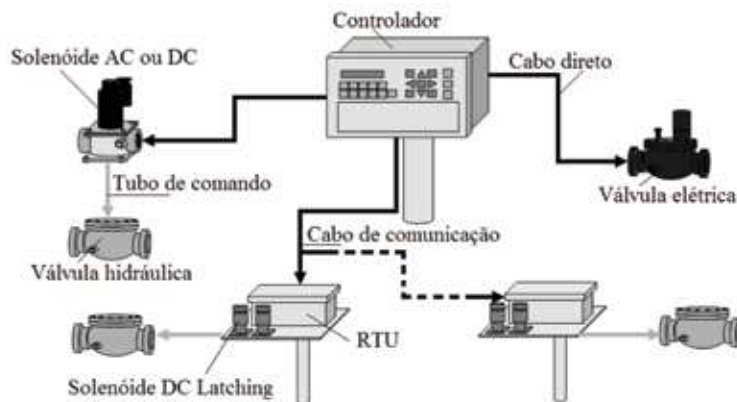


Figura 8.7 - Esquema de conexão utilizado para acionamento de válvulas hidráulicas.

Muito utilizado na automação industrial, esse sistema foi adaptado para uso na agricultura. Seu funcionamento é idêntico aos métodos de controle apresentados anteriormente, diferindo apenas no sinal de comando enviado para a abertura das válvulas. Nesse caso, o sinal é realizado de forma pneumática.

O sistema necessita de uma fonte constante de ar comprimido pressurizado, obtida através de um compressor. Também são necessários equipamentos e acessórios específicos para esse tipo de operação, principalmente válvulas e tubos de comando.

Ainda não temos estudos que comprovem a viabilidade do uso desse método de controle em irrigação localizada, porém, no Brasil, é possível encontrar alguns projetos de irrigação em café e citros que se utilizam desse sistema e que funcionam de forma satisfatória.

A vantagem desse método seria o não-comprometimento do correto funcionamento do sistema quando instalado a longas distâncias e em aclives e declives muito acentuados, não havendo, portanto, a necessidade de instalação de componentes extras ao sistema como visto anteriormente, evitando assim maiores investimentos. A desvantagem seria a total dependência do sistema de uma fonte de ar comprimido, especialmente um compressor que necessita de manutenção constante, recomendável a cada seis meses. Outro problema seria a dificuldade

de reparo imediato, na hipótese da ocorrência de perda de pressão no sistema ocasionada por rupturas ou defeitos em tubos de comando e conexões.

Estes ocasionam vazamentos de ar comprimido do sistema sendo de difícil solução, pois a localização do ponto exato para realizar a manutenção é muito complexa devido ao ar comprimido não deixar marcas no solo, como acontece com tubos de comando hidráulicos.

Tecnologias adaptadas, principalmente da indústria para a agricultura, necessitam de tempo para se adequarem às características peculiares imposta pelos setores agrícolas. Seu uso deve ser avaliado de modo criterioso, levando em consideração principalmente critérios como manutenção e operacionalidade do sistema e a relação custo-benefício.

Método de Controle Não-sequencial

As válvulas ou atuadores funcionam de forma automática e independente em relação ao tempo e ao volume. Cada válvula pode fornecer volumes de água diferentes em tempos diferentes, seguindo um programa preestabelecido ou definido por sensores.

Esse sistema controla válvulas independentemente uma da outra tanto do ponto de vista de volume aplicado como da frequência de irrigação, sendo que cada setor de irrigação pode receber diferentes lâminas de irrigação.

O controlador é microprocessado, o que permite controlar válvulas, sistemas de retrolavagem de filtros, aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas de acordo com um programa preestabelecido, que também pode avaliar condições ambientais e de solo através de sensores, ajustando a irrigação em função das reais necessidades hídricas da cultura.

A Figura 8.8 apresenta o esquema de um sistema microprocessado em que cada setor de campo irrigado recebe uma unidade que envia informações para o controlador central via cabo ou radiofrequência. Esses sistemas gerenciam dados climáticos ou dados enviados por sensores de forma a manejar o sistema de irrigação em tempo real.

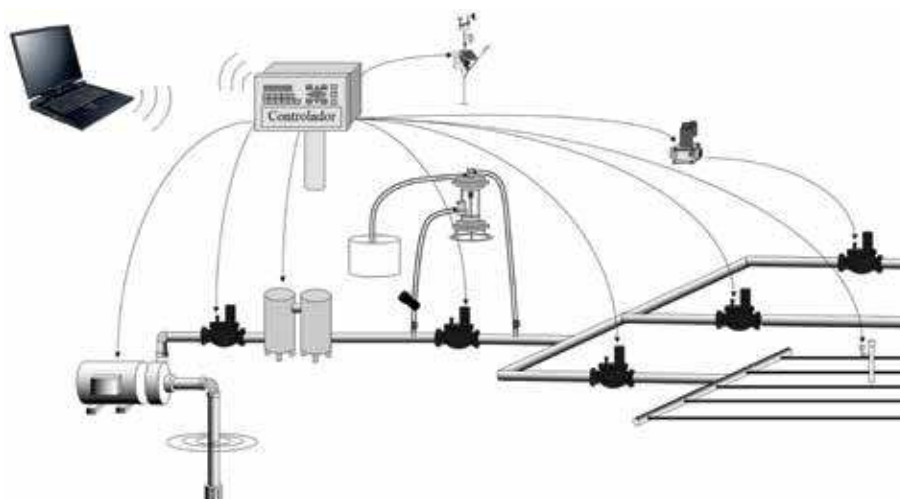


Figura 8.8 - Utilização de acessórios e componentes extras em método de controle não-sequencial.

6. Uso da automação na fertirrigação

Um sistema de fertirrigação automático possibilita diferentes alternativas de operação. Sua complexidade vai desde o funcionamento de um tanque misturador de fertilizantes até um sistema completo que controla o valor de condutividade elétrica (CE) e acidez (pH) na água de irrigação, incluindo a operação das bombas e dispositivos de diagnóstico de falhas e defeitos.

A utilização apropriada de sistemas automáticos para o fornecimento de nutrientes às plantas pode auxiliar na redução de gastos operacionais e na racionalização do uso dos recursos hídricos de uma propriedade. A potencialidade de aumentar a eficiência de aplicação de água e fertilizantes reduzindo os custos de energia, insumos e mão-de-obra pode transformar esse sistema, independentemente de seus custos, em uma ferramenta de grande valia no planejamento do uso dos recursos hídricos para o agricultor.

Controle do Processo de Fertirrigação

O controle da fertirrigação pode ser realizado por sistemas de controle em malha aberta e sistemas de controle em malha fechada.

Entretanto, torna-se necessária a caracterização de cada método de controle de aplicação de produtos químicos e fertilizantes. De acordo com seu princípio de funcionamento, há limitações para cada tipo de controle.

Geralmente, sistemas de injeção acionados eletricamente (motobombas) permitem controle tanto na forma de malha aberta como fechada, e sistemas de injeção acionados através da pressão hidráulica da tubulação de recalque permitem controle somente na forma de malha aberta. O Quadro 8.1 apresenta os métodos de injeção e suas possibilidades de automação.

Quadro 8.1 - Métodos de fertirrigação e possibilidades de automação.

Tipo de injeção	Tipo de controle
Bomba centrífuga	Malha aberta e fechada
Bomba de pistão	Malha aberta e fechada
Bomba diafragma	Malha aberta e fechada
Bombas de engrenagens e excêntricas	Malha aberta e fechada
Venturi	Malha aberta
Misturador proporcional	Malha aberta
Tanque misturador sobre pressão	Malha aberta

Sistema de Controle em Malha Aberta

Sistemas de controle da fertirrigação do tipo malha aberta possuem basicamente dois elementos: a central de controle, constituída de um controlador do tipo timer ou programador, e o atuador, acionado a distância para, por exemplo, ligar e desligar o relê de comando da bomba dosadora que irá aplicar o fertilizante ou acionar uma determinada válvula, que pode ser hidráulica, a qual atuará sobre o processo de fertirrigação.

A Figura 8.9 apresenta o esquema de um sistema em malha aberta em que o controlador define o momento de aplicar o fertilizante e a duração do processo em função do setor que

está sendo irrigado sequencialmente. Em momento algum o controlador recebe informações sobre variações de funcionamento do sistema, o que o impede de alterar as condições de operação da fertirrigação em caso de mudança no valor da vazão da motobomba, por exemplo.

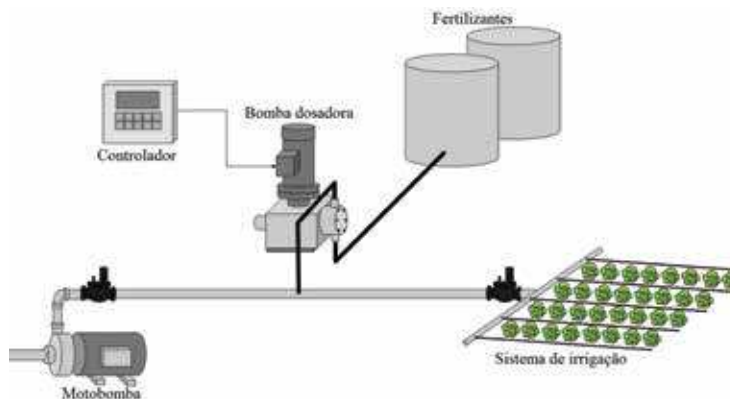


Figura 8.9 - Esquema de funcionamento de um sistema de fertirrigação tipo malha aberta.

Sistema de controle em malha fechada

Sistemas de controle de fertirrigação do tipo malha fechada requerem o uso de sensores como meio de obter informações sobre o processo. A maioria dos sistemas controla o processo pelo uso de dados de CE que podem refletir a real condição de aplicação de fertilizantes pelo sistema. Os dados gerados pelos sensores são gerenciados pelo controlador na forma direta e são utilizados para definir a vazão adequada.

A Figura 8.10 apresenta o esquema de um sistema de controle de fertirrigação em malha fechada em que o sensor de CE fornece ao controlador os valores dessa variável ao longo do período de irrigação e este, por sua vez, atua sobre um inversor de frequência que modifica a rotação da bomba centrífuga, aumentando ou reduzindo a vazão de aplicação dos fertilizantes, ou seja, alterando sua concentração em função da variação da vazão total do sistema.

Também é possível injetar dois adubos ao mesmo tempo sem causar precipitação ou eletrólise devido às reações químicas desses fertilizantes em alta concentração. Para isso é

necessária a utilização de uma bomba injetora de fertilizantes, com duas câmaras de injeção distintas.

Outra variação do sistema de controle de fertirrigação em malha fechada é apresentada na figura 8.11. O controlador atua sobre uma válvula elétrica controladora de vazão, instalada na tubulação de sucção da bomba. Um sensor de CE fornece ao controlador os valores dessa variável ao longo do período de irrigação e este, por sua vez, atua sobre a válvula aumentando ou reduzindo a vazão de injeção do produto em caso de mudança nas condições de operação do sistema.

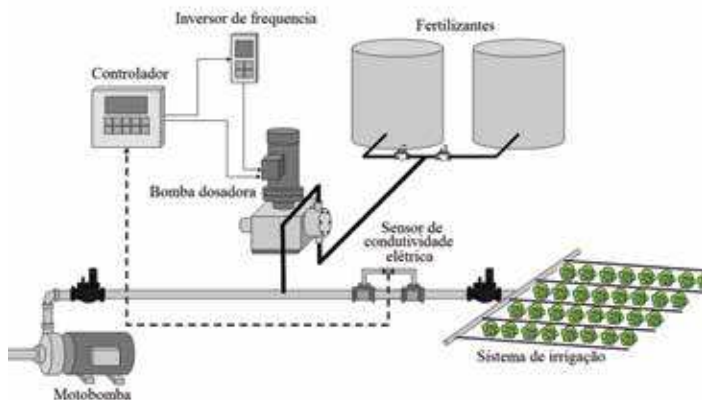


Figura 8.10 - Sistema de controle de fertirrigação em malha fechada.

É possível encontrar no mercado empresas especializadas no desenvolvimento de hardware e software específicos para atender às necessidades de cada cliente, assim como controladores de sistema de irrigação que trazem como acessório o controlador de fertirrigação, que pode atuar tanto pelo sistema de malha aberta como pelo sistema de malha fechada. O sistema de controle utilizado em fertirrigação do tipo malha fechada requer o uso de sensores para obtenção de informações sobre a presença e a quantidade de fertilizantes e produtos químicos dissolvidos na água de irrigação, de forma a avaliar as variações que ocorrem no processo.

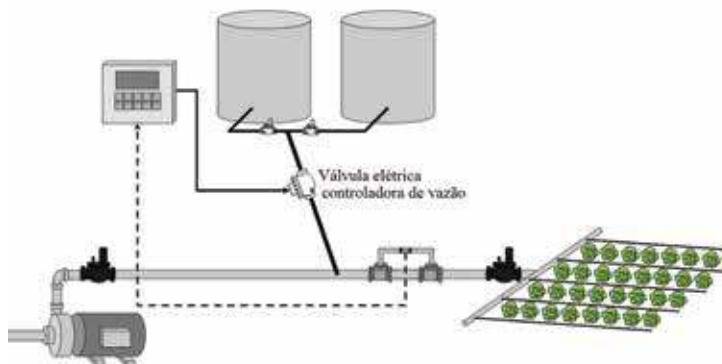


Figura 8.11 - Sistema de controle utilizando uma válvula controladora de vazão.

Uso de Sensores no Controle em Malha Fechada

A maioria desses sensores está orientada no uso de dados de CE e de pH que podem refletir a real situação da presença de sais dissolvidos na água de irrigação. Os dados gerados pelos sensores são gerenciados pelo controlador na forma direta ou na simulação da real concentração desses nutrientes na água de irrigação, e são utilizados para definir a diluição adequada da solução nutritiva.

Por estarem na forma de sais, os fertilizantes aplicados na água de irrigação aumentam a concentração salina inicial da água, ampliando assim sua condutividade elétrica. Portanto, é possível relacionar a concentração de cada fertilizante na água de irrigação com o valor de CE medido nessa mesma água. Para proceder aos cálculos de dosagens e de controle na concentração dos fertilizantes aplicados, deve-se conhecer o valor final da condutividade na solução nutritiva resultante de cada produto (fertilizante) utilizado.

Sensores de CE podem auxiliar no monitoramento dos valores de índice de salinidade na água utilizada em sistemas de irrigação localizada, contribuindo para que permaneçam dentro das faixas de tolerância das diferentes culturas irrigadas. A precisão e a confiabilidade do funcionamento do sensor de CE estão diretamente relacionadas ao tipo e ao tempo de contato que ocorre entre a célula sensora e a solução nutritiva.

Existem diferentes formas de instalação do sensor no sistema. Geralmente, ele é instalado em uma tubulação conectada em paralelo à tubulação de recalque, e sua disposição na tubulação depende do tipo de célula medidora. A Figura 8.12 mostra um sensor inserido na posição vertical sobre a tubulação paralela.

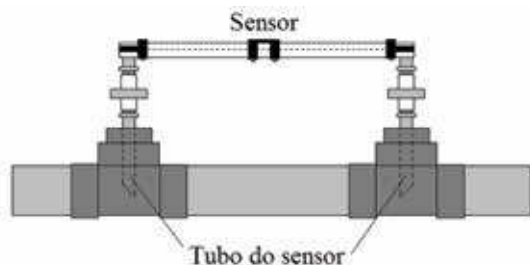


Figura 8.12 - Detalhe do posicionamento de um sensor de condutividade elétrica (CE).

Alguns sistemas automáticos de controle de fertirrigação fazem também o monitoramento do valor do pH na água de irrigação como forma de monitorar o poder acidificante do fertilizante ou de outro produto a ser aplicado pelo sistema de injeção, como, por exemplo, o ácido fosfórico.

Diferentes tipos de equipamentos possuidores de sensores de CE e pH são utilizados no controle da fertirrigação. Embora existam no mercado vários modelos de fabricação nacional, observa-se uma predominância de produtos importados. A Figura 8.13 apresenta um sistema completo de automação em fertirrigação.



Figura 8.13 - Equipamento utilizado para automação em fertirrigação.

É de extrema importância que o produtor tenha a garantia do fabricante, da correta calibração dos sensores, ou seja, de que o valor de condutividade elétrica e pH da água fornecidos pelo sensor represente o valor real da concentração de sais diluídos na solução nutritiva aplicada ao sistema.

Se mal calibrado, o sensor pode inviabilizar completamente a estratégia de controle e manejo da fertirrigação, e comprometer a produção. O erro na leitura da condutividade pode provocar valores de concentração de sais na água de irrigação fora da faixa de tolerância à salinidade da cultura.

Outro cuidado é verificar se o sensor apresenta sistemas de compensação à variação de temperatura, pois as curvas de calibração são válidas para temperaturas-padrão (25°C, por exemplo), podendo fornecer erros significativos se utilizados fora dos seus intervalos de operação.

A última etapa a ser vencida para a utilização de sistemas completamente automáticos com total controle do fornecimento de nutrientes para as culturas é o desenvolvimento de sensores específicos, precisos e confiáveis que possam determinar variáveis relacionadas ao sistema água, solo, planta e atmosfera, capazes de estimar as reais necessidades hídricas e nutricionais da cultura explorada.

Este capítulo apresentou exemplos de automação na irrigação de forma resumida, pois são muitas as possibilidades de automação e com o tempo surgem novas tecnologias. É possível prever que em poucos anos surgirão outras aplicações, procedimentos e sensores. Algumas tendências já se revelam tal como o uso de redes wireless (sem fio). Sejam inovadoras ou não, as possibilidades de automação da irrigação devem valorizar cada vez mais a facilidade e precisão da irrigação, bem como a conservação dos recursos hídricos.



CAPÍTULO 9

CONJUNTO MOTOBOMBA

1. Introdução

Para dimensionar corretamente o conjunto motobomba de um sistema de irrigação é necessário, além de fatores técnicos relativos ao próprio projeto, conhecer as principais características construtivas e funcionais das bombas hidráulicas centrífugas.

2. Principais Componentes de uma Bomba Hidráulica Centrífuga

Os elementos que compõem uma bomba hidráulica centrífuga são: rotor, corpo da bomba (carcaça), difusor (bocal de saída) e eixo de acionamento. Dá-se o nome de conjunto motobomba ao equipamento se um motor elétrico ou a combustível estiver acoplado à bomba hidráulica (Figura 9.1).



Figura 9.1 – Conjunto motobomba.

Rotor

É um mecanismo que gira ao redor de seu próprio eixo e que transforma a potência mecânica fornecida pelo seu sistema de acionamento (em geral um motor elétrico ou a combustível) em potência hidráulica. Sua função principal é aspirar o líquido, imprimir-lhe energia e recalçá-lo até um ponto pré-determinado (Figura 9.2).

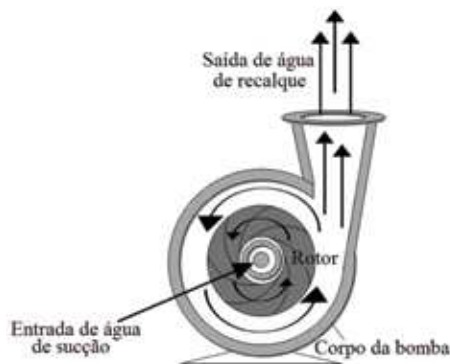


Figura 9.2 - Esquema de funcionamento de um rotor.

Basicamente podemos classificar os rotores em três tipos: aberto (A), fechado (B) e semifechado (C) (Figura 9.3).

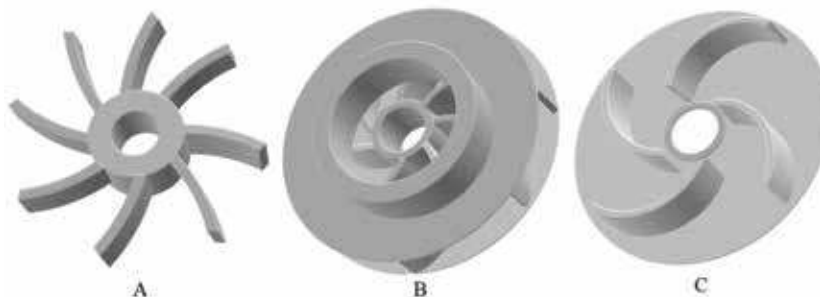


Figura 9.3 - Rotores do tipo aberto (A), fechado (B) e semifechado (C).

Rotores abertos são mais indicados para pequenas bombas e, devido à sua construção, trabalham satisfatoriamente quando da utilização de águas de baixa qualidade física. Já os rotores fechados são os mais comumente utilizados em motobombas de sistemas de irrigação.

O número de rotores dentro do corpo das bombas pode variar. As chamadas bombas monoestágio têm apenas um rotor e são recomendadas para trabalhar com alturas manométricas não muito levadas. Segundo Deniculi (1998), as alturas não devem ultrapassar 100 metros. As bombas multiestágios possuem mais de um rotor, ligados em série. São indicadas para o recalque de líquidos no caso de grandes alturas manométricas (Figura 9.4).

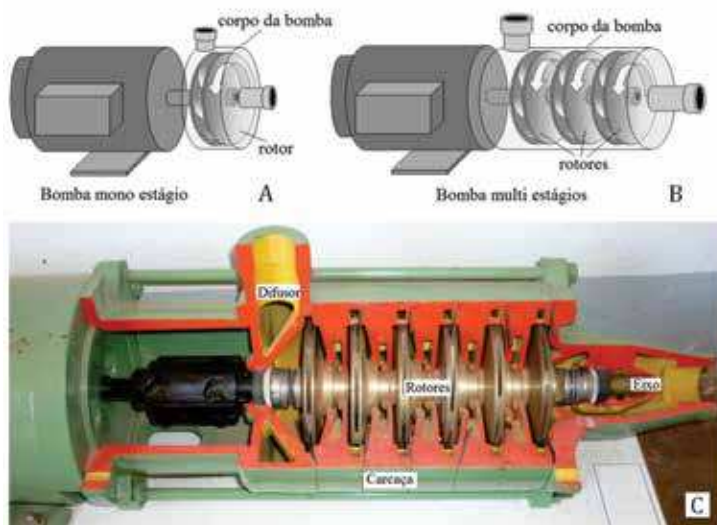


Figura 9.4 – Ilustração de uma motobomba mono estágio (A), uma motobomba multi estágio (B) e os componentes de uma bomba multi estágio.

As bombas mais utilizadas em irrigação são as bombas centrífugas, também conhecidas por radiais devido à direção de saída do fluido em relação ao rotor (direção radial). Geralmente, trabalham com grandes alturas manométricas, porém recalçando pequenas vazões. O contrário acontece com as bombas axiais, cujo líquido flui também na direção radial: grandes vazões e pequenas alturas manométricas.

Corpo da Bomba (Carcaça), Difusor (Bocal de Saída) e Eixo de Acionamento

O corpo da bomba é um componente estacionário do sistema de bombeamento. Contém dentro de si o(s) rotor(es) e acondiciona o líquido a ser recalcado. Pode ser feito de ferro fundido, aço inoxidável, alumínio, etc., sendo a escolha determinada pelas características químicas do líquido a ser bombeado. O difusor é a estrutura que apresenta uma seção crescente e tem por função receber e conduzir o líquido, vindo do rotor, diretamente para a tubulação de recalque (Figura 9.5).



Figura 9.5 - Carcaça da bomba, difusor, rotor do tipo fechado e eixo.

O eixo de acionamento tem a função de transmitir a força motriz ao rotor, resultando em seu movimento rotativo.

3. Principais Componentes de uma Instalação de Bombeamento Básica

Os elementos que compõem uma instalação de bombeamento básica são: conjunto motobomba, tubulação de sucção, válvula de pé com crivo, curva de 90°, redução excêntrica, redução concêntrica, válvula de retenção, registro de gaveta e tubulação de recalque (Figura 9.6).



Figura 9.6 - Componentes de uma instalação de bombeamento.

As funções de cada componente são:

- Válvula de pé com crivo: o dispositivo de retenção unidirecional tem por finalidade manter a tubulação de sucção cheia de água, permitindo sua passagem em um só sentido, fazendo assim com que a bomba fique sempre escorvada. Já o crivo impede a entrada de corpos estranhos na tubulação de sucção e, posteriormente, no corpo da bomba, o que certamente a danificaria.
- Curva de 90°: sua função é apenas alterar a direção da tubulação.
- Redução excêntrica: além de fazer a ligação da tubulação com a entrada da bomba, reduzindo o diâmetro de sucção e tornando-o compatível ao diâmetro da entrada da bomba, essa conexão possibilita que uma eventual formação de bolhas nesse ponto seja dispersa, impedindo a interrupção do fluxo de água e o surgimento de cavitação (Figura 9.7).
- Redução concêntrica: faz a ligação da saída da bomba com a tubulação de recalque, ajustando o diâmetro de ambas (Figura 9.7).

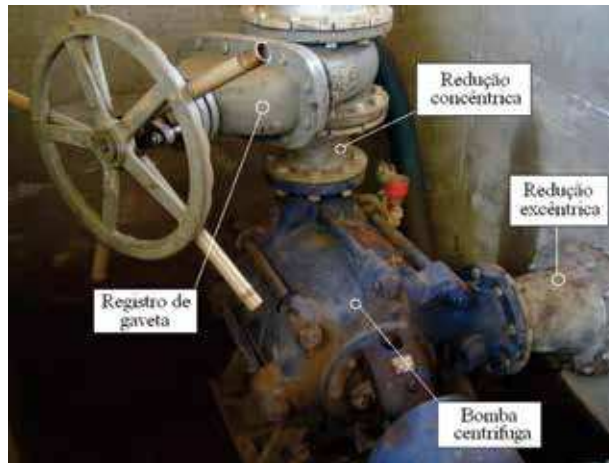


Figura 9.7 – Registro de gaveta, redução concêntrica, redução excêntrica e bomba.

- **Válvula de retenção:** dispositivo cuja função é impedir que todo o peso da água contida na tubulação de recalque fique sobre a parte interna da bomba, danificando-a. Por ele, a água passa em um único sentido, não havendo retorno para bomba. Em algumas válvulas existe ainda um sistema de by-pass, que permite, por meio de uma pequena tubulação paralela dotada de um registro, realizar a escorva da bomba (Figura 9.8).

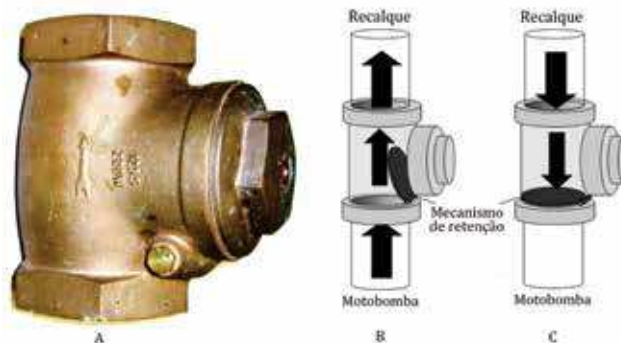


Figura 9.8 - Válvula de retenção (A) e esquema de funcionamento com a motobomba ligada (B) e com a motobomba desligada (C).

Registro de gaveta: entre suas funções, a principal é a regulação da vazão de água que sai da bomba. No caso das bombas centrífugas, deve-se acionar a bomba sempre com o registro fechado, reduzindo assim a potência necessária para o início do funcionamento do sistema (Figura 9.9).

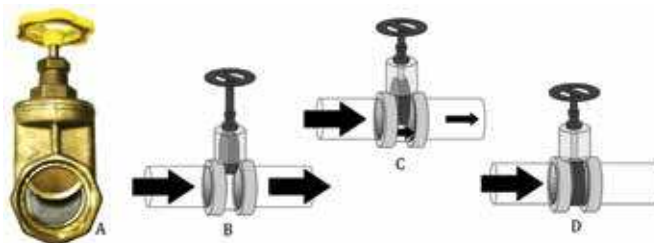


Figura 9.9 - Registro de gaveta (A) e esquema de funcionamento: totalmente aberto (B), parcialmente aberto, com redução de vazão (C) e totalmente fechado (D).

4. Alturas Manométricas da Instalação

Para atender às necessidades de um projeto de irrigação, a bomba hidráulica precisa enviar a água desde o ponto de captação (sucção), com a vazão e a pressão requeridas, a uma distância vertical e horizontal, até o ponto de maior cota da área a ser irrigada. A soma dessas distâncias é denominada de altura manométrica (HM), representada pela Figura 9.10.

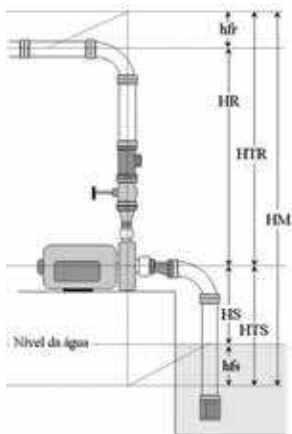


Figura 9.10 - Alturas manométricas.

A altura manométrica da instalação de bombeamento pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$HM = HTR + HTS$$

Em que

HM = altura manométrica da instalação (m);

HTR = altura manométrica de recalque (m);

HTS = altura manométrica de sucção (m).

As alturas manométricas de sucção e recalque podem ser assim expressas:

$$HTR = HR + hfr$$

$$HTS = HS + hfs$$

Em que

HR = altura geométrica de recalque (m);

HS = altura geométrica de sucção (m);

hfr = perdas de carga no recalque (m);

hfs = perdas de carga na sucção (m).

Em um projeto de irrigação devem ser contabilizados também outros fatores na determinação da altura manométrica. Segundo Bernardo et al. (2005), a HM pode ser calculada pela seguinte equação:

$$HM = pin + (hfd + dnd) + (hfp + dnp) + (hfr + dnr) + (hfs + dns) + hfl$$

Em que

HM = altura manométrica (mc.a.);

pin = pressão no início da tubulação lateral (mc.a.);

hfd = perda de carga na tubulação de derivação (mc.a.);

dnd = diferença de nível ao longo da tubulação de derivação (m);

hfp = perda de carga na tubulação principal (mc.a.);

dnp = diferença de nível ao longo da tubulação principal (m);

hfr = perda de carga na tubulação de recalque (mc.a.);

dnr = diferença de nível de recalque (m);

hfs = perda de carga na tubulação de sucção (mc.a.);

d_{ns} = altura de sucção (m);

h_{fl} = perdas de carga localizadas (mca).

Essa equação da altura manométrica pode sofrer modificações de um projeto para outro. Quando há mais de uma subárea, a altura manométrica deve ser calculada para a situação mais desfavorável em que a motobomba irá trabalhar, ou seja, o ponto mais distante e com maior altura geométrica em relação a ela.

5. Perdas de Carga

Quando a água se desloca por uma tubulação e toda vez que ela passa por uma peça especial (curvas, registros, válvulas, etc.) ocorre a perda de parte da sua energia devido ao atrito com as paredes da tubulação e das peças. As perdas de carga podem ser classificadas em:

- Contínuas: ocorrem ao longo das tubulações, em função do comprimento, rugosidade das paredes internas e do seu diâmetro.
- Acidentais: ocorrem nas peças especiais.

Determinação das Perdas de Carga

Diversos métodos podem ser empregados para o cálculo das perdas de carga contínuas e acidentais, sendo aqui utilizado o método dos diâmetros equivalentes para determinar as perdas de carga acidentais e a fórmula de Hazen-Williams para determinar as perdas de carga contínuas. As perdas de carga acidentais podem ser obtidas de acordo com o tipo de peça, consultando-se a Tabela 9.1:

Tabela 9.1 - Diâmetros equivalentes de conexões.

Conexão	Diâmetros equivalentes
Curva 90°	30
Cotovelo 90°	45
Curva 45°	15
Cotovelo 45°	20
Tê de passagem direta	20

Tê de saída lateral	50
Tê de saída bilateral	65
União	30
Ampliação gradual	12
Redução excêntrica	6
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Registro de gaveta aberto	8
Saída de canalização	35
Registro de globo aberto	350
Válvula de pé com crivo	250
Válvula de retenção vertical	100

O comprimento equivalente (L_e) pode ser calculado pela expressão:

$$L_e = DEq \cdot D$$

Em que

L_e = comprimento equivalente da tubulação (m);

DEq = diâmetro equivalente (tabelado);

D = diâmetro da tubulação (m).

A perda de carga unitária pode ser assim calculada:

$$J = \left(\frac{V}{0,355 \cdot C \cdot D^{0,63}} \right)^{1,852}$$

Em que

J = perda de carga unitária ($m \cdot m^{-1}$);

V = velocidade da água dentro da tubulação ($m \cdot s^{-1}$);

C = coeficiente da fórmula de Hazen-Williams;

D = diâmetro da tubulação (m).

A perda de carga pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$hf = J \cdot L_e$$

Em que

h_f = perda de carga (m);

J = perda de carga unitária ($m\ m^{-1}$);

L_e = comprimento equivalente da tubulação.

6. Curvas Características da Tubulação e da Bomba

A curva característica da tubulação é uma ferramenta importante para a compreensão e o estudo do comportamento de bombas centrífugas, e informa para cada vazão de bombeamento uma altura manométrica total correspondente.

Pode-se determinar a curva característica de uma tubulação pela seguinte expressão (quando da utilização da equação de Hazen-Williams):

$$HM = HT + K \cdot Q^{1,852}$$

Em que

HM = altura manométrica (m c. a.);

HT = altura geométrica total (m);

K = constante que representa o conjunto de características da tubulação (adimensional);

Q = vazão do sistema de irrigação ($m^3\ h^{-1}$).

A curva característica da bomba indica a vazão de bombeamento para cada altura manométrica. O ponto de encontro da curva da tubulação com a curva da bomba permite determinar o ponto de trabalho da bomba.

7. Escolha da Bomba

Dois fatores são determinantes para a escolha do conjunto motobomba: a altura manométrica (HM) e a vazão requerida pelo sistema de irrigação (Q). De posse dessas informações e do catálogo de um fabricante, pode-se escolher o modelo e a potência mais adequada para o projeto de irrigação.

A potência necessária ao conjunto motobomba para atender ao sistema de irrigação pode ser calculada também pela seguinte equação:

$$\text{Pot}_{\text{cv}} = \frac{Q \cdot \text{HM}}{75 \cdot \eta}$$

Em que,

Potcv = potência do conjunto motobomba (cv);

Q = vazão do sistema de irrigação (L s-1);

HM = altura manométrica ou carga (m);

n = rendimento da motobomba (decimal).

Segundo Bernardo et al. (2005), é necessário adicionar ao resultado dessa equação uma porcentagem a mais de potência no valor calculado para permitir uma folga no funcionamento da motobomba:

- Se a potência calculada da motobomba for menor do que 2 CV, devem ser acrescidos 30% nesse valor.
- Se a potência estiver entre 2 CV e 5 CV, acrescer 25%.
- Se a potência estiver entre 5 CV e 10 CV, acrescer 20%.
- Se a potência estiver entre 10 CV e 20 CV, acrescer 15%.
- Se a potência calculada for superior a 20 CV, acrescer 10% nesse valor.

Aplicação prática 6:

Considerando a instalação de bombeamento abaixo, para atender um sistema de irrigação localizado por gotejamento, cujas informações são:

• Tubulação de sucção (aço galvanizado): comprimento = 11 m; diâmetro = 125 mm; coeficiente C (Hazen-Willians) = 125; altura geométrica de sucção = 3,5 m; composta por válvula de pé com crivo, cotovelo de 90° e redução excêntrica.

• Tubulação de recalque (aço galvanizado): comprimento = 200 m; diâmetro = 100 mm; coeficiente C (Hazen-Willians) = 125; altura geométrica de recalque = 15 m; composta por redução concêntrica, válvula de retenção, registro de gaveta e dois cotovelos de 45°.

Vazão necessária ao sistema: 9,97 L s-1 = 0,00997 m3 s-1 = 35,892 = 36 m3 h-1

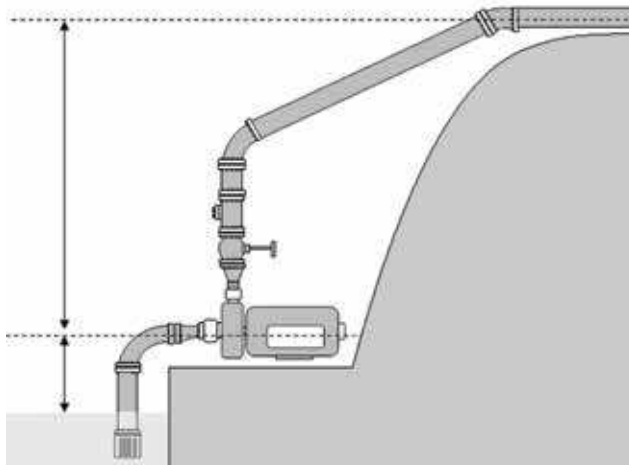


Figura 9.11 – Exemplo de instalação de bombeamento.

Dimensionar e escolher, de um catálogo de fabricante, a bomba adequada.

Resolução:

- Altura manométrica de sucção (diâmetro da tubulação = 0,125 m).

a) Perdas de carga acidentais:

Uma válvula de pé com crivo = $1 \cdot 0,125 \cdot 250 = 31,25$ m (nº de peças. diâmetro da tubulação . diâmetro equivalente tabelado)

Comprimento da tubulação = 11 m

Um cotovelo de $90^\circ = 1 \cdot 0,125 \cdot 45 = 5,625$ m

Uma redução excêntrica = $1 \cdot 6 \cdot 0,125 = 0,75$ m

Le sucção = $31,25 + 11 + 5,625 + 0,75 = 48,625$ m

b) Perdas de carga contínuas:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,00997}{\pi \cdot 0,125^2} = 0,812 \text{ m s}^{-1}$$

$$J = \left(\frac{0,812}{0,355 \cdot 125 \cdot 0,125^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,00685 \text{ mm}^{-1}$$

c) Perdas de carga de sucção:

$$hf_{\text{sucção}} = J \cdot Le_{\text{sucção}} = 0,00685 \cdot 48,625 = 0,333 \text{ m}$$

d) Altura manométrica de sucção:

$$HTS = HS + hf_{\text{sucção}} = 3,5 + 0,333 = 3,83 \text{ m}$$

- Altura manométrica de recalque (diâmetro da tubulação = 0,100 m).

a) Perdas de carga acidentais:

$$\text{Uma redução concêntrica} = 1 \cdot 0,100 \cdot 6 = 0,60 \text{ m}$$

$$\text{Uma válvula de retenção} = 1 \cdot 0,100 \cdot 100 = 10 \text{ m}$$

$$\text{Um registro de gaveta} = 1 \cdot 0,100 \cdot 8 = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Dois cotovelos de } 45^\circ = 2 \cdot 0,100 \cdot 20 = 4 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento da tubulação} = 200 \text{ m}$$

$$Le_{\text{recalque}} = 215,4 \text{ m}$$

b) Perdas de carga contínuas:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,00997}{\pi \cdot 0,100^2} = 1,27 \text{ m s}^{-1}$$

$$J = \left(\frac{1,27}{0,355 \cdot 125 \cdot 0,100^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,020347 \text{ mm}^{-1}$$

c) Perdas de carga de recalque:

$$hf_{\text{recalque}} = J \cdot Le_{\text{recalque}} = 0,020347 \cdot 215,4 = 4,38 \text{ m}$$

d) Altura manométrica de recalque:

$$HTR = HR + hf_{\text{recalque}} = 15 + 4,38 = 19,38 \text{ m}$$

- Altura manométrica da instalação (HM).

$$HM = HTR + HTS = 19,38 + 3,83 = 23,21 \rightarrow 24 \text{ m}$$

- Escolha da bomba de acordo com o catálogo de um fabricante.

Os procedimentos descritos abaixo podem variar de acordo com o fabricante da motobomba e a forma de apresentação de informações em seu catálogo. Para este exemplo será utilizado o catálogo das motobombas Schneider, de 2010.

A aplicação a ser escolhida é “Irrigação de áreas agrícolas”, cujos modelos indicados são:

- Bombas centrífugas monoestágio: BC-20, BC-21, BC-22 e BC-23, com rotor fechado e MSA-21, MSA-22 e MSA-23 com rotor semiaberto;
- Bombas centrífugas multiestágio: ME-1, ME-2 e ME-3, com rotor fechado e BT-4 e ME-HI com rotor fechado de inox.

De posse dos valores de altura manométrica da instalação (24 m) e de vazão do sistema de irrigação (36 m³ h⁻¹), procede-se à escolha da motobomba nos modelos pré-selecionados. No catálogo são apresentadas as características hidráulicas dos modelos sugeridos na tabela de consulta rápida.

O modelo que mais se aproxima das características desejadas está apresentado nas Figuras 9.13 e 9.14.

MODELO	Potência (CV)	Monofásico	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	Ø Rotor (mm)
BC-21 R 1 1/4	1,5	X	X	1 1/2	1 1/4	19	8	104
	2	X	X	1 1/2	1 1/4	22	8	109
	3	X	X	1 1/2	1 1/4	32	8	135
	4	X	X	1 1/2	1 1/4	40	8	146
BC-21 R 1 1/2	2	X	X	2	1 1/2	17	8	104
	3	X	X	2	1 1/2	25	8	121
	4	X	X	2	1 1/2	29	8	129
	5	X	X	2	1 1/2	33	8	135
	7,5	X	X	2	1 1/2	41	8	149
BC-21 R 2	4	X	X	2 1/2	2	17	8	108
	5	X	X	2 1/2	2	21	8	116
	7,5	X	X	2 1/2	2	26	8	127
	10	X	X	2 1/2	2	33	8	137
	12,5	X	X	2 1/2	2	38	8	145
BC-21 F 2	4	X	X	2 1/2	2	17	8	108
	5	X	X	2 1/2	2	21	8	116
	7,5	X	X	2 1/2	2	26	8	127
	10	X	X	2 1/2	2	33	8	137
	12,5	X	X	2 1/2	2	38	8	145
BC-21 R 2 1/2	5	X	X	3	2 1/2	18	8	116
	7,5	X	X	3	2 1/2	20	8	118
	10	X	X	3	2 1/2	26	8	128
	12,5	X	X	3	2 1/2	29	8	134
	15	X	X	3	2 1/2	35	8	145
BC-21 F 2 1/2	5	X	X	3	2 1/2	18	8	116
	7,5	X	X	3	2 1/2	20	8	118
	10	X	X	3	2 1/2	26	8	128
	12,5	X	X	3	2 1/2	29	8	134
	15	X	X	3	2 1/2	35	8	145

Figura 9.12 - Tabela de características hidráulicas dos modelos BC-21 adaptada do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

Primeiramente, é apresentada uma tabela de consulta rápida para a escolha de modelos de acordo com sua aplicação (Figura 9.12).

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																			
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)																			
3	4	5	7	8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	29	31	
VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUÇÃO DE 0 M C.A.																			
*	*	*	*	*	18,2	16,0	14,8	11,7	9,9										
*	*	*	*	*	*	19,7	18,7	16,5	15,2	12,2	8,4	6,0							
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	21,7	20,6	19,9	18,5	16,5	15,2	12,1	10,3		
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	22,5	21,7	21,2	19,9	19,2	17,6	
*	*	*	*	31,4	28,4	25,1	23,1	18,5	15,5										
*	*	*	*	*	*	*	*	*	32,7	29,4	25,7	23,5	18,1						
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	32,9	32,2	30,7	27,4	23,4	20,9				
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	42,1	39,4	36,4	34,8	31,0	28,8	23,3	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	42,6
79,2	76,5	73,7	67,6	64,3	57,1	48,5	43,4	29,6											
*	*	*	*	78,9	73,5	67,5	64,3	57,0	52,9	43,1	27,6								
*	*	*	*	*	*	*	81,9	77,2	74,7	69,3	63,2	59,7	51,6	39,9					
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,4	74,1	71,1	64,5	60,6	50,7	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,5	77,0	71,4
79,2	76,5	73,7	67,6	64,3	57,1	48,5	43,4	29,6											
*	*	*	*	78,9	73,5	67,5	64,3	57,0	52,9	43,1	27,6								
*	*	*	*	*	*	*	81,9	77,2	74,7	69,3	63,2	59,7	51,6	39,9					
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,4	74,1	71,1	64,5	60,6	50,7	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,5	77,0	71,4
99,5	95,9	92,2	84,4	80,3	71,6	62,0	56,8	45,3	38,7										
*	*	*	*	114	102	89,5	82,9	69,0	61,7	46,2									
*	*	*	*	*	*	*	116	106	101	90,1	78,1	71,6	57,5						
*	*	*	*	*	145	138	134	126	122	113	104	98,6	87,5	74,8	67,6	50,4			
*	*	*	*	*	*	*	*	*	148	141	134	130	122	113	109	98	92,8	80,1	
99,5	95,9	92,2	84,4	80,3	71,6	62,0	56,8	45,3	38,7										
*	*	*	*	114	102	89,5	82,9	69,0	61,7	46,2									
*	*	*	*	*	*	*	116	106	101	90,1	78,1	71,6	57,5						
*	*	*	*	*	145	138	134	126	122	113	104	98,6	87,5	74,8	67,6	50,4			
*	*	*	*	*	*	*	*	*	148	141	134	130	122	113	109	98	92,8	80,1	

Figura 9.12 - Tabela de características hidráulicas dos modelos BC-21 adaptada do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

TABELA PARA CONSULTA RÁPIDA												
Aplicações/Modelos	CENTRÍFUGAS MONOESTÁGIO									MULTIESTÁGIOS		
	BCR BC-98	TAP-20 C, TAP-35 C, TAP-20 A, TAP-35 A	BC-91 S/T	BC-92 S/T	BC-92 S/T J	BCV	Versajet BC-92 S/T AV	BC-21, BC-22, BC-23	BC-20	MSA-21, MSA-22, MSA-23	ME-1, ME-2	ME-3
Abastecimento predial												
Abastecimento residencial												
Acoplamento em equipamento veicular												
Agricultura, chácaras												
Alimentação de caldeiras												
Bombeamento de água com cereais ou grãos em suspensão												
Bombeamento de água com sólidos em suspensão												
Bombeamento de fluidos não fibrosos												
Cabines e pintura												
Caminhões pipa												
Captação fluvial												
Drenagem de águas servidas e pluviais												
Estações de tratamento de esgoto												
Fertirrigação orgânica												
Fontes e cascatas de médio/grande porte												
Fontes e cascatas de pequeno porte												
Indústrias /processos												
Irrigação de áreas agrícolas								✓	✓	✓	✓	✓

Figura 9.13 - Tabela de consulta rápida adaptada do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

MODELO	Potência (CV)	Monofásico	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS			
									ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)			
									3	4	5	7
									VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUÇÃO DE 0 M C.A.			
BC-21 R 2	4	X	X	2 1/2	2	17	8	108	79,2	76,5	73,7	67,6
	5	X	X	2 1/2	2	21	8	116	*	*	*	*
	7,5	X	X	2 1/2	2	26	8	127	*	*	*	*
	10	X	X	2 1/2	2	33	8	137	*	*	*	*
	12,5	X	X	2 1/2	2	38	8	145	*	*	*	*
BC-21 F 2	4	X	X	2 1/2	2	17	8	108	79,2	76,5	73,7	67,6
	5	X	X	2 1/2	2	21	8	116	*	*	*	*
	7,5	X	X	2 1/2	2	26	8	127	*	*	*	*
	10	X	X	2 1/2	2	33	8	137	*	*	*	*
	12,5	X	X	2 1/2	2	38	8	145	*	*	*	*

Figura 9.14 - Detalhe da tabela de características hidráulicas dos modelos BC-21 adaptada do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS															
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)															
8	10	12	13	15	16	18	20	21	23	25	26	28	29	31	
VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUCÇÃO DE 0 M C.A.															
64,3	57,1	48,5	43,4	29,6											
78,9	73,5	67,5	64,3	57,0	52,9	43,1	27,6								
*	*	*	81,9	77,2	74,7	69,3	63,2	59,7	51,6	39,9					
*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,4	74,1	71,1	64,5	60,6	50,7	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,5	77,0	71,4	
64,3	57,1	48,5	43,4	29,6											
78,9	73,5	67,5	64,3	57,0	52,9	43,1	27,6								
*	*	*	81,9	77,2	74,7	69,3	63,2	59,7	51,6	39,9					
*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,4	74,1	71,1	64,5	60,6	50,7	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86,4	84,2	79,5	77,0	71,4	

Figura 9.14 - Detalhe da tabela de características hidráulicas dos modelos BC-21 adaptada do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

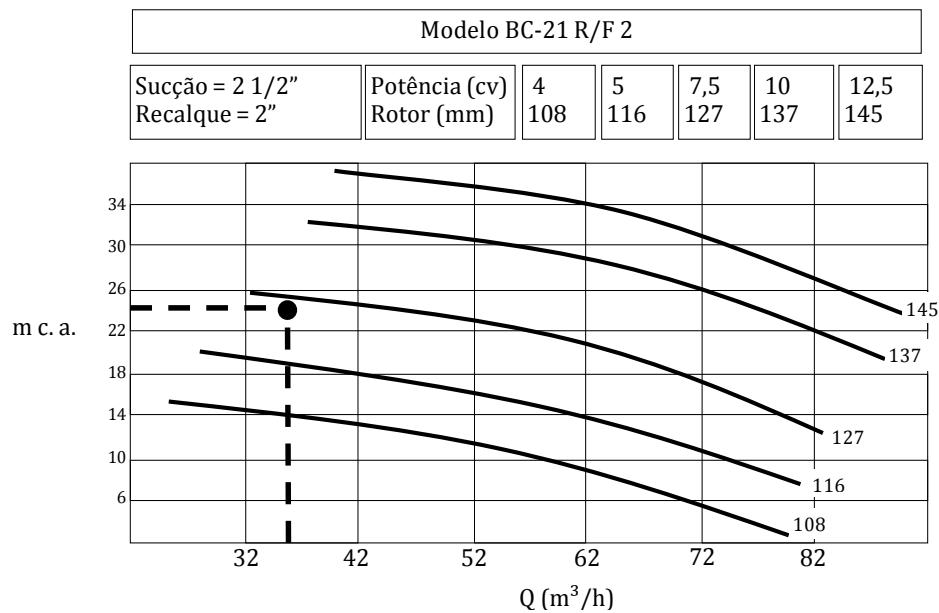


Figura 9.15 - Curva característica da motobomba modelos BC-21 do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

A bomba escolhida é a modelo BC-21 2, com conexões flangeadas (F), diâmetro do rotor de 127 mm (mais próximo e acima do ponto encontrado, denominado ponto de projeto), diâmetro de sucção e de recalque de 2 ½” e 2”, respectivamente, potência de 7,5 CV e rotação de 3.450 rpm (Figura 9.16).



Figura 9.16 - Motobomba modelo BC-21 do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

Observação: o ponto de projeto apresenta vazão de $36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e altura manométrica de 24 m. A motobomba selecionada atende uma vazão e uma altura manométrica acima do ponto de projeto, o que garante uma folga no seu funcionamento.

- Curva característica da tubulação.

$$HM = HT + K \cdot Q^{1,852}$$

$$24 \text{ m} = (3,5 \text{ m} + 15 \text{ m}) + K \cdot (36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1})^{1,852}$$

$$24 = 18,5 + K \cdot 762,6$$

$$K = 0,007213$$

$$\text{Portanto: } HM = 18,5 + 0,007213 \cdot Q^{1,852}$$

A partir daí pode-se traçar a curva da tubulação e plotá-la junto à curva característica da motobomba, chegando ao ponto de trabalho da motobomba (Figura 9.17).



Figura 9.17 Ponto de trabalho da motobomba do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

Podemos observar que há uma diferença entre o ponto de trabalho da motobomba ($Q = 38,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $H = 25 \text{ m}$) e o ponto de projeto ($Q = 36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $H = 24 \text{ m}$). Uma solução para

aproximá-los é alterar a rotação do rotor sem alterar seu diâmetro ou o inverso, ou seja, alterar o diâmetro do rotor sem mudar sua rotação.

Porém, a solução mais simples, que é reduzir a vazão com o fechamento de um registro, por exemplo, implicaria numa grande perda de carga que reduziria a eficiência no uso da energia pelo sistema (gasto desnecessário de energia elétrica).

A eficiência do conjunto motobomba escolhido é apresentada na Figura 9.18.

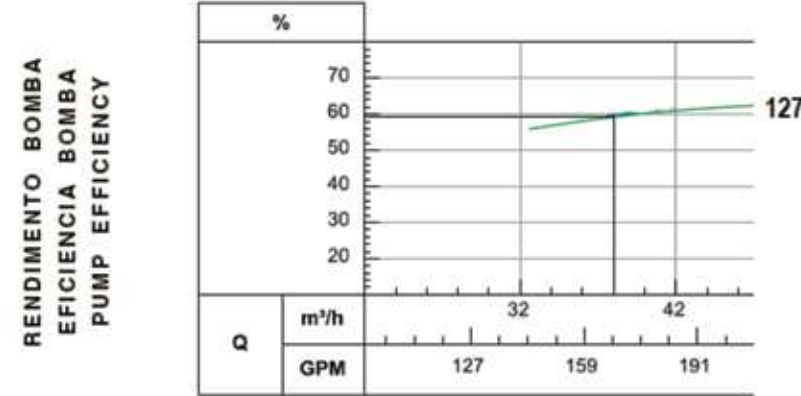


Figura 9.18 - Eficiência da motobomba BC-21 do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

A eficiência da motobomba é de aproximadamente 60%. Pode-se então aferir a potência necessária pela equação:

$$Pot_{CV} = \frac{9,97 \cdot 24}{75 \cdot 0,60} = 5,32 \text{ CV}$$

Acrescentando-se 20% de folga, Pot (CV) = 6,4 CV (calculado) → 7,5 CV (potência comercial mais próxima e acima do valor calculado).

8. Cavitação

A cavitação é a formação de bolhas na entrada da bomba devido à redução da pressão da água ao ponto de igualá-la à pressão de vapor do líquido, estando a temperatura constante.

Essas bolhas se expandem com o tempo até bloquearem por completo a passagem da água. O problema é típico de bombas sujeitas a uma sucção deficiente, seja por alguma alteração nas características originais do projeto, seja por simples falha no dimensionamento ou na escolha da bomba. Fatores externos não previstos no projeto também podem causar a cavitação.

Algumas dessas bolhas acabam se encaminhando para dentro da bomba, onde implodem, devido à pressão da água nesse local ser maior que a sua própria pressão, causando danos às estruturas internas do equipamento (Figura 9.19). Pode-se identificar a ocorrência da cavitação quando: após o acionamento do conjunto motobomba, o sistema de irrigação não funciona; os aspersores não conseguem girar; ocorrem barulho e vibrações anormais na bomba.



Figura 9.19 - Danos em um rotor fechado devido à cavitação.

A qualidade físico-química da fonte fornecedora de água também pode favorecer a ocorrência de cavitação, devido principalmente à existência de gases dissolvidos em grande quantidade (comum em águas de baixa qualidade). Esses gases resultam na formação de bolhas, mesmo que a pressão na sucção não atinja a pressão de vapor.

Uma maneira de tentar impedir o acúmulo de bolhas na entrada da bomba, quando da utilização de bombas de grande potência, é a utilização de uma redução excêntrica, que, devido à sua geometria, não permite que as bolhas se agrupem nesse local (Figuras 9.20 e 9.21).

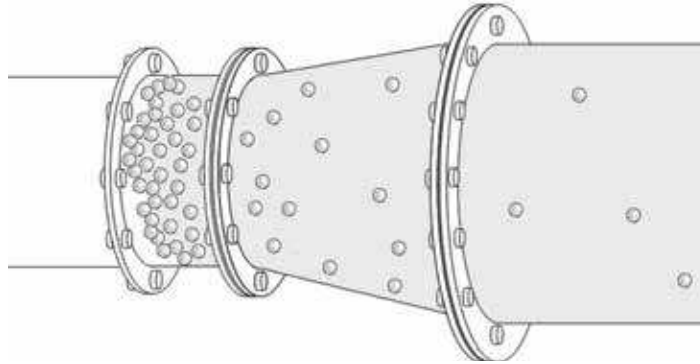


Figura 9.20 - Formação de bolhas na entrada da bomba, e interrupção do fluxo de água.

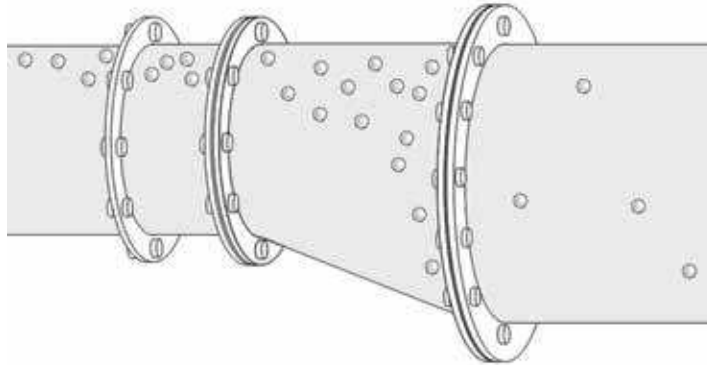


Figura 9.21 - Dispersão das bolhas, quando da utilização da redução excêntrica.

9. Net Positive Suction Head (NPSH)

A expressão “net positive suction head” (NPSH) designa a energia (carga) necessária no sistema para conseguir realizar a sucção da água, quando a motobomba estiver trabalhando em regime de sucção positiva. Por motivo de segurança, na escolha do conjunto motobomba deve-se fazer com que o NPSH disponível seja maior do que o que é realmente requerido pela bomba. Isso evitará que, devido a qualquer fator, se a bomba sofrer uma redução na sua capacidade de sucção, ainda assim ela não trabalhe deficientemente e não ocorra a cavitação.

Segundo Faria e Vieira (1986), o NPSH disponível pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{NPSH disponível} = P_{\text{atm}} - (h_s + P_{\text{vapor}} + h_{fs})$$

Em que

P_{atm} = pressão atmosférica local (m c. a.);

h_s = altura de sucção real do local (m);

P_{vapor} = pressão de vapor d'água em função da temperatura (m c. a.);

h_{fs} = perda de carga na tubulação de sucção (m c. a.).

A pressão atmosférica em função da altitude pode ser expressa através da seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{atm}} = 10,2788 - (\text{Alt} \cdot 0,0011)$$

Em que

Alt = altitude do local (m c. a.).

A pressão de vapor d'água em função da temperatura é dada pela seguinte equação, baseada em Bernardo (1982):

$$P_{\text{vapor}} = 0,0762 \cdot 1,05844 \cdot T$$

Em que

T = temperatura do local (°C).

Continuando a aplicação prática anterior, a motobomba escolhida apresenta o seguinte NPSH requerido:

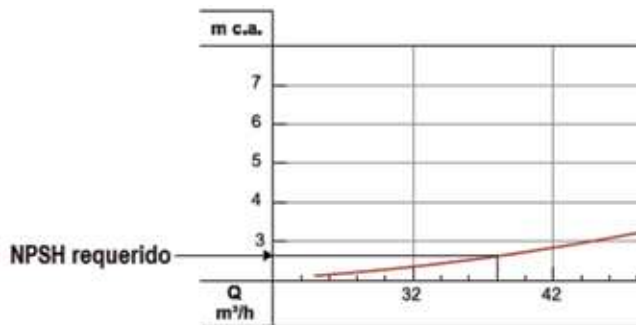


Figura 9.22 - NPSH requerido da motobomba BC-21 do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

Calculando-se o NPSH disponível, sabendo-se que a temperatura média local é de 25°C, a altitude é de 400 m, a altura de sucção é de 3,5 m e a perda de carga é de 0,332 m:

$$P_{\text{vapor}} = 0,0762 \cdot 1,05844 \cdot T = 0,0762 \cdot 1,05844 \cdot 25 = 0,315 \text{ m c. a.}$$

$$P_{\text{atm}} = 10,2788 - (\text{Alt} \cdot 0,0011) = 10,2788 - (400 \cdot 0,0011) = 9,8388 \text{ m c. a.}$$

$$\text{NPSH disponível} = P_{\text{atm}} - (h_s + P_{\text{vapor}} + h_{fs}) = 9,8388 - (3,5 + 0,315 + 0,333) = 5,691 \text{ m c. a.}$$

Portanto o NPSH disponível (5,691 m c. a.) é maior que o NPSH requerido da moto-bomba (que é menor que 3 m c. a.), o que atende o fator de segurança para não haver cavitação.



CAPÍTULO 10

SISTEMAS DE FILTRAGEM

1. Introdução

A obstrução dos emissores é um dos problemas mais importantes dos sistemas de irrigação localizada. Ela pode ser causada pela qualidade da água na fonte de captação e/ou por precipitação de sais que provêm dos fertilizantes da solução nutritiva de fertirrigação. Além de diminuir a vida útil dos equipamentos, a obstrução dos emissores tem uma ligação direta com o desempenho do sistema de irrigação, diminuindo a uniformidade de aplicação de água. Sistemas menos uniformes apresentam, consequentemente, menor grau de adequação, a menos que se superestime a lâmina de irrigação, o que é antieconômico e pode ser ambientalmente indesejável.

As obstruções oriundas da fertirrigação podem ser evitadas respeitando a compatibilidade entre nutrientes e a solubilidade dos fertilizantes.

A respeito da fonte de captação, a correta coleta de amostras de água e seu envio aos laboratórios credenciados deve ser o primeiro passo. A partir da análise, algumas medidas podem ser adotadas para diminuir o potencial de entupimento dos sistemas de irrigação localizada. A Tabela 10.1 apresenta os riscos de entupimento em função de alguns fatores da água de irrigação.

Tabela 10.1. Risco de entupimento em função da qualidade da água de irrigação.

Fator	Baixo	Moderado	Alto
Sólidos em suspensão (mg L^{-1})	< 50	50 a 100	> 100
pH	< 6,5	6,5 a 8	> 8
Ferro total (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Manganês (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Sulfetos (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 a 0,2	> 0,2
Condutividade elétrica (dS m^{-1})	< 0,7	0,7 a 3	> 3
População bacteriana (nº. de colônias por mL)	< 10000	10000 a 50000	> 50000

Para uma maior confiabilidade dos dados, a água deve ser coletada pelo menos duas vezes ao ano, sendo uma coleta no período de seca e outra no período chuvoso.

Em poços, a água deve ser coletada após 30 minutos de funcionamento da bomba. Em águas superficiais (rios, lagos e reservatórios) deve-se coletar a certa distância da margem e um pouco abaixo da superfície da água.

Garrafas PET de dois litros poderão ser utilizadas na coleta. Além de limpas, elas devem ser enxaguadas duas vezes com a mesma água a ser coletada. Em seguida, encaminham-se as amostras ao laboratório. Se não for possível, as amostras devem ser preservadas sob refrigeração em temperaturas de até 5°C por um período de até cinco dias. No transporte até o laboratório, as garrafas (amostras) devem estar bem fechadas. O uso de caixa de isopor e gelo é indicado para manter a temperatura.

Para evitar desencontros, deve-se contatar o laboratório antes de realizar a coleta. Assim, o irrigante poderá obter todas as informações necessárias sobre os procedimentos de coleta, armazenagem e transporte das amostras, bem como verificar que fatores o laboratório costuma analisar.

2. Dimensionamento dos Filtros

Os filtros são dimensionados com a função de reter os sólidos em suspensão, que incluem partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas (algas, bactérias, restos de plantas e animais). Para quantificar separadamente os níveis de cargas minerais e orgânicas, incinera-se a amostra seca de sólidos suspensos e o que sobra são as partículas minerais (esse procedimento deve ser feito em laboratório).

Em águas superficiais é comum a presença de algas e consequente necessidade de filtração mais profunda, com filtros de areia ou disco. Normalmente, águas subterrâneas não necessitam de filtro de areia, mas podem precisar, em alguns casos, de pré-filtração, dependendo da quantidade de partículas de silte e areia carregadas.

A carga de sólidos suspensos é variável ao longo do ano, particularmente em fontes superficiais como rios, lagos e reservatórios. As partículas mais grosseiras de sólidos em suspen-

são (folhas, restos vegetais, gravetos, etc.) devem ser removidas antes da filtragem, utilizando grades ou telas instaladas antes do ponto de captação. Para evitar a obstrução dos emissores, uma série de filtros de areia e tela devem ser instalados (Figura 10.1).



Figura 10.1 - Cabeçal de controle com filtros de areia e tela.

Pré-Filtragem

A pré-filtragem é recomendada em situações cuja quantidade de sólidos minerais em suspensão supera a concentração de 50 mg L^{-1} . O objetivo da pré-filtragem é evitar lavagens com demasiada frequência.

Hidrociclone

Para a pré-filtragem pode-se instalar um ou mais hidrociclones, eficientes para separar partículas de areia e outras partículas minerais superiores a $0,08 \text{ mm}$ provenientes, principalmente, de águas subterrâneas.

O corpo do hidrociclone é cilíndrico. Pela parte superior da peça, a água entra de forma tangencial e adquire movimento circular de modo consideravelmente rápido, originando um fluxo na forma de vórtice que converge para a parte cônica inferior. Devido à força centrífuga, as partículas mais pesadas que a água se chocam contra as paredes do hidrociclone e caem em um depósito abaixo da parte cônica do corpo cilíndrico. A água limpa, por sua vez, ascende por meio de um duto de entrada inferior e sai pela parte superior e central do hidrociclone. A Figura 10.2 apresenta a imagem de um hidrociclone e seu princípio de funcionamento.

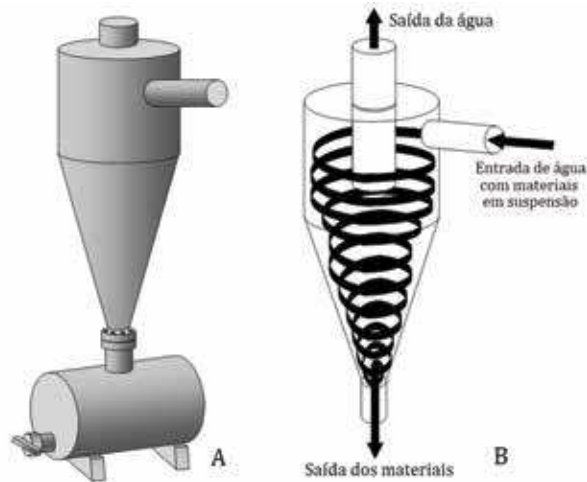


Figura 10.2 – Hidrociclone (A) e esquema de funcionamento (B).

Tanques de Decantação

O tanque de decantação é projetado para promover a sedimentação dos sólidos suspensos. Para tanto, a velocidade superficial deve ser baixa, levando pelo menos 15 minutos para atravessar o tanque, ou da ordem de $0,3 \text{ m s}^{-1}$. Barreiras podem ser instaladas para promover o fluxo em ziguezague e, conseqüentemente, aumentar o tempo de travessia (Figura 10.3).

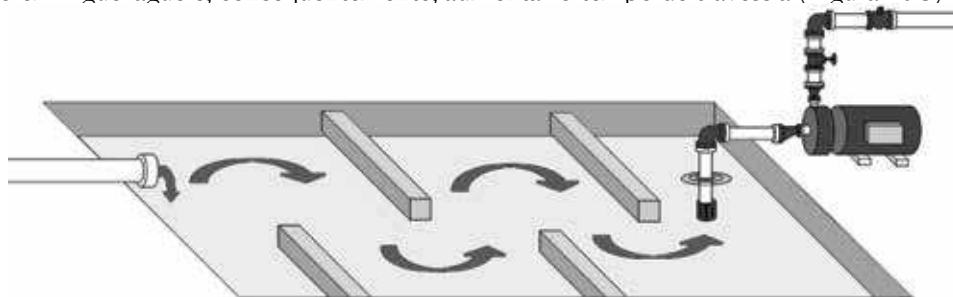


Figura 10.3 - Esquema de tanque de decantação com fluxo em ziguezague.

Filtragem

Em sistemas de irrigação, os filtros mais utilizados são de areia, tela e disco. Quando o risco de entupimento é baixo, o sistema de filtragem pode ser instalado sem o emprego da pré-filtragem.

Filtro de Areia

Filtros de areia são tanques cilíndricos metálicos (Figura 10.4) ou de poliéster preenchidos por uma espessa camada de areia, através da qual se filtra a água de irrigação. Quando utilizados em sistemas de irrigação localizada, esses filtros são submetidos à pressurização, necessitando de paredes reforçadas, resistentes às pressões de trabalho.



Figura 10.4 – Interior de um filtro de areia.

A montagem do sistema de filtragem sobre carreta (Figura 10.5) se faz necessária toda vez que se trabalha com culturas que precisam de rotação de área, como é o caso do tomate ou da batata.



Figura 10.5 - Filtros de areia e discos sobre carreta.

O filtro de areia é utilizado, principalmente, para reter partículas orgânicas em suspensão, devido à sua alta capacidade de acumulação de sujidades. Os filtros de areia retêm também partículas inorgânicas com até 0,06 mm de diâmetro, funcionando como um pré-filtro para sistemas de filtragem de disco e/ou tela.

Os filtros de areia são considerados filtros de profundidade altamente eficientes na filtragem, porém com reduzida eficiência de lavagem, requerendo considerável volume água para a limpeza efetiva. A filtragem da água se realiza através de uma camada de areia cuja espessura não deve ser menor que 50 cm. Se a granulometria for variável no interior do filtro, a espessura de 50 cm deve ser da areia mais fina.

O filtro deve ser preenchido com areia lavada de diâmetro efetivo (DE) conhecido e coeficiente de uniformidade entre 1,4 e 1,6. O DE representa a abertura de peneira que retém 90% da areia. A uniformidade de filtragem (UF) é a relação entre as aberturas de peneira que retêm 40% e 90% da areia, respectivamente. A uniformidade de filtragem pode ser determinada por meio de peneiras granulométricas (Figura 10.6).



Figura 10.6 - Peneiras granulométricas.

As partículas que atravessam o filtro normalmente apresentam diâmetro da ordem de $1/10$ do diâmetro efetivo. Assim, por exemplo, se um filtro possui diâmetro efetivo de 1 mm, retém partículas com diâmetros iguais ou superiores a 0,1 mm. O diâmetro efetivo deve ser igual ou menor que o diâmetro do gotejador. Em sistemas de microaspersão, o diâmetro efetivo deve ser no máximo igual a duas vezes o diâmetro do microaspersor.

A superfície filtrante do filtro de areia deve ser da ordem de 1 m^2 para cada $60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ de vazão. O filtro deve ser dimensionado com acréscimo de 10% sobre a vazão de projeto.

O filtro de areia deve ser instalado antes do injetor de fertilizantes, para evitar que a solução nutritiva favoreça a proliferação de microrganismos em seu interior. A perda de carga no filtro depende da vazão, do diâmetro dos poros, da qualidade da água e do tempo entre lavagens. O valor de perda de carga inicial em função da vazão é normalmente oferecido pelo fabricante. A Figura 10.7 mostra os valores de perda de carga em função da vazão para filtros de areia da Amanco, com diferentes diâmetros: 500, 750 e 1000 mm.

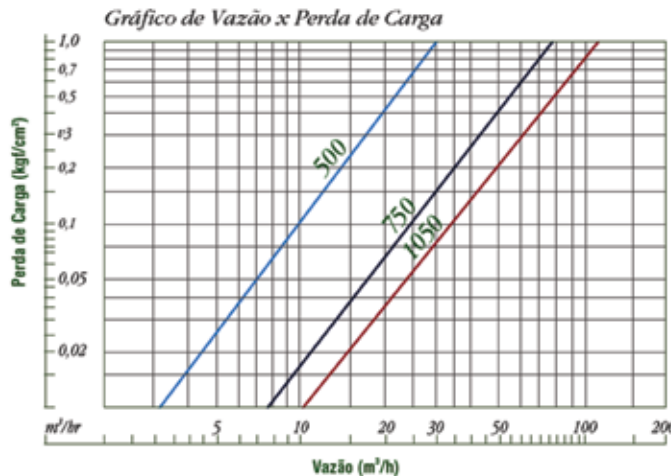


Figura 10.7 - Perda de carga em filtro de areia do catálogo “Soluções Amanco – Linha Irrigação”.

Normalmente, tolera-se, em relação à perda de carga inicial, um acréscimo de perda de carga entre 2 e 3 m c. a.. Toda vez, portanto, que os níveis de acréscimo de perda de carga preestabelecidos forem atingidos, deve-se realizar a limpeza do filtro por meio de inversão do fluxo de água. Essa inversão recebe o nome de retrolavagem.

A partir do exemplo da Figura 10.8 pode-se estabelecer uma discussão sobre o princípio de funcionamento de um filtro de areia. A água recalcada pela motobomba entra no filtro pela parte superior e atravessa a camada de areia em um fluxo descendente, donde, em seguida, deriva-se até os emissores, sendo aplicada junto às plantas. Na retrolavagem o fluxo de água é ascendente.

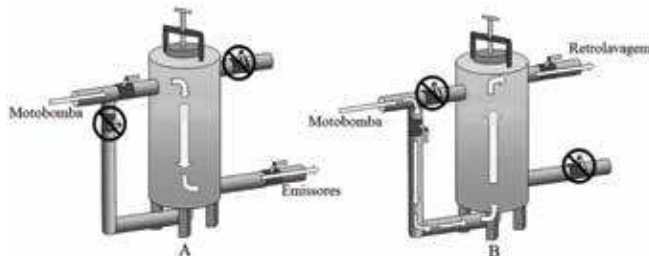


Figura 10.8- Funcionamento de um filtro de areia: operando normalmente (A) e em retrolavagem (B).

Sempre que possível, é aconselhável o uso de pelo menos dois filtros de areia para limpá-los com água filtrada. Para tanto, deve-se prever no projeto a instalação de uma rede com válvulas automáticas ou manuais.

Quando se trabalha com conjunto de filtros em paralelo (três ou mais filtros), é comum a automação. Para que a retrolavagem seja realizada concomitantemente à irrigação, os filtros devem ser dimensionados com uma margem de segurança suficiente para garantir a continuidade da vazão de projeto. Enquanto o filtro em processo de retrolavagem interrompe sua operação de filtragem, outro filtro terá pelo menos parte de sua vazão derivada para a limpeza daquele. É comum estabelecerem-se limpezas de tempos em tempos, ou ainda, em função de uma perda de carga conjunta, programarem-se retrolavagens sucessivas. Se houver mais de uma fonte de captação, o que é mais raro, a retrolavagem em função da perda de carga deverá ser obrigatoriamente individualizada, tornando a automação mais complexa. Normalmente, as empresas que vendem os filtros também se responsabilizam pela instalação.

Quanto menor o diâmetro dos grânulos de areia, maior o número de orifícios de passagem por unidade de área, ou seja, maior o seu mesh. Entende-se por mesh o número de orifícios por polegada quadrada. A dimensão desses orifícios de passagem pode variar entre fabricantes, no entanto, de uma maneira geral, as dimensões se aproximam das que estão demonstradas na Tabela 10.2.

Pela tabela, pode-se concluir que um filtro que contém grânulos de areia com diâmetro efetivo de 1 mm apresente orifício de passagem de 0,1 mm e mesh igual a 150.

Tabela 10.2 - Número de mesh e diâmetro equivalente

Mesh	60	80	100	120	150	200	250
Orifício de passagem (mm)	0,25	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06

Atualmente, os filtros de areia, devido ao seu custo, são recomendados somente em casos em que há elevados teores de material orgânico, superiores a 10 mg L^{-1} , ou, ainda, em casos de filtragem de águas ferrosas que sofreram tratamento oxidante.

Filtro de Tela

Esse tipo de filtro possui corpo metálico ou plástico e, em seu interior, um suporte revestido de tela (Figura 10.9), frequentemente usado para reter partículas inorgânicas. Independentemente da qualidade da água, o uso de filtro de tela é uma exigência mínima para qualquer sistema de irrigação localizada.



Figura 10.9 – Filtro de tela: conjunto (A), suporte interno (B) e detalhe da malha (C).

O filtro de tela possui elevada eficiência de lavagem e baixa eficiência de filtração, pois oferece uma única possibilidade de reter a sujeira, atuando como filtro de superfície. Dessa forma, filtros de tela são mais indicados para águas mais limpas, cujo risco de entupimento é baixo e onde praticamente inexistente material orgânico em suspensão.

Os filtros de tela devem, ainda, ser instalados sempre depois dos filtros de areia e, se houver a prática de fertirrigação, depois dos injetores de fertilizantes. No primeiro caso, considerando a possibilidade de algum grânulo de areia se desprender e, no segundo caso, considerando a possibilidade de não haver a completa solubilidade dos fertilizantes.

Há no mercado vários modelos desses filtros, com tela de aço-inoxidável ou plástico e diferentes tamanhos e áreas de filtração total e efetiva, faixas de vazão e pressão de serviço. Podem também ser instalados em conjuntos de filtros paralelos de forma a atender a vazão de projeto.

A área total de filtração é dada pelas próprias dimensões da superfície da tela. No entanto, a área efetiva de filtração é dada pela área total de filtração menos a área ocupada pelo suporte da tela.

Assim como os filtros de areia, os filtros de tela têm o valor de perda de carga inicial fornecido pelo fabricante em função da vazão. Quando a perda de carga atinge valores de 2 a 3 mca a mais do que a perda de carga inicial, faz-se necessária a limpeza.

Para os filtros de limpeza manual basta retirar o elemento filtrante e lavá-lo com água corrente. Em sistemas automáticos a limpeza é realizada com base em valores pré-fixados de diferença de pressão entre a entrada e saída do filtro. A limpeza também é realizada por inversão do fluxo e abertura de válvulas de drenagem.

Os filtros de tela devem ter orifício de passagem igual ou inferior a $1/7$ do diâmetro do gotejador e igual ou inferior a $1/5$ do diâmetro do microaspersor. Nesse caso, para recomendar um filtro de tela em mesh deve-se recorrer também à Tabela 11.2. Por exemplo, para um gotejador com diâmetro igual a 0,5 mm, o filtro de 150 mesh (0,1 mm) é o mais indicado. A superfície da tela (área efetiva) é dada pela razão entre vazão (acrescida de 10%) e velocidade. Recomenda-se que a velocidade de filtração não seja superior a $0,6 \text{ m s}^{-1}$.

Filtros de Disco

Esse tipo de filtro possui coluna interna, que serve de suporte para elementos plásticos e filtrantes, na forma de discos ranhurados. No contato entre os discos existem várias possibilidades de retenção de sujeiras carregadas pela água. Os discos são comprimidos uns sobre os outros pela tampa e pela base do filtro. Na Figura 10.10 tem-se a aparência típica de um filtro de disco. Externamente, filtros de disco e tela são idênticos.

Os filtros de disco são classificados como filtros semiprofundos por terem certa espessura de elemento filtrante. Possuem intermediárias eficiências de filtração e lavagem quando comparados aos filtros de areia e tela.

Sobre área efetiva de filtração, perda de carga admissível, limpeza do filtro, dimensões dos orifícios de passagem e velocidade de escoamentos, as recomendações são as mesmas dos filtros de tela. Na Figura 10.11 tem-se um gráfico de perda de carga para filtros de disco e de tela.



Figura 10.10 - Filtro de disco: conjunto (A), suporte interno (B) e detalhe das ranhuras (C).

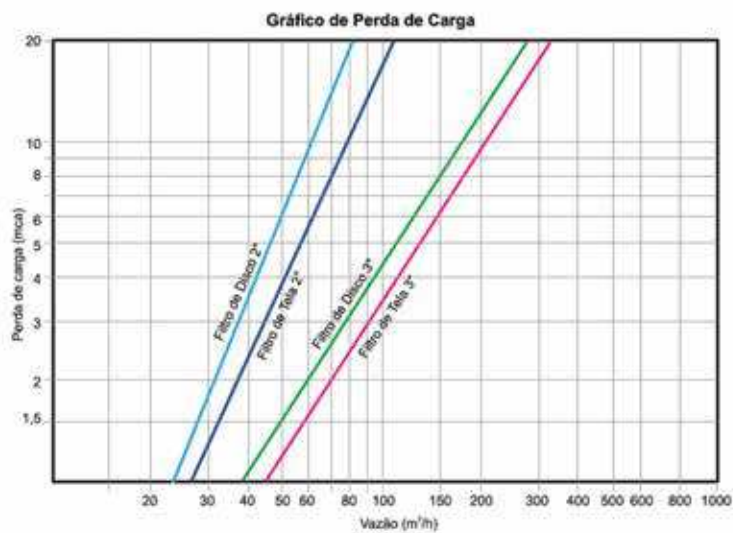


Figura 10.11 - Gráfico de perda de carga para filtros metálicos de disco e de tela do catálogo “Soluções Amanco – Linha Irrigação”.

Há uma tendência de os filtros de disco substituírem os filtros de areia, sobretudo em sistemas automáticos que trabalham com conjunto de filtros em paralelo. Todavia, essa alternativa não deve ser usada à revelia, devendo-se sempre atentar para o nível de material orgânico presente na água. Os filtros de disco podem ser utilizados para retenção de material orgânico, desde que a quantidade não supere 10 mg L⁻¹.

3. Controle de Entupimentos por Fatores Químicos e Biológicos

Geralmente, o controle de entupimentos em projetos de irrigação localizada inclui apenas a utilização de filtros de areia, tela ou disco. Em muitos casos, apenas a filtragem da água é insuficiente para prevenir o entupimento de emissores. Além da retenção dos sólidos em suspensão, em que o controle se dá por meio de filtragem, fatores químicos e biológicos devem ser analisados quanto ao risco de entupimento (Tabela 10.1).

Fatores Químicos

pH

O pH em si não é um problema. No entanto, quando seu valor é maior que 6,5 (maioria dos casos), deve-se tomar cuidado com a formação de precipitados na presença de fósforo e cálcio existentes na água de irrigação ou na solução nutritiva da fertirrigação. Nesses casos, devem-se preferir fontes ácidas de fertilizantes.

Ferro

O ferro pode estar presente na água de duas formas: Fe⁺² (dissolvido) e Fe⁺³ (oxidado). A água de irrigação com ferro dissolvido não causa problemas de entupimento, desde que o ferro dissolvido (totalmente solúvel) atravessasse todo o sistema (da captação aos emissores) sem sofrer nenhuma alteração. O ferro dissolvido ocorre com maior frequência em águas subterrâneas.

O ferro oxidado (insolúvel) é visível, de coloração marrom (cor de ferrugem), e forma uma massa que adere às paredes das tubulações e dos emissores.

Em sistemas de irrigação, até mesmo o ferro solúvel é preocupante, pois o bombeamento oxigena a água na captação favorecendo a transformação do ferro na forma insolúvel. Também é comum as tubulações apresentarem certa quantidade de ar que entra em contato com a água por ocasião das irrigações.

O tratamento é embasado no teor de ferro total na água de irrigação (Tabela 10.1). Se a quantidade de ferro for inferior a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, o risco de entupimento é baixo e dispensa tratamento. Se a quantidade de ferro estiver entre $0,1$ e $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, o risco é moderado e o tratamento prevê aeração e utilização de tanque de decantação. Para águas com teores de ferro acima de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ recomenda-se a cloração na razão 1:1. Por exemplo, se a água de irrigação tiver 2 mg L^{-1} de ferro, deve-se aplicar 2 mg L^{-1} de cloro.

No Brasil, na maior parte dos casos, a aeração e a decantação são suficientes para tratar as águas com presença de ferro. Isso normalmente se dá por meio da construção de uma cascata aeradora com posterior tanque de decantação. A aeração aumenta o teor de O_2 na água favorecendo a oxidação e precipitação do ferro. O tanque de decantação promove a sedimentação do ferro precipitado. As características do tanque são as mesmas utilizadas para decantar os sólidos em suspensão.

Águas subterrâneas podem apresentar teores de ferro acima do desejado, prevendo um tratamento específico com aeração/decantação ou cloração.

Manganês

Águas com teores significativos de manganês são raras, mas, caso a análise demonstre a necessidade de tratamento, ele se dá de forma semelhante ao do ferro. Vale ressaltar que o manganês na presença de cloro leva mais tempo para precipitar, podendo essa precipitação ocorrer depois dos filtros, provocando entupimentos. Além da cloração, quando o risco de entupimento for elevado, deve-se antes fazer aeração seguida de decantação. A presença de óxido de manganês na água dá a ela um tom marrom mais escuro que o óxido de ferro. A mistura desses óxidos confere à água uma coloração que tende ao preto.

Sulfetos

A água de irrigação com mais de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de sulfeto total pode favorecer o crescimento de bactérias sulfúreas e a formação de lodo com potencial para entupir os emissores. Mesmo que a análise da água não apresente uma população bacteriana significativa, um tratamento preventivo deve ser feito (conforme item Prevenção de Precipitações).

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é uma medida indireta da quantidade de sais dissolvidos na água de irrigação. Quanto maior a concentração, maior a probabilidade de precipitações e o risco de entupimento dos emissores. O tratamento deve ser feito no intuito de atenuar as precipitações (conforme o item Prevenção de Precipitações).

Fatores Biológicos

População Bacteriana

O tratamento habitual para controlar a população bacteriana é a cloração contínua, com dosagem de 1 mg L^{-1} para risco moderado de entupimento e 2 mg L^{-1} para alto risco de entupimento (Tabela 10.1).

Algas

Algas podem proliferar rapidamente em reservatórios ricos em nutrientes, especialmente na presença de fósforo e nitrogênio. Quando o número de algas se torna significativo, o reservatório fica eutrofizado, adquirindo uma coloração verde característica.

O controle pode ser feito utilizando sulfato de cobre na dosagem de $0,5$ a 2 mg L^{-1} , dependendo o grau de infestação (aspecto visual).

O sulfato de cobre é tóxico aos peixes, e pode matá-los. Deve-se tomar cuidado com sua adição no reservatório. Sempre que possível, deve-se trabalhar com doses pequenas ou aplicação gradativa de dosagens maiores. O sulfato de cobre, ao provocar a morte das algas,

faz com que elas entrem em decomposição causando a redução de oxigênio dissolvido na água, consequentemente acarretando a morte dos peixes por asfixia.

4. Cloração

A adição de cloro à água (cloração) é bastante utilizada para controlar a ação de microrganismos como algas e bactérias. O cloro deve ser injetado preferencialmente antes dos filtros, eliminando a possibilidade de crescimento dos microrganismos em seu interior, aumentando a eficiência de filtragem.

Fontes de Cloro

Existem diferentes fontes de cloro para esse fim (hipoclorito de cálcio, ácido clorídrico, cloro gasoso, etc.), sendo, no entanto, o hipoclorito de sódio a fonte mais comum, em concentrações de até 15% de cloro ativo.

Para ser mais eficiente, o hipoclorito de sódio deve ser aplicado em água com pH menor que 6, necessitando, assim, da adição de ácido. A quantidade de ácido necessária pode ser determinada por titulação prévia. Tem-se usado bastante o ácido fosfórico, com a vantagem adicional de ser uma fonte de fósforo para as plantas.

Clorações Preventivas

Diferentes precipitações podem ocorrer no interior das tubulações dos sistemas de irrigação, atingindo os emissores e, consequentemente, provocando entupimentos. Essas precipitações podem ter origem bacteriana ou química.

As precipitações provocadas por algas dentro dos sistemas de irrigação localizada são mais raras, pois as tubulações laterais são normalmente pretas e impedem a entrada de luz, dificultando sua proliferação. No entanto, as bactérias podem crescer dentro do sistema de irrigação mesmo na ausência de luz. Algumas espécies de bactéria conseguem obter energia por meio da oxidação de elementos como ferro, enxofre e manganês, proliferando rapidamente e criando um lodo bacteriano com potencial para provocar gravíssimos entupimentos.

O risco de precipitações químicas normalmente ocorre devido à presença de elementos químicos (sais) na água de irrigação e/ou fertirrigação. O cálcio e o fósforo são os elementos mais susceptíveis à precipitação quando o pH é maior que 6,5.

Para prevenir o risco de entupimento dos emissores por precipitações químicas ou biológicas, clorações de 10 a 20 mg L⁻¹ devem ser realizadas de forma intermitente durante 30 a 60 minutos. Após a cloração, o bombeamento deve ser cessado e as tubulações laterais, mantidas em repouso por um período de 12 a 24 horas. Em seguida, retoma-se o bombeamento e se abrem os finais das tubulações laterais para promover a lavagem do sistema.

Supercloração

Em casos de entupimentos generalizados pode-se tentar a supercloração com concentrações entre 100 e 300 mg L⁻¹. Deve-se tomar cuidado, no entanto, com a supercloração em sistemas com emissores autocompensantes, pois o cloro pode danificar a membrana de compensação. Recomenda-se que a cloração nunca ultrapasse a concentração de 20 mg L⁻¹. Após a supercloração, deve-se adotar procedimento idêntico à cloração preventiva (repouso de 12 a 24 horas e lavagem do sistema). Caso não se atinja o grau de desentupimento desejado, pode-se repetir o procedimento por até quatro vezes.

Aplicação prática 7:

Um projeto de irrigação por gotejamento demanda 45 m³h⁻¹ de vazão e os emissores têm diâmetro de 0,7 mm. A seguinte análise de água foi obtida: sólidos em suspensão (carga total) = 40 mg L⁻¹; sólidos em suspensão (carga orgânica) = 5 mg L⁻¹; pH = 6,8; ferro total = 0,3 mg L⁻¹; manganês = concentração desprezível; sulfetos = concentração desprezível; condutividade elétrica = 0,5 dS m⁻¹; população bacteriana: 5000 colônias mL⁻¹; ausência de algas (aspecto visível). Dimensione o sistema de filtragem e recomende o controle de entupimentos considerando a prática de fertirrigação.

Resolução:

Com base na análise de água verifica-se que não há necessidade de pré-filtragem, pois a concentração de sólidos minerais suspensos é menor que 50 mg L^{-1} . Com base na carga orgânica de sólidos suspensos (5 mg L^{-1}), o filtro de areia também seria dispensável; no entanto, como a análise de água prevê tratamento contra entupimentos por ferro (risco moderado: aeração e decantação), a presença de filtro de areia é necessária para reter eventuais precipitados de ferro não-decantados.

Dimensionamento do sistema de filtragem

Filtro de areia:

Deve-se aumentar em 10% a vazão do filtro para atender o projeto de irrigação. Logo, o filtro será dimensionado para uma vazão de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Como a superfície filtrante é da ordem de 1 m^2 para cada $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, uma superfície de $0,83 \text{ m}^2$ é suficiente. Utilizando dois filtros de areia, cada um deverá ter pelo menos uma área de $0,42 \text{ m}^2$.

Assim, podem-se usar em paralelo, por exemplo, dois filtros de areia da Amanco de 750 mm de diâmetro, obtendo uma área total de $0,88 \text{ m}^2$ ($0,44 \text{ m}^2$ por filtro). Por se tratar de sistema em paralelo, considera-se uma vazão de $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ por filtro. Assim, por meio da Figura 10.7, constata-se que a perda de carga será de 1 mca para água limpa. Será adotada uma tolerância de mais 3 m c. a. para a retrolavagem. Logo, a perda de carga total será de 4 m c. a..

Uniformidade de filtragem:

A areia utilizada nos filtros foi submetida a análises granulométricas. Verificou-se que respectivamente mais de 90% e 40% dos grânulos de areia ficaram retidos nas peneiras de 100 mesh e 150 mesh, conferindo uniformidade de filtragem igual a 1,5.

Filtro de disco:

Como o emissor tem diâmetro de 0,7 mm e se trata de gotejador, o orifício de passagem deverá ser menor ou no máximo igual a 0,1 mm (150 mesh). Como a água tem mais de 10 mg L⁻¹ de sólidos em suspensão, o filtro de disco é mais indicado que o de tela, a menos que o filtro de areia já possuísse grau de filtragem superior a 150 mesh, que não é o caso. Conforme foi visto, o filtro de areia apresenta um grau de filtragem de 100 mesh. Será selecionado, então, o filtro de 2" de disco da Amanco com 155 mesh (Figura 10.12).

Para uma vazão de 50 m³h⁻¹ com água limpa, a perda de carga será de 2 mca. Será adotada uma tolerância de mais 3 mca para a retrolavagem. Logo, a perda de carga total será de 5 mca. Segundo o catálogo do fabricante, o filtro tem área efetiva de filtragem igual a 1185 cm², o que lhe confere, para a vazão selecionada, uma velocidade de 0,12 m s⁻¹, abaixo, portanto, de 0,6 m s⁻¹, o que é desejável.

O filtro de disco será instalado depois do injetor de fertilizantes para também prevenir entupimentos que eventualmente possam ocorrer em função da insolubilidade da solução nutritiva.

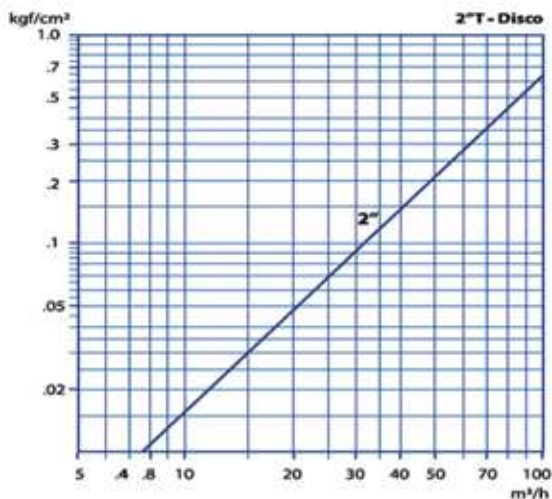


Figura 10.12 – Relação vazão x pressão do filtro plástico de disco de 2" e 155 mesh do catálogo "Soluções Amanco – Linha Irrigação".

Controle de entupimentos por fatores químicos e biológicos

Há um risco moderado de entupimento nos gotejadores devido à presença de ferro na ordem de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$. O tratamento mais indicado prevê aeração e utilização de tanque de decantação.

A população bacteriana presente na água de irrigação oferece baixo risco de entupimento aos emissores, dispensando a cloração contínua.

A condutividade elétrica igual a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ também apresenta baixo risco de entupimento. No entanto, o pH da água igual a 6,8 aliado à fertirrigação oferece risco de precipitação química no interior das linhas laterais com consequente entupimento dos emissores. Assim, é recomendável a utilização de clorações preventivas. A frequência deverá ser determinada por meio de avaliações periódicas, prevendo-se, no mínimo, uma cloração ao ano para culturas permanentes ou uma cloração a cada dois ciclos para culturas anuais.

5. Considerações Finais

A irrigação localizada necessita obrigatoriamente de sistemas de filtragem. De maneira geral, quando instalados, os filtros são dimensionados sem critérios específicos. Isso acarreta desempenho insatisfatório dos sistemas de irrigação, nem sempre observado pelo irrigante, a menos que ocorram obstruções generalizadas. A desinformação, portanto, seja por parte do irrigante ou dos profissionais que atuam na área de irrigação, contribui para um manejo deficiente e consequentes danos econômicos e ambientais. Há que se ressaltar, todavia, que dimensionamento de filtros e controle de entupimentos dos sistemas de irrigação localizada são temas que carecem ainda de muitas informações, favorecendo a oportunidade de pesquisas nessas áreas.



CAPÍTULO 11

EXEMPLO DE PROJETO

1. Introdução

Realizar um projeto de irrigação localizada por gotejamento em uma área de 2,6 ha (Figura 11.1). A cultura implantada será o repolho (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.). A água será bombeada diretamente de um curso d'água que passa próximo à área.

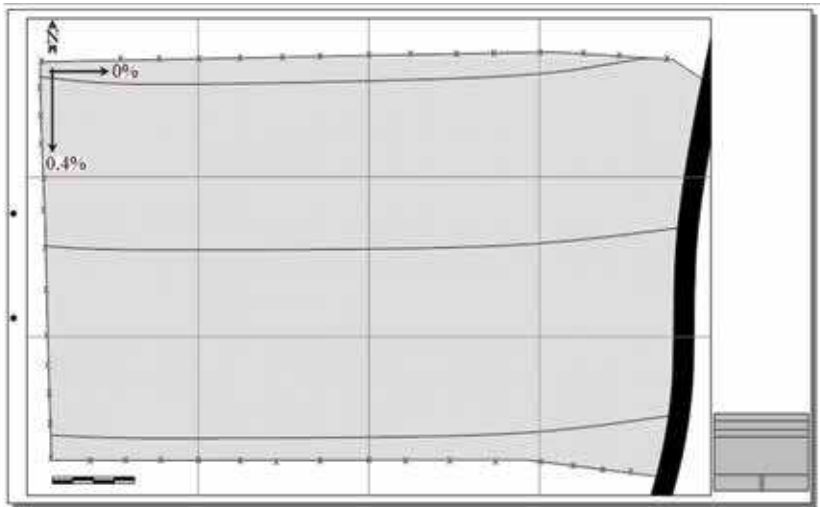


Figura 11.1 - Planta planialtimétrica da área a ser irrigada.

2. Levantamento dos Parâmetros Iniciais

Os parâmetros iniciais, abaixo relacionados, foram determinados por meio de: visitas à área onde será instalado o sistema de irrigação (características de solo e da água), revisão de literatura (características da cultura) e consulta a órgãos locais de monitoramento (características climáticas locais).

Cultura

- Profundidade efetiva do sistema radicular = 50 cm.
- Coeficiente da cultura (K_c) nas diferentes fases de desenvolvimento, sob alta umidade relativa do ar ($UR > 70\%$) e vento fraco (velocidade $< 5 \text{ m s}^{-1}$), segundo Doorenbos e Pruitt (1976) e Doorenbos e Kassan (1979): 0,40 (desde o plantio até 10% do desenvolvimento vegetativo); 0,70 (desde o final do estágio I até 80% do desenvolvimento vegetativo); 0,95 (desde o final do estágio II até o início da maturação) e 0,80 (desde o final do estágio III até a colheita).
- Espaçamento: 1 m (tubulações) x 0,5 m (plantas).

Topografia, Solo e Água

- Capacidade de campo e ponto de murcha permanente determinado em laboratório, por meio de amostras indeformadas de solo da área = 30% e 15%, respectivamente.
- Densidade do solo = $1,30 \text{ g cm}^{-3}$.
- Diâmetro do bulbo molhado = 0,70 m.
- Fonte de água = curso d'água com vazão de $250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.
- Presença de material orgânico e areia na água.
- Vazão outorgada = 9% da vazão total, o que corresponde a $22,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.
- Topografia totalmente plana (0%) no sentido do maior comprimento da área e declive de 0,4% no sentido do menor comprimento.
- Dimensões aproximadas de área útil = 200 m x 130 m.
- Altitude (em relação ao nível do mar) = 400 m.
- Altura geométrica de sucção = 3,5 m.
- Altura geométrica de recalque = 0.

Clima

- Temperatura média do ar: 24°C .
- Evapotranspiração de referência (ET_o): $4,8 \text{ mm dia}^{-1}$.

3. Disposição Inicial do Sistema

Na planta planialtimétrica foi realizada a distribuição do equipamento no campo, verificando-se todas as possibilidades de locação de tubulações, divisão de setores, etc., o que possibilita um melhor dimensionamento do sistema. Optou-se por dividir a área em seis setores (I, II, III, IV, V e VI) independentes para facilitar o dimensionamento e o posterior manejo do sistema. Cada setor terá uma tubulação de derivação, uma válvula hidráulica e 60 tubulações laterais.

Vale a pena lembrar que a mesma área pode ter uma gama de variações de distribuição dos equipamentos no campo, cabendo a cada projetista escolher a mais conveniente, sem que isso comprometa o funcionamento racional e econômico do sistema. A Figura 11.2 apresenta a escolha da distribuição do equipamento para esse projeto.

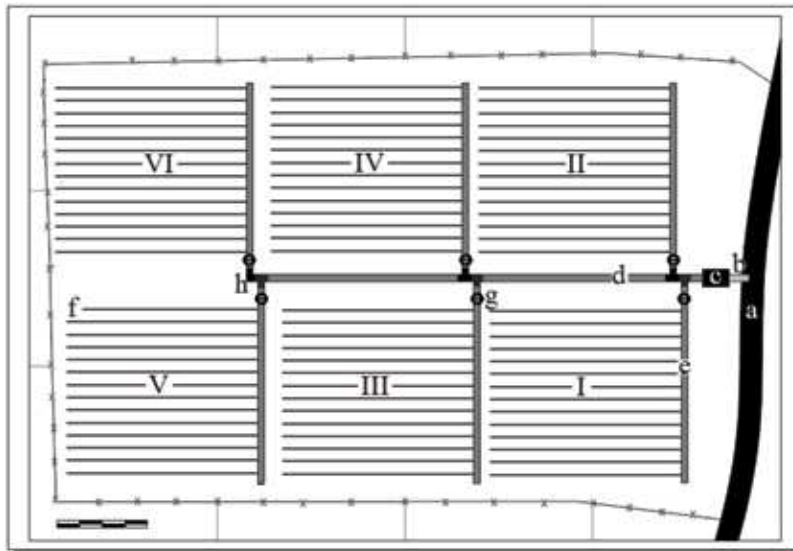


Figura 11.2 - Distribuição do equipamento no campo.

Itens da Figura 11.2:

a) Curso d'água

- b) Tubulação de sucção
- c) Cabeçal de controle
- d) Tubulação principal (recalque)
- e) Tubulação de derivação
- f) Mangueiras gotejadoras
- g) Válvula hidráulica
- h) Conexões

Cada setor (Figura 11.3) apresenta as seguintes dimensões: 72 m x 60 m, totalizando 0,432 ha cada. O espaçamento entre tubulações laterais será de 1 m (uma para cada tubulação da cultura), totalizando 60 tubulações, de 72 metros de comprimento cada, instaladas em nível (0%). A tubulação de derivação de cada subárea terá 60 metros, e a tubulação principal e recalque terá 150 metros. Na entrada de cada subárea será instalada uma válvula hidráulica. A eficiência do sistema de irrigação determinada pelo CUC é de 98%.



Figura 11.3 - Esquema de um setor irrigado.

4. Descrição dos Equipamentos do Cabeçal de Controle

O esquema do cabeçal de controle e da tubulação de sucção está apresentado na Figura 11.4.

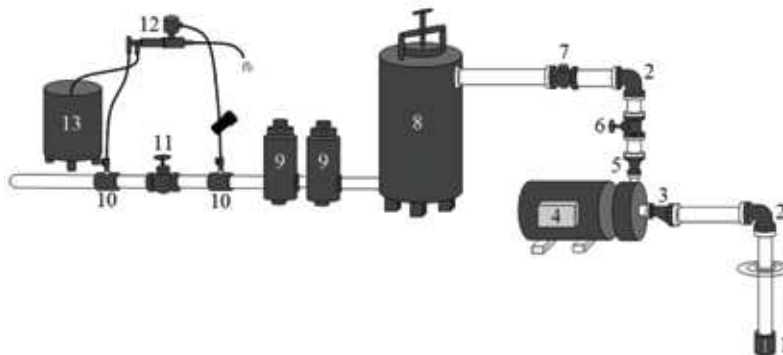


Figura 11.4 - Esquema do cabeçal de controle e da tubulação de sucção.

Compõem o esquema da Figura 12.4:

- 1) Válvula de pé com crivo
- 2) Cotovelo de 90°
- 3) Redução excêntrica
- 4) Motobomba
- 5) Redução concêntrica
- 6) Registro de gaveta
- 7) Válvula de retenção
- 8) Filtros de areia
- 9) Filtros de disco e de tela
- 10) Conexões
- 11) Registro
- 12) Injetor de fertilizante
- 13) Reservatório da solução fertilizante.

5. Escolha do Emissor

Serão utilizados emissores do tipo flat drip, que já vêm embutidos em mangueiras de polietileno de 16 mm (diâmetro interno), não sendo necessário realizar o dimensionamento de

seu diâmetro. Serão adotadas mangueiras gotejadoras (Figura 11.5) da marca Petroísa, modelo Manari®, com espaçamento entre emissores de 30 cm, vazão de 4,81 L h⁻¹ por metro, espessura de parede de 250 micra, diâmetro interno de 16 mm, vazão de cada emissor de 1,474 L h⁻¹ e pressão nominal de serviço de 10 m c. a. A equação da vazão do gotejador é fornecida pelo fabricante: $q = 0,46297 \cdot H^{0,503}$.

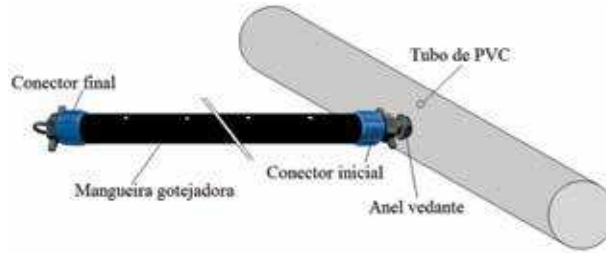


Figura 11.5 - Irrigação com mangueira (fita) gotejadora.

6. Dimensionamento das Tubulações Laterais

Em cada setor serão utilizadas 60 mangueiras gotejadoras de 72 m. Considerando-se que a área apresenta um total de seis setores, devem ser adquiridos cerca de 26.000 m de mangueira gotejadora.

As mangueiras são geralmente vendidas em bobinas de 1000 m, sendo necessário adquirir 26 bobinas. Serão necessários 360 conectores iniciais com rosca para unir as tubulações laterais com a tubulação de derivação (provavelmente de PVC), além de 360 anéis vedantes de borracha (Figura 11.6).



- Condições da tubulação lateral: comprimento = 72 m; diâmetro interno da tubulação = 16 mm; declive do terreno no sentido em que será instalada = 0%; espaçamento entre emissores = 0,30 m; pressão de serviço do emissor (PS) = 10 m c. a.; vazão do gotejador (q) = 1,474 L h⁻¹; espaçamento entre gotejadores = 0,30 m.

$$P_{in} = 10 + (0,75 \cdot 1,86) = 11,4 \text{ m c. a.}$$

7. Dimensionamento das Tubulações de Derivação

- Condições da tubulação de derivação: comprimento = 60 metros (devido ao tamanho da área, provavelmente a tubulação de derivação será de PVC; portanto devem-se utilizar múltiplos de 6 metros, que é o comprimento-padrão das barras).

- Topografia: tubulações de derivação instaladas em aclave nos setores pares (II, IV e VI) e em declive nos setores ímpares (I, III e V). Em ambos os casos o desnível é de 0,4%.

Número de mangueiras gotejadoras por setor = 60

$$Q_{TD} = 353,76 \cdot 60 = 21225,6 \text{ L h}^{-1} = 0,005896 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 5,896 \text{ L s}^{-1}$$

Cálculo para os setores II, IV e VI (tubulações instaladas em aclave):

$$\Delta z = \frac{(0,4 \cdot 60)}{100} = 0,24 \text{ m}$$

$$h_f = ((0,30 \cdot 10) - 1,86) - 0,24 = 0,90 \text{ m (perda de carga permissível)}$$

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$J = \frac{0,90}{(60 \cdot 0,3593)} = 0,04175 \text{ m m}^{-1}$$

$$D = \left(\frac{1}{0,04175} \cdot 789000 \cdot 5,896^{1,75} \right)^{0,2105} = 65,39 = 63 \text{ mm (fica entre 50 e 75 mm)}$$

$$L2 = \left[\frac{\left(\left(\frac{75}{65,39} \right)^{4,75} - 1 \right)}{\left(\left(\frac{75}{50} \right)^{4,75} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2,75}} \cdot 60 = 30,6 \text{ m (50 mm)}$$

$$L1 = 60 - 30,6 = 29,4 \text{ m de 75 mm.}$$

$$L2 = \frac{30,6}{6} = 5,1 = 5 \text{ barras de 50 mm} \rightarrow 30 \text{ metros}$$

$$L1 = \frac{29,4}{6} = 4,9 = 5 \text{ barras de 75 mm} \rightarrow 30 \text{ metros}$$

Tubulação de derivação = 5 barras de 50 mm + 5 barras de 75 mm

Cálculo para os setores I, III e V (tubulações instaladas em declive):

$$hf = ((0,30 \cdot 10) - 1,86) + 0,24 = 1,38 \text{ m (perda de carga permissível)}$$

$$\Delta z = \frac{(0,4 \cdot 60)}{100} = 0,24 \text{ m}$$

$$F = \frac{1}{(1,75 + 1)} + \frac{1}{(2 \cdot 60)} + \frac{\sqrt{(1,75 - 1)}}{6 \cdot 60^2} = 0,3593$$

$$J = \frac{1,38}{(60 \cdot 0,3593)} = 0,06401 \text{ mm}^{-1}$$

$$D = \left(\frac{1}{0,06401} \cdot 789000 \cdot 5,896^{1,75} \right)^{0,2105} = 59,8 = 63 \text{ mm (fica entre 50 e 75 mm)}$$

$$L2 = \left[\frac{\left(\left(\frac{75}{59,8} \right)^{4,75} - 1 \right)}{\left(\left(\frac{75}{50} \right)^{4,75} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2,75}} \cdot 60 = 40,1 \text{ m (50 mm)}$$

$$L1 = 60 - 40,1 = 19,9 \text{ m de 75 mm.}$$

$$L2 = \frac{40,1}{6} = 6,7 = 7 \text{ barras de } 50 \text{ mm} \rightarrow 42 \text{ metros}$$

$$L1 = \frac{19,9}{6} = 3,3 = 3 \text{ barras de } 75 \text{ mm} \rightarrow 18 \text{ metros}$$

8. Dimensionamento da Tubulação Principal e de Recalque

Como a vazão outorgada para esse projeto (baseada em estudos prévios) é de 9% da vazão total do curso d'água, correspondendo a $22,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, optou-se por dividir a área em seis setores independentes.

Conforme calculado anteriormente, cada setor necessitará de $21225,6 \text{ L h}^{-1}$ ($21,23 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), o que atende a vazão disponível se for irrigado um setor por vez. Então, a vazão transportada pela tubulação principal atenderá apenas um setor e não a todos simultaneamente, sendo o controle do fluxo de água efetuado através de válvulas hidráulicas instaladas na entrada de cada setor.

Então, a vazão da linha principal e de recalque será: $21225,6 \text{ L h}^{-1}$.

Adotando-se a velocidade da água na tubulação de $1,5 \text{ m s}^{-1}$, calcula-se seu diâmetro:

$$D = \sqrt{1,2732 \cdot \left(\frac{0,005896}{1,5} \right)} = 0,071 \text{ m} = 75 \text{ mm}$$

Corrigindo-se a velocidade da água dentro da tubulação:

$$V = \frac{(4 \cdot 0,005896)}{(\pi \cdot 0,075^2)} = 1,34 \text{ m s}^{-1}$$

Será necessário para a tubulação principal e de recalque, que juntas têm 156 m de extensão, um total de 26 barras de 75 mm . Será utilizado o aço galvanizado.

9. Dimensionamento da Tubulação de Sucção

Normalmente, adota-se para a tubulação de sucção um diâmetro comercial acima do calculado para a tubulação de recalque. Portanto, nesse projeto, o diâmetro da tubulação de sucção será de 100 mm . Verificando-se a velocidade da água dentro da tubulação:

$$V = \frac{(4 \cdot 0,005896)}{(\pi \cdot 0,100^2)} = 0,75 \text{ m s}^{-1}$$

Como a distância horizontal e vertical da motobomba até o nível da água é de 6 m, será utilizada uma barra de 100 mm de aço galvanizado.

10. Escolha do Sistema de Filtragem

- Acrescentar 10 % na vazão que irá passar pelo filtro de areia:
 $Q = 21225,6 \text{ L h}^{-1} \cdot 1,1 = 23348,16 \text{ L h}^{-1} \text{ } 23,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- Determinar a área da superfície filtrante, dividindo a vazão por 60 m h⁻¹:

$$S \geq \frac{23,3}{60} = 0,4 \text{ m}^2$$

- Calcular o diâmetro do filtro, considerando que a espessura da camada de areia deve ser de, no mínimo, 50 cm:

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4}{\pi}} = 0,71 \text{ m}$$

Escolher, no catálogo de um fabricante, um modelo compatível. No caso, será utilizado apenas um filtro de areia (retrolavagem manual) da Marbella do Brasil (Figura 11.7).



Modelo	Entrada/saída diâmetro		Corpo diâmetro		Vazão máxima recomendada	
	pol.	mm	pol.	mm	m³/h	U.S. gpm
500	1	25	12	360	6	26
510	1½-2	40/50	16	400	11	48
520	2	50	20	500	18	80
530	2	50	24	600	24	106
540	2	50	30	760	30	133
550	3	80	36	900	40	177
560	4	100	42	1060	60	272
570	4	100	48	1200	80	355
580	6	150	51	1300	90	400
590	6	150	60	1500	120	533

Figura 11.7 – Catálogo de modelos de filtros de areia da Marbella do Brasil.

O modelo que atende as especificações é o 540, conforme pode ser observado na Figura 11.7.

No caso do filtro de tela, é recomendada a utilização modelo com número de mesh igual a 120. Aqui, será utilizado um filtro de tela de aço do mesmo fabricante e que atende a vazão do projeto, vide catálogo (Figura 11.8)



Modelo	entrada / saída Diâmetro		Vazão máxima recomendada	
	pol.	mm	m ³ /h	U.S. gpm
300	1	25	7	31
310	1½	40	15	65
320	2	50	30	130
330	3	80	40	180
340	4	100	80	350
350	6	150	180	800
360	8	200	300	1320

Figura 11.8 – Catálogo de modelos de filtros de tela da Marbella do Brasil.

O modelo que atende as especificações é o 320 (solicitando-se o número de mesh 120).

11. Escolha do Sistema de Injeção de Fertilizantes

A escolha do injetor fica a critério do projetista, e depende de diversos fatores, como custo, manejo da irrigação, disponibilidade de energia, etc. Nesse projeto optou-se pelo injetor de fertilizantes acionamento hidráulico e, segundo o fabricante, não gera perda de carga no sistema.

12. Dimensionamento do Conjunto Motobomba

Nesse dimensionamento, a situação mais desfavorável é a o do setor VI, que está mais distante do conjunto motobomba, juntamente com o setor V, porém com a tubulação de derivação instalada em active.

A determinação da altura manométrica da instalação deverá ser realizada para atender a condição mais crítica, que é a do setor VI. As informações disponíveis são:

- Tubulação de sucção (aço galvanizado): comprimento = 6 m; diâmetro = 100 mm; coeficiente C (Hazen-Willians) = 125; altura geométrica de sucção = 2,5 m; composta por válvula de pé com crivo, cotovelo de 90° e redução excêntrica.
- Cabeçal de controle composto por filtro de areia, filtros de tela e injetor de fertilizante.
- Tubulação principal e de recalque (aço galvanizado): comprimento = 156 m; diâmetro = 75 mm; coeficiente C (Hazen-Willians) = 125; altura geométrica de recalque = 0 m (nível); composta por redução concêntrica, válvula de retenção, registro de gaveta e um cotovelo de 90°.
- Tubulação de derivação (PVC): comprimento = 60 m; diâmetro = 30 m de 75 mm e 30 m de 50 mm; coeficiente C (Hazen-Willians) = 140; desnível = 0,4%; composta por derivação de 75 mm; válvula hidráulica e redução concêntrica de 75 para 50 mm.
- Pressão no início da tubulação lateral = 11,4 m c.a..

Altura Manométrica de Sucção (Diâmetro da Tubulação = 0,100 m)

Perdas de carga acidentais:

Uma válvula de pé com crivo = $1 \cdot 0,100 \cdot 250 = 25,0$ m

Comprimento da tubulação = 6 m

Um cotovelo de 90° = $1 \cdot 0,100 \cdot 45 = 4,5$ m

Uma redução excêntrica = $1 \cdot 0,100 \cdot 6 = 0,6$ m

$Le_{\text{sucção}} = 25 + 6 + 4,5 + 0,6 = 36,1$ m

Perdas de carga contínuas:

$V = 0,75$ m s⁻¹

$$J = \left(\frac{0,75}{0,355 \cdot 125 \cdot 0,100^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,007671 \text{ mm}^{-1}$$

Perda de carga de sucção:

$$hf_{\text{sucção}} = J \cdot Le_{\text{sucção}} = 0,007671 \cdot 36,1 = 0,277 \text{ m}$$

Altura manométrica de sucção:

$$H_{TS} = H_S + h_{f \text{ sucção}} = 2,5 + 0,277 = 2,78 \text{ m}$$

Cabeçal de Controle

Perda de carga no sistema de filtragem, levando em consideração que eles estejam trabalhando no limite antes do procedimento de limpeza:

- Filtro de areia = 5 m c .a.
- Filtro de disco = 3 m c .a.

Perda de carga no sistema de injeção de fertilizantes:

- Injetor de fertilizantes = não gera perda de carga.

Perda total = 7 m c .a.

Altura Manométrica da Tubulação de Recalque e Principal (Diâmetro da Tubulação = 0,075 m)

Perdas de carga acidentais:

$$\text{Uma redução concêntrica} = 1 \cdot 0,075 \cdot 6 = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Uma válvula de retenção} = 1 \cdot 0,075 \cdot 100 = 7,5 \text{ m}$$

$$\text{Um registro de gaveta} = 1 \cdot 0,075 \cdot 8 = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Dois cotovelos de } 90^\circ = 2 \cdot 0,075 \cdot 45 = 6,75 \text{ m}$$

$$\text{Cinco têes de } 90^\circ \text{ de saída de lado} = 5 \cdot 0,075 \cdot 50 = 18,75 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento da tubulação} = 156 \text{ m}$$

$$Le_{\text{recalque}} = 0,45 + 7,5 + 0,6 + 6,75 + 18,75 + 156 = 190,1 \text{ m}$$

Perdas de carga contínuas:

$$V = 0,75 \text{ m s}^{-1}$$

$$J = \left(\frac{0,75}{0,355 \cdot 140 \cdot 0,075^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,0087 \text{ mm}^{-1}$$

Perda de carga de recalque:

$$h_{f \text{ recalque}} = J \cdot Le_{\text{recalque}} = 0,0087 \cdot 190,1 = 1,654 \text{ m}$$

Altura manométrica de recalque:

$$HTR = HR + hf_{\text{recalque}} = 0 + 1,654 = 1,654 \text{ m}$$

Altura Manométrica da Tubulação de Derivação
(Diâmetros da Tubulação = 0,075 m e 0,050 m) - Condição Mais Crítica = Setor VI

Perdas de carga acidentais:

$$\text{Um registro de gaveta} = 1 \cdot 0,075 \cdot 8 = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Uma redução concêntrica} = 1 \cdot 0,075 \cdot 6 = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento da tubulação de 75 mm} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento da tubulação de 50 mm} = 30 \text{ m}$$

$$Le_{\text{recalque}} = 0,6 + 0,45 + 30 + 30 = 61,05 \text{ m}$$

Perdas de carga contínuas:

Trecho de 75 mm (considerando que ele transporta a vazão total).

$$V = \frac{(4 \cdot 0,005896)}{(\pi \cdot 0,075^2)} = 1,34 \text{ m s}^{-1}$$

$$J = \left(\frac{1,34}{0,355 \cdot 140 \cdot 0,075^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,02549 \text{ mm}^{-1}$$

Trecho de 50 mm (considerando que ele transporta apenas metade da vazão).

$$V = \frac{\left(4 \cdot \left(\frac{0,005896}{2} \right) \right)}{(\pi \cdot 0,050^2)} = 1,50 \text{ m s}^{-1}$$

$$J = \left(\frac{1,50}{0,355 \cdot 140 \cdot 0,050^{0,63}} \right)^{1,852} = 0,05040 \text{ mm}^{-1}$$

Como os trechos estão exatamente em 50% da tubulação cada um:

$$J_{\text{médio}} = (0,02549 \cdot 0,50) + (0,05040 \cdot 0,50) = 0,037945 \text{ m m}^{-1}$$

Perda de carga de recalque:

$$hf_{\text{recalque}} = J \cdot Le_{\text{recalque}} = 0,037945 \cdot 61,05 = 2,32 \text{ m}$$

Altura geométrica da tubulação:

$$HR = (0,4 \cdot 60) / 100 = 0,24 \text{ m}$$

Altura manométrica de recalque:

$$HTR = HR + hf_{\text{recalque}} = 0,24 + 2,32 = 2,56 \text{ m}$$

Pressão no Início da Tubulação Lateral

$$Pin = 11,4 \text{ m c .a.}$$

Altura Manométrica da Instalação (HM)

$$HM = 11,4 + (2,32 + 0,24) + (1,654 + 0) + (0,277 + 2,5) + 7 = 25,4 \text{ m c .a.}$$

- Escolha da motobomba de acordo com o catálogo de um fabricante.

De posse dos valores de altura manométrica da instalação (25,4 m) e de vazão do sistema de irrigação (21,23 m³ h⁻¹), procede-se à escolha da motobomba no catálogo do fabricante, da mesma maneira como foi apresentada no capítulo 10.

Para esse projeto, o modelo mais adequado é o MSA-21 R 1 ¼. Suas curvas são apresentadas a seguir.

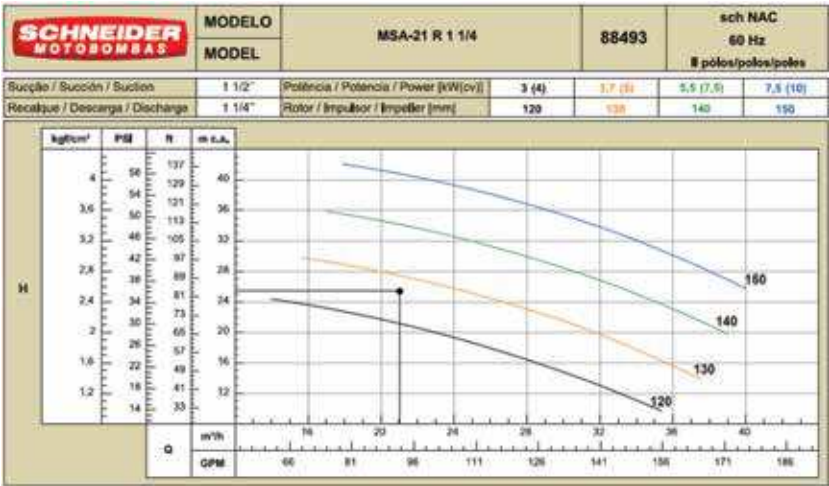


Figura 11.9 - Detalhe da tabela de características hidráulicas do modelo MSA-21 do catálogo “Tabela para seleção de bombas e motobombas”, da Schneider ® Motobombas 2010.

A bomba escolhida é a modelo MSA-21 R 1 ¼, com conexões rosqueadas (R), diâmetro do rotor de 130 mm (mais próximo e acima do ponto encontrado, denominado ponto de

projeto), diâmetro de sucção e de recalque de 1 ½” e 1 ¼”, respectivamente, potência de 5 CV e rotação de 3450 rpm.

13. Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação será realizado por meio da evaporação medida no tanque evapômetro “Classe A”.

Evapotranspiração da cultura (ETc) de acordo com seu estágio de desenvolvimento:

$$\text{Fase inicial (Kc} = 0,40) \rightarrow \text{ETc} = 4,8 \cdot 0,40 = 1,92 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase vegetativa (Kc} = 0,70) \rightarrow \text{ETc} = 4,8 \cdot 0,70 = 3,36 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase reprodutiva (Kc} = 0,95) \rightarrow \text{ETc} = 4,8 \cdot 0,95 = 4,56 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase de maturação (Kc} = 0,80) \rightarrow \text{ETc} = 4,8 \cdot 0,80 = 3,84 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$A_{me} = \frac{\pi \cdot 0,70^2}{4} = 0,385 \text{ m}^2$$

$$Sop = 0,50 \cdot 1 = 0,5 \text{ m}^2$$

$$N_{cp} = \frac{0,50}{0,30} = 1,7$$

$$P = \frac{100 \cdot 1,7 \cdot 0,385}{0,5} = 131\% \rightarrow \text{Adota-se neste caso } P = 100\%$$

$$K_a = \left(\frac{100}{100} \right) + 0,15 \cdot \left(1 - \left(\frac{100}{100} \right) \right) = 1$$

Evapotranspiração para irrigação localizada (ETLOC) para cada fase da cultura:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow \text{ETLOC} = 1,92 \cdot 1 = 1,92 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase vegetativa} \rightarrow \text{ETLOC} = 3,36 \cdot 1 = 3,36 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase reprodutiva} \rightarrow \text{ETLOC} = 4,56 \cdot 1 = 4,56 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$\text{Fase de maturação} \rightarrow \text{ETLOC} = 3,84 \cdot 1 = 3,84 \text{ mm dia}^{-1}$$

Fração de água que pode ser extraída do solo:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow F = 0,50 + 0,04 \cdot (5 - 1,92) = 0,62$$

Lâmina de água a ser aplicada na primeira irrigação:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow LL = 0,1 \cdot (30 - 15) \cdot 1,3 \cdot 50 \cdot 0,62 \cdot \left(\frac{100}{100} \right) = 60,45 \text{ mm}$$

Deve-se considerar a eficiência de aplicação de água (Ef) do sistema de irrigação para determinar a lâmina bruta de água, que nesse caso é de 95%:

$$\text{Fase inicial} \rightarrow \text{LB} = \frac{60,45}{0,95} = 63,33 \text{ mm}$$

Fixando-se um turno de rega diário, deve-se refazer o cálculo e verificar a nova lâmina a ser aplicada em cada irrigação

$$\text{Fase inicial} \rightarrow \text{LB} = \frac{1,92}{0,95} = 2,02 \text{ mm}$$

$$\text{Fase vegetativa} \rightarrow \text{LB} = \frac{3,36}{0,95} = 3,54 \text{ mm}$$

$$\text{Fase reprodutiva} \rightarrow \text{LB} = \frac{4,56}{0,95} = 4,80 \text{ mm}$$

$$\text{Fase de maturação} \rightarrow \text{LB} = \frac{3,84}{0,95} = 4,04 \text{ mm}$$

Duração da irrigação em cada fase da cultura:

$$\text{Fase inicial: } T_{\text{irrig}} = \frac{2,02 \cdot 0,30 \cdot 1}{1,474} = 0,41 \text{ h} = 25 \text{ min}$$

$$\text{Fase vegetativa: } T_{\text{irrig}} = \frac{3,54 \cdot 0,30 \cdot 1}{1,474} = 0,72 \text{ h} = 45 \text{ min}$$

$$\text{Fase reprodutiva: } T_{\text{irrig}} = \frac{4,80 \cdot 0,30 \cdot 1}{1,474} = 0,98 \text{ h} \cong 60 \text{ min}$$

$$\text{Fase de maturação: } T_{\text{irrig}} = \frac{4,04 \cdot 0,30 \cdot 1}{1,474} = 0,82 \text{ h} = 50 \text{ min}$$



CAPÍTULO 12

OUTORGA DA ÁGUA

1. Introdução

Ao dimensionar um sistema de irrigação, ou realizar qualquer tipo de obra hidráulica, antes mesmo de qualquer levantamento de dados de campo e da realização dos cálculos, é necessário fazer a solicitação da outorga do direito do uso da água que se pretende captar. Essa solicitação é dirigida à Agência Nacional de Água, ANA, quando da utilização de águas de domínio da União, ou aos órgãos gestores dos Estados e do Distrito Federal quando as águas forem de domínio destes.

Não se pode captar nem alterar a qualidade de águas superficiais e subterrâneas sem prévia autorização do poder público. Várias Unidades da Federação já apresentam regulamentação e fiscalização sobre o uso da água em seus territórios.

2. Outorga

A outorga é uma espécie de autorização que o poder público concede ao irrigante ou a qualquer outro requerente que pretenda captar água de um determinado curso ou fonte, seja ela superficial ou subterrânea. Com a outorga, União, Estados ou Distrito Federal controlam e regulamentam o uso da água em território brasileiro.

Segundo a definição do site da ANA (www.ana.gov.br), “a outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”.

A ANA emite a outorga na forma de resolução, com as identificações do outorgado e as leis que regem essa autorização, além das características técnicas envolvidas no projeto. Abaixo, um exemplo de outorga concedida (nota do autor: todos os nomes, datas, coordenadas, vazões

e outras numerações aqui apresentados como exemplo são fictícios, simulando apenas uma situação muito próxima da realidade).



RESOLUÇÃO No 00, de 09 de novembro de 2009.

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 21, inciso III, da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000, e tendo em vista o que consta no Processo no 00000.000000/2009-00, resolve:

Art.1º Tornar público que a Diretoria Colegiada da ANA, com fundamento no art.12, inciso V, da Lei no 9.984, de 2000, decidiu, em sua 00ª Reunião Ordinária, realizada em 09 de outubro de 2009, outorgar a José Outorgado da Silva, CPF 000.000.000-00, o direito de captar água do rio Exemplo, com a finalidade de irrigação de cultivo de acerola, numa área de 2,60 ha (dois hectares e sessenta ares) no Sítio Douradina, Município de Dourados, Estado de Mato Grosso do Sul, da seguinte forma:

I - Coordenadas geográficas do ponto de captação: 00º00'00" latitude Sul e 00º00'00" longitude Oeste;

II - Vazão máxima de captação: 50,00 m³/h (13,89 l/s) com volume captado variando conforme tabela abaixo:

Mês	Volumes máximos captados	
	m³ / dia	m³ / mês
Janeiro	200,00	5.200,00
Fevereiro	180,00	4.680,00
Março	150,00	3.900,00
Abril	150,00	3.900,00
Maio	50,00	1.300,00
Junho	50,00	1.300,00
Julho	50,00	1.300,00
Agosto	150,00	3.900,00
Setembro	180,00	4.680,00
Outubro	200,00	5.200,00

Novembro	200,00	5.200,00
Dezembro	200,00	5.200,00

§ 1º O outorgado deverá implantar e manter em funcionamento equipamentos de medição para monitoramento contínuo da vazão captada, conforme modelo cadastrado pela ANA ou homologado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO).

§ 2º A tomada d'água e as estruturas de derivação deverão ser dimensionadas de modo a levar em conta as flutuações de nível d'água do rio Exemplo entre as cotas 100,00 m – Nível Máximo Operativo e 200,00 m – Nível Mínimo Operativo, podendo essas cotas serem ou superiores inferiores quando da ocorrência de eventos hidrológicos críticos na bacia do rio Exemplo.

Art. 2º A outorga, objeto desta Resolução, vigorará pelo prazo de 3 (três) anos, podendo ser suspensão parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, além de outras situações previstas na legislação pertinente, nos seguintes casos:

- I – descumprimento das condições estabelecidas no art. 1º;
- II – conflito com normas posteriores sobre prioridade de usos de recursos hídricos;
- III – para atender ao disposto nos artigos 15, 49 e 50 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997;
- IV – caso seja indeferida ou cassada a licença ambiental, se for o caso desta exigência.

Parágrafo único. Para minimizar os efeitos de secas, dependendo em particular, do estoque de água no rio Exemplo, o uso outorgado poderá ser racionado, conforme previsto no art. 4º, inciso X e § 2º, da Lei no 9.984, de 2000.

Art. 3º Esta outorga poderá ser revista, além de outras situações previstas na legislação pertinente:

- I – quando os estudos de planejamento regional de utilização dos recursos hídricos indicarem a necessidade de revisão das outorgas emitidas;
- II – quando for necessária a adequação aos planos de recursos hídricos e a execução de ações para garantir a prioridade de uso dos recursos hídricos prevista no art. 13 da Lei no 9.433, de 1997.

Art. 4º O outorgado responderá civil, penal e administrativamente, por danos causados à vida, à saúde, ao meio ambiente e pelo uso inadequado que vier a fazer da presente outorga.

Art. 5º Esta Resolução não dispensa nem substitui a obtenção pelo outorgado de certidões, alvarás ou licenças de qualquer natureza, exigidas pela legislação federal, estadual ou municipal.

Art. 6º Esta outorga poderá ser renovada mediante apresentação de requerimento à autoridade outorgante com antecedência mínima de 90 (noventa) dias do término de sua validade.

Art. 7º O uso dos recursos hídricos, objeto desta outorga, está sujeito à cobrança nos termos dos arts.

19 a 21 da Lei no 9.433, de 1997, do art. 4o, inciso VIII, da Lei no 9.984, de 2000, e do art. 2o, inciso IX, do Decreto no 3.692, de 19 de dezembro de 2000, e regulamentação posterior.

Art. 8º O outorgado sujeita-se à fiscalização da ANA, através de seus agentes ou prepostos indicados, devendo franquear-lhes o acesso ao empreendimento e à sua documentação.

Art. 9º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NOME DO DIRETOR-PRESIDENTE

No Diário Oficial da União é publicada uma espécie de resumo dessa resolução, em que são informados a finalidade, o local, a fonte de água utilizada, o tempo de duração, o nome do outorgado e o número da outorga, conforme o exemplo fictício abaixo (Figura 12.1).



Figura 12.1 – Exemplo fictício de resolução publicada no Diário Oficial da União.

3. Domínio das Águas

Como já foi dito, as águas podem ser de domínio dos Estados, do Distrito Federal ou da União, ficando assim estabelecido pela Constituição de 1998. Quando a fonte de água estiver dentro apenas dos limites territoriais dos Estados ou do Distrito Federal, sendo de origem superficial ou subterrânea, cabe-lhes regulamentar sua utilização. Quando o curso ou fonte de

água banhar mais de um Estado ou outros países, ou se encontre em reservatórios construídos pela União, ela será enquadrada como água de domínio na União.

4. Como Solicitar

Para solicitar a outorga para os Estados e para o Distrito Federal deve-se entrar em contato com as secretarias responsáveis, sendo necessário preencher uma série de formulários e anexar alguns documentos.

Vamos usar como exemplo o Estado do Mato Grosso, onde a Secretaria do Meio Ambiente (www.sema.mt.gov.br) é a responsável pela emissão de outorga. Abaixo, apresenta-se um modelo do roteiro para a solicitação de outorga dos direitos da água:

Para solicitar a outorga para a União, com a finalidade de irrigação, deve-se entrar em contato com a Agência Nacional de Águas e preencher os seguintes formulários:

Formulário de Requerimento: nele deve ser informado o nome ou razão social do requerente, nome do corpo hídrico, município(s) do empreendimento, situação do empreendimento, categoria (outorga), uso (captação de água) e finalidade (irrigação).

Formulário de Dados Cadastrais: nele devem estar todos os dados do requerente e do empreendimento com toda a documentação anexa.



GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SEMA

ANEXO II ROTEIRO DE SOLICITAÇÃO

Número Roteiro: SRH 0009-3

Nome Roteiro: Outorga de Direito de Uso da Água / Captação direta superficial e diluição de efluentes.

Objetivo: Expedir ato administrativo que faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, com termos e condições expressas no respectivo ato.

1. Documentos Administrativos

1.1. Obrigatórios

1.1.1. Requerimento padrão modelo SEMA;

1.1.2. Caracterização do Empreendimento;

1.1.3. Cópia da guia de recolhimento da SEMA devidamente quitada;

1.1.4. Cópia da ART (CREA) ou comprovação do registro no Conselho de Classe do responsável técnico pelo projeto;

1.2. Condicionados

1.2.1. Caso o requerente seja representado por terceiros – Procuração do requerente para o representante com firma reconhecida;

1.2.2. Caso seja em Área Urbana – Cópia da Declaração da prefeitura, manifestando que o empreendimento está de acordo com as leis de uso e ocupação do solo do município, autenticada;

1.2.3. Caso o requerente seja Pessoa Jurídica – Cópia do CNPJ, I.E., cópia de documento do representante legal (RG e CPF), contrato social ou certidão simplificada emitida pela junta comercial, no caso de empresas por cotas limitadas (LTDA), ou cópia da Ata da última Assembléia onde se definiu a Diretoria, no caso das sociedades anônimas (S/A), autenticadas;

1.2.4. Caso o requerente seja Pessoa Física – Cópia do RG e CPF autenticadas.

1.2.5 Caso o requerente não seja o proprietário da terra às margens da captação/lançamento (diluição), apresentar documento registrado em cartório de anuência do proprietário.

2. Documentos Técnicos

2.1. Obrigatórios

2.1.1. Formulário I - Requerimento da Outorga de Direito de Uso da Água;

2.1.2. Formulários (II a XII) indicados no formulário de requerimento, de acordo com a modalidade e finalidade do empreendimento;

2.1.3. Documentação e informação específica indicada nos Formulários de cada finalidade de uso da água;

2.1.4. Ensaio fotográfico do local de captação/lançamento (diluição), à jusante e montante do mesmo;

2.1.5. Croqui detalhado de acesso à propriedade;

2.1.6. Especificações técnicas de dispositivos de medição e registro de vazões;

2.1.7. Plantas, seções e perfis da obra de captação/lançamento.

2.2. Condicionados

2.2.1. Caso seja próxima de Áreas Indígenas ou de área de Interesse da FUNAI (Fundação Nacional do Índio) – Autorização da FUNAI;

2.2.2. Caso o manancial seja navegável – Parecer Técnico da Marinha;

2.2.3. Caso esteja próximo de Unidade de Conservação Federal ou área de interesse do IBAMA – Autorização do IBAMA;

2.2.4. Caso esteja próximo de Unidade de Conservação Municipal ou área de interesse do Município – Autorização da Prefeitura Municipal.

Formulário de Irrigação: devem constar os dados técnicos do empreendimento, localização do ponto de captação, identificação do corpo hídrico de captação, operação da captação e dados do responsável técnico pelas informações do pedido. Deve ser anexada a planilha para determinação das demandas para a irrigação.

A outorga não é vitalícia, possui tempo determinado de validade e deve ser renovada periodicamente.

5. Penalidades

As penalidades previstas para quem captar água sem outorga:

Advertência por escrito, na qual são estabelecidos prazos para correção das irregularidades.

Multa, simples ou diária, proporcional à gravidade da infração. Em caso de reincidência, a multa é aplicada em dobro.

Embargo provisório, por prazo determinado, para execução de serviços e obras necessárias ao efetivo cumprimento das condições de outorga ou para o cumprimento de normas referentes ao uso, controle, conservação e proteção dos recursos hídricos.

Embargo definitivo, com revogação da outorga.

6. Principais Leis

As principais leis que regem o uso da água no território brasileiro são:

Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997: institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000: dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

Bibliografia

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage paper**. Rome: FAO, 56, 300 p.,1998.

AMANCO BRASIL S.A. **Soluções amanco**: linha irrigação [catálogo]. 121 p.

ANDRADE, L. Cloração: para cada caso, temos que encontrar a solução mais adequada. **Informativo em gotas**. Avaré, p. 20-21, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Emissores para sistemas de irrigação localizada**: avaliação de características operacionais – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 6 p.

AZEVEDO NETO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher.

BATAGLIA, O. C.; et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico. 48 p. 1983. (Boletim Técnico 78).

BENAMI, A.; OFEN, A. **Irrigation engineering**. Haifa: International, Irrigation Information Center, 1984. 257 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2006.

_____. _____. 5. ed. Viçosa: UFV, 1982.

BETTINI, M. O. Equipamentos para irrigação localizada. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999, p.171-205.

_____. Irrigação localizada e automação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999, p.171-205.

BISCARO, G. A. **Meteorologia agrícola básica**. Cassilândia: Unigraf, 2007. 86p.

_____. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados/MS: UFGD, 2009. 134p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções, leis, etc.** 1984/86. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente, 1998. 98 p.

CAMPOS, C. M. M. A qualidade da água para fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. et al. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. v. 2. Guaíba: Agropecuária, 2001, p.105-143.

COSTA, E. F.; VIEIRA, R.; VIANA, P.A. (Eds.). **Quimigação**: prática de aplicação de produtos agroquímicos ou biológicos através da água de irrigação. Brasília: Embrapa, 1994. 304p.

DENÍCULI, W. **Bombas hidráulicas**. Viçosa: UFV, 1998. (Cadernos Didáticos)

DOMINGUES, A. F. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília: ANA, 2005, p.7.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24)

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Tradução de Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FAO. **Riego localizado**. Roma: 1986. 203 p. (Publicación, 36)

FARIA, M. A. **Irrigação por gotejamento e microaspersão**. Lavras: UFLA, 2000. 145p.

_____.; VIEIRA, J. Irrigação por aspersão: sistemas mais utilizados no Brasil. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 27-39, 1986.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1. ed, v. 1, p. 115-152, 2006.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122p.

GILES, R. V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. McGraw-Hill, 1978.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. [S.1]: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

LIMA, L.; SILVA, E. Irrigação por gotejamento em café. **Irrigação e tecnologia moderna**. Brasília, n. 48, p.50-55, 2000.

LÓPEZ, J. R. et al. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

MAIA, C. E. et al. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 149-158, jan.-mar. 2010.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para fertirrigação por gotejamento II, Região do Baixo Assu, RN. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 1, n. 1, p. 12-26, jan.-mar. 1998.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop production**. Elsevier Science, 1986. 383p.

_____. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**. New York, v.12, p. 187-192, 1991.

OLITTA, A. F. L., **Os métodos de irrigação**. 1. ed. 6. reimp. São Paulo: Nobel, 1994, p. 13-35.

OLIVEIRA, A. S. et al. Irrigação e fertirrigação. In: LIMA, A. A. (Ed.). **Maracujá produção**: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, p. 49-56.

PAPADOPOULOS, I. Tendências da fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999, v. 1, p. 11-85.

PIZZARRO-CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)**: goteo, microaspersión, exudación. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. Sistemas irrigados e seus componentes. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Eds.). **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: Embrapa, 1994. p. 41-84.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 382-389, 2000.

ROLSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHULBACH, H. Management principles-fertilization. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crops production, developments in agricultural engineering**. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2001. 230 p.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.

SOUZA, J. S. et al. Aspectos socioeconômicos. In: LIMA, A. A. (Ed.) **Maracujá produção**: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, p. 10.

TEZTESLAF, R. Filtros de areia aplicados a irrigação localizada: teoria e prática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Localized irrigation**: design, installation, operation, evaluation. Rome: FAO, 1980. 203p. (Irrigation and Drainage, Paper, n. 36.)

VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C.; GIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 111-130.

VILLAS BÓAS, R. L. et al. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. v. 1. Guaíba: Agropecuária, 1999, p. 293-320.

_____. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. et al (Coord.). **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. v. 2. Guaíba: Agropecuária, 2001, v. 2, p. 105-111.

VON BERNUTH, R. D. Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. **Journal of Irrigation na Drainage Engineering**. New York, v. 116, n. 2, p. 294-298, 1990.

WHITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação**: projeto e prática. Tradução de Francisco da Costa Verdade. São Paulo: EPU; USP, 1977. 339 p.

Nomenclatura das Unidades

% = porcentagem
” = polegadas
°C = graus Celsius
atm = atmosferas
bar = bar
cm = centímetros
 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ = centímetro cúbico por centímetro cúbico
cv = cavalo vapor
 gr cm^{-3} = gramas por centímetro cúbico
gr = gramas
h = horas
 h dia^{-1} = horas por dia
 h volta^{-1} = horas por volta
ha = hectare
 kg cm^{-2} = quilos por centímetro quadrado
 km h^{-1} = quilômetros por hora
kPa = quilo Pascal
 L h^{-1} = litros por hora
 L min^{-1} = litros por minuto
 L s^{-1} = litros por segundo
 Lb Pol^{-2} = libras por polegada quadrada
Log = logaritmo
m = metros
 m dia^{-1} = metros por dia
 m hora^{-1} = metros por hora
 m m^{-1} = metros por metro
 m s^{-1} = metros por segundo
m c. a. = metros de coluna d'água
 m^2 = metros quadrados
 m^3 = metros cúbicos
 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ = metros cúbicos por hora
 $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ = metros cúbicos por minuto
 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ = metros cúbicos por segundo
min = minutos
mL = mililitros
mm = milímetros
 mm dia^{-1} = milímetros por dia
 mm h^{-1} = milímetros por hora
 mm volta^{-1} = milímetros por volta
MPa = mega Pascal

Créditos de Imagens Retiradas da Internet (entre janeiro de 2009 a agosto de 2011)

Figura 1.6 A = <http://www.duboisag.com>

Figura 1.6 B = <http://www.netafimusa.com>

Figura 1.8 = <http://www.hzsmachinery.com>

Figuras 4.7 = adaptado de <http://www.bomax.com.br>

Figura 4.10 = adaptado de <http://www.etatron.com.br>

Figura 4.12 A = <http://www.aquaspec.co.nz>

Figura 4.26 A, C, D, E, F, G, H, J, K, L e M = <http://www.fertiagrolab.com.br>

Figura 4.26 B, I e M = <http://www.ipni.net>

Figura 4.27 = <http://www.bobquim.mforos.com>

Figura 5.2 A = <http://www.estadao.com.br>

Figura 5.3 A = <http://www.phsource.us>

Figura 5.3 B = <http://www.wadsworth.org>

Figuras 5.4 e 5.6 A = <http://www.freedrinkwater.com>

Figura 5.6 B = <http://www.pumping.com.au>

Figura 9.16 = <http://www.schneider.ind.br>

Figura 10.1 = <http://www.rosta.ua/en/drip/orosheine.html>

Figura 10.5 = adaptado de <http://www.alibaba.com>

Agradecimentos Especiais

Aos parceiros Eng. Agr. Dr. Luiz Antônio de Andrade – Petroisa Irrigação, Eng. Agric. MSc. José Giacoia Neto – Rain Bird Brasil e Liliane Saab – Recolast Ambiental.

Aos acadêmicos dos cursos de graduação e pós graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola da FCA/UFGD, em especial nossos orientados do Grupo de Pesquisa em Irrigação da FCA/UFGD (GEIR).

A todos os servidores de campo da UFGD, em especial Sassá, Jesus e Zé Carlos.

Aos amigos docentes da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, em especial aos Professores Rodrigo Jordan, Anamari Motomiya, Rodrigo Kelson, Antonio Dias Robaina, João Dimas(*in memoriam*), Fabiana Caldara, Fernando Miranda, Leonardo Seno, Munir Mahuad, entre outros.

As nossas esposas, filhos e filhas, pais e irmãos que sempre apoiaram.

A Deus e a nossa senhora por permitir realizarmos esse trabalho.

Aos meus filhos, Mariana e Gabriel, minha esposa, Adriana, meus pais, Benedito e Arlete, e meus irmãos, Cássia (in memorian), Fabiana e Geraldo e a todos os meus familiares.

A Deus e a Nossa Senhora, por tudo, sempre.

- Guilherme A. Biscaro

À Deus, ao povo brasileiro e a minha família.

- Eder P. Gomes

Aos meus filhos, Guilherme e Laís, minha esposa, Lilian, minha mãe Roseli, e seu esposo Wellington “Tom”, meus avós Manoel e Odete (in memorian), meu sogro Jair e minha sogra Lili, e a todos os meus familiares.

A Deus, pelo maravilhoso dom da vida, pela força e presença sempre constante.

- Luciano O. Geisenhoff

Aos meus filhos, João Henrique, Carlos Eduardo e Ana Carolina, razão da minha existência.

- Raimundo L. Cruz

Ao meu marido, Túlio, meus pais, Alvina e José Eurípedes, e meus irmãos, Willyan e Junior.

- Alessandra C. Oliveira

Sobre os autores:

Guilherme Augusto Biscaro é Engenheiro Agrícola (1995) formado na Universidade Federal de Lavras, UFLA, em Lavras/MG. Mestre (1999) e Doutor (2003) em Agronomia, área de Concentração em Irrigação e Drenagem pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, UNESP, campus de Botucatu/SP. Foi Professor Adjunto (2004 a 2008) do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia, UUC. Atualmente é Professor Adjunto (desde 2008) dos cursos de graduação e dos programas de pós graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias, FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados/MS. E-mail: guilhermebiscaro@ufgd.edu.br

Eder Pereira Gomes é Engenheiro Agrícola (1998) formado na Universidade Federal de Lavras, UFLA, em Lavras/MG. Mestre (2001) em Agronomia, área de Concentração em Irrigação e Drenagem pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, UNESP, campus de Botucatu/SP e Doutor (2005) em Água e Solo pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, FEAGRI/UNICAMP. Foi Professor Adjunto (2005 a 2010) do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, UEM, Campus Avançado de Umuarama, CAU. Atualmente é Professor Adjunto (desde 2010) do curso de graduação e do programa de pós graduação de Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias, FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados/MS. E-mail: edergomes@ufgd.edu.br

Raimundo Leite Cruz é Engenheiro Agrônomo (1979) formado na Universidade de São Paulo, ESALq-USP, em Piracicaba/SP. Mestre (1985) em Energia Nuclear na Agricultura pela Universidade de São Paulo, USP, Doutor (1991) em Hidráulica e Saneamento pela Univer-

sidade de São Paulo, USP. Pós-doutor (1998) pelo Centre de Coopération en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD – França. Atualmente é Professor Adjunto (desde 1985) do curso de graduação e do programa de pós graduação de Agronomia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus de Botucatu. E-mail: cruz@fca.unesp.br

Luciano Oliveira Geisenhoff é Engenheiro Agrônomo (1998) formado na Universidade Federal de Lavras, UFLA, em Lavras/MG. Mestre (2008) em Engenharia Agrícola, área de Concentração em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras, UFLA, em Lavras/MG e Doutor (2010) em Engenharia Agrícola, área de Concentração em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras, UFLA, em Lavras/MG. Foi Professor Celetista (2009 a 2010) da Universidade Vale do Rio Verde, UNINCOR, em Três Corações/MG e Professor Celetista (2008 a 2011) do Centro Tecnológico de Lavras, CETEC em Lavras/MG. Atualmente é Professor Adjunto (desde 2011) do curso de graduação e do programa de pós graduação de Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias, FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados/MS. E-mail: lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br

Alessandra Conceição de Oliveira é Engenheira Agrônoma (2002) formada na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, em Cassilândia/MS. Mestre (2010) em Agronomia, área de Concentração em Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, em Botucatu/SP e Doutora (2014) em Agronomia, área de Concentração em Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, em Botucatu/SP. Atualmente é Professora Adjunta (desde 2014) do curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT, Nova Xavantina/MT. E-mail: acoliviera@hotmail.com

