

**Roberto Testezlaf  
Edson Eiji Matsura**

# **Engenharia de Irrigação: TUBOS E ACESSÓRIOS**



**FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
UNICAMP, 2015**



**Roberto Testezlaf  
Edson Eiji Matsura**

# **Engenharia de Irrigação: TUBOS E ACESSÓRIOS**



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Agrícola  
Campinas (SP), 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP  
Bibliotecária Rose Meire da Silva CRB-8/5974

Testezlaf, Roberto.

621.47            Engenharia de irrigação [recurso eletrônico] : tubos  
T288e            e acessórios / Roberto Testezlaf e Edson Eiji Matsura. --  
Campinas, SP : Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola,  
2015.

e-book: ([www.feagri.unicamp.br/irrigacao](http://www.feagri.unicamp.br/irrigacao))  
153p.

ISBN 978-85-99678-08-4 e-book

1. Engenharia de irrigação. 2. Irrigação agrícola. 3. Irrigação  
- Técnica. I. Matsura, Edson Eiji. II. Título.

### **Equipe Participante**

Coordenação do Projeto:  
Roberto Testezlaf  
Faculdade de Engenharia Agrícola  
Grupo de Pesquisa Tecnologia de Irrigação e Meio Ambiente  
[bob@feagri.unicamp.br](mailto:bob@feagri.unicamp.br)  
[www.feagri.unicamp.br/irrigacao](http://www.feagri.unicamp.br/irrigacao)

Revisão de Vernáculo  
Maria Angela Manzi da Silva

Projeto gráfico e Editoração eletrônica  
Intermídia Comunicação

Fotos da Capa  
João Alberto Antunes  
Gotejar/Irrigabrás  
Caçador, SC

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do Copyright © (Lei n. 9610/1998).  
"O conteúdo desta obra é de única e exclusiva responsabilidade dos autores."

Os autores agradecem ao apoio financeiro para publicação desta obra concedido pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI), através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado São Paulo (FAPESP).

# SUMÁRIO

---

<b>PREFÁCIO</b> .....	7
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
Objetivos .....	9
Organização do Documento .....	9
Terminologia e Definições .....	10
<b>DESCRIÇÃO GERAL</b> .....	13
Tubulações na Irrigação .....	13
Acessórios de Tubulações .....	16
Sistemas de Acoplamento .....	19
Considerações sobre o Capítulo .....	19
<b>TUBOS E MATERIAIS DE FABRICAÇÃO</b> .....	23
Histórico .....	23
Tubulações na Irrigação .....	24
Tubos de PVC (Cloro de polivinila) .....	28
Tubos de PE (Polietileno) .....	35
Tubos de Aço Zincado .....	42
Tubos de Alumínio .....	49
Tubos de Ferro Fundido .....	54
Tubos Especiais .....	58
Considerações sobre o Capítulo .....	60
<b>CONEXÕES: TIPOS E CARACTERÍSTICAS</b> .....	61
Conexões-Padrão .....	61
Conexões Especiais de Irrigação .....	68
Considerações sobre o Capítulo .....	73

<b>VÁLVULAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS</b> .....	75
Considerações Iniciais .....	75
Válvulas: Definição e Aspectos de Operação .....	76
Tipos de Válvulas .....	82
Considerações sobre o Capítulo .....	104
<b>SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO</b> .....	105
Considerações Iniciais .....	105
Critérios de Dimensionamento de Adutoras .....	105
Critérios de Dimensionamento para Linhas de Distribuição .....	117
Critérios de Dimensionamento de Tubulações de Controle .....	125
Considerações sobre o Capítulo .....	127
<b>INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO</b> .....	129
Instalação de Tubulações em Irrigação .....	129
Manutenção .....	145
Considerações sobre o Capítulo .....	148
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	149
<b>AUTORES</b> .....	153

## PREFÁCIO

A minha carreira acadêmica propiciou a oportunidade de preparar textos técnicos que são utilizados nas disciplinas de irrigação dos cursos de graduação e pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola. Combinado à experiência acumulada nos anos de sala de aula, esse material pode ser transformado em um documento didático para ampliar a divulgação dos conhecimentos presentes nessa área profissional.

Devo salientar a participação efetiva na minha formação de professor universitário de centenas de alunos que tiveram a paciência de assistir às minhas aulas. Este material aqui apresentado é, com certeza, produto desse relacionamento em mais de 30 anos de docência. Das dúvidas do professor e dos alunos buscaram-se sempre as respostas que permitissem o aprendizado de ambos os lados e formassem um material que foi se aprimorando ao longo dos anos.

Esse livro aborda o tema de tubulações e acessórios sob o ponto de vista de engenharia de irrigação, enfoque pouco explorado nos textos dedicados a essa área. Em razão do histórico de desenvolvimento da irrigação em nosso país, com a participação de poucos fabricantes nacionais, onde predomina a importação de equipamentos e tecnologias, os cursos de engenharia deram baixa prioridade para o ensino de dimensionamento de equipamentos, preocupando-se mais com a formação em projetos de sistemas. Dessa forma, esse documento procura dar uma perspectiva diferenciada para esse tópico, ampliando as informações e especificações técnicas de materiais, explicando os princípios de operação e detalhando procedimentos de instalação e métodos de manutenção de tubulações e acessórios empregados na irrigação.

Este manual teve participação efetiva do Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, com quem dividi esses anos de trabalho na UNICAMP, discutindo e aprimorando os textos e materiais que criamos como responsáveis pelas disciplinas de irrigação. Outra participação essencial foi do Engenheiro Agrônomo Laércio Lavor, que tem sua vida profissional toda dedicada à agricultura irrigada, e se dispôs a ser o coautor do capítulo sobre válvulas. A esses dois profissionais os meus profundos agradecimentos.

Outro agradecimento é para o Sr. João Alberto Antunes, das Empresas Gotejar e Irrigabras da cidade de Caçador, Santa Catarina, um profissional apaixonado pela irrigação e pela fotografia, que nos autorizou e proporcionou ilustrações essenciais para o entendimento dos assuntos abordados no texto.

Esta é somente a primeira versão deste documento, que apresenta, com certeza, erros e imprecisões, e que precisará ser aperfeiçoado ao longo do tempo com as considerações e correções de profissionais que trabalham diariamente com a agricultura irrigada.

Dedico este manual a todas as pessoas que enriqueceram minha vida com suas presenças, críticas e contribuições profissionais e pessoais, me ajudando a chegar até este momento e permitindo realizar com prazer e alegria a função de viver.

Boa leitura!

*Roberto Testezlaf*



# INTRODUÇÃO

---

Uma das formas eficazes de enfrentar a crise hídrica presente em vários Estados brasileiros é reduzindo os desperdícios presentes na agricultura irrigada. A garantia que a água captada em mananciais pelos sistemas de irrigação será eficiente para manter e elevar a oferta de alimentos passa obrigatoriamente pelo projeto de sistemas adequados e que sejam operados de forma eficaz sem proporcionar perdas dos recursos hídricos.

A necessidade de conhecer melhor os equipamentos de irrigação e suas características de funcionamento está diretamente relacionada com o objetivo de viabilizar o uso sustentável das técnicas de irrigação. A questão ambiental presente nos temas voltados para a escassez de recursos hídricos exige sistemas de irrigação cada vez mais eficientes e o agricultor tem necessidade de se preparar tecnologicamente para colocar no mercado um produto de qualidade a um custo competitivo para ter o retorno social e econômico esperado da sua atividade.

## OBJETIVOS

Visando apresentar informações poucos disponíveis nos livros de irrigação, o objetivo deste manual é oferecer aos alunos de graduação, pós-graduação, técnicos e agricultores um texto sobre tubulações e acessórios presentes nos diferentes sistemas de irrigação. Serão apresentados especificações técnicas, critérios de projeto, normas técnicas e detalhes de instalação e aplicações a fim de contribuir para o desenvolvimento técnico dos profissionais envolvidos com a irrigação. Buscou-se elaborar um texto técnico que fosse de fácil leitura, para servir de referência e orientar profissionais envolvidos na agricultura irrigada a selecionar tubulações e acessórios adequados para as condições observadas em propriedades agrícolas brasileiras.

## ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento está organizado nas seguintes seções e objetivos:

<b>INTRODUÇÃO</b>	Oferecer informações gerais relacionadas ao documento.
<b>DESCRIÇÃO GERAL</b>	Fornecer conhecimentos gerais sobre tubos e acessórios empregados na irrigação e suas principais classificações.
<b>TUBOS E MATERIAIS DE FABRICAÇÃO</b>	Apresentar informações básicas sobre os tubos que são empregados em sistemas de irrigação e as propriedades dos materiais de que são fabricados.
<b>CONEXÕES: TIPOS E CARACTERÍSTICAS</b>	Fornecer informações técnicas sobre tipos de conexões utilizadas em tubulações de irrigação.
<b>VÁLVULAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS</b>	Fornecer informações técnicas sobre tipos de válvulas utilizadas em tubulações de irrigação.
<b>SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO</b>	Apresentar orientações técnicas para seleção da tubulação para diferentes funções em um sistema de irrigação.
<b>INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO</b>	Mostrar as etapas básicas para a instalação de tubulações no campo e fornecer informações sobre procedimentos de sua manutenção.
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	Apresentar a bibliografia consultada na redação deste documento.

## TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES

Para melhor compreensão deste documento, optou-se por colocar no seu início, a definição de termos técnicos utilizados especificamente na irrigação.

**Acessório:** é a nomenclatura utilizada neste texto que abrange conexões, válvulas e peças específicas utilizadas em tubulações para conectar tubos ou partes de tubulação, regular ou controlar vazões e pressões e garantir a segurança e operação do sistema.

**Acoplamento:** é o sistema de encaixe ou de união que permite conectar tubos, conexões ou acessórios da tubulação e que são manufaturados nas extremidades dessas peças.

**Altura manométrica total:** é a energia que a bomba precisa fornecer ao sistema para que a água possa se movimentar e pressurizar a tubulação para a distribuição de água pela irrigação. Matematicamente, é a soma da altura geométrica (diferença de cotas) entre os níveis de sucção e descarga do fluido, com as perdas de carga distribuídas e localizadas nas conexões e tubulações ao longo de todo o sistema e com a pressão a ser disponibilizada na saída da rede. Essa variável é expressa em unidades de mca (metros de coluna de água)

**Conexões:** são as peças utilizadas para conectar tubos ou partes de tubulação, permitindo regular ou distribuir vazões e pressões no sistema para garantir sua segurança e operação da irrigação.

**Golpe de aríete:** é o fenômeno hidráulico que ocorre em tubulações, como resultado de mudanças bruscas da velocidade da água, provocadas por manuseios rápidos de válvulas ou pela partida ou parada imprevista de uma bomba. Como resultado, podem ocorrer problemas como, enfraquecimento de vedações, vazamentos, ruptura de tubos e conexões, ou danos a outros acessórios do sistema.

**Perda de pressão ou de carga:** é a perda de energia que ocorre no escoamento de fluidos em condutos devido à sua viscosidade que vai gerar atrito entre as camadas de fluido em movimento, e também pelo atrito existente entre o fluido e as paredes das tubulações ou acessórios.

**Tubos:** elementos vazados, normalmente, de forma cilíndrica e seção constante, utilizados no transporte de fluidos, os quais podem ser líquidos, gasosos ou mistos, ou como um elemento estrutural.

**Tubulação:** conjunto de tubos, acessórios, válvulas e dispositivos voltados a determinados processos (industrial, abastecimento urbano, irrigação, etc.), projetados para distribuição de líquidos, gases e demais materiais possíveis de serem movimentados, e podendo ser conectados para operar de forma pressurizada.

**Válvulas:** são dispositivos mecânicos com a função de estabelecer, controlar e interromper o fluxo de água em uma tubulação de irrigação.



# DESCRIÇÃO GERAL

---

A qualidade de um sistema de irrigação passa obrigatoriamente pela realização correta das cinco etapas envolvidas na sua implantação: planejamento da atividade irrigada, projeto do sistema, instalação dos equipamentos, execução do manejo da água e operação e manutenção do sistema para atingir os objetivos previstos no planejamento. Um dos fatores que vai afetar diretamente a execução de cada uma dessas etapas é o conhecimento que o projetista tem sobre os equipamentos que constituem cada sistema de irrigação. Dessa forma, as informações técnicas sobre as tubulações, responsáveis pela condução e distribuição da água na propriedade e sobre os acessórios requeridos para prover o funcionamento e a segurança do sistema, precisam estar disponíveis para os profissionais.

O objetivo deste capítulo é fornecer informações gerais que permitirão aprofundar os conhecimentos sobre esses equipamentos e dos processos envolvidos na sua utilização e que serão apresentados nos capítulos posteriores.

## TUBULAÇÕES NA IRRIGAÇÃO

Os sistemas de irrigação são constituídos, na maioria dos casos, por cinco partes ou unidades com funções distintas:

- Unidade de bombeamento ou de elevação da água
- Unidade de condução ou transporte de água
- Unidade de tratamento da água
- Unidade de controle ou automação
- Unidade de aplicação ou distribuição de água

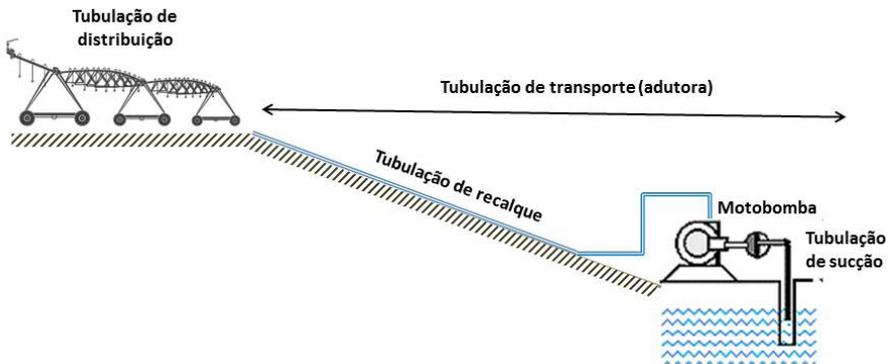
A partir de sua captação, a água pode requerer tratamentos para viabilizar sua aplicação (principalmente, na irrigação localizada) e, posteriormente, ser transportada e distribuída ao longo da área para efetivar a irrigação dentro da propriedade agrícola. A tubulação (tubos e acessórios) tem a função de conectar essas unidades e permitir a operação sistemática de todas elas de forma a aplicar a água eficiente e uniformemente sobre a área e sem perdas.

Dessa forma, a tubulação pode ser definida como o conjunto de tubos, acessórios, válvulas e dispositivos empregados para viabilizar a irrigação. Os tubos, também conhecidos popularmente como canos, são cilindros rígidos ou flexíveis ocios internamente, por onde se movimenta a água a ser transportada e distribuída nos sistemas de irrigação. Quando conectados, os tubos se transformam em uma rede ou sistema de tubos, também denominados de tubulações ou encanamentos. As tubulações utilizadas na irrigação podem ser classificadas de acordo com o tipo de função que elas têm dentro do sistema.

**Tubulações de transporte:** promove o transporte da água entre a captação e as tubulações de distribuição de um sistema de irrigação. Também são denominadas de adutoras, compreendendo desde a tubulação de sucção até a linha de recalque. Além dessas tubulações, podem ser incluídos nessa classificação os drenos tubulares enterrados, quando existir sistemas de drenagem associados ao de irrigação.

**Tubulações de distribuição:** constituída pelas tubulações ou ramais responsáveis pela distribuição da água na área irrigada. Como exemplo desse tipo de tubulação, têm-se as linhas laterais de irrigação por aspersão ou localizada (gotejamento e microaspersão) e também a linha de distribuição de um pivô central.

Na Figura 1 apresenta-se o esquema de um sistema de tubulação em equipamento de pivô central, identificando a tubulação de transporte ou adutora, constituída de sucção e recalque, bem como, a tubulação de distribuição.



**Figura 1.** Esquema de uma tubulação em pivô central, identificando os tipos de tubulações nesse sistema de irrigação com as correspondentes terminologias.

**Tubulações de controle ou automação:** são as tubulações de pequeno diâmetro, que possibilitam a transmissão de sinais hidráulicos ou pneumáticos para as válvulas de controle e instrumentos (Figura 2). Essas tubulações, normalmente, conectam válvulas à central de controle, permitindo a atuação das próprias válvulas ou instrumentos, quando estão presentes nos sistemas de irrigação.



**Figura 2.** Exemplo de tubulações de controle conectando válvulas em um sistema de irrigação. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Materiais de fabricação

Uma rede de tubos de irrigação deve ser dimensionada para suportar as demandas hidráulicas do sistema, permitindo a distribuição adequada da água ao longo da área, no volume e na pressão desejada. A qualidade do dimensionamento de um projeto de irrigação pode ser rapidamente comprometida pela escolha do material a ser utilizado e pela qualidade de sua instalação.

É possível encontrar no mercado uma variedade de materiais de fabricação de tubos, entretanto, na área de irrigação se utilizam poucos tipos de materiais, sendo os principais classificados como materiais metálicos e não metálicos e estão exemplificados na Tabela 1. Cada um desses materiais será caracterizado especificamente na próxima seção deste documento.

**Tabela 1.** Principais materiais de fabricação para tubos de irrigação

Material	Classificação	Tubos
Metálico	Ferrosos (ligas de ferro e carbono)	Aço-carbono Aço inoxidável Ferro fundido
	Não ferrosos (metais ou ligas sem ferro ou em baixa quantidade)	Alumínio
Não metálico	Plásticos	Cloreto de polivinila (PVC) Polietileno (PE)

(Adaptado de SENAI/CST, 1996).

A escolha do material mais adequado para determinada aplicação na irrigação depende principalmente do atendimento das demandas hidráulicas do sistema (vazão e a pressão de trabalho), qualidade da água transportada (corrosão e abrasão), grau de segurança requerido, de sobrecargas externas (quando existirem), e também de uma avaliação econômica do projeto na busca da melhor opção. Por exemplo: nas adutoras, pode-se utilizar o ferro fundido, o PVC e o aço zincado, já nas linhas laterais de aspersão convencional os materiais mais utilizados são o alumínio e o PVC (mais comum), e nas linhas laterais da irrigação por gotejamento é o polietileno. A Figura 3 oferece um módulo ilustrativo de tubos metálicos (aço zincado) empregados na linha de distribuição de pivô central.



**Figura 3.** Módulo demonstrativo de tubos metálicos de vários diâmetros utilizados em irrigação.

Além desses tipos de material, é possível encontrar na irrigação tubos com revestimentos interno e externo quando sua aplicação exigir resistência à corrosão e/ou abrasão, simultaneamente com grande resistência mecânica ou alta pressão, como no caso de aplicação de vinhaça ou de águas com baixa qualidade física ou química.

## ACESSÓRIOS DE TUBULAÇÕES

Acessórios para tubulações de irrigação são peças ou componentes mecânicos utilizados em tubulações com a função de conectar os tubos ou partes da tubulação, permitir mudanças de direções e de nível, para reduzir ou aumentar o diâmetro, possibilitar a regulagem ou controle de vazões e pressões do sistema e garantir a segurança e operação da tubulação. Salienta-se que nessa denominação de acessórios estão incluídos, além das conexões propriamente dita, outros componentes como válvulas, registros e peças específicas. Os acessórios são geralmente fabricados do mesmo material da tubulação utilizada no sistema de irrigação.

### Conexões

Conexões são peças ou acessórios que têm a função de conectar ou juntar dois tubos ou outra conexão ou acessório a um tubo. No dia a dia, o termo conexão também é utilizado como sinônimo de acoplamento, mas é necessário distinguir essas duas terminologias, pois, diferentemente, o sistema de acoplamento

é a forma ou o meio das conexões (peças) se unirem ou conectarem. Ou seja, uma conexão pode utilizar mais de um tipo de acoplamento dependendo da sua função dentro da tubulação. Os tipos de acoplamentos são descritos no fim deste capítulo. As conexões das tubulações podem ser classificadas de acordo com as finalidades que possuem dentro do sistema de irrigação e seus principais tipos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Tipos de acessórios presentes em tubulações

Função	Exemplo de acessórios
Mudar a direção do escoamento	Curvas de raio longo ou curto Curvas de redução Joelhos Joelhos de redução
Fazer derivações na tubulação	Tês (90°/45°) Tês de redução Peças em “Y” Cruzetas Colares
Alterar diâmetro da tubulação	Reduções concêntricas Reduções excêntricas Reduções por bucha
Unir tubos entre si	Luvas Uniões Flanges Nipples
Fechar extremidades de tubos	Tampões (caps) Bujões (plugs) Flanges cegos

(Adaptado de SENAI/CST, 1996).

## Válvulas

São acessórios empregados em tubulações com a função de regular ou controlar vazões e pressões do sistema ou para garantir a segurança e operação da tubulação (Figura 4). Existe uma variedade de tipos de válvulas que são utilizadas na irrigação, sendo algumas de uso geral e outras para finalidades específicas.



**Figura 4.** Exemplo de válvulas utilizadas em sistemas de controle e segurança em irrigação localizada.

Os tipos mais importantes de válvulas empregadas na irrigação são descritas em capítulo específico neste livro, sendo possível classificá-las didaticamente em:

1. **Válvulas de bloqueio:** destinam-se somente em estabelecer ou interromper o fluxo, funcionando completamente abertas ou completamente fechadas.
2. **Válvulas de controle ou regulação:** destinadas especificamente em controlar o fluxo, operando em qualquer posição de fechamento parcial.
3. **Válvulas de segurança e/ou alívio:** são acessórios obrigatórios em tubulações pressurizadas ou que operam a pressões superiores à pressão atmosférica. Essas válvulas são empregadas para evitar o aumento de pressão e/ou a entrada ou saída de ar das tubulações.

Dentre esses tipos de válvulas é possível encontrar algumas com funções específicas para irrigação, como por exemplo: válvulas de retrolavagem de filtros, que serão caracterizadas posteriormente em capítulo dedicado sobre esse tema.

## Dispositivos Especiais

Além das conexões e válvulas existe outra classe de dispositivos especiais que podem fazer parte de um sistema de tubulação com funções específicas como: tratamento físico da água (Figura 5), monitoramento de valores de vazão, pressão e temperatura do sistema, visualização de impurezas nas tubulações, aplicação de fertilizantes ou produtos químicos.



**Figura 5.** Exemplo de um cabeçal de controle de irrigação localizada, com dois filtros de disco. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## SISTEMAS DE ACOPLAMENTO

A instalação de uma tubulação de irrigação no campo requer a união de suas partes constituintes, ou seja, tubos, acessórios e dispositivos especiais. Essa montagem é efetivada por conexões que podem ter diferentes tipos de acoplamentos, disponibilizados comercialmente em função do tipo de acessório, do seu diâmetro e do material escolhido. A Tabela 3 ilustra os principais tipos de acoplamentos utilizados na área de irrigação, introduzindo ao leitor a diferenciação existente, mas que serão caracterizados nos próximos capítulos.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

No conteúdo dessa seção foram definidas as principais partes componentes de uma tubulação de irrigação (tubos, conexões, válvulas e dispositivos especiais) com o objetivo de se nivelar os conhecimentos e uniformizar a terminologia técnica utilizada na área. Apresentaram-se também os tipos de acoplamentos mais utilizados em tubulações de irrigação para mostrar a diversificação de práticas e escolhas que o profissional tem no dia a dia. Espera-se, dessa forma, disponibilizar informações técnicas que proporcione uma formação básica para preparar o leitor para melhor compreensão das seções subsequentes.

**Tabela 3.** Principais tipos de acoplamentos utilizados em acessórios na irrigação (Fonte: Antunes, 2006)

Acoplamentos	Exemplos de utilização em tubos/acessórios	
Rosqueável		
Engate rápido		
Flangeado		
Ponta/bolsa lisa e soldável		

Continua

Tabela 3. Continuação

Acoplamentos	Exemplos de utilização em tubos/ acessórios	
Ponta lisa e bolsa elástica		
Compressão		
Acoplamentos ou juntas especiais		

(Dresser)

(Victaulic)



# TUBOS E MATERIAIS DE FABRICAÇÃO

---

A escolha correta do material da tubulação a ser utilizado em cada parte ou unidade do sistema de irrigação deve ter como objetivo reduzir o custo total do sistema, seja pela diminuição dos custos de investimento, seja pelo aumento da vida útil, pela economia do custo operacional (energia), para permitir o máximo rendimento do sistema de bombeamento. Dessa forma, a seleção da tubulação adequada vai depender do emprego que ela terá dentro do sistema e da avaliação econômica do projeto.

Para evitar problemas que essa escolha pode trazer ao sistema de irrigação, o objetivo deste texto é apresentar informações técnicas sobre os principais materiais utilizados na fabricação de tubos de irrigação, visando ajudar seu selecionamento apropriado para o sistema de irrigação a ser projetado. Adicionalmente, busca-se oferecer referências sobre normas e padronização de tubos e o fornecimento de dados técnicos utilizados para a sua comercialização na agricultura.

## HISTÓRICO

A técnica de projetar e construir sistema de tubulações se iniciou nas mais antigas civilizações pela necessidade de abastecimento das cidades e pelo desenvolvimento da agricultura. Na Mesopotâmia, por volta de 3.000 a 2.000 a.C., a água já era distribuída por tubos cilíndricos de barro cozido. Nessa mesma época, os chineses faziam uso de tubulações de bambu e tampões de madeira para controlar a vazão. No Egito, em 3.000 a.C., foram encontrados tubos cilíndricos de cobre fabricados a partir de chapas marteladas. Os gregos, de 1.600 a 300 a.C., empregaram tubos fabricados de argila, pedra, bronze e chumbo (Figura 6A), enquanto os romanos, durante o período imperial de 400 a.C. e 150 d.C., além desses materiais, utilizaram madeira com abraçadeiras de ferro e também prata em algumas vilas mais abastadas. A Idade Média significou um atraso na ciência de condução de água com a volta de tubos feitos de árvores ocas impermeabilizadas (Figura 6B). Entretanto, por volta dos séculos XVII e XVIII, o uso de tubos de ferro fundido se expandiu pela Europa, devido ao desenvolvimento da indústria metalúrgica. Pelo crescimento industrial e a distribuição de gás natural, o século XIX foi o período do desenvolvimento dos tubos de aço soldado com juntas de ferro forjado, rebitada ou flangeada e no fim desse período aparece o tubo de aço sem costura (ANTAKI, 2003).



**Figura 6.** Dois tipos de tubos fabricados na antiguidade: (A) tubo de chumbo na Roma antiga e (B) tubo de madeira utilizado em Londres entre os séculos XVI e XVIII. (Fonte: SCHRAM et al., 2014 e SCHLADWEILER, 2014, respectivamente)

No século XX, na tecnologia de tubulações ocorreu desenvolvimento significativo pelo aparecimento de novos materiais e técnicas de fabricação e soldagem. Em 1835, o PVC foi descoberto, e os tubos começaram ser fabricados somente a partir de 1932 (THEPLUMBER.COM, 2014). O polietileno de alta densidade (HDPE), outro material plástico utilizado em tubos de irrigação, foi desenvolvido em 1953 e dois anos depois, em 1955, foi utilizado na produção de tubos (GABRIEL, 2014). Esses tubos plásticos (Figura 7) atingiram significativamente o mercado de tubulações a partir da década de 60, substituindo tubos de aço galvanizado, de cobre, de cimento amianto e de ferro fundido, todos eles utilizados inicialmente em sistemas de irrigação comercial. Entretanto, esses materiais mais antigos ainda são utilizados em projetos de adutoras ou em linhas laterais e, portanto, o conhecimento de suas propriedades contribui para o aprimoramento dos projetos e de avaliações de redes de tubulações.



**Figura 7.** Tubos de (A) cloreto de polivinila (PVC) e (B) um rolo de polietileno (PE), disponíveis em campo para instalação. (Fonte: Antunes, 2006)

## TUBULAÇÕES NA IRRIGAÇÃO

Uma rede de tubulações de irrigação deve suportar todas as demandas hidráulicas do sistema, permitindo a distribuição adequada da água ao longo da área,

no volume e na pressão desejada. A integridade do dimensionamento de um projeto de irrigação pode rapidamente ser comprometida pela escolha do material a ser utilizado e na qualidade de sua instalação. Os materiais de tubulações mais utilizados em irrigação são:

- PVC (cloreto de polivinila)
- PE (polietileno)
- Aço Zincado (AZ)
- Alumínio
- Ferro fundido

Para fins de selecionamento correto da tubulação a ser utilizada em sistemas de irrigação, é preciso ter bom conhecimento dos materiais construtivos dessas tubulações e suas características físico, químicas e mecânicas.

## Entidades normalizadoras

Os métodos e processos de fabricação de tubos, materiais empregados, assim como as dimensões a serem observadas estão normalizados por instituições em diferentes partes do mundo. As mais importantes para irrigação são:

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brasil)
- ISO - International Organization for Standardization (Europa)
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers (EUA)
- ASTM - American Society for Testing Material (EUA)

As normas elaboradas por essas entidades relacionadas com tubulações de irrigação têm por objetivos principais estabelecer especificações de aplicação de determinadas matérias na fabricação de tubos e seus acessórios; fixar tolerâncias de fabricação e buscar métodos e padrões de fabricação (SENAI, 2004).

## Especificações de tubos

As Normas Brasileiras requerem que, dependendo do tipo de material de fabricação, todo tubo deve ser designado por um número denominado **diâmetro nominal** (DN) ou **diâmetro de referência** (DR), que não tem correspondência com dimensões físicas do tubo; é usado somente como forma de classificar em dimensões (tubos, juntas, conexões e acessórios) e para indicar ou especificar o material para comercialização, correspondendo aproximadamente, ao diâmetro interno dos tubos em milímetros.

Basicamente, as dimensões características de um tubo são: diâmetro externo, diâmetro interno e sua espessura (Figura 8).

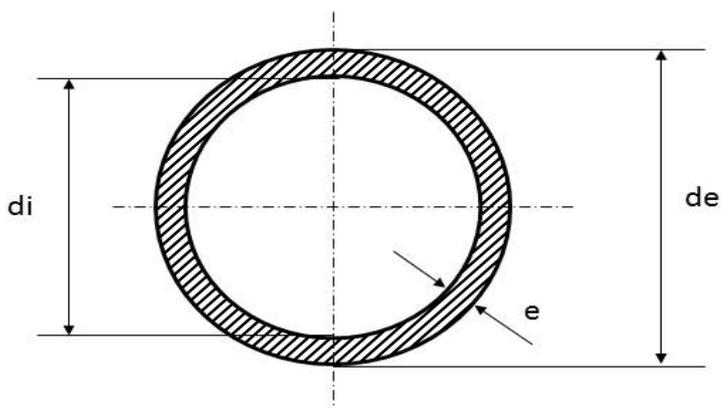


Figura 8. Dimensões características de um tubo.

O diâmetro externo ( $d_e$ ) em milímetro (mm) é utilizado para classificar em dimensões as tubulações, juntas, conexões e acessórios. A espessura de parede ( $e$ ) é a menor espessura, em milímetros, medida no perímetro em uma seção qualquer do tubo. O diâmetro interno ( $d_i$ ) é utilizado nos cálculos hidráulicos de perda de pressão dos tubos, sendo igual à subtração do dobro da espessura do diâmetro externo, de acordo com a Equação 1:

$$d_i = d_e - (2 \times e) \quad (1)$$

Sendo:

$d_e$  = diâmetro externo (mm)

$d_i$  = diâmetro interno (mm)

$e$  = espessura de parede (mm)

Além das dimensões, os tubos comercializados no Brasil devem ser identificados pela sua classe de pressão caracterizada pelo valor da **pressão nominal** (PN), que corresponde à máxima pressão que o fluido dentro da tubulação pode exercer continuamente sem que as paredes da tubulação venham a se romper. Esse parâmetro, definido por norma, é considerado como a máxima pressão de água que os tubos, conexões e respectivas juntas podem ser submetidos em serviço contínuo, nas condições de temperatura de operação de até 25 °C. Pelas normas brasileiras, o número da pressão nominal de um tubo, significa sua máxima pressão admissível nas unidades de m.c.a. (metros de coluna de água). Por exemplo, um tubo identificado como PN 40 a máxima pressão admissível é de 40 mca ou de 4,0 kg<sub>f</sub> cm<sup>-2</sup>.

Para cada material de fabricação, um tubo com mesmo diâmetro nominal (DN) pode ter comercialmente diferentes pressões nominais (PN) em função da espessura da parede. Por exemplo, um tubo de PVC com PN 40 tem a espessura de 1,2

mm, enquanto outro de PN 80 possui 1,9 mm de espessura. Ou seja, quanto maior a PN para o mesmo diâmetro, maior é a espessura do tubo. Esse comportamento ocorre devido ao fato de que a tensão circunferencial ( $\sigma$ ) nas paredes do tubo estar relacionada com a pressão interna exercida pelo líquido e as dimensões do diâmetro externo ( $de$ ) e a espessura da parede ( $e$ ), de acordo com a Equação 2:

$$\sigma = \frac{P \times (de - e)}{(2 \times e)} \quad (2)$$

Sendo:

$\sigma$  = tensão circunferencial em MPa

P = pressão interna em MPa

de = diâmetro externo médio (mm)

e = espessura mínima de parede (mm)

O valor da PN é correspondente ao valor da pressão hidrostática interna quando a tensão circunferencial ( $\sigma$ ) assume o valor da máxima tensão admissível de tração, na direção circunferencial, para o material do tubo, sem ocorrer a ruptura de sua parede. O valor da tensão circunferencial admissível máxima é determinado experimentalmente para os diferentes materiais de fabricação de tubos. Dessa forma, a Pressão Nominal pode ser calculada pela Equação 3, readequando a equação anterior para:

$$PN = \frac{2 \times \sigma \times e}{(de - e)} \quad (3)$$

Como exemplo de aplicação dessa equação, pode-se considerar um tubo de PVC com DN 50 (diâmetro nominal), diâmetro externo de 50,5 mm e 1,9 mm de espessura de parede. Assumindo um valor de tensão circunferencial admissível ( $\sigma$ ) para o PVC de  $100 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$  ou 9,8 MPa, o valor da Pressão Nominal desse tubo é de:

$$PN = \frac{2 \times 9,8 \times 1,9}{(50,5 - 1,9)} = \frac{37,24}{48,6} = 0,77 \text{ MPa} = 7,9 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2} \cong 80 \text{ mca}$$

Portanto, esse tubo de PVC com DN50 com essas dimensões deve ser identificado como tendo uma pressão nominal de 80 (PN80).

## Propriedades físicas e mecânicas de tubos

A escolha correta do material da tubulação para determinada função dentro do sistema de irrigação vai exigir do profissional projetista o conhecimento das suas propriedades físicas e mecânicas. As propriedades mecânicas de materiais de fabricação de tubos são aquelas associadas às relações entre tensão e deformação

do material, por exemplo: resistência à tração, módulo de elasticidade, dureza e resistência à abrasão, etc.

As propriedades físicas são entendidas como aquelas que representam outras propriedades além das mecânicas, relacionadas à parte física do material, como massa específica, dilatação térmica, condutividade elétrica, condutividade térmica, resistência à radiação solar, resistência química e biológica, etc. Ao descrever em seguida cada material utilizado em tubulações de irrigação, serão disponibilizados valores de propriedades físicas e mecânicas, permitindo a comparação entre as alternativas de material.

## Extremidades dos tubos

Em um sistema de irrigação, os tubos necessitam se conectar ou mudar de direção e de nível ou, ainda, se conectar a uma válvula e aos próprios equipamentos. Para viabilizar esses tipos de conexões, os fabricantes fornecem quatro tipos de extremidades para tubos, dependendo do tipo de material utilizado, que são caracterizadas na Tabela 4.

A escolha de uma dessas extremidades é feita de acordo com o tipo de acoplamento estabelecido no projeto para cada unidade do sistema de irrigação e determinada em função das dimensões dos tubos, da pressão de trabalho, da temperatura, etc.

## TUBOS DE PVC (CLORETO DE POLIVINILA)

O PVC, abreviatura de cloreto de polivinila, é um dos materiais de tubulações mais empregados em irrigação atualmente (Figura 9). Apesar de ter sido descoberto por volta de 1835, somente um século após, por volta de 1930, tubos de PVC foram fabricados e instalados pela primeira vez, de forma restrita em algumas cidades na Alemanha. E, somente em torno de 1950, com o desenvolvimento da tecnologia de extrusão esse material passou a ter aceitação no mercado mundial de tubos (THE-PLUMBER.COM, 2014 e MOSER e FOLKMAN, 2008).



**Figura 9.** Tubos e conexões de PVC utilizados em irrigação por aspersão convencional. (Fonte: TIGRE, 2014).

**Tabela 4.** Informações sobre tipos de acabamento de extremidades de tubulações

Tipo de extremidade	Características	Exemplo
Lisa (biselada ou corte reto)	As ligações são soldadas com solda de fusão, permitindo uniões com bolsa, flanges, etc. Mais utilizada em tubos de aço.	
Rosqueada	Para ligação dos tubos entre si ou com acessórios utilizando luvas e uniões que possuem rosca interna para acoplar à rosca externa da extremidade dos tubos. Usada em tubos de aço galvanizado e PVC.	
Bolsa	A ponta lisa de um tubo encaixa-se dentro da bolsa do outro tubo, que pode ser colado (soldável) ou ter um elemento de vedação (elástica). Usada em tubos de PVC e de ferro fundido.	
Ranhurada	Permite acoplamentos com juntas especiais que exigem sistemas ranhurados.	

## Vantagens e limitações

Os tubos de PVC têm boa aceitação na área de irrigação, principalmente pela boa relação resistência-peso, durabilidade, facilidade de instalação e transporte, resistência a produtos químicos, e um custo relativamente menor quando comparado com outros materiais. Além dessas vantagens, os tubos de cloreto de polivinila possuem ainda:

- Possibilidade de serem utilizados na condução e distribuição de água potável.
- São suficientemente rígidos para tolerar a carga do peso do solo ou da passagem de veículos quando instalados enterrados (Figura 10).
- Possuem suficiente flexibilidade para serem enterrados em solos frágeis e instáveis.
- Cor própria e permanente que dispensa pintura, permitindo a identificação por cores.
- Alta resistência à corrosão.
- Baixa condutividade térmica e elétrica.
- Baixo peso específico.
- Facilidade de fabricação e manuseio.
- Coeficiente de atrito muito baixo, tendo baixa resistência na condução de água.
- Vida útil estimada de cinco anos quando exposto ao sol.



**Figura 10.** Detalhe de uma tubulação de PVC que vai operar enterrada em irrigação localizada.  
(Fonte: Antunes, 2006)

Pequenos acidentes, porém, podem causar a ruptura da tubulação (Figura 11), como uma simples marca, entalhe, ou pequena fratura na parede do tubo, uma aplicação desleixada de solvente ou cola de conexão, uma escavação incorreta de

valas acompanhada de aterramento impróprio, e outros problemas de instalação. Adicionalmente, apresenta também outras limitações, como:

- Baixa resistência ao calor: operação em temperaturas elevadas diminuem suas propriedades mecânicas, não sendo recomendável sua utilização para temperaturas acima de 60 °C.
- Baixa resistência mecânica: o limite de resistência à tração é da ordem de 2 a 10 kg<sub>f</sub> mm<sup>-2</sup> para a maioria dos plásticos.
- Podem ser atacados por certos tipos de solventes, principalmente os cíclicos.
- Pouca estabilidade dimensional, estando sujeito a deformações por fluência em quaisquer temperaturas, ou seja, deformações causadas no material que esteja em tensão constante ou quase constante em função do tempo.
- Incerteza nas informações técnicas relativas a comportamento mecânico e a dados físicos e químicos.
- Alto coeficiente de dilatação, chegando até 15 vezes o do aço-carbono.
- Alguns plásticos são combustíveis ou pelo menos capazes de alimentar vagarosamente a combustão.



**Figura 11.** Detalhe de rompimento de uma adutora de PVC por esmagamento.  
(Fonte: SAWYER et al., 2014)

## Composição

A matéria-prima básica empregada na fabricação de tubos e conexões de PVC rígido é a resina de PVC, à qual é adicionada estabilizante, antioxidante, lubrificante e pigmentos, que protegem a resina contra pressões e temperaturas elevadas durante a extrusão dos tubos ou injeção de conexões.

## Normas e Classificação

No caso de especificações e ensaios de tubos de PVC, a ABNT possui várias normas, contudo, para utilização na área de irrigação, apresenta somente as seguintes normas:

- ABNT NBR 14311:1999 - Irrigação e drenagem - Tubos de PVC rígido DEFOFO PN 60,80 e 125 com junta elástica, para sistemas permanentes de irrigação.
- ABNT NBR 14312:1999 - Irrigação e drenagem - Tubos de PVC rígido com junta soldável ou elástica PN 40 e PN 80 para sistemas permanentes de irrigação.
- ABNT NBR 14654:2001 - Irrigação e drenagem - Tubos agropecuários de PVC rígido com junta soldável PN 60 e PN 80.
- ABNT NBR 15282:2005 - Sistemas móveis de irrigação - Tubos de PVC rígido com junta de engate rápido PN 80.

Conforme as normas brasileiras, os tubos de PVC devem ser classificados de acordo com o diâmetro nominal (DN) ou de referência (DR) e sua pressão nominal. Os diâmetros convencionais de tubulações de PVC encontrados no mercado brasileiro dependem da classe de pressão ou da pressão nominal, do tipo de engate escolhido, sendo os mais encontrados:

- PN 40 - Pressão máxima de 40 mca, com DN: 35, 50, 75, 100, 125 e 150
- PN 60 - Pressão máxima de 60 mca, com DN: 50, 75 e 100
- PN 80 - Pressão máxima de 80 mca, com DN: 35, 50, 75, 100, 125 e 150
- PN 125 - Pressão máxima de 125 mca, com DN: 100, 150, 200, 250 e 300

Além das normas brasileiras, existem outras internacionais que complementam as informações sobre métodos de ensaios e padrões de controle. A ASABE possui uma norma, a ASAE/ASABE S376.2 (R2010) *Design, Installation and Performance of Underground, Thermoplastic Irrigation Pipelines*, que fornece orientações mínimas para profissionais no planejamento, projeto e especificação de tubos termoplásticos comumente usados na irrigação. A ISO dispõe de várias normas relacionadas a tubos de PVC, mas somente uma orientada para irrigação: ISO 16422:2014: *Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-O) for the conveyance of water under pressure*.

Como a pressão nominal se refere à máxima pressão (incluindo pressões dinâmicas) que o tubo pode suportar em serviço contínuo à temperatura de 25 °C, correções devem ser feitas nesta classificação quando essas tubulações são submetidas a temperaturas acima deste valor. A norma ABNT NBR 14654:2001 define a pressão de serviço (PS) para tubos de PVC com PN 60 e 80, como a máxima pressão (incluindo as variações dinâmicas) que os tubos e as juntas podem suportar em serviço contínuo, conduzindo água à determinada temperatura de até 45 °C, sendo

proporcional à pressão nominal (PN) através de coeficiente de segurança (Cs), conforme a Equação 4, a seguir:

$$PS = PN \times C_s \quad (4)$$

Na Tabela 5 são apresentados os valores do coeficiente de segurança em função da pressão nominal e da temperatura da água durante o escoamento, de acordo com a NBR 14654 (2001).

**Tabela 5.** Coeficiente de segurança para estimativa da pressão de serviço em tubulações de PVC em razão da temperatura

Pressão nominal	Coeficiente de segurança		
	Temperatura da água até 25 °C	Temperatura da água até 35 °C	Temperatura da água entre 35 °C e 45 °C
60	1,0	0,8	0,6
80			

Fonte: ABNT NBR 14654:2001.

## Propriedades físicas e mecânicas

### *Dilatação térmica*

O coeficiente de dilatação térmica do PVC varia com a temperatura inicial do tubo, significando que duas tubulações de PVC com o mesmo comprimento e sujeitos à mesma variação de temperatura terão dilatações diferentes, com a tubulação com maior temperatura inicial tendo a maior variação de comprimento. Pode-se adotar um valor médio para o coeficiente de dilatação linear, no intervalo de 10 a 50 °C de  $8 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Por exemplo, um tubo com 100 metros de comprimento, com variação em temperatura de 10 °C, resultará em mudança de comprimento de 8 cm.

### *Resistência à radiação solar*

Os tubos de PVC são projetados para serem utilizados enterrados ou em ambientes fechados com ausência de radiação solar. Os tubos são fabricados parcialmente estabilizados contra radiação ultravioleta (UV) e podem, portanto, serem armazenados em locais abertos por algumas semanas, sem que ocorra nenhuma mudança em suas propriedades.

Esses tubos podem ser utilizados em ambientes expostos à radiação solar. Nestes casos, entretanto, vai ocorrer uma regressão natural de sua resistência mecânica, a qual deve ser levada em consideração durante a fase de projeto dos sistemas de irrigação. Mudanças visíveis na cor dos tubos de PVC (tornam-se esbranquiçados) indicam a degradação por UV e a possível deterioração de sua resistência.

### *Resistência à tração*

A resistência à tração dos tubos de PVC varia com a temperatura da água e do meio que os envolve.

### *Resistência biológica*

Tubos de PVC possuem superfícies lisas e não oferecem condições favoráveis para o crescimento de bactérias, algas ou fungos. Não se tem conhecimento que este fator alguma vez afetou as dimensões e as propriedades desses tubos.

### *Resistência química*

Tubos de PVC são inertes a água salina, ácidos e detergentes, combustíveis e óleos, álcool e vários hidrocarbonetos alifáticos. Esta resistência química, entretanto, é limitada para compostos de cloro e de bromo, ésteres e hidrocarbonetos aromáticos. A resistência química também é afetada por fatores como temperatura e concentração dos produtos. Salienta-se que, além da resistência da tubulação à presença de elementos químicos, o projetista deve levar em consideração a resistência das juntas de vedação a estes produtos.

### *Golpe de aríete*

O aumento de pressão abrupta em tubos de PVC que pode ocorrer pelo desligamento repentino da bomba ou do fechamento rápido de registros, é inferior aos tubos de aço devido à sua maior flexibilidade.

### *Propriedades físicas e mecânicas do PVC*

**Tabela 6.** Valores médios de propriedades físicas e mecânicas de tubos de PVC

<b>Propriedades</b>	<b>PVC</b>
Peso específico ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,4 a 1,55
Resistência à tração ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	500
Módulo de elasticidade ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	30.000
Resistência ao impacto ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	2,5
Tensão circunferencial ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	100
Condutividade térmica ( $\text{watt m}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )	0,15
Resistência elétrica (ohms)	acima de $10^{12}$

## Tipos de acoplamentos

De acordo com a PN e o DN podemos encontrar conexões com diferentes tipos de acoplamentos para tubulações de PVC. Em linhas laterais de aspersão, o acoplamento mais comum que se observa é o engate rápido (Figura 12); nas linhas principais e de recalque enterradas verificam-se outros tipos de acoplamentos, como: elástica, soldada, rosqueada e flangeada.



**Figura 12.** Exemplos de acoplamentos tipo engate rápido utilizados em linhas laterais com tubos de PVC.

Para possibilitar que os tubos de PVC sejam intercambiáveis com os tubos e conexões de ferro fundido, as empresas fabricam tubos e conexões com acoplamentos denominados DEFoFo (diâmetro externo equivalente aos tubos de ferro fundido), atendendo a norma NBR 14311:1999, que especifica pressões nominais de PN 60, PN 80 e PN125 e diâmetros nominais de 100, 150, 200, 250 e 300.

## TUBOS DE PE (POLIETILENO)

Apesar de o material já ser conhecido desde o fim do século XIX, foi somente em 1935 que os químicos britânicos Eric Fawcett e Reginald Gibson, criaram uma forma sólida de polietileno. Sua primeira aplicação comercial veio durante a Segunda Guerra Mundial, quando os britânicos o usaram como substituto para a borracha no isolamento elétrico. Mas foi somente em 1953 que Karl Ziegler, do Instituto Kaiser Wilhelm (rebatizado de Instituto Max Planck), e Erhard Holzkamp descobriram o polietileno de alta densidade (PEAD) que foi utilizado na produção de tubos em 1955 (GABRIEL, 2014). A partir do início da sua produção comercial, o uso do polietileno se expandiu e se tornou um dos maiores do mundo na fabricação de tubos, tendo participação significativa na irrigação (Figura 13).



**Figura 13.** Exemplo da aplicação do PE em linhas laterais na irrigação localizada. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Vantagens e limitações

Tubos de polietileno (PE) são amplamente empregados nos diferentes sistemas de irrigação (aspersão, localizada, e mesmo em sistemas mecanizados). Uma das justificativas para essa aceitação é o fato de esses tubos poderem atingir uma vida útil superior a 50 anos quando enterrados e trabalhando dentro da faixa da pressão de serviço. Além disso, apresenta outras características, como:

- Devido ao seu peso relativamente leve e alta flexibilidade, podem ser comercializados em rolos e com elevados comprimentos (Figura 14), facilitando o transporte e permitindo a ocorrência de esmagamentos sem ruptura da parede do tubo.



**Figura 14.** Exemplo de diversos rolos de tubos de PE disposto no campo. (Fonte: ANTUNES, 2006)

- Pela boa resistência sobre diferentes condições ambientais, são insensíveis à corrosão interna e externa.
- Quando tratados corretamente contra raios ultravioleta (UV), tubos de PE oferecem boa resistência à radiação solar.
- Não conduz eletricidade, não ocorrendo assim nenhum dano quando há a aplicação externa de uma corrente elétrica.

- São classificados como tubos extremamente lisos, uma das vantagens hidráulicas sobre outros tipos de tubulações.

Entretanto, como em outros tubos plásticos, como o PVC, nos tubos de PE ocorre um processo de decomposição lenta quando expostos por longo tempo à luz solar, em virtude da ação dos raios ultravioleta, tornando-se quebradiços. Dessa forma, quando sua aplicação exigir a permanência ao tempo, é preciso que no seu processo de fabricação haja a adição de pigmentos escuros que melhora sua resistência a esse efeito, sendo o pigmento denominado negro de fumo (*black carbon*) o recomendado por norma. Adicionalmente, há restrições de uso como:

- Possui resistência inferior aos tubos de PVC e, portanto, mais suscetível a sofrer rupturas ou esmagamentos e atingir a fadiga do material ao longo do tempo.
- Possuem baixas pressões nominais, com redução da pressão de serviço com o aumento da temperatura.
- A utilização de conexões mecânicas (Figura 15) sem o uso de colas ou solventes cria maior atrito no sistema e perda de pressão, requerendo maior cuidado e mão de obra durante a instalação.



**Figura 15.** Exemplo de conexão mecânica por compressão em entrada de ramal para tubos de PE. (Fonte: ANTUNES, 2006)

- Podem ser danificadas por insetos, larvas e roedores (Figura 16).



**Figura 16.** Exemplo de tubulação de polietileno atacada por larva e por roedores. (Fonte: THOMPSON, 2014)

- Apresenta baixa resistência a solventes.
- Oferece baixa resistência ao fogo, produzindo gases ou fumaças tóxicas quando em combustão.

## Composição

O polietileno é um material termoplástico composto de átomos de carbono e de hidrogênio ligados entre si formando produtos de elevado peso molecular. O gás metano é convertido em etileno, então, com a aplicação de calor e pressão, em polietileno. A obtenção do PE se resume na polimerização do etileno em reator na presença de solventes, catalisadores e hidrogênio (DANIELETTO, 1990).

Quando flexibilidade e facilidade de manuseio são requeridas, o melhor é utilizar polietileno de baixa e média densidade. Quando a extrusão dos tubos é feita com PE de média densidade, a tubulação perderá um pouco da flexibilidade, mas manterá as especificações de pressão de ruptura com uma redução apreciável da espessura de parede, como no caso do uso em equipamentos do tipo carretel enrolador (Figura 17). Os tubos de PE de alta densidade não são tão flexíveis quanto ao de baixa densidade, mas têm resistência de ruptura superior, sendo recomendado em aplicações que envolvem altas pressões.



**Figura 17.** Detalhe de um carretel enrolador com mangueiras de PE de média densidade.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

## Normas e Classificação

A ABNT possui várias normas relacionadas a tubos de polietileno. Entretanto, para a utilização desses tubos na área de irrigação, existe atualmente somente a norma ABNT NBR 11795:2008 - Tubos de polietileno para sistemas de irrigação localizada, que especifica os requisitos para tubos de polietileno (PE), empregados

em sistemas de irrigação localizada para tubos PN 30 e PN 40. A ISO apresenta as seguintes normas voltadas para irrigação:

- ISO 8779:2010 - *Plastics piping systems -- Polyethylene (PE) pipes for irrigation – Specifications.*
- ISO 13460:1998 - *Agricultural irrigation equipment -- Plastics saddles for polyethylene pressure pipes.*
- ISO 8796:2004 - *Polyethylene PE 32 and PE 40 pipes for irrigation laterals -- Susceptibility to environmental stress cracking induced by insert-type fittings -- Test method and requirements.*

Adicionalmente, a ASABE disponibiliza a norma ASAE S435 DEC1985 (R2013) - *Polyethylene pipe used for microirrigation laterals*, que especifica os requerimentos e métodos para testar tubos de PE.

Diferentes tipos de polietileno estão disponíveis comercialmente, dependendo primordialmente da formulação e da pressão de polimerização sobre a qual foram fabricados. Os tipos de PE e suas características de densidade estão apresentados na tabela a seguir:

**Tabela 7.** Classificação e características de materiais de PE utilizados em tubulações de irrigação

Tipo	Sigla	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Estrutura
Alta densidade	PEAD	0,945-0,965	Linear, pouco ramificada
Média densidade	PEMD	0,935-0,944	Linear, com algumas ramificações
Baixa densidade	PEBD	0,915-0,935	Linear, ramificada
Baixa densidade linear	PEBDL	Igual ao PEBD	Menos ramificada que BD, boa flexibilidade e resistência mecânica

A classificação dos tubos de polietileno com base em sua densidade ainda não está totalmente consolidada. Cada norma utiliza diferentes intervalos de densidade. A classificação, porém, deve sempre se referir ao produto natural, sem pigmentos ou negro de fumo, que alteram a densidade final do polímero.

A cor natural do polietileno é um branco levemente translúcido, porém a incorporação do negro de fumo (2% a 3%) deixa o material na cor preta, oferecendo maior resistência contra o UV e dificultando o crescimento de algas e bactérias, por evitar a presença da luz dentro das tubulações. O negro de fumo é um aditivo

incorporado ao polímero que visa aumentar sua vida útil, protegendo-o contra a foto-oxidação (UV). Outros aditivos, como os antioxidantes, protegem o PE da termo-oxidação, que pode ocorrer no processamento do produto e também na sua aplicação em altas temperaturas.

De acordo com a norma ABNT NBR 11795:2008, a classificação de tubos de PE é realizada pelo **diâmetro nominal** e pela **pressão nominal**. A pressão nominal (PN) é utilizada para se calcular a pressão de serviço (PS), definida como a máxima pressão (incluindo as variações dinâmicas) que os tubos podem suportar em serviço contínuo, conduzindo água em determinada temperatura, conforme a Equação 5:

$$PS = PN \times CS \quad (5)$$

Sendo: CS o fator de redução da pressão de serviço, que é considerado igual a um (1) para a temperaturas até 20 °C, e para temperaturas entre 20 °C e 40 °C deve ser calculado pela Equação 6:

$$Cs = -0,035 \times T + 1,698 \quad (6)$$

Sendo: T a temperatura em °C.

De acordo com a norma brasileira, os tubos de PE para irrigação são fabricados para PN 30 e 40 e com DN 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20 e 26. Os tubos fabricados devem ter uma marcação que contenha: a) marca do fabricante; b) diâmetro nominal: DN (número); c) classe de pressão: PN 30 ou PN 40; d) a inscrição PE IRRIGAÇÃO; e) número da Norma de PE; f) código de rastreamento.

Além dos tubos de polietileno, onde os emissores são instalados na sua parede por processo de perfuração, as empresas do setor, buscando um produto de baixo custo, desenvolveram os chamados tubos gotejadores ou de emissão, que são tubos de PE de parede delgada com emissores integrados à parte interna da parede (Figura 18). Esses tubos são especificados pela espessura de parede em milésimos de polegada, ou em mm ou ainda em micron (milionésima parte do metro). Por exemplo, um tubo gotejador especificado com espessura de parede de 10 mil significa um tubo de PE com uma espessura de parede de  $(10 \div 1000 =) 0,01$  polegadas, ou,  $(0,01 \times 25,4 \text{mm} =) 0,25$  mm ou  $(0,25 \text{mm} \times 1000 =) 250$   $\mu\text{m}$ . Estão disponíveis no mercado tubos gotejadores com espessuras de parede variando de 0,15 a 0,85 mm e com pressões de serviço de até 3  $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ , dependendo da espessura da parede.



**Figura 18.** Exemplo do emprego de tubo gotejador no campo. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Propriedades físicas e mecânicas

### *Dilatação térmica*

O coeficiente de dilatação térmica do PE varia com a temperatura inicial, sendo adotado um valor médio para o coeficiente de dilatação linear de  $20 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Desta forma, um tubo com 100 metros de comprimento, com uma variação em temperatura de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , resultará na mudança de comprimento de 20 cm.

### *Resistência à radiação solar*

Os tubos de PE são fabricados com estabilizadores especiais contra a radiação solar e podem desta forma ficar longos períodos expostos ao sol sem problemas. Não existem limitações nas condições de uso desses tubos se forem fabricados para ficar expostos à radiação solar por mais de 50 anos.

### *Resistência biológica*

Tubos de PE não são atacados por fungos ou microrganismos. Entretanto, já se tem conhecimento de ataques de formigas e de algumas larvas.

### *Resistência química*

Para os usos mais comuns, ou mesmos para a maioria dos produtos considerados perigosos para outros tubos, o PE pode ser considerado material praticamente imune ao ataque químico. Tubos de PE são inertes a água salina, ácidos e soluções alcalinas (exceto em altas concentrações) e para a maioria das substâncias empregadas em fertirrigação ou outros produtos químicos aplicados via água de irrigação.

Esta resistência química, entretanto, é limitada para compostos de cloro e de bromo, combustíveis, óleos lubrificantes e solventes aromáticos. A resistência química também é afetada por fatores como temperatura e concentração dos produtos, sendo considerado permeável para alguns gases.

### Propriedades físicas e mecânicas do PE

**Tabela 8.** Valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas de tubos de PE

Propriedades	PEBD	PEAD
Peso específico ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0,94	0,96
Módulo de elasticidade ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	3.000	6.000
Resistência à tração ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	170	270
Tensão máxima de tração (%)	500	700
Tensão circunferencial ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	25	50
Condutividade térmica ( $\text{watt m}^{-1} \text{C}^{-1}$ )	0,35	0,45
Resistência elétrica (ohms)	Acima de $10^{15}$	Acima de $10^{15}$

### Tipos de acoplamentos

O tipo de acoplamento empregado em tubos de PE depende de cada fabricante que disponibiliza modelos diferenciados de acordo com sua recomendação. No caso do PE, os acoplamentos utilizados são do tipo mecânico por compressão (Figura 19).



**Figura 19.** Exemplo de acoplamentos mecânicos por compressão utilizados em tubos de PE em irrigação.

### TUBOS DE AÇO ZINCADO

Os tubos de aço zincado são tubos de aço revestidos interna e externamente por uma camada protetora de zinco depositada por processos de galvanização a quente, com a finalidade de dar maior resistência à corrosão. Os primeiros fornecedores de tubos galvanizados surgiram nos Estados Unidos por volta de 1800. Entre 1850 e 1860, a indústria siderúrgica teve um impulso significativo com a invenção do processo Bessemer para fabricação de aço, permitindo que a partir de 1852, as tubulações de aço passassem a ser utilizadas em redes de água nos Estados Unidos; em 1895, a primeira fábrica de tubos sem costura foi construída nesse país (CATES,

1971). Atualmente, o aço é o material mais usado na fabricação de tubos, e com participação importante na área de irrigação pressurizada no mundo todo, principalmente devido ao seu uso intensivo em sistemas de irrigação por pivô central (Figura 20) e na montagem de sistemas de bombeamento.



**Figura 20.** Detalhe de um lance de pivô central montado a partir de tubos de aço zincado.

## Vantagens e limitações

Os tubos de aço zincado sempre foram uma opção interessante para os agricultores irrigantes, devido às excelentes qualidades mecânicas e facilidade de solda e de conformação. Além disso, possuem as propriedades do aço que tornam essas tubulações adequadas para determinadas aplicações na irrigação (Figura 21), como:

- Suportam pressões internas de até  $15 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ .
- Possuem altas resistências interna e externa superior aos tubos plásticos.
- Podem ser fabricados em diversas espessuras para atender praticamente qualquer pressão de projeto.
- Possuem capacidade de fletir sobre carga ou mesmo de encurvar sem romper.



**Figura 21.** Tubulações de aço zincado. (Fonte: JIMENEZ, 2014)

- Oferecem boa resistência ao impacto.
- Têm boas características hidráulicas para escoamento de fluidos e resistência ao fogo.

Entretanto, as tubulações de aço zincado são suscetíveis à corrosão (Figura 22) ou em acumular depósitos minerais no seu interior. Conforme os tubos vão envelhecendo, as condições pioram, afetando significativamente o desempenho do sistema de irrigação, requerendo adequada proteção interna e externa ao tubo para reduzir esses problemas. Esses tubos ainda têm outras desvantagens, como por exemplo:



**Figura 22.** Exemplo de corrosão interna em tubo de aço zincado.

- São mais caros e mais pesados, dificultando o transporte e seu manuseio em campo.
- A oxidação e escamação da parte galvanizada podem entupir os emissores, piorando o desempenho do sistema ao longo do tempo.
- O aço-carbono quando exposto à atmosfera sofre uma corrosão uniforme (ferrugem), que é mais intensa quando a umidade e a poluição do ar são maiores (Figura 23).



**Figura 23.** Exemplo de oxidação externa de um tubo de aço zincado em um pivô central.

- O contato direto com o solo causa não só a ferrugem como uma corrosão alveolar penetrante, que consiste na formação de pequenas cavidades (alvéolos) no tubo e pode perfurar a espessura da peça. Esse tipo de corrosão é mais grave em solos úmidos ou ácidos (Figura 24).



**Figura 24.** Exemplo de corrosão alveolar em tubos de aço. (Fonte: FIBERNEERINGS, 2015)

## Composição

O aço-carbono utilizado na fabricação das tubulações de aço zincado é uma liga de ferro de carbono, com porcentagem de carbono, variando normalmente de 0,15% a 0,5%, que vai determinar o grau de dureza do aço. Quanto maior a porcentagem de carbono na liga, maior será a dureza e a dificuldade de soldagem do aço, um dos processos utilizados na união de tubos e acessórios.

Alguns dos aços carbono utilizados comercialmente na fabricação de tubos de aço com soldagem helicoidal são SAE 1008/1010/1012; o aço SAE 1010 possui a seguinte composição química em %: C (carbono) de 0,08 - 0,13, Mn (Manganês) de 0,30 - 0,60, P<sub>máx</sub> (Fósforo) de 0,030 e S<sub>máx</sub> (enxofre) de 0,050 (ARCELORMITTAL, 2014).

## Normas e Classificação

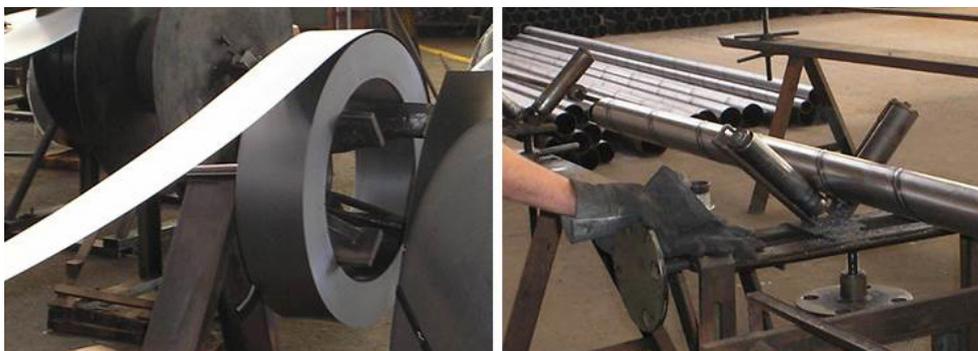
Especificamente para utilização na irrigação, a ABNT não disponibiliza nenhuma norma sobre a utilização ou classificação de tubos de aço zincado; contudo, há uma variedade significativa de normas para tubos de aço voltados para a condução de fluidos, dentre as quais se destacam:

- ABNT NBR 5580:2013 - Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos — Especificação.
- ABNT NBR 5590:2012 - Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados — Especificação.

- ABNT NBR 9914:1987 - Tubo de aço ponta e bolsa para junta elástica.
- ABNT NBR 5577:1982 - Tubo de aço – Classificação quanto ao emprego.

Considerando as Normas Internacionais, a associação americana ASABE disponibiliza a norma ASAE S347.1 MAR1981 (R2011) *Flanged Steel Blower Pipe Dimensions*; a ISO apresenta dentre as várias normas, duas que estariam relacionadas a tubos de aço empregados na irrigação: ISO 10763:1994 -*Hydraulic fluid power -- Plain-end, seamless and welded precision steel tubes -- Dimensions and nominal working pressures*, e ISO 14713-2:2009- *Zinc coatings -- Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures -- Part 2: Hot dip galvanizing*.

De acordo com a norma ABNT NBR 5590:2012, os tubos de aço zincado são classificados pelo processo de fabricação como tubos do **tipo E**, soldados por resistência elétrica a partir de chapas de aço leves e do **tipo S**, fabricados sem solda longitudinal. A Figura 25 mostra o processo de soldagem do tipo helicoidal em chapas de aço na fabricação de tubos utilizados em irrigação.



**Figura 25.** Detalhe do processo de soldagem helicoidal em chapas de aço na fabricação de tubos utilizados em irrigação.

De acordo com essa mesma norma, onde estão incluídos os tubos zincados, os tubos de aço-carbono podem ser designados comercialmente por três formas:

- Diâmetro nominal (NPS ou DN) e classe de pressão
- Diâmetro nominal (NPS ou DN) e número de schedule
- Diâmetro externo e espessura de parede

A sigla NPS é a abreviatura em inglês para *Nominal Pipe Size* e está relacionado ao diâmetro interno em polegadas para valores de NPS que vão de 1/8 a 12. Para valores de NPS 14 e maiores, o NPS corresponde ao diâmetro externo. Portanto, seu valor corresponde para os diâmetros menores que 300 mm ao diâmetro nominal, expresso em milímetros. Pode-se afirmar, por exemplo, que um tubo com DN 50 (50 mm) corresponde ao NPS 2 (duas polegadas).

A norma ANSI.B.36.10 adota o número de Schedule (Sch) para designar a espessura (ou peso) dos tubos. A citada norma padronizou as séries 10, 20, 30, 40,

60, 80, 100, 120, 140 e 160, porém para a maioria dos diâmetros nominais, apenas algumas dessas espessuras são fabricadas. O número de Schedule correspondente ao resultado, arredondado à dezena, obtido pela Equação 7:

$$Sch = 1.000 \times \frac{P}{S} \quad (7)$$

Sendo:

P = a pressão de trabalho ou de projeto do tubo (psi);

S = a tensão admissível do material correspondente a 60% do limite de escoamento a 20 °C (psi).

Como o número de Schedule é uma relação entre a pressão existente internamente no tubo e a tensão admissível, para um mesmo diâmetro externo, quanto maior o SCH maior será a capacidade desse tubo em não se romper e maior a espessura de parede em relação ao seu diâmetro. Por exemplo, a norma ABNT NBR 5590:2012, apresenta para um tubo de aço com DN 100 (NPS 4), espessuras de 6,02; 8,56 e 11,13 mm para os números de Schedule 40, 80 e 120, respectivamente. Os valores das dimensões dos tubos para todos os Schedule são estabelecidos nas normas correspondentes.

Apesar da existência das normas brasileiras para identificação e comercialização de tubos de aço zincado, os fabricantes nacionais da área de irrigação não disponibilizam informações técnicas completas de seus produtos, apresentando na sua maioria, somente dados das dimensões (NPS) (KREBS, 2014, JIMENEZ, 2014, IRRIGAÇÃO PENÁPOLIS, 2014). Os tubos de aço zincado utilizados em irrigação são fornecidos geralmente em DN de 50, 75, 100, 150, 200, 250 e 300 mm e espessuras de 2,0 até 9,50 mm e em comprimentos de 6,0 metros.

## Propriedades físicas e mecânicas

### *Dilatação térmica*

O valor médio do coeficiente de dilatação linear para o aço é de  $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Desta forma, um tubo com 100 metros de comprimento, com uma variação em temperatura de 10 °C, resultará em uma mudança de comprimento de 1,2 cm.

### *Resistência à tração*

Segundo a norma ABNT, o valor mínimo da resistência à tração para tubos classificados como Grau A é de 330 MPa ( $3365 \text{ kg, cm}^{-2}$ ) e de 485 MPa ( $4945 \text{ kg, cm}^{-2}$ ) para tubos de Grau C. Essa elevada resistência do aço aos esforços de tração permite que os tubos de aço zincado, embora submetidos a pressões internas elevadas, tenham espessura de paredes reduzidas em relação ao diâmetro e aos esforços.

### *Resistência biológica*

Em tubos de aço zincado pode ocorrer ação corrosiva devido à ação de fungos ou microrganismos, principalmente quando ficam longos períodos de tempo inoperantes com águas paradas no seu interior.

### *Resistência química*

O aço-carbono quando exposto à atmosfera sofre uma corrosão uniforme (ferrugem), que é mais intensa quando a umidade e a poluição do ar são maiores.

### *Propriedades físicas e mecânicas do Aço Zincado*

**Tabela 9.** Valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas de tubos de **aço** zincado

Propriedades	Valores médios
Peso específico ( $\text{g cm}^{-3}$ )	7,8
Módulo de elasticidade ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	$2,1 \times 10^6$
Resistência à tração ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	$3,9 \times 10^3$
Tensão máxima de tração (%)	$7,4 \times 10^3$
Tensão circunferencial ( $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$ )	400
Condutividade térmica ( $\text{watt m}^{-1} \text{C}^{-1}$ )	52,9
Resistência elétrica (ohms)	$1,6 \cdot 10^{-7}$

### **Revestimento**

O contato direto do tubo nu com o solo que o circunda ou com a própria água que escoar no seu interior pode propiciar condições favoráveis à corrosão do aço. A fim de preservar a propriedade de alta resistência física aos esforços de tração, os tubos de aço utilizados na irrigação recebem um revestimento de zinco pelo processo a fogo, protegendo o aço contra a corrosão e, conseqüentemente, aumentando sua vida útil. A Figura 26 mostra detalhes de uma instalação de galvanização com tubos na posição vertical e o resultado após o processo.

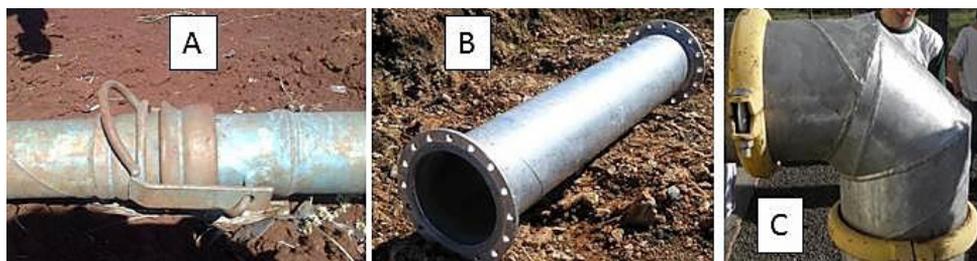


**Figura 26.** Detalhe do processo de galvanização a quente com tubos colocados na posição vertical no banho de zinco e tubos após a galvanização.

Quando a qualidade da água de irrigação apresentar qualidades químicas e/ou físicas que exigem maior resistência à corrosão e/ou abrasão, conjuntamente à alta pressão, caso de aplicação de vinhaça em canaviais, realizada por canhões hidráulicos, ou de fertirrigação em pivô central, a solução é o emprego de tubos de aço com revestimento interno. No caso de irrigação, são utilizados com mais frequência revestimentos internos de plástico e borracha. Entre os revestimentos plásticos é possível encontrar politetrafluoretileno (PTFE), fluoreto de polivinilideno (PVDF) e polipropileno (PP).

## Tipos de acoplamentos

Os tubos de aço zincado são fabricados com diferentes tipos de acoplamentos em vista de sua aplicação dentro do sistema de irrigação: (Figura 27A) tipo engate rápido para ser utilizado em linhas laterais ou linhas principais aéreas; (Figura 27B) juntas mecânicas flangeadas destinado a linhas principais fixas ou para adutoras; (Figura 27C) engates especiais para montagens do sistema de bombeamento.



**Figura 27.** Exemplos de acoplamentos em aço zincado: (A) Engate rápido tipo sela; (B) Junta Flangeada; (C) Junta especial victaulic.

## TUBOS DE ALUMÍNIO

O alumínio foi identificado como elemento metálico em 1807, sendo purificado pela primeira vez em 1825 e, somente no fim de 1880, com a invenção do processo de fundição, que se iniciou sua produção comercial para usos diários.

Esse processo foi intensificado com a invenção de Alexander Dick do processo de extrusão a quente em 1894, aplicável à maioria das ligas de metais não ferrosos (SPECTRA, 2014).

Foi somente após a Segunda Guerra Mundial, com o aumento da disponibilidade de alumínio, que os tubos fabricados por esse metal leve aumentou o potencial da irrigação por aspersão portátil na produção agrícola americana, substituindo as tubulações de aço pesado e os acessórios de ferro fundido ou aço (IRRIGATION MUSEUM, 2014). Apesar de o alumínio ser um dos metais mais extrusado atualmente, tanto pelos processos a quente como a frio, sua participação na irrigação no Brasil tem diminuído ao longo dos anos, sendo mais utilizado em condições específicas, como na aplicação de vinhaça (Figura 28) via irrigação (RAESA, 2014).



**Figura 28.** Exemplo de aplicação de tubos de alumínio na aplicação de vinhaça. (Fonte: RAESA,2014)

## Vantagens e limitações

Os tubos de alumínio são muito leves (cerca de 1/3 do peso do aço), com boa resistência à oxidação e instalação relativamente rápida quando comparado com outros sistemas. As principais propriedades dos tubos de alumínio são:

- Suportam pressões nominais de até  $18 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ .
- Como são tubos leves quando comparado com outros tubos metálicos, podendo ser rapidamente instalados e manuseados em campo (Figura 29).
- Têm boa resistência ao contato com a atmosfera, a água, e muitos compostos orgânicos, inclusive ácidos orgânicos.
- Possuem boa resistência à oxidação e corrosão.
- O tubo é considerado com paredes muito lisas e com baixo atrito ao escoamento.



**Figura 29.** Detalhe de carreta com tubos de alumínio para movimentação na área irrigada.  
(Fonte: RAESA,2014)

Apesar dessas características, a resistência mecânica do alumínio é baixa, podendo ser melhorada pela adição de pequenas quantidades de Fe, Si, Mg e outros metais. Dessa forma, os tubos de alumínio têm sido ultimamente substituídos pelos materiais plásticos, com vantagens de preço e de resistência à corrosão. Além disso, os tubos de alumínio:

- Não resistem mecanicamente à ação de pressões negativas, produzindo o esmagamento do tubo;
- Possuem baixa resistência a impactos externos, amassando com facilidade quando manuseado incorretamente (Figura 30);
- Custo mais elevado.



**Figura 30.** Exemplo de tubos de alumínio amassados por mau manuseio.  
(Fonte: AGTALK, 2014)

## Composição e fabricação

Os tubos de alumínio são fabricados com base em ligas, cujo alumínio é o componente principal, acrescido em pequenas quantidades de outros elementos metálicos. No caso de tubos de irrigação fabricados pela Alcoa do Brasil e que pertence à Série 6XXX, a liga é composta de Alumínio-Magnésio-Silício (ALCOA, 2010).

A fabricação dos tubos de alumínio é feita pelo processo de extrusão, cuja liga em estado pastoso é pressionada por êmbolo através de um furo de uma matriz e por fora do mandril. Ao sair, ele já tem a forma de tubo e, posteriormente, vai passar por laminadores que darão as formas e dimensões definitivas (SENAI/CST, 1996). Os tubos de alumínio podem ser fabricados por três processos: tubos extrusados sem costura a partir de lingotes de alumínio, tubos extrusados com matriz sem costura (molde e estamparia) e tubos soldados (chapas de alumínio).

## Normas e Classificação

Para tubos de alumínio existem normas brasileiras específicas para a sua utilização na irrigação: ABNT NBR 8274:2007 - Alumínio e suas ligas - Tubos trefilados para uso geral e NBR 14228:2005 - Tubos extrusados em ligas de alumínio para irrigação – Requisitos.

A ISO disponibiliza a norma ISO 11678:1996 - *Agricultural irrigation equipment -- Aluminium irrigation tubes*, que contém os requerimentos mínimos e os métodos de ensaios de tubos de alumínio para uso na irrigação agrícola a temperaturas inferiores a 50 °C.

De acordo com a norma NBR 14228:2005, os tubos de alumínio para uso em irrigação devem ser fornecidos na classe 1,07 MPa (10,9 kg<sub>f</sub> cm<sup>-2</sup>), com comprimento útil de 6,0 metros, diâmetros externos de 50,8; 76,2; 101,6; 127 e 152,4 mm, e espessuras de parede de acordo com a classe de pressão nominal. Essa norma tem outro parâmetro para especificação técnica dos tubos de alumínio que se chama fator de amassamento (Fm), definida como a relação entre a tensão de escoamento da liga pelo quadrado da espessura mínima (e), de acordo com a Equação 8:

$$Fm = LE \times e^2 \quad (8)$$

Sendo:

Fm = fator de amassamento (MPa mm<sup>2</sup>)

Le = tensão de esmagamento (170 MPa)

e = espessura mínima (mm)

Essa norma define valores mínimos do fator de esmagamento para tubos com pressão nominal de 10,9 kg<sub>f</sub> cm<sup>-2</sup>, buscando evitar o amassamento devido ao manuseio, transporte ou uso. Ela recomenda que para diâmetros externos de 50,8, 76,2 e 101,6 mm, o valor desse fator seja igual ou maior a 274 (Fm ≥ 274), enquanto para diâmetros externos de 127 e 152,4 deve ser maior ou igual a 296 e 383, respectivamente. Dessa forma, a espessura mínima dos tubos fica estabelecida por esse critério em 1,61, 1,74 e 2,25 mm, para os respectivos diâmetros externos.

## Propriedades físicas e mecânicas

### *Dilatação térmica*

O valor médio do coeficiente de dilatação térmica linear do alumínio é de  $23.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Desta forma, se em um tubo com 100 metros de comprimento houver variação em temperatura de  $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ , resultará em uma mudança de comprimento de 2,36 cm.

### *Resistência à tração*

Segundo a norma ABNT, o limite de resistência à tração para tubos de alumínio classe de 10,9 é 200 MPa ( $2040 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ ).

### *Resistência química*

Resistência à corrosão do alumínio é muito boa na maioria dos ambientes, principalmente em peças sem nenhum tratamento. Este fato ocorre, pois o alumínio forma espontaneamente uma fina camada de óxido, que é eficaz e impede a continuidade da oxidação (ALUMINIUMDESIGN.NET, 2014).

## Propriedades físicas e mecânicas do alumínio

**Tabela 10.** Valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas de tubos de alumínio

Propriedades	Valores médios
Peso específico ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,71
Módulo de elasticidade ( $\text{kg}_f \text{ cm}^{-2}$ )	700
Resistência à tração ( $\text{kg}_f \text{ cm}^{-2}$ )	1800
Tensão circunferencial ( $\text{kg}_f \text{ cm}^{-2}$ )	1.200
Condutividade térmica ( $\text{watt m}^{-1} \text{ C}^{-1}$ )	234

## Tipos de acoplamentos

Assim como os tubos de aço zincado, os tubos de alumínio são fabricados com diferentes acoplamentos, como tipo engate rápido (Figura 31), flangeados e juntas mecânicas especiais, em vista de sua aplicação dentro do sistema de irrigação.



**Figura 31.** Exemplos de modelos de engates rápidos em tubos de alumínio. (Fonte: RAESA, 2014)

## TUBOS DE FERRO FUNDIDO

Os chineses já trabalhavam com ferro fundido por volta do século VI a.C., sendo produzido de forma esporádica na Europa somente perto do século XIV, com introdução na Inglaterra ocorrendo por volta de 1500. As primeiras indústrias siderúrgicas na América foram estabelecidas na Virgínia, em 1619, e o primeiro tubo de ferro fundido fabricado nos Estados Unidos foi produzido em uma fundição em Weymouth, New Jersey, no início de 1800. A cidade de Filadélfia começou a instalar tubos de ferro fundido em seu sistema de distribuição de água por volta de 1804-1810 (SCHLADWEILER, 2014).

Apesar da confirmação da existência de pequenas forjas de metais no Brasil no século XVI, as duas primeiras siderúrgicas criadas foram: a Real Fábrica de Ferro do São João do Ipanema, iniciada em 1810, em Sorocaba (SP), e a Real Fábrica de Ferro de Morro do Pilar, em 1812, em Minas Gerais. Essas instalações tinham o objetivo de produzir ferro fundido, ferro maleável e aço para o mercado nacional e de exportação. A criação de outras siderúrgicas ocorreu ao longo de todo o século XIX, e culminou com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional, em 1943 (LANDGRAF et al., 2014).

Historicamente, os tubos de ferro fundido (Figura 32) têm sua aplicação direcionada para adutoras de água potável em sistemas de abastecimento público de água. Em função de suas características, o uso em irrigação é reduzido, a não ser em casos específicos de adutoras de grande diâmetro e nas conexões empregadas para conectar os tubos PVC do tipo DEFoFo (diâmetro equivalente de ferro fundido).



**Figura 32.** Tubos de ferro fundido armazenados. (Fonte: RFCOMERCIAL, 2014)

## Vantagens e limitações

Os tubos de ferro fundido oferecem boa resistência à corrosão, principalmente por aquela causada externamente pelo solo, e por boa vida útil. Adicionalmente, os tubos de ferro fundido oferecem outras vantagens, como:

- Suportam pressões até de  $20 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ .
- Resistentes a problemas de quebras durante o transporte e a instalação.
- Resistentes ao esmagamento ou à quebra devido a cargas externas de compressão, como é o caso da área agrícola onde existe o tráfego de veículos pesados.
- Resistência a golpe de aríete e possível sobre pressão na tubulação.
- Facilidade de conexão entre tubos devido aos projetos de juntas elásticas.

A oxidação interna desses tubos é uma das preocupações no caso de irrigação, devido à possibilidade de entupimento dos emissores (aspersores, microaspersores ou gotejadores) pela presença de ferrugem na água (Figura 33). Além desse problema, os tubos de ferro fundido possuem outras desvantagens como:

- Redução da vida útil da rede devido à corrosão.
- São mais pesados, dificultando o transporte e o manuseio no campo.
- Baixa resistência a pressões externas, requerendo cuidados na instalação, precisando ser totalmente apoiados no fundo das valetas, e o solo do aterro deve estar isento de rochas ou outros materiais.



**Figura 33.** Exemplo de tubo de ferro fundido com corrosão interna. (Fonte: GAZETTE.NET, 2014)

## Composição e fabricação

Os ferros fundidos são ligas de Fe-C-Si, contendo teores de carbono superiores a 2% (em média de 3% a 4%), cujas propriedades mecânicas são definidas pela forma

como o carbono está distribuído na sua estrutura (CASOTTI et al., 2014). Segundo WIENDL (1973), o ferro fundido **nodular** ou dúctil especialmente preparado com pequenas porcentagens dos metais magnésio (Mg) e cério (Ce), possui uma microestrutura contendo grandes proporções de grafite solidificadas em forma de nódulos ou esferas. Dessa forma, se caracteriza por ser um material com propriedades mecânicas do aço (alta resistência à tração e ao choque), mantendo a mesma resistência à corrosão do ferro fundido cinzento e, assim, utilizado na produção de tubos.

## Revestimento

Os tubos de ferro fundido dúctil são, geralmente, fornecidos com revestimento externo de piche (betuminoso) anticorrosivo. O revestimento interno poderá ser de piche ou de cimento aplicado por centrifugação. A cimentação interna reduz o processo de tuberculização, ou seja, a formação de tubérculos nas paredes internas dos tubos, provocada por águas de reação ácida. Este revestimento interno confere à parte interna do tubo uma superfície lisa e protege contra a corrosão (Figura 34).



**Figura 34.** Detalhe dos revestimentos internos e externos de tubos de ferro fundido. (Fonte: ALRECO, 2014)

## Normas e Classificação

A ABNT disponibiliza somente uma norma referente ao uso de tubos de ferro fundido em irrigação, a ABNT NBR 10609:1989 – Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado para irrigação – Especificação, que fixa as condições para recebimento de tubos de ferro fundido dúctil centrifugado, destinados a sistemas de irrigação e estabelece as condições técnicas necessárias ao seu fornecimento. Outras normas brasileiras tratam do uso desses tubos para outras aplicações. Apesar de oferecer algumas normas referentes a tubos de ferro fundido, o acervo de normas da ISO não apresenta citações para emprego na irrigação.

A norma NBR 10609:1989 classifica os tubos de ferro fundido de acordo com o diâmetro nominal e a pressão nominal, estabelecendo três classes de pressão:

classes 1,0, 1,5 e 2,0 Mpa (10, 15 e 20 kg<sub>f</sub> cm<sup>-2</sup>). De acordo com a norma, esses tubos devem estar disponíveis em diâmetros nominais que vão de 75 mm até 1200 mm com comprimentos de 3, 6 e 7 metros, dependendo do DN.

## Propriedades físicas e mecânicas

### *Dilatação térmica*

No caso de tubos de ferro fundido pode-se adotar um valor médio para o coeficiente de dilatação linear, no intervalo de 0 °C a 100° C de  $1,1 \times 10^{-5} \text{ m m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Significa que, um tubo de ferro fundido com 100 metros de comprimento, variação em temperatura de 10 °C, resultará em uma mudança de comprimento de 1,1 cm.

Esta dilatação total tem que ser absorvida pelas juntas dos tubos que compõem este comprimento. Embora os deslocamentos sejam pequenos, os esforços para impedi-los são relativamente grandes. Assim, sempre que as tubulações fiquem sujeitas a grandes variações de temperatura, com os tubos conectados por juntas rígidas, os efeitos das dilatações deverão ser considerados, com a aplicação de juntas especiais em locais apropriados.

### *Deflexões angulares*

As Normas Brasileiras de tubos de ferro fundido limitam as deflexões máximas toleráveis entre dois tubos de ferro fundido, conforme seus diâmetros e os tipos de juntas.

### *Propriedades físicas e mecânicas do ferro fundido*

**Tabela 11.** Valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas de tubos de ferro fundido

Propriedades	Valores médios
Peso específico (g cm <sup>-3</sup> )	7,2
Módulo de elasticidade (kg <sub>f</sub> cm <sup>-2</sup> )	1.600-1.850
Resistência à tração (kg <sub>f</sub> cm <sup>-2</sup> )	35
Tensão circunferencial (kg <sub>f</sub> cm <sup>-2</sup> )	200
Condutividade térmica (watt m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup> )	45

## Tipos de acoplamentos

Os tubos de ferro fundido são fabricados basicamente com dois tipos de acoplamentos: junta elástica (anéis de borracha), para DN de 75 a 600 mm e junta não elástica ou mecânica (flange), para DN de 300 a 1200 mm.

## TUBOS ESPECIAIS

Além dos tubos caracterizados anteriormente, outros tipos de tubos podem ser empregados em irrigação, quando seu uso é requerido pela baixa qualidade do fluido a ser bombeado, principalmente no caso de aplicação de vinhaça gerada em usinas de açúcar e álcool. Outros exemplos de aplicação desses tubos são águas ácidas ou alcalinas, esgoto, águas residuárias, efluentes industriais, etc. Nessa situação é possível empregar tanto os tubos especiais reforçados como os de aço inoxidável, descritos a seguir.

### Tubos reforçados

São tubos de tubos plásticos reforçados externamente com fibra de vidro, que possuem propriedades características relevantes principalmente em relação à resistência e durabilidade. Nessa classificação é possível encontrar no mercado os seguintes tubos:

- RPVC (PVC reforçado): tubos com núcleo de PVC extrusado, reforçado externamente com fibra de vidro e resina poliéster (TIGRE, 2014).
- PRFV (Poliéster reforçado): tubos com revestimento (*liner*) de poliéster reforçado com fibra de vidro.

Os tubos reforçados trazem como principais vantagens: alta durabilidade e vida útil, inerte à corrosão, não precisa de revestimentos externos adicionais, baixo peso, custo inferior ao ferro fundido, adequado para acoplamentos com outros materiais como ferro dúctil e PVC DEFoFo. Na Figura 35 observam-se exemplos de tubos reforçados disponíveis no mercado brasileiro, apesar de, atualmente, seu uso na irrigação ainda ser muito restrito.



**Figura 35.** Exemplo de tubos reforçados: (A) tubo RPVC e (B) tubo PRFV. (Fonte: JOPLAS, 2014)

### Tubos de aço inoxidável

São tubos de aços de alta liga com pelo menos 12% de cromo, que dá a esses tubos a propriedade de não enferrujar em exposição prolongada à atmosfera normal. Recomenda-se o emprego desses tubos quando a tubulação vai operar em limi-

tes de temperatura (alta ou baixa), em ambientes de alta corrosão, e para garantir a segurança do sistema. Na Figura 36, verifica-se um exemplo da aplicação de tubos de aço inoxidável na sucção e na adução de um equipamento de montagem direta utilizada na aplicação de vinhaça.



**Figura 36.** Detalhe da aplicação de tubos de aço inoxidável na sucção e adução (setas) de um equipamento de montagem direta para aplicação de vinhaça. (Fonte: RAESA, 2014)

De acordo com SENAI/CST (2014b), existem duas classes principais de aços inoxidáveis utilizados em tubulações: os austeníticos (não magnéticos) e os ferríticos (magnéticos). Os aços inoxidáveis austeníticos possuem alta resistência à fluência e à oxidação, permitindo sua utilização em elevados valores-limite de temperaturas. Uma limitação desse tipo de aço inox é que na presença, mesmo de quantidades insignificantes, de ácido clorídrico, cloretos, hipocloritos, etc. (cloro em geral), pode causar severa corrosão alveolar (SENAI/CST, 2014b).

Os aços inoxidáveis ferríticos possuem menor resistência à fluência e à corrosão em geral e menor temperatura de início de oxidação, sendo recomendado para utilização com temperaturas-limite mais baixa do que austeníticos. São materiais mais baratos do que os austeníticos e menos sujeitos aos fenômenos de corrosão alveolar. Esses aços têm a característica de serem difíceis de soldar (SENAI/CST, 2014b).

Os tubos em aços inoxidáveis podem ser encontrados comercialmente na forma “com costura” ou “sem costura”; os tubos com costura possuem vantagens para uso na irrigação de menores preços, maior disponibilidade, maior variedade de diâmetros e espessuras e melhor acabamento superficial (SETTON e SENATORE, 2004).

Os tubos de aço inox possuem como vantagens: alta durabilidade e vida útil, alta resistência à corrosão e não precisa de revestimentos externos adicionais. Como consequência são tubos com custos bem mais elevados que o aço zincado, além das dificuldades de soldagem e montagem.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Esta seção ofereceu informações detalhadas sobre os principais tubos utilizados em irrigação com especificações das propriedades dos materiais de fabricação, destacando suas qualidades e limitações de uso. Para cada material foi disponibilizado as exigências das normas brasileiras para sua especificação e os ensaios requeridos. O objetivo deste conteúdo é orientar os profissionais sobre a concepção de sistemas de tubulação na irrigação e cuidados no seu manuseio, associando as funções dentro do sistema com as características dos tubos disponíveis no mercado. Tais informações devem fornecer uma base teórica para o projeto de sistemas de tubulação e a orientação para uma instalação bem sucedida e operação adequada de sistemas de tubulações em irrigação.

# CONEXÕES: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

---

Como se demonstrou nos capítulos anteriores, uma tubulação não é feita somente de canos ou tubos, mas da associação dessas peças com outros dispositivos essenciais (acessórios) para que os objetivos do projeto sejam alcançados. Reafirmando que nessa denominação de acessórios estão incluídos, além das conexões propriamente dita, outros componentes como válvulas, registros e peças específicas. O conhecimento dos tipos de acessórios comercializados, assim como, de suas funções dentro da tubulação permite ao projetista minimizar os custos da implantação e maximizar os resultados hidráulicos da sua operação. Dessa forma, este capítulo busca fornecer informações técnicas sobre tipos de conexões utilizadas em tubulações de irrigação, apresentando especificações e detalhes técnicos de seu projeto.

## CONEXÕES-PADRÃO

Conexões são peças empregadas na montagem de tubulações que possibilitam unir tubos ou de tubos a outros acessórios (uma válvula, por exemplo) visando adequar a rede ao trajeto do sistema determinado pelo seu projeto e adaptado ao relevo e aos obstáculos existentes no campo. Existe comercialmente uma variedade de conexões que podem se diferenciar em função do material de fabricação e são classificadas de acordo com as finalidades que possuem dentro da tubulação (SENAI/CST, 1996). A seguir, serão caracterizadas conexões-padrão agrupadas em função de suas principais finalidades.

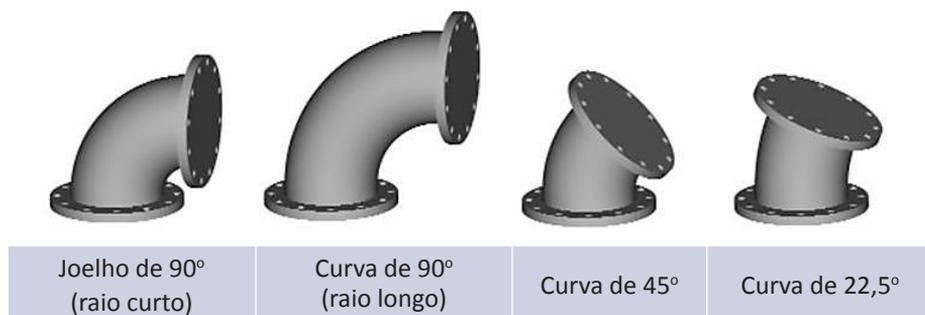
### Mudança de direção

Essas conexões são utilizadas para viabilizar a mudança de direção da tubulação atendendo necessidades específicas do sistema. Dentro desses acessórios estão as conexões do tipo curva e joelho que podem ser dos seguintes tipos:

- Curvas de raio longo e curto (joelhos)
- Curvas de redução
- Curva em gomos

Tecnicamente falando, as denominações “curva” e “joelho”, às vezes, chamados de “cotovelos”, não têm distinções. De modo geral, convencionou-se que os acessórios de raio longo denominam-se “curvas” e os de raio curto, “joelhos”. A

Figura 37 exemplifica modelos de curvas de raio curto (joelhos) e longo com diferentes ângulos de mudança de direção.



**Figura 37.** Exemplos de curvas e joelhos com acoplamentos tipo flange.  
(Fonte: CADTOOLSONLINE, 2014)

Nas conexões do tipo “curvas” são utilizados diferentes tipos de acoplamentos que dependem do tipo de material de fabricação que foi selecionado, sendo os mais utilizados nessas conexões:

- Rosqueada
- Por solda
- Flangeadas

A Figura 38 exemplifica o uso de curvas de raio curto e longo em uma montagem de sistema de bombeamento em irrigação.

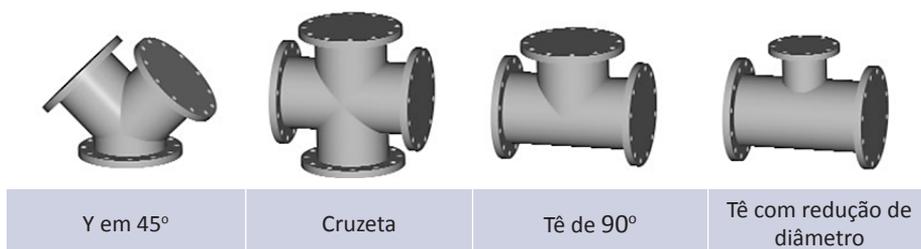


**Figura 38.** Exemplo de aplicação de curvas de raio curto em PVC (soldável) e de raio longo em aço zincado (flangeado e em gomos) em um sistema de bombeamento de irrigação. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Derivações

Quando a configuração da tubulação requer derivações de linha com mudança de direções com ou sem redução de diâmetros, recomenda-se o uso das seguintes conexões (Figura 39):

- Peças em Y
- Cruzetas
- Tês de 90°/45°
- Tês de redução
- Colares de tomada, entre outros



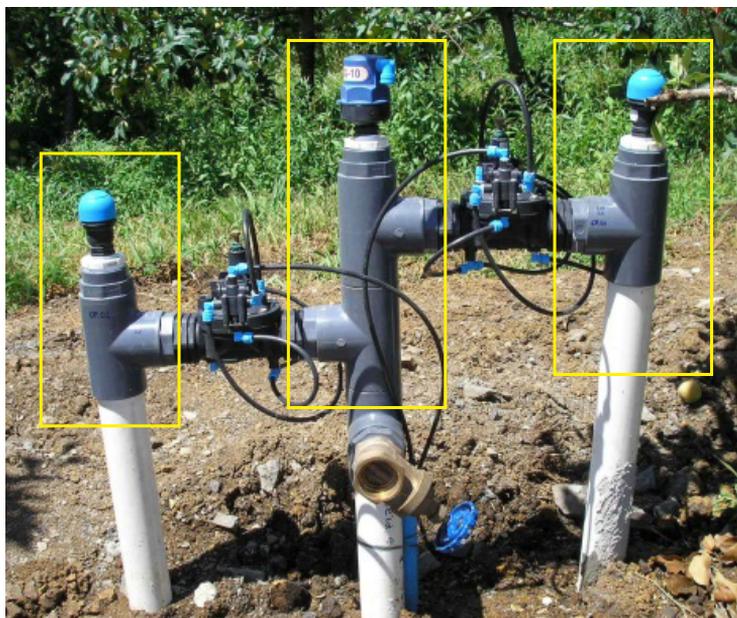
**Figura 39.** Exemplos de conexões utilizadas em derivações com acoplamento.  
(Fonte: CADTOOLSONLINE, 2014)

No caso específico de derivações de linhas de PVC para tubos de PE, existe a possibilidade do uso da conexão chamada colar de tomada ou de derivação, que permite a fixação do colar na posição de derivação desejada com posterior perfuração do tubo de PVC (Figura 40).



**Figura 40.** Exemplo de conexão do tipo colar de derivação (marrom) ligando tubos de PVC (azul) com PE (preto). (Fonte: ANTUNES, 2006)

Esses tipos de conexões aceitam diferentes tipos de acoplamentos, dependendo do material de fabricação, podendo ser: rosqueadas, soldáveis e flangeada. A Figura 41 exemplifica o uso de tês de PVC soldável em um cavalete de derivação de setor em irrigação localizada e permitindo a montagem de ventosas.

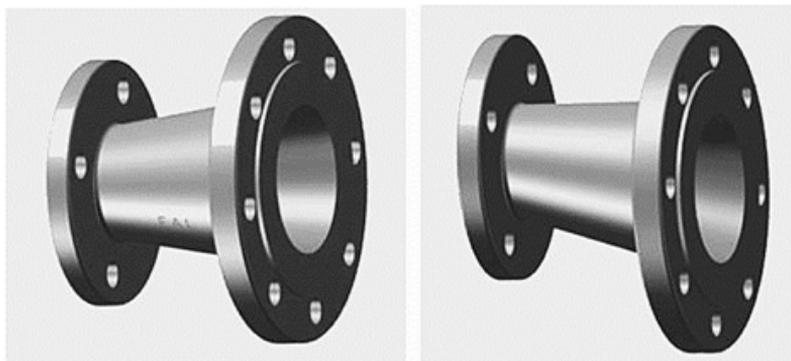


**Figura 41.** Exemplo de aplicação de tês de PVC (soldável) em um cavalete de distribuição de setor em sistema de irrigação localizada. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Alteração de diâmetros

Existem situações na montagem da tubulação em que é preciso passar de um diâmetro para outro de menor ou maior valor. Nesse caso, utilizam-se conexões do tipo:

- Reduções concêntricas: utilizada geralmente na saída do corpo da bomba centrífuga compatibilizando os diâmetros da bomba com o diâmetro da tubulação de recalque, ou seja, na tubulação vertical (Figuras 42 e 43).
- Reduções excêntricas: geralmente utilizada na linha sucção da bomba para compatibilizar os diâmetros de sucção do corpo da bomba com o diâmetro da tubulação de sucção, ou seja, na tubulação horizontal (Figuras 42 e 43).
- Buchas, luvas e niples de redução (Figura 44).



**Figura 42.** Detalhe de reduções excêntrica (direita) e concêntrica (esquerda) com acoplamento de flanges. (Fonte: BOMBAS FAL, 2014).



**Figura 43.** Montagem de uma bomba centrífuga com destaque para a redução concêntrica e excêntrica.



**Figura 44.** Exemplo de redução de diâmetro por bucha para instalação de válvula volumétrica em linha de recalque. (Fonte: ANTUNES, 2006)

Da mesma forma que os outros tipos de conexões, nos diferentes tipos de redutores, é possível utilizar acoplamentos rosqueados por soldas e flangeados.

## União de tubos

Essas conexões têm a finalidade de fazer a ligação entre tubos ou com outro acessório ou equipamento, atendendo necessidades específicas da tubulação. Exemplificadas na Figura 45, nessa classe de conexões estão incluídos:

- Luvas soldáveis ou rosqueáveis
- Uniões
- Nipples
- Flanges



Luva rosqueável

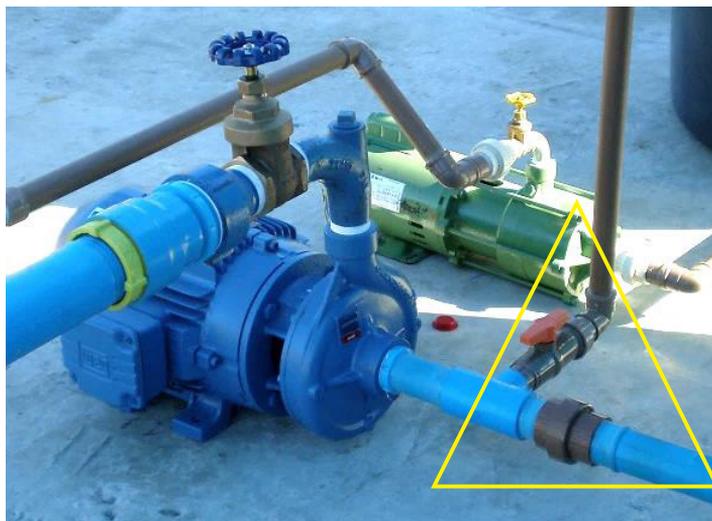
União com rosca

Niple com rosca

Flange com rosca

**Figura 45.** Exemplos de conexões do tipo uniões utilizadas em irrigação.

Esses acessórios, quanto ao tipo de acoplamento podem ser: rosqueados e soldáveis. A Figura 46 mostra uma montagem de um sistema de fertirrigação com aplicação de uma conexão do tipo união com rosca, que permite facilidade na desmontagem e manutenção do sistema.



**Figura 46.** Exemplo de aplicação de união com rosca em uma montagem de fertirrigação em irrigação localizada. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Fechamento de extremidades

As conexões nessa classificação têm a finalidade de fechar as extremidades de tubos, válvulas, instrumentos ou equipamentos, exigindo a estanqueidade para evitar vazamentos. Os tipos mais utilizados em tubulações são:

- Tampões (caps)
- Bujões (plugs)
- Flanges cegos

Na Figura 47 são apresentadas as conexões empregadas no fechamento de tubulações de diferentes materiais e tipos de acoplamento que podem ser rosqueáveis e soldáveis. Na Figura 48 é apresentado o uso de um tampão de fim de linha, em aço zincado, para uma linha lateral de aspersão utilizando um acoplamento do tipo engate rápido.



**Figura 47.** Exemplos de conexões utilizadas para fechamento de tubulações: (A) Cap de PVC soldável, (B) tampão de PVC rosqueável de aspersão; (C) Bujão metálico, (D) Flange cego de PVC.



**Figura 48.** Detalhe da colocação de um tampão de fim de linha em aço zincado em uma linha lateral de aspersão.

## CONEXÕES ESPECIAIS DE IRRIGAÇÃO

Devido às especificidades de seus sistemas, as tubulações de irrigação requerem conexões adaptadas às suas necessidades. Neste tópico, serão exemplificados alguns tipos diferenciados de conexões empregadas em diferentes sistemas de irrigação.

### Sistemas de pivô central

Por ser um sistema mecanizado por aspersão que opera na forma circular, o pivô central apresenta algumas conexões distintas de outros sistemas. Dentre elas, pode-se citar:

#### Curva de conexão giratória entre as linhas adutora e distribuição

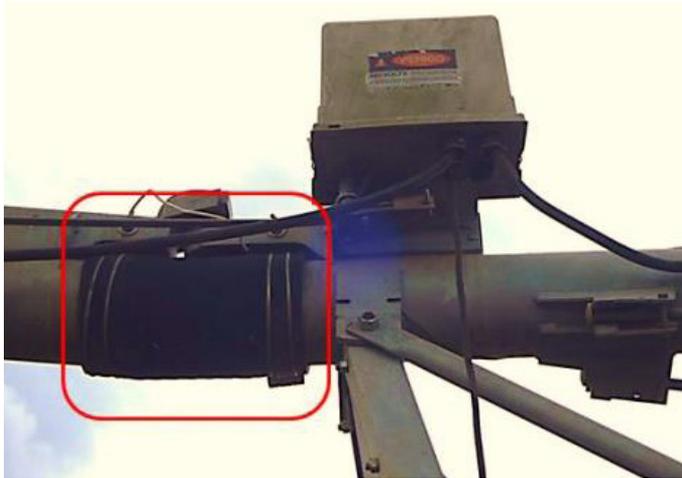
A partir da torre central fixa do pivô central, centro da área circular irrigada e onde toda a estrutura móvel está ancorada, a linha de distribuição formada pelas torres móveis está conectada à adutora por meio de uma curva de raio longo, também chamada “pescoço”, que permite o giro da linha em torno do eixo. Essa curva giratória, fabricada em aço zincado, é conectada à adutora por uma junta elástica com guarnição de borracha e deve ser engraxada regularmente pelos pontos de lubrificação presentes na sua estrutura (Figura 49).



**Figura 49.** Detalhe da curva de conexão giratória de um pivô central com destaque para a peça isolada antes da montagem.

### União com junta flexível

A união entre a curva de conexão, descrita no tópico anterior, e o primeiro lance de tubulação no pivô central, assim como o acoplamento entre dois lances de torres móveis são feitas por juntas flexíveis de borracha, também chamada comercialmente de “mangote” (Figura 50). Essas juntas de borracha são fixadas por braçadeiras nas tubulações das duas torres e projetadas para permitir movimentos em qualquer direção e evitar a transmissão de esforços às torres subsequentes, evitando que possam tombar em um movimento de reação.



**Figura 50.** Exemplo da junta articulada flexível de borracha unindo dois lances de torre em um equipamento de pivô central.

### Tubos de descida ou de conexão ou pendurais

Com o objetivo de permitir a variação da altura dos *sprays* e a aplicação de água mais próxima ou mais afastada da cultura, desenvolveu-se um tubo de conexão entre a linha de distribuição e os emissores, denominado comercialmente pendural. Esses tubos são projetados na forma de um cabo de guarda-chuva (Figura 51) e podem ser fabricados em aço zincado ou plástico (PE ou PVC).



**Figura 51.** Exemplos da utilização da conexão por pendural em pivô central, com destaque para a peça isolada. (Fonte: PLASNOVA, 2014)

## Sistemas de aspersão convencional

No sistema de aspersão convencional, observam-se algumas conexões específicas para que sua operação seja realizada de forma prática e adequada.

### Válvula de linha com hidrante

Para atender a operação do sistema de irrigação por aspersão convencional desenvolveu-se uma conexão específica para permitir a rápida mudança de posição da linha de distribuição ou lateral a partir da linha principal. Essa conexão chamada válvula de linha com hidrante é acoplada à linha principal de irrigação, tendo em sua parte superior um hidrante que pode ser operado a partir de uma válvula de derivação. Como esse conjunto fica em uma posição acima do solo é preciso utilizar uma curva de nivelamento para permitir a conexão dos tubos no nível do solo. Nas Figuras 52 e 53 notam-se, com detalhe, as partes da válvula de linha e as derivações utilizadas conjuntamente ao seu emprego.



**Figura 52.** Válvula de linha com hidrante e suas conexões na sequência de montagem.



**Figura 53.** Válvula de linha montada no campo com a curva de nivelamento acoplada à curva de derivação.

### Conexão para aspersores (tubo de subida)

A operação de linhas laterais de irrigação por aspersão convencional vai requerer que o aspersor opere acima da altura das plantas de forma a evitar o desvio

do jato de água pela cultura, e não permitir a redução da eficiência e da uniformidade de distribuição da irrigação. Dessa forma, é preciso instalar o aspersor na extremidade de um tubo de PVC, com comprimento maior que a altura da planta, acoplado por um “tê” ou saída de aspersor. Cada saída de aspersor será acoplada à linha lateral no espaçamento definido entre aspersores, ou seja, múltiplo de 6 metros (Figura 54). A Figura 55 ilustra a operação de um sistema de irrigação por aspersão convencional operando no campo, onde os aspersores estão instalados aos tubos de subida com acoplamento rosqueável.



**Figura 54.** Detalhe da montagem da estrutura de fixação do aspersor. (Fonte: MFRURAL, 2014)



**Figura 55.** Aspersores instalados em tubos de subida e operando na cultura de beterraba. (Fonte: ANTUNES, 2006)

## Sistemas de irrigação localizada

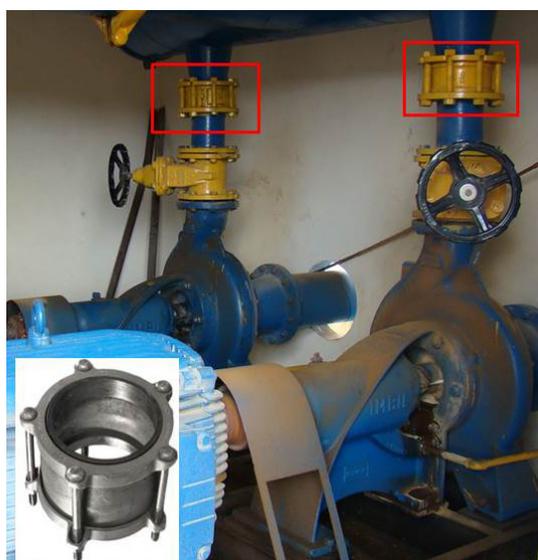
Na montagem de sistemas de irrigação localizada praticamente são utilizadas as conexões-padrão já discutidas neste capítulo. Uma das exceções que se pode observar nesse caso é a conexão para derivações de múltiplas saídas empregadas, a fim de possibilitar o acoplamento de mais de uma linha lateral de gotejamento a partir de uma tubulação de distribuição (Figura 56).



**Figura 56.** Detalhe de uma conexão de derivação para seis saídas de linhas de gotejamento.

### Linhas de recalque em sistemas de irrigação

Uma das formas de unir tubulações de recalque em irrigação sem solda, flanges ou com luvas rosqueáveis é o acoplamento especial do tipo Dresser. Esse acoplamento é constituído de um anel cilíndrico central, duas franjes de aperto, duas juntas flexíveis e um jogo de parafusos de aço (Figura 57). Pode ser fabricado em ferro fundido, aço zincado, etc., com diâmetros iniciando em 25 mm, permitindo a montagem de tubos com mesmo diâmetro ou diferentes. Essa conexão não é considerada uma articulação rígida, pois é capaz de absorver pequenos movimentos axiais (expansão e contração) e angulares (deflexão) e atenuar vibrações, sendo considerada como junta expansiva no caso de tubulações de irrigação com grandes diâmetros.



**Figura 57.** Detalhe de uma linha de recalque com uniões tipo dresser na saída da motobomba.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Nesta parte do manual, buscou-se apresentar os tipos de conexões mais utilizados na montagem de tubulações de irrigação, dividindo nos modelos-padrão e em alguns específicos de irrigação. Apesar da preocupação aqui de se classificar de forma didática e de se permitir a visualização das peças, o profissional responsável pelos projetos precisa aprofundar seus conhecimentos técnicos e práticos na utilização correta das conexões que serão empregadas na sua montagem. Esse conhecimento é a base para que os projetos atinjam a otimização hidráulica e financeira.



# VÁLVULAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

---

*Laércio José Lavor e Roberto Testezlaf*

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Todo sistema de irrigação pode ser considerado como uma rede hidráulica capaz de transportar um volume captado de água até determinado ponto do campo onde está localizada a cultura e distribuí-lo em toda a área irrigada. Esse sistema deve aplicar a água de maneira apropriada e eficiente de forma que o volume disponibilizado a cada planta seja suficiente para seu desenvolvimento e produção, conforme definido no planejamento de exploração agrícola.

Existem diferentes formas de se aplicar a água, dependendo das características da cultura e de seu tipo de exploração e do método de irrigação utilizado. No entanto, o que garante a uniformidade com que esta água está sendo distribuída para as plantas, em última análise, é a pressão com a qual ela está chegando a cada emissor, seja um gotejador/microaspersor (autocompensante ou não), seja qualquer outro tipo de emissor que esteja sendo utilizado. Dessa forma, o dimensionamento das redes hidráulicas de irrigação deve prever e selecionar os dispositivos e acessórios necessários para garantir que o funcionamento definido em projeto possa operar em campo com eficiência e segurança.

Entre os acessórios presentes nos sistemas de irrigação destacam-se as válvulas que podem ter diferentes funções. Por exemplo, em um sistema de irrigação localizada, a área total que deve ser irrigada é dividida em parcelas, que podem funcionar isoladamente ou em conjunto, por um tempo necessário para que a quantidade de água definida no projeto possa ser aplicada às plantas daquela parcela. A operação sequencial dessas parcelas termina por irrigar toda a área. O dispositivo que permite a ligação e o desligamento sequencial de cada parcela é uma válvula com a função *on/off*, que opera obedecendo a um sinal gerado por um painel de controle. Outra aplicação do uso de válvulas está relacionada ao momento e à necessidade de se fazer manutenções no sistema, exigindo que parte dele continue a operar durante esse processo; são utilizadas válvulas instaladas em pontos estratégicos, definidos durante o dimensionamento hidráulico, as quais permitem o isolamento de partes do sistema.

Dessa forma, este capítulo busca fornecer informações técnicas sobre os tipos de válvulas utilizadas em tubulações de irrigação, com especificações e detalhes de operação, de forma a contribuir para adequar sua aplicação dentro do projeto da rede hidráulica.

## VÁLVULAS: DEFINIÇÃO E ASPECTOS DE OPERAÇÃO

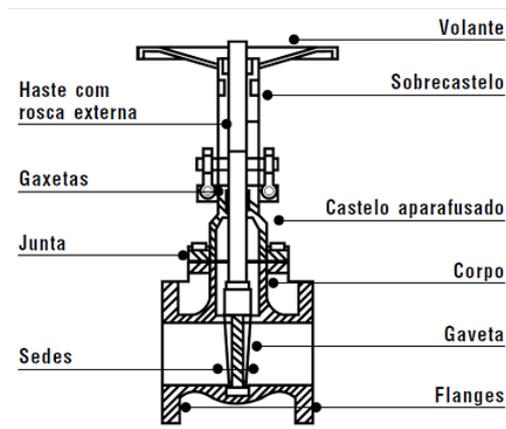
As válvulas são acessórios desenvolvidos para estabelecer, controlar e interromper o escoamento de água em uma tubulação, imprescindíveis para que os sistemas de irrigação atinjam suas funções. Quando instalados em uma linha pressurizada para condução de água, as válvulas podem alterar os parâmetros do escoamento, como por exemplo, interromper sua passagem (válvula de bloqueio), regular sua pressão ou vazão (válvula de regulação/controle). Pela importância que possuem nas redes de tubulações, esses acessórios requerem o maior cuidado na sua especificação, escolha e localização (SENAI/CST, 1996).

O dimensionamento de tubulações em sistemas de irrigação deve ser criteriosamente realizado, de forma a minimizar o número possível de válvulas, compatível com seu correto funcionamento, pois as válvulas são peças relativamente caras, e sempre há possibilidade de vazamentos (em juntas, gaxetas, etc.) que vão introduzir, muitas vezes, perdas de pressão excessivas.

### Partes das válvulas

Na Figura 58 é mostrado um esquema de válvula tipo de bloqueio e sua carcaça dividida basicamente em duas partes:

- Corpo - parte principal da carcaça, onde estão o orifício de passagem do fluido e as extremidades (flanges, roscas, etc.) para ligação às tubulações;
- Castelo - parte superior da carcaça, que se desmonta para acesso ao interior da válvula.



**Figura 58.** Detalhes e descrição das partes de uma válvula de bloqueio. (Fonte: JEFFERSON, 2015)

De acordo com CORDEIRO (2014), as peças que compõem o mecanismo móvel interno das válvulas estão sujeitas a esforços mecânicos significativos e devem ter usinagem adequada para permitir o seu fechamento estanque. Adicionalmente, para não comprometer sua estanqueidade, essas peças devem ser dimensionadas e fabricadas para não oferecer o menor desgaste possível por corrosão ou erosão nem deforma-

ções por fluência, causadas quando o material está submetido por longos períodos a uma tensão constante, porém inferior ao limite de resistência normal do material.

## Tipos de acoplamento em válvulas

Assim como as tubulações e as conexões, as válvulas estão disponíveis comercialmente com diferentes tipos de acoplamentos, que vão permitir sua união com tubos ou com outra conexão ou acessório. Os principais acoplamentos utilizados na irrigação são descritos a seguir:

### *Acoplamentos flangeados*

Esse tipo de acoplamento realizado por pressão aplicada por parafusos é um dos mais comuns em irrigação, sendo usado em quase todos os modelos de válvulas instaladas em tubulações acima de 50 mm de diâmetro. Esses acoplamentos parafusados possuem um dos menores custos de produção, tendo uma montagem confiável quando corretamente especificados (Figura 59).



**Figura 59.** Detalhe de uma válvula com acoplamento flangeado de oito furos.

### *Acoplamentos para solda de encaixe*

É o tipo de acoplamento que deve ser empregado em tubulações metálicas ligadas por solda de encaixe (Figura 60), usados principalmente em válvulas de aço com menos de 50 mm de diâmetro (SENAI/CST, 1996).



**Figura 60.** Detalhe de uma válvula com acoplamento para solda de encaixe.

### *Acoplamentos para solda de topo*

É o sistema usado em válvulas de aço que têm os extremos com os chanfros-padrão para solda, principalmente para diâmetros superiores a 50 mm (Figura 61) e em aplicações onde seja necessária segurança absoluta contra vazamentos (SENAI/CST, 1996).



**Figura 61.** Detalhe de uma válvula com acoplamento para solda de topo.

### *Acoplamentos rosqueados*

É um acoplamento recomendado para válvulas com diâmetros menores que 100 mm, empregadas em tubulações que permitam ligações rosqueadas (Figura 62).



**Figura 62.** Detalhe de uma válvula com acoplamento rosqueável.

### *Acoplamentos tipo bolsa*

Esse sistema é recomendado para tubulações de ferro fundido com ligações de ponta e bolsa (Figura 63).



**Figura 63.** Detalhe de uma válvula com acoplamento tipo bolsa.

## Formas de operação de válvulas

A operação de válvulas em sistemas de irrigação pode ser realizada de três formas distintas: manual, motorizada e automática ou auto-operada.

### *Operação manual*

A abertura e o fechamento manual de válvulas, realizada pelo próprio homem, é a forma de operação mais econômica e recomendada para válvulas que não sejam automáticas ou que não exijam operação motorizada. O manuseio manual das válvulas pode ser realizado por meio de volante/alavanca (Figura 64). Para a abertura da válvula, é preciso girar o volante no sentido anti-horário, e para o fechamento no sentido horário para quem olha a válvula por cima.



**Figura 64.** Exemplos de válvulas operadas manualmente, por volante (esquerda) ou por alavanca (direita).

Para tornar menos trabalhosa a operação de válvulas que são acionadas manualmente de forma frequente é possível adaptar o volante com engrenagens de redução, ou com parafuso sem-fim (Figura 65).



**Figura 65.** Exemplo de válvula borboleta operada manualmente com caixa de redução.

### *Operação motorizada*

A operação motorizada de válvulas é aquela que requer uma força motriz externa (não manual) para comandar a operação da válvula, tais como: motores elétricos e atuadores pneumáticos ou hidráulicos (Figura 66). Nesse caso, também é possível o uso de redutores para melhoria de desempenho em válvulas com operação frequente ou com carga excessiva. Nos sistemas de operação motorizada hidráulica ou pneumática, a haste da válvula é comandada diretamente por um êmbolo ou um diafragma sujeitos à pressão de um líquido ou de ar comprimido (CORDEIRO, 2014).



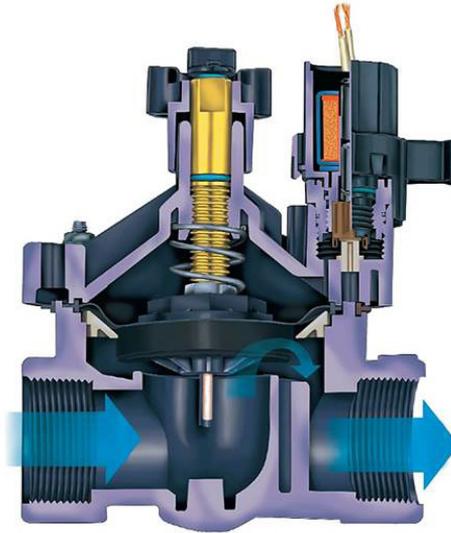
**Figura 66.** Exemplos de válvulas motorizadas elétrica, pneumática e hidráulica.

Nos sistemas de operação motorizada elétrica existem dois tipos de dispositivos mais comumente utilizados:

- Motor elétrico aciona o volante ou a haste da válvula por meio de caixas de redução, tornando a operação mais rápida e menos trabalhosa,

principalmente de válvulas de grandes dimensões e situadas em locais inacessíveis.

- Acionamento por solenoide, que pelo campo magnético criado atua diretamente por atração, abrindo ou fechando a haste da válvula. A válvula solenoide é ativada por corrente elétrica ou por pulsos elétricos, sendo a tensão de acionamento de 24 VAC. Geralmente, tal sistema é empregado na operação de pequenas válvulas, comandadas frequentemente por relés elétricos ou por instrumentos automáticos (Figura 67).

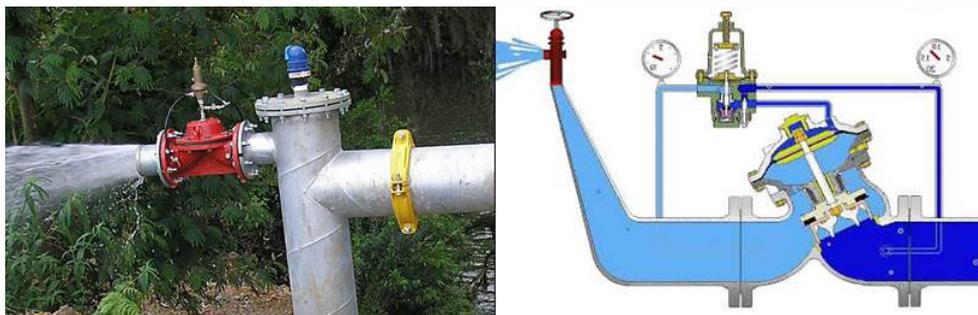


**Figura 67.** Ilustração da parte interna de uma válvula globo com diafragma operado por solenoide. (Fonte: RAINBIRD, 2014).

CORDEIRO (2014) salienta que é preciso distinguir válvulas comandadas por instrumentos automáticos com válvulas de operação automática (descritas a seguir). As válvulas comandadas por um instrumento requer que este instrumento monitore uma grandeza qualquer de um ponto do sistema, por exemplo: pressão, vazão, temperatura, nível, e em função de valores pré-determinados dessa grandeza, envie um sinal eletrônico, elétrico, pneumático, que vai comandar a operação da válvula. Nesse caso, o que é automático é o conjunto instrumento-válvula, e não a válvula que é de operação motorizada.

### *Operação automática ou auto-operada*

As válvulas de operação automática são caracterizadas por não requerer comando nem força motriz externa para sua atuação no sistema de tubulação, sendo sua abertura ou fechamento resultado da energia contida no fluido. Geralmente, sua operação automática é realizada a partir de diferença de pressões do fluido em escoamento (válvulas de reguladoras de pressão) ou pela ação de molas ou contrapesos, constituintes da própria válvula (válvulas de segurança e de alívio - Figura 68).



**Figura 68.** Válvula de alívio automática com o esquema de operação do fabricante (BERMAD, 2014).

As válvulas assim operadas podem, muitas vezes, utilizar dois sistemas de operação diferentes, um para sua abertura e outro para o fechamento. Por exemplo, é possível que válvulas com diafragma utilizem ar comprimido ou solenoide para fechamento e um sistema de mola para abrir, ou vice-versa (CORDEIRO, 2014). Essas válvulas automáticas podem ser controladas a distância, de forma remota, onde os controladores se comunicam com as válvulas por cabos elétricos, microtubos para a transmissão de sinal hidráulico ou sinal de rádio.

## TIPOS DE VÁLVULAS

A grande variedade de tipos de válvulas existentes no mercado determina a existência de variados critérios de classificação. No caso de irrigação, cujas válvulas são empregadas em usos específicos, serão descritos neste capítulo quatro tipos consideradas as mais importantes para o setor: válvulas de bloqueio; válvulas de regulagem/controlar; válvulas de segurança, válvulas específicas de irrigação.

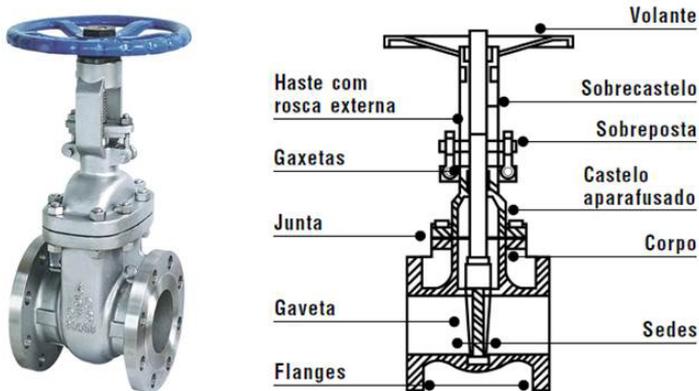
### Válvulas de bloqueio

São válvulas com a função de estabelecer ou interromper o escoamento de líquidos no interior de uma tubulação ou sua mudança de direção, operando, desta forma, completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio costumam ser sempre do mesmo diâmetro nominal da tubulação para ter uma abertura de passagem de fluido com seção transversal comparável com a da própria tubulação, permitindo assim uma passagem totalmente desimpedida quando totalmente aberta e menor perda de pressão.

Os modelos mais conhecidos de válvulas de bloqueio utilizados em irrigação são: gaveta, esfera, borboleta, guilhotina, que serão descritas a seguir:

#### *Válvula gaveta*

A denominação dada a esse tipo de válvula se deve ao tipo de obturador da válvula também conhecido por gaveta, o qual é projetado com faces paralelas que acompanham o movimento da haste em que está conectado (Figura 69). Durante o fechamento e a abertura da válvula gaveta, as hastes deslizam pelo obturador (gaveta) por meio de duas sedes (JEFFERSON, 2015).



**Figura 69.** Detalhe de uma válvula gaveta com a ilustração de suas partes. (Fonte: JEFFERSON, 2015)

As válvulas gavetas é uma das mais empregadas em tubulação de irrigação e tem as seguintes características.

- Não são recomendadas para velocidades muito altas, pois pode ocorrer erosão na gaveta e nas sedes.
- Apesar de possuir grande variedade de aplicações, as válvulas gaveta devem ser utilizadas somente como válvulas de bloqueio, operando nas posições completamente aberta ou fechada, quando ocorre baixa perda de pressão ou carga. O controle de escoamento dessas válvulas não é linear, sendo difícil de ser utilizada na sua regulagem.
- Quando são empregadas como válvulas de regulagem, pode erodir rapidamente as peças internas por efeito de cavitação. Nesse caso, o controle do escoamento ocorre pela porcentagem de área coberta pela placa, restringindo o escoamento e provocando perda de pressão elevada nesse tipo de uso.
- Tem fechamento lento, controlando assim o efeito causado por golpes de aríete.
- Permitem o escoamento nos dois sentidos.

### Aplicação

Essas válvulas são encontradas comercialmente em ampla gama de diâmetros nominais, podendo ser empregadas na operação de bloqueio em linhas de água, óleos e líquidos em geral, para larga faixa de pressão e temperatura, desde que o meio não seja muito corrosivo e nem tenha grande quantidade de sólidos em suspensão. Esse tipo de válvula não é indicado para operações de tubulações muito frequentes. Verifica-se na Figura 70 a utilização de uma válvula gaveta na tubulação de saída de um conjunto de bombeamento em irrigação.



**Figura 70.** Emprego de uma válvula gaveta em conjunto de bombeamento elétrico (Fonte: ANTUNES, 2006).

### *Válvula esfera*

Essa válvula recebe essa denominação devido ao seu obturador ser em forma esférica vazada onde o fluido passa quando está totalmente aberta e alinhada à tubulação. Quando fechada, seu furo fica perpendicular ao sentido do escoamento, bloqueando a passagem (Figura 71). Essa esfera gira sobre seu diâmetro no interior do corpo da válvula entre anéis retentores de material plástico para determinar seu fechamento com o bloqueio do orifício e oferecer uma vedação estanque.



**Figura 71.** Exemplos de válvula esfera com corpos plástico e metálico.

A Figura 71 exemplifica o funcionamento da válvula esfera que consiste em uma passagem cilíndrica que, quando alinhada com a tubulação, permite o escoamento do fluido. Ao girar a esfera por 90° e assim tirando a abertura da direção do escoamento, a válvula fica fechada. A haste da válvula gira a esfera dentro do corpo e é encaixada na parte superior da esfera. Onde a haste encaixa com a alavanca geralmente existe uma marca indicando se a válvula está na posição aberta ou fechada.

O emprego das válvulas de esfera vem se destacando ultimamente em substituição às válvulas de gaveta por ter as seguintes características:

- Menor tamanho, peso e custo, melhor vedação, maior facilidade de operação e menor perda de carga devido à trajetória do escoamento ser reta e livre.
- São recomendadas para fluidos que tendem a deixar depósitos sólidos, pois a superfície interna lisa da válvula dificulta a formação desses depósitos. Diferentemente, na válvula gaveta, o depósito de sólidos pode impedir o fechamento completo ou a própria movimentação da gaveta.
- Podem ter “passagem plena ou integral”, onde o orifício da válvula é equivalente à seção interna do tubo ou de “passagem reduzida”, onde essa passagem é menor que essa seção.
- Podem ser adaptáveis à operação por meio de atuadores pneumáticos ou elétricos, com comando remoto.

### Aplicação

Recomendam-se as válvulas esferas para serem empregadas somente como válvulas de bloqueio, não devendo funcionar em posições de fechamento parcial. Dependendo do material de fabricação do corpo da válvula (plástico ou metálico), essa válvula possui aplicações para diversas pressões e temperaturas. A Figura 72 mostra o emprego de válvula esfera manual na tubulação de PVC de saída de um cavalete de distribuição setorial na irrigação localizada.



**Figura 72.** Exemplo de aplicação de válvula esfera em um cavalete de distribuição em irrigação por gotejamento. (Fonte: ANTUNES, 2006)

### Válvula borboleta

Nesse modelo de válvula, sua operação (abertura ou fechamento) é realizada pela rotação de uma peça circular (disco) do mesmo diâmetro da tubulação, em torno de um eixo perpendicular à direção de escoamento do fluido. Comercialmente, essas válvulas são disponibilizadas em duas versões de acoplamento, a primeira do tipo “wafer”, modelo leve e econômico, que deve ser instalado entre dois flanges da tubulação, com os parafusos passando em torno do corpo da válvula (Figura 73). Existem também válvulas com extremidades flangeadas (Figura 73), que são mais pesadas e mais caras do que o modelo “wafer”. O acoplamento flangeado é empregado para condições de altas pressões e diâmetros maiores, onde a montagem tipo “wafer” pode se tornar trabalhosa (SENAI/CST, 1996).



**Figura 73.** Exemplo de válvulas borboleta com acoplamento tipo wafer (esquerda) e flangeado (direita).

As válvulas borboletas têm as seguintes características:

- São consideradas como válvulas de regulação (descritas a seguir), mas também podem trabalhar como válvulas de bloqueio.
- Quase todas as válvulas borboletas têm anéis de sede não metálicos (teflon, neoprene, etc.), com os quais se consegue uma vedação muito boa.
- O mecanismo de fechamento pode ser realizado também por mecanismos hidráulicos ou pneumáticos.
- Válvulas com diâmetros de 100 mm e maiores têm a vantagem de simplicidade, baixo custo, menos peso, menor espaço de instalação.

### Aplicação

A válvula borboleta pode ter tanto a função de regulação como de bloqueio do escoamento em uma canalização. Recomendada para utilização em líquidos à baixa pressão, devido à baixa perda de pressão, menor custo e ação rápida, sendo utilizada principalmente em sistemas de adução e de distribuição de água bruta ou tratada e em estações de tratamento de água e em irrigação onde o fluido não deve exceder a temperatura de 60 °C e a pressão de trabalho de 1.600 kPa (Figura 74).



**Figura 74.** Exemplo de utilização de válvula borboleta na saída de sistema de bombeamento em irrigação. (Fonte: ANTUNES, 2006).

### *Válvula de comporta ou guilhotina*

São válvulas cujo obturador ou gaveta é uma comporta que desliza livremente entre guias paralelas, não proporcionando assim um fechamento perfeitamente estanque (Figura 75).



**Figura 75.** Exemplo de uma válvula comporta ou guilhotina.

### Aplicação

De acordo com SENAI/CST (1996), as válvulas comportas são recomendadas para aplicação em grandes diâmetros para ar, gases e água em baixa pressão, e também em quaisquer diâmetros, para produtos espessos ou de alta viscosidade e fluidos abrasivos.

### **Válvulas de regulação**

As válvulas de regulação presentes em uma linha pressurizada têm a função de controlar ou regular algum parâmetro dinâmico do escoamento, podendo por

isso trabalhar em qualquer posição de fechamento parcial para aumentar ou reduzir sua grandeza. Enquanto as válvulas de bloqueio operam basicamente controlando o estabelecimento ou não do escoamento, as válvulas de controle podem ter, além desta mesma função (*on/off*), outras funções, como regular a pressão a jusante ou a montante da válvula, ou controlar a vazão no escoamento. Por questões de economia, essas válvulas são fabricadas, às vezes, com diâmetro nominal inferior ao da tubulação, fornecendo assim maior perda de pressão.

Os modelos mais conhecidos de válvulas de regulação são: globo, agulha, borboleta (descrita no tópico anterior), diafragma, de controle, que serão descritas a seguir. As válvulas borboleta e de diafragma, embora sejam especificamente válvulas de regulação, também podem trabalhar como válvulas de bloqueio.

### Válvulas globo

Nas válvulas de globo, o fechamento da passagem do seu corpo é feito por meio de um obturador ou tampão ou disco que sobe ou desce verticalmente ao eixo da válvula e se ajusta contra uma única sede no seu fechamento completo (Figura 76). O orifício da sede está geralmente em posição paralela ao sentido geral de escoamento do fluido, forçando a água a passar por 90° duas vezes quando a válvula está aberta e causando maior turbilhonamento do escoamento, o que ocasiona maior perda de carga quando comparada às válvulas de bloqueio. O tampão pode ter a superfície de assentamento cônica, plana, esférica. Essas válvulas são fabricadas a partir de diferentes materiais e em vários tamanhos para diferentes fluidos e temperaturas. A Figura 76 ilustra uma válvula globo com um esquema interno com suas partes.

O emprego da válvula globo se caracteriza por:

- Viabilizar uma vedação bem melhor do que as válvulas de gaveta, podendo haver uma situação absolutamente estanque principalmente em válvulas pequenas.
- Apesar de permitir boa regulação de escoamento, essa ação pode ocorrer somente em uma direção.
- Abre e fecha mais rapidamente que as válvulas gavetas.
- Não necessita ser desconectada da linha para manutenção, pois sua construção permite acesso fácil aos componentes internos da válvula.

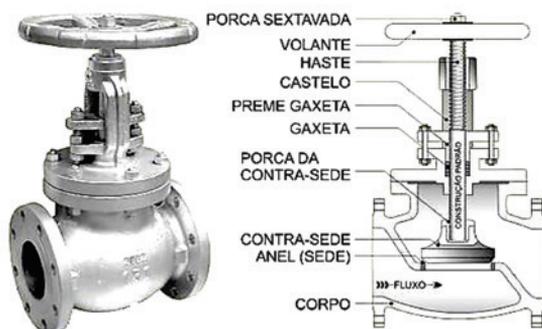


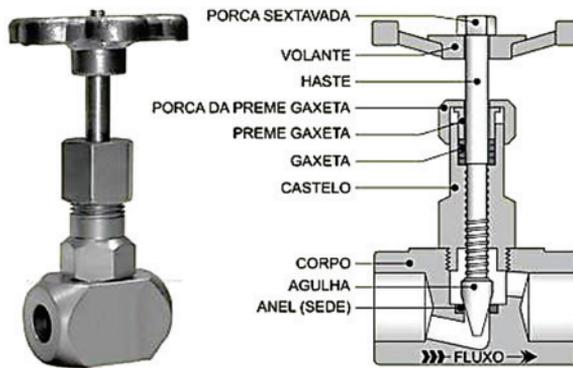
Figura 76. Exemplo de válvula globo com obturador plano. (Fonte: VALAÇO, 2015)

## Aplicação

O emprego da válvula globo é recomendado onde são realizadas operações frequentes de abertura e fechamento da tubulação, como também controles graduais de vazão. Devido ao formato esférico do corpo da válvula, são consideradas as válvulas manuais mais apropriadas e utilizadas no controle do escoamento quando se requer a regulação da vazão ou da pressão do escoamento.

## Válvula de agulha

Essa válvula é uma variante da válvula globo, cujo tampão é substituído por uma peça cônica, denominada agulha, que permite o controle mais preciso da vazão do escoamento, sendo essa precisão da regulação maior quanto mais agudo for o ângulo do tampão e maior seu comprimento (Figura 77). São recomendadas para regulação fina de líquidos e gases, e estão disponíveis para diâmetros até de 50 mm.



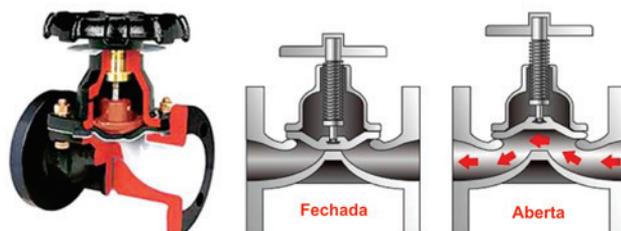
**Figura 77.** Exemplo de uma válvula agulha comercial com detalhes de suas partes. (Fonte: VALAÇO, 2015)

## Aplicação

A válvula agulha possui utilização muito restrita para a área de irrigação devido ao seu custo e não disponibilidade para diâmetros maiores que 50 mm. Essas válvulas destinam-se geralmente para aplicações com baixas vazões, assim, sua utilização nos sistemas de irrigação é geralmente limitada ao controle de sistemas de injeção de produtos químicos.

## Válvula de diafragma

A válvula de controle tipo diafragma consiste de um corpo em cuja parte central tem uma sede sobre a qual um diafragma móvel preso entre o corpo e o castelo, se desloca para provocar o fechamento da válvula (Figura 78). O deslocamento da haste pode ser realizado por meio de um volante, alavanca para ação rápida, ou ar comprimido, água sobre pressão e vácuo. O diafragma assegura a estanqueidade do fechamento da seção e participa da vedação e regulação do escoamento, sendo fabricada de borracha sintética ou também de teflon.



**Figura 78.** Exemplo de válvula de diafragma, com detalhes de posicionamento do obturador nas posições fechada e aberta.

A principal vantagem da válvula de diafragma é que na sua operação o líquido conduzido não entra em contato com as partes internas (haste, mola), evitando problemas de corrosão ou erosão dessas partes. Adicionalmente, há baixas perdas de pressão quando esta válvula está totalmente aberta.

### Aplicação

Essa válvula de configuração diferentemente das outras válvulas de controle é recomendada no controle de líquidos altamente viscosos ou com sólidos em suspensão. Parte significativa dos sistemas de controle em irrigação localizada utiliza esse tipo de válvula.

### *Válvulas de controle*

Denomina-se válvula de controle o conjunto formado por uma válvula de regulação e um atuador. Quando esse conjunto requerer uma operação automática (válvulas auto-operadas) é preciso adicionar a esse conjunto um sensor. As válvulas auto-operadas utilizam energia hidráulica do próprio sistema para suas funções, permitindo a operação remota dos sistemas de irrigação.

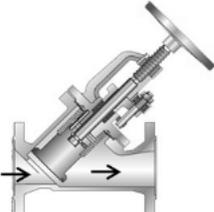
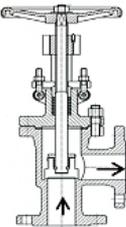
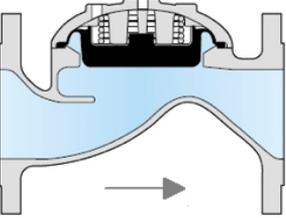
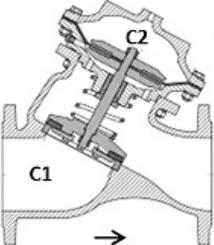
As válvulas tipo globo são comumente adaptadas para o controle automático devido à sua boa vedação e estanqueidade, utilizando como obturador um êmbolo ou um diafragma flexível como elemento de controle de escoamento (HAMAN e ZAZUETA, 2014). Os dois tipos de atuadores mais comumente usados na irrigação são o elétrico e o hidráulico, e mais restritamente também pode ser utilizado o pneumático (Figura 79). As válvulas de controle também são classificadas pela posição que a válvula assume quando a energia é desligada, sendo denominadas normalmente aberta ou fechada.



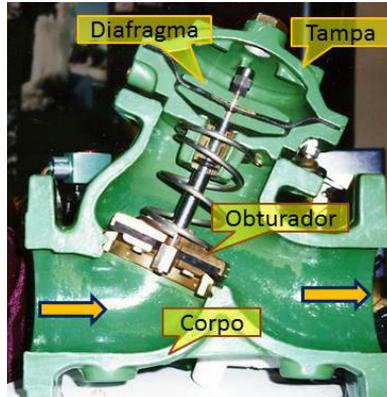
**Figura 79.** Exemplo de válvulas de controle automático por comando hidráulico (esquerda) e elétrico por solenoide (direita).

Na Tabela 12 verifica-se a classificação que se pode fazer das válvulas de controle quanto à forma do corpo e ao número de câmaras internas existentes no seu interior.

**Tabela 12.** Classificação de válvulas de controle com relação ao tipo de corpo e número de câmaras

Classificação	Modelo	Exemplo
Formato de corpo	Globo	
	Corpo Y	
	Corpo em ângulo	
Número de câmaras	Simples	
	Dupla	

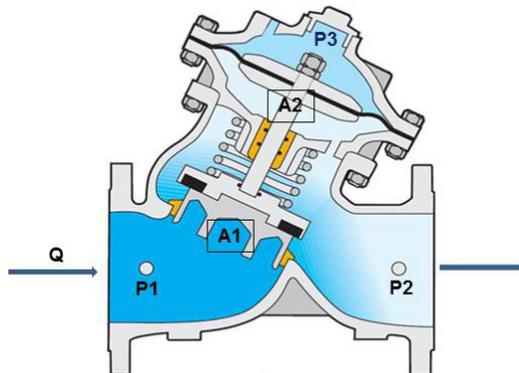
As válvulas de controle auto-operadas são compostas basicamente por: corpo, tampa, diafragma e mola (Figura 80). Quanto ao material do corpo, as válvulas podem ser encontradas em Plástico (PVC ou Poliamida reforçada com Fibra de Vidro), Ferro, Aço carbono, Aço Inox e outros materiais especiais. O material do corpo e dos elastômeros (diafragma e vedações) deve ser selecionado de acordo com as características do líquido a ser bombeado, visando evitar problemas de corrosão.



**Figura 80.** Esquema de uma válvula de controle auto-operada e suas partes.

### *Operação de uma válvula de controle automática*

Na Figura 81 apresenta-se esquematicamente uma válvula de controle e as componentes de pressão atuantes nas diferentes partes do dispositivo que vão permitir explicar como é feita a automação das operações de abertura e fechamento desse dispositivo.



**Figura 81.** Esquema de uma válvula de controle com detalhe das pressões atuantes no sistema.

Sendo:

$Q$  = vazão de trabalho ( $m^3 h^{-1}$ ,  $L h^{-1}$ )

$P1$  = Pressão na entrada da válvula (atm, bar, kPa, psi)

$P2$  = Pressão de saída da válvula (atm, bar, kPa, psi)

$P3$  = Pressão na câmara superior da válvula (atm, bar, kPa, psi)

$A1$  = Área do assento do obturador ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{mm}^2$ , polegada<sup>2</sup>)

$A2$  = Área efetiva do diafragma ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{mm}^2$ , polegada<sup>2</sup>)

As forças que atuam sobre o obturador ( $F1$ ), na parte de baixo, e sobre o diafragma ( $F2$ ), na câmara superior, vão comandar o movimento de abertura e fechamento da válvula (Figura 82). As forças atuantes podem ser expressas pela relação entre pressão e área de cada peça:

$$F (\text{força}) = P (\text{pressão}) \times A (\text{área}) \quad (9)$$

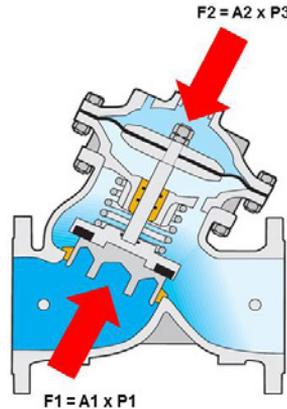
A variável Força ( $F$ ) pode ser expressa nas unidades de  $\text{kg}_f$ , N (Newton), etc., em função das unidades utilizadas nas variáveis pressão e área. Dessa forma, pode-se afirmar que, na entrada da válvula, na parte inferior ao obturador, a força atuante é igual a:

$$F1 = A1 \times P1 \quad (10)$$

A variável  $F1$  é correspondente à força requerida para abrir a válvula, ou seja, pressão de entrada da válvula multiplicada pela área do obturador. Na câmara superior da válvula, a força atuante é igual a:

$$F2 = A2 \times P3 \quad (11)$$

Considerada a força necessária para fechar a válvula, ou seja, pressão na câmara superior da válvula multiplicada pela área efetiva do diafragma.

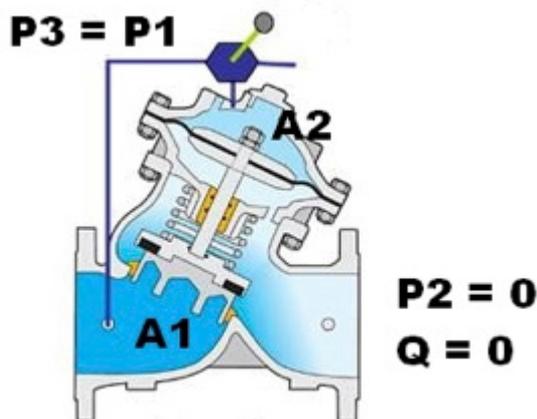


**Figura 82.** Esquema de uma válvula de controle com detalhe das forças atuantes no obturador ( $F1$ ) e diafragma ( $F2$ ).

Assim, a operação da válvula se resume a uma comparação dessas forças atuantes em cada uma dessas posições, que será resultado da forma com que as ligações hidráulicas sejam realizadas na válvula, ou seja, se:

- $F1 > F2$  a válvula **abre**
- $F2 > F1$  a válvula **fecha**

Dessa forma, se for necessário fechar a válvula, é preciso fazer com que  $F_2$  seja maior que  $F_1$ . Para atingir esse efeito na prática é preciso igualar as pressões na entrada da válvula ( $P_1$ ) com a câmara superior ( $P_3$ ), de forma que a diferença entre as áreas da superfície do obturador e a superfície efetiva do diafragma ( $A_2 > A_1$ ) determine que  $F_2$  seja maior que  $F_1$ . Portanto, para que haja o fechamento da válvula é preciso na prática conectar fisicamente a entrada com a câmara superior da válvula, conforme diagrama mostrado na Figura 83.



**Figura 83.** Diagrama mostrando a ligação da entrada com a parte superior da válvula provocando seu fechamento.

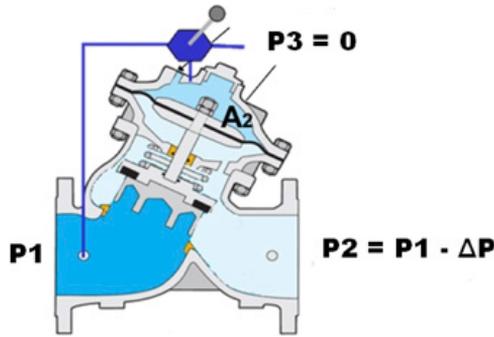
Esse resultado pode ser demonstrado pelo equacionamento para quando  $P_1=P_3$ , ou seja:

$$F_1 = A_1 \times P_1$$

$$F_2 = A_2 \times P_3 = A_2 \times P_1$$

Portanto, nas válvulas de controle, a área do diafragma precisa ser maior que a área do assento do obturador ( $A_2 > A_1$ ) para que a força atuante na câmara superior seja maior do que a força na entrada da válvula ( $F_2 > F_1$ ), no momento em que as pressões nesses locais se igualarem para, assim, a válvula se fechar.

Se for necessário abrir a válvula, é preciso fazer com que  $F_1$  seja maior que  $F_2$ . Para atingir esse efeito na prática, a pressão na câmara superior precisa se igualar com a atmosfera ( $P_3= 0$ ). Portanto, para que haja a abertura da válvula é preciso conectar fisicamente ou abrir a câmara superior da válvula para a atmosfera, conforme diagrama mostrado na Figura 84. Quando a válvula se abrir, a pressão a jusante ( $P_2$ ) será igual à pressão a montante ( $P_1$ ), menos a perda de pressão na válvula ( $\Delta P$ ).



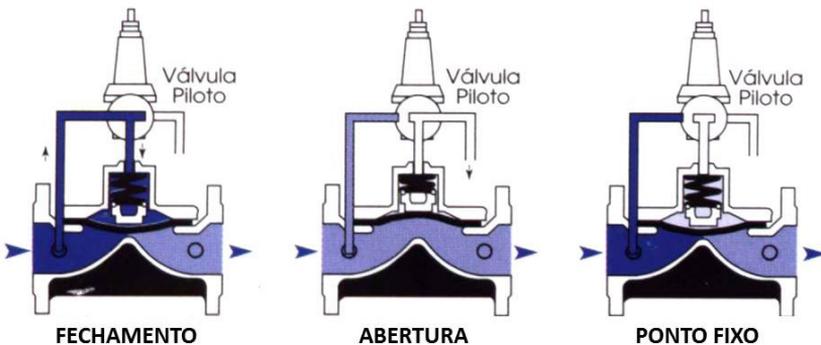
**Figura 84.** Diagrama mostrando a abertura da câmara superior da válvula com a atmosfera provocando a sua abertura.

Esse resultado pode ser demonstrado pelo equacionamento quando  $P3 = 0$ , ou seja:

$$F1 = A1 \times P1$$

$$F2 = A2 \times P3 = A2 \times 0 = 0$$

Portanto, para abrir uma válvula de controle é preciso que, usando válvulas-piloto ou a intervenção manual, a pressão na câmara superior seja igualada à atmosfera fazendo com que  $F2 = 0$ . A Figura 85 mostra, esquematicamente, como seriam as três posições básicas que uma válvula-piloto pode ter durante a operação de uma válvula de controle, com base nos princípios de operação já demonstrados. É possível viabilizar na válvula essas posições de controle pela ação de um solenoide ou atuador hidráulico.



**Figura 85.** Esquema das três posições que a válvula piloto precisa assumir para garantir o fechamento e a abertura de uma válvula de controle. (Fonte: SUZUKI e HERNANDEZ, 2014)

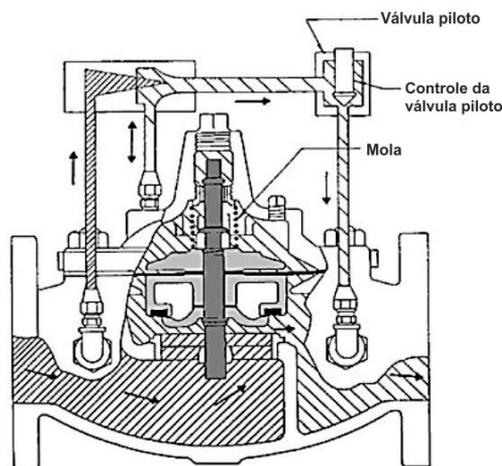
A configuração de um sistema de válvulas com controle hidráulico é semelhante ao sistema de válvulas de controle elétrico; a diferença é que a potência passa a ser transmitida por uma alteração de pressão acima do atuador (diafragma ou pis-

tão). Essa alteração de pressão é transmitida através de tubos hidráulicos de controle de pequenos diâmetros, em alguns casos, desviando uma porção de a água que flui através da válvula. A maioria das válvulas de controle hidráulico opera normalmente aberta e precisam ser atuadas para seu fechamento (HAMAN e ZAZUETA, 2014).

Diferentes tipos de válvulas de controle são utilizados em irrigação para diversas funções de regulação, sendo as principais descritas a seguir:

### *Válvula reguladora de pressão*

Essa válvula opera de tal forma que mantém a pressão na sua saída constante (jusante), independentemente da variação da pressão de entrada (montante). Essa válvula é empregada em sistemas de irrigação onde se requer que a pressão a jusante se mantenha em um valor pré-determinado inferior ao existente a montante da válvula para operação adequada de certos componentes, principalmente nos emissores em irrigação localizada. Na Figura 86 observa-se um esquema de operação de uma válvula reguladora de pressão.



**Figura 86.** Esquema da operação de uma válvula reguladora de pressão.  
(Fonte: HAMAN e ZAZUETA, 2014)

A regulação dessa válvula é realizada pela ação de uma mola assentada na parte superior do diafragma e pela pressão do fluido na sua parte inferior (Figura 86). A água proveniente a jusante da válvula, com a pressão reduzida é derivada para a câmara superior do diafragma para compensar a compressão da mola quando a pressão a montante varia.

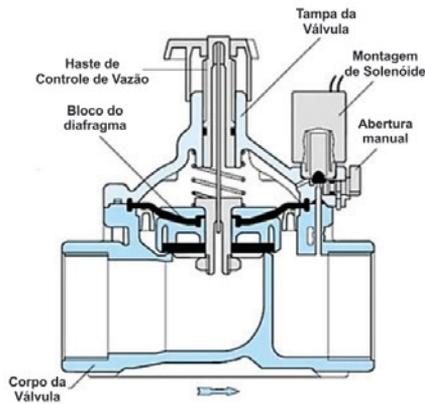
Além das válvulas com controle (Figura 87), existem no mercado válvulas de ação direta, construídas especificamente para regular a pressão sem controle (Figura 87), assim como, válvulas para outras funções podem ser comandadas por válvula-piloto para proporcionar esta característica de regular a pressão.



**Figura 87.** Detalhes de válvula reguladora de pressão em cavaletes de distribuição, sendo à esquerda com controle e à direita, válvulas de ação direta sem controle. (Fonte: ANTUNES, 2006)

### *Válvula reguladora de vazão*

Esta válvula, estruturalmente idêntica à válvula reguladora de pressão, limita a vazão a um valor pré-definido, independentemente das variações de pressão. O controle de escoamento desse tipo de válvula é realizado por uma haste externa, além do controle manual de ligar/desligar (Figura 88).



**Figura 88.** Esquema de operação de uma válvula reguladora de vazão. (Fonte: BERMAD, 2015)

### *Válvula de controle de bomba (abertura lenta)*

Esse modelo de válvula tem a função de controlar a partida e parada da motobomba de forma a tornar essas duas operações mais lentas e suaves e, desta forma, evitar possíveis danos causados pelas ondas geradas no início e no fim do funcionamento do bombeamento pela presença de ar na tubulação. Com a utilização dessa válvula, o deslocamento da coluna líquida se torna mais lento minimizando a ocorrência de golpes por ocasião dos arranques e paradas do bombeamento. Dessa forma, sua instalação deverá ser feita a jusante da bomba no lugar da válvula de

retenção (Figura 89), que, no caso de queda de energia, atuará como esta e com um fechamento mais rápido. Os controles da bomba e da válvula devem ser sincronizados de modo a permitir que o início e a parada de operação da bomba sempre ocorram com a válvula fechada. No caso de não escoamento (vazão nula), a válvula tenderá a fechar, resultando na parada do bombeamento (SAINT-GOBAIN, 2015).



**Figura 89.** Detalhe da instalação de uma válvula de controle com abertura lenta.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

### ***Válvula volumétrica (hidrômetro)***

São válvulas com o corpo no formato globo ou angular que têm a função de monitorar e controlar o volume aplicado de água por toda a área irrigada ou em cada setor de irrigação, quando o sistema estiver dividido dessa forma.



**Figura 90.** Detalhe de uma válvula volumétrica instalada em um sistema de irrigação.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

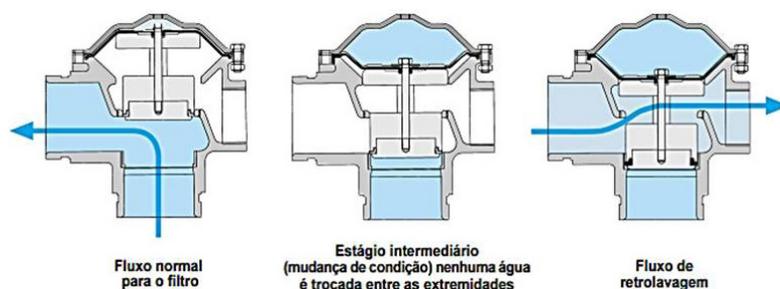
### ***Válvula de controle de retrolavagem***

Essa válvula é responsável por automatizar a operação de retrolavagem de sistemas de filtragem em irrigação localizada (Figura 91). É uma válvula de três vias acionada por diafragmas e operada pela pressão da rede, que fecha a entrada do filtro e abre a saída do escoamento de lavagem, causando um escoamento reverso no filtro. Assim, enquanto a via de entrada está fechada as outras duas estão aber-

tas. A Figura 92 mostra o esquema de operação dessa válvula em suas três posições básicas de operação.



**Figura 91.** Exemplo de válvula de retrolavagem instalada sobre filtros de areia de um sistema de irrigação.



**Figura 92.** Esquema mostrando a operação da válvula de retrolavagem em suas três posições básicas de operação. (Fonte: BERMAD, 2014)

Informações detalhadas sobre a instalação e operação de válvulas de retrolavagem em filtros de areia utilizados em irrigação localizada são fornecidas por TESTEZLAF et al. (2014).

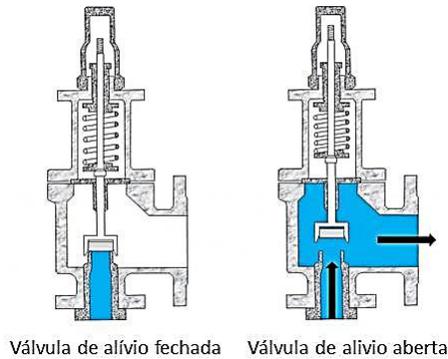
## Válvulas de segurança

Válvulas de segurança são dispositivos automáticos de alívio de pressão ou de condições adversas criadas em tubulações pressurizadas, ou seja, que operam com pressão interna superior à pressão atmosférica, visando evitar consequências negativas da exposição a condições perigosas para o sistema e à vida humana.

### Válvulas de alívio de pressão

As válvulas de alívio de pressão têm a função de proteger o sistema de irrigação contra a pressão excessiva que pode ser criada na tubulação pela variação do funcionamento da motobomba ou outras causas. Essas válvulas controlam a pressão a montante, abrindo-se automaticamente e aliviando pequenas quantidades de

fluido, quando a pressão interna ultrapassar um limite pré-determinado e ajustado anteriormente, denominado “pressão de abertura” da válvula (Figura 93). A válvula fecha-se automaticamente assim que a pressão cair abaixo da pressão de abertura. A regulagem do valor da pressão de abertura é, geralmente, realizada por meio de um parafuso na tampa da válvula, que ajusta a compressão da mola, responsável por manter a válvula normalmente fechada.



**Figura 93.** Esquema de uma válvula de alívio nas duas posições de operação.

Essas válvulas também estão disponíveis comercialmente em versões com controle por válvula- piloto. Uma válvula de alívio em operação em um sistema de irrigação é apresentada na Figura 94.



**Figura 94.** Exemplo de válvula de alívio operando em um sistema de irrigação.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

NETAFIM (2014) recomenda a instalação de válvulas de alívio na linha adutora, após o sistema de bombeamento, para sistemas de irrigação de médio a grande porte, ou seja, vazão acima de  $10 \text{ L s}^{-1}$  ( $36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) e pressão de 500 kPa, para proteger o sistema de irrigação.

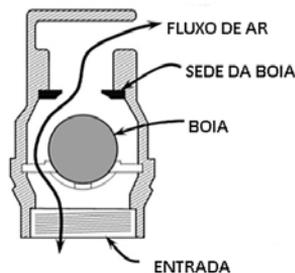
### Válvulas ventosas

As válvulas ventosas são dispositivos que têm a função de expulsar o ar aprisionado nos pontos elevados da tubulação durante seu enchimento e também seu funcionamento. Essas válvulas, quando são de dupla ação, também podem ter a função de admitir o ar no desligamento do sistema, evitando a criação de vácuo interno, que pode colapsar as tubulações (Figura 95).



**Figura 95.** Exemplo de uma válvula ventosa instalada em um sistema de irrigação por gotejamento com a tubulação enterrada. (Fonte: ANTUNES, 2006)

A maioria das válvulas ventosas opera com uma boia ou flutuador, normalmente em formato esférico, no seu interior. No início do bombeamento, quando a tubulação está enchendo e sendo pressurizada, a boia permanece na sua sede inferior e a ventosa libera grandes volumes de ar pela sua área lateral. Com a pressurização do sistema, o corpo da válvula se enche de água, forçando a boia para cima, que vai assentar na sua sede superior e fechá-la. Quando o sistema for desligado e despressurizado, a boia retorna à sua posição original e a abertura superior da válvula permite que o ar retorne para o interior do sistema e previne que o tubo entre em colapso (Figura 96).



**Figura 96.** Esquema da estrutura de uma ventosa convencional. (Adaptado de MARTIN et al., 2007)

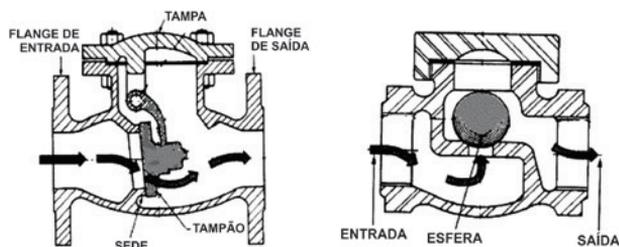
No capítulo intitulado “Instalação e Manutenção” deste livro são fornecidas mais informações sobre ventosas e as recomendações do local de instalação.

## Outras válvulas utilizadas em irrigação

Além das válvulas já descritas neste documento, existem outras que são de uso comum em sistemas de irrigação e serão discutidas a seguir: válvula de retenção, válvulas de pé, válvulas de drenagem de linha.

### Válvulas de retenção ou retorno

São válvulas unidirecionais projetadas para permitir o escoamento de fluidos somente em uma direção, precisando assim se fechar automaticamente para evitar escoamento na direção oposta (contra escoamento). O elemento de controle dessa válvula pode ter a forma esférica ou de disco (circular) atuando em diferentes posições (Figura 97), sendo acionado pela pressão do líquido que escoo no sentido normal. Após a despressurização da linha, ele retorna para a posição fechada, devido à gravidade ou pela combinação da ação de uma mola. A pressão gerada pelo contraescoamento de retorno ou o peso da coluna de água no interior da tubulação pressiona esse elemento de controle contra a sua sede, evitando o escoamento no sentido inverso de direção (HAMAN e ZAZUETA, 2014).



**Figura 97.** Esquema de duas válvulas de retorno, uma operando com um disco ou portinhola e outra com esfera. (Adaptado de PORTESBORGES, 2015)

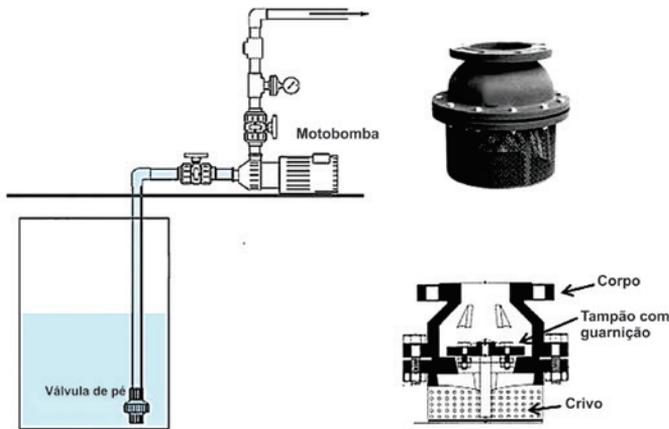
A instalação da válvula de retenção deve ser realizada entre a bomba e o registro de gaveta, evitando, assim, o retorno da água através das bombas e o esvaziamento da tubulação de recalque quando houver desligamento intencional ou não (Figura 98). No capítulo de Instalação e Manutenção deste documento estão detalhados mais aspectos da instalação e operação dessa válvula.



**Figura 98.** Exemplo de válvula de retenção instalada em uma adutora de irrigação. (FONTE: AGRONERI, 2015)

### Válvulas de pé

Para que as bombas centrífugas possam funcionar, é preciso garantir que sua carcaça e a tubulação de sucção estejam completamente preenchidas de água sem a existência de bolhas de ar no seu interior. O ato de encher de líquido esse conjunto é chamado de *escorva* e, no caso de bombas com sucção positiva (bombas centrífugas), seu enchimento é executado pelo copo de enchimento para pequenas bombas e por um *by pass* na válvula de retenção no recalque para as de maior potência. A manutenção da *escorva*, depois de realizada pelo agricultor, é função da válvula de pé, que são válvulas de retenção instaladas especificamente na extremidade do tubo de sucção, a fim de evitar que o tubo de sucção e a bomba esvaziem quando o sistema não está em operação ou parado.



**Figura 99.** Detalhe de válvula de pé com esquema de suas partes e instalação.

Visando à proteção do conjunto de bombeamento, as válvulas de pé são equipadas com crivos, telas metálicas ou grades de entrada que evitam que as sujeiras e detritos sejam succionados para o interior da bomba centrífuga (Figura 99). Existem disponíveis no mercado válvulas de pé com crivos autolimpantes ou de limpeza contínua que impossibilitam sua obstrução por resíduos, pela ação de bocais jateadores instalados internamente em barras rotativas que expulsam qualquer matéria aderida à tela externa do crivo (HIDROAMBIENTAL, 2015).

### Válvulas de Descarga ou de drenagem

Para minimizar o risco de entupimento na irrigação por gotejamento ou microaspersão devido à baixa qualidade da água, é essencial fazer a limpeza das linhas de irrigação ao longo do tempo. Uma das formas simples de se fazer essa limpeza é a instalação de válvulas de descarga ou drenagem automáticas no fim das linhas laterais, das linhas principais e pontos baixos do sistema de irrigação. Essas válvulas operam pelo sistema de diafragma, que fica aberto por um tempo antes da pressurização total das linhas, após o sistema de bombeamento ser ligado, e fecha após completar a pressurização (Figura 100).



**Figura 100.** Detalhe de uma válvula de drenagem de final de linha com o esquema de operação do diafragma interno. (Fonte: NETAFIM, 2014)

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os tipos de válvulas mais comuns encontrados em sistemas de irrigação e fornecidos detalhes sobre suas características e os princípios de operação. O conhecimento detalhado desses acessórios e de suas aplicações permite ao projetista aumentar a eficiência de irrigação, otimizar os custos de investimentos e minimizar os gastos com a manutenção do sistema, pois viabiliza uma operação adequada sem os riscos de segurança que um sistema hidráulico pode trazer ao seu operador e à infraestrutura da propriedade.

# SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

---

Neste capítulo serão apresentadas orientações técnicas sobre os procedimentos que devem ser tomados para selecionar adequadamente os tubos para um sistema de irrigação, assim como, orientar técnicos e/ou profissionais no dimensionamento do diâmetro dessa tubulação. Além da fundamentação teórica, serão apresentados exemplos práticos de dimensionamento, para adutoras, tubulação de sucção e linhas de distribuição.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como descrito anteriormente neste documento, as tubulações utilizadas na irrigação podem ser classificadas em três tipos devido à função que podem assumir dentro do sistema:

- Tubulações de Transporte ou Adutoras: compreende desde a tubulação de sucção até a linha de recalque.
- Tubulações de distribuição ou lateral: responsável pela distribuição da água na área irrigada.
- Tubulações de instrumentação ou controle: parte constituinte do sistema de atuação das válvulas de controle e instrumentos.

Quando se menciona o dimensionamento de tubos para cada uma dessas aplicações, o objetivo do profissional responsável pelo projeto deve ser tanto selecionar o material da tubulação como dimensionar o diâmetro comercial para cada aplicação, chegando até o orçamento do projeto, a partir da lista de materiais (tubulações e acessórios) constituintes do projeto.

## CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS

O objetivo do dimensionamento correto do tubo é assegurar que a tubulação fornecerá água para a cultura sem perda excessiva de pressão, atendendo, assim, os critérios de projeto e possibilitando o escoamento da água em velocidades seguras e com mínimas perdas de atrito. Nesta seção, serão fornecidas as etapas necessárias para se chegar ao dimensionamento adequado das tubulações de irrigação empregadas em adutoras (Figura 101) com a apresentação de exemplos específicos.



**Figura 101.** Detalhe da montagem de uma adutora enterrada de pivô central. (Fonte: FOCKINK, 2014)

## Etapa de Planejamento

No início do processo de concepção do projeto, os projetistas devem se certificar tanto do local da fonte ou da origem da água de irrigação (poço, rio, barragem, água de reuso, etc.) como da sua qualidade, realizando análises para conhecer as características físicas, químicas e biológicas. A caracterização da natureza do fluido a ser bombeado é essencial para a definição do material de fabricação dos tubos, principalmente, no caso de água com baixa qualidade e na fixação dos parâmetros utilizados nos cálculos.

A etapa seguinte é acessar uma planta planialtimétrica recente da propriedade em escala ideal, com curvas de nível, dimensões da área, localização correta de estradas, carregadores, linha de alta tensão ou outros obstáculos, presença de nível freático, local do ponto de captação ou de recalque da água, etc. Com base nesse material, é possível gerar um *layout* com as possíveis direções que a tubulação poderá ser disposta para se obter a trajetória mais eficiente, em função da área ou de setores irrigados, ou seja, buscando a menor distância e o desnível entre a fonte e a área a ser irrigada. Atualmente, os projetistas contam com ferramentas computacionais de desenho assistido por computador, as quais permitem melhor detalhamento do projeto, gerando diferentes opções para o agricultor, facilitando a parte de cálculo e proporcionando instalação mais precisa.

O primeiro parâmetro de projeto necessário para o dimensionamento das tubulações é o da vazão do sistema em metros cúbicos por hora ( $m^3 h^{-1}$ ) ou em litros por segundo ( $L s^{-1}$ ). A vazão é determinada a partir das necessidades de irrigação da cultura, que fornece as informações referentes à quantidade de água a ser aplicada, o tempo e a frequência de aplicação. Não serão fornecidos neste manual os procedimentos para se estimar essa demanda da cultura, por fugir dos objetivos do documento. Recomenda-se a leitura de livros e materiais técnicos de irrigação dedicados a esse tema (MANTOVANI et al., 2009; SOARES et al., 2006).

O segundo dado necessário são os valores da pressão de trabalho expressa em quilograma força por centímetro quadrado ( $\text{kg}_f \text{ cm}^{-2}$ ) ou metros de coluna de água (mca) para a vazão previamente determinada nos pontos de interesse da tubulação projetada, principalmente, o valor referente à altura manométrica total (AMT) do conjunto motobomba.

## Etapa de dimensionamento

Na escolha do material dos tubos, é preciso primeiro considerar a função que a tubulação terá dentro do sistema; no dimensionamento do seu diâmetro, é necessário garantir que ele vai suportar as demandas hidráulicas do sistema (pressão e velocidade) para essa aplicação. Os critérios utilizados nesse dimensionamento são:

- Limite de velocidade no interior do tubo.
- Valores de perdas de carga pré-estabelecidos.
- Análise econômica: minimização os custos totais da instalação (custos fixos mais custos variáveis).

### Velocidade máxima permitida

De acordo com a literatura, a velocidade do escoamento em uma tubulação que opera como adutora deve ficar entre 0,5 e 2,0  $\text{m s}^{-1}$  (PERES, 2006). A velocidade mínima foi estabelecida para evitar deposição de partículas suspensas na água e a velocidade máxima para evitar:

- Diâmetros não econômicos.
- Sobrepressão prejudiciais na interrupção do fluxo (golpe de aríete).
- Vibrações na tubulação que podem reduzir a vida útil.
- Perda de pressão elevada (proporcional ao quadrado da velocidade da água).
- Desgastes internos por abrasão e por corrosão.

Como a velocidade em uma tubulação circular é igual à relação entre a vazão e sua área, ela pode ser calculada pela Equação 12:

$$V = \frac{10^6 \times Q}{3600 \times A} = 277,77 \frac{4 \times Q}{\pi \times DI^2} = 353,68 \times \frac{Q}{DI^2} \quad (12)$$

Sendo:

$V$  = velocidade média ( $\text{m s}^{-1}$ )

$Q$  = vazão na tubulação ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ )

$A$  = área da seção circular do tubo ( $\text{mm}^2$ )

$DI$  = diâmetro interno do tubo (mm)

Substituindo o valor da velocidade máxima de  $2 \text{ m s}^{-1}$ , o diâmetro da tubulação de uma adutora pode ser estimado pela expressão (Equação 13):

$$DI \text{ (mm)} \geq 13,30 \times Q^{0,5} (\text{m}^3 \text{h}^{-1}) \quad (13)$$

Como o valor calculado corresponde ao valor teórico do diâmetro interno, é preciso adequar o valor encontrado às dimensões normalizadas de fabricação de tubos, selecionando o diâmetro comercial imediatamente superior e, posteriormente, recalculando o novo valor da velocidade.

No caso de tubulações de sucção, a velocidade média recomendada é da ordem de  $1,0 \text{ m s}^{-1}$ , assumindo-se o critério prático de selecionar o diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado para o recalque da bomba. Contudo, a Norma NBR 12214:1992 - Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público, estabelece os valores máximos de velocidade na tubulação em função do diâmetro (Tabela 13), que pode também ser utilizado para irrigação.

**Tabela 13.** Valores máximos da velocidade de escoamento em tubulações de sucção

Diâmetro nominal (mm)	50	75	100	150	200	250	300	≥400
Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,40	1,50

Fonte: NBR 12214:92.

### *Perda de pressão ou de carga na tubulação*

Além do cálculo do diâmetro interno da tubulação, o projetista precisa calcular as perdas de pressão que ocorrem ao longo dessa tubulação, permitindo determinar o valor da pressão na entrada e na saída da adutora para garantir o fornecimento da vazão demandada na pressão requerida.

Uma das equações recomendadas para o cálculo da perda de carga é a equação de Darcy-Weisbach, também conhecida como fórmula Universal (Equação 14):

$$h_f = f \times \left( \frac{L}{DI} \right) \times \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Sendo:

$h_f$  = perda de carga (mca)

L = comprimento total da tubulação (m)

DI = diâmetro interno da tubulação (m)

V = velocidade média (m s<sup>-1</sup>)

$g$  = aceleração gravitacional ( $\approx 9,8 \text{ m s}^{-2}$ )

$f$  = coeficiente de atrito (adm)

O coeficiente de atrito ( $f$ ) é um número adimensional que pode ser calculado por diferentes equações, contudo, pela simplicidade e precisão oferecidas, neste documento será utilizada a relação derivada por Blasius, válida para tubos lisos com regimes de escoamento turbulento (número de Reynolds entre 4.000 e  $10^5$ ), dada pela Equação 15 (PERES, 2006):

$$f = \frac{0,32}{Re^{0,25}} \quad (15)$$

Sendo:

$Re$  = número de Reynolds (adimensional), dado pela Equação 16:

$$Re = \frac{v \times DI}{\vartheta} \quad (16)$$

Sendo:

$\vartheta$  = viscosidade cinemática da água ( $1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ ).

Substituindo os valores dos parâmetros já conhecidos na equação de Darcy-Weisbach e combinando as equações, é possível obter a seguinte expressão (Equação 17):

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} \quad (17)$$

Sendo:

$K$  = coeficiente que engloba o valor das variáveis ( $g$ ,  $\vartheta$ ) e de conversão das unidades, sendo igual a 82.903,03 para vazão em  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ ,  $DI$  em mm e  $L$  em m.

Um valor de  $K$  de 0,47 é recomendado por LIMA (2014), para vazão em litros por hora ( $\text{L h}^{-1}$ ) e  $DI$  em milímetros (mm), lembrando que a equação é válida para temperatura da água de  $20^\circ\text{C}$  e que para temperatura de  $25^\circ\text{C}$  a perda de carga seria 2,8% menor, devido à redução do valor da viscosidade.

Existem outras fórmulas para o cálculo das perdas de carga em tubulações, como a equação empírica de Hazen-Williams, recomendada para diâmetros internos maiores que 50 mm e velocidade de escoamento menor que  $3 \text{ m s}^{-1}$ . Neste documento, será empregada somente a equação universal de Darcy-Weisbach pela sua precisão em diferentes condições.

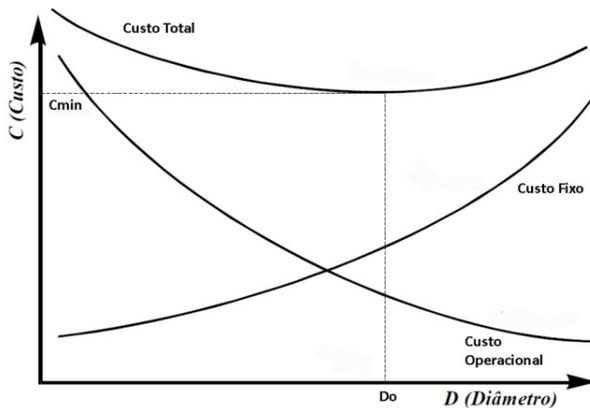
Além da perda de carga na tubulação, é preciso considerar as perdas que ocorrem sempre que um acessório é instalado na tubulação, denominada perda de carga localizada. Uma das formas para se estimar seu valor é aplicando a metodolo-

gia do “comprimento equivalente”, definido como o comprimento de tubulação que causa a mesma perda de carga que o acessório instalado. Dessa forma, para o cálculo da perda de carga de uma tubulação somam-se ao seu comprimento os valores dos comprimentos equivalentes dos acessórios instalados fornecendo comprimento fictício equivalente.

### Análise econômica

Outro critério que pode ser utilizado no dimensionamento de adutoras é o da análise econômica para a seleção do diâmetro ótimo ( $D_o$ ) que minimize seu custo total (soma do custo fixo mais custo operacional), a partir da análise de diversas combinações de diâmetro. Esse critério deve ser utilizado para selecionar os diâmetros que satisfaçam o critério hidráulico, permitindo o menor custo para o produtor.

Nessa metodologia, é importante salientar que a variação dos custos fixos aumenta exponencialmente com o diâmetro da tubulação, ou seja, quanto maior o diâmetro maior é seu custo, enquanto os custos operacionais são inversamente proporcionais ao diâmetro, devido à redução da perda de carga com o diâmetro e, conseqüentemente, dos custos energéticos para o bombeamento da vazão de projeto. Na Figura 102 verificam-se as variações desses dois componentes de custos (total e operacional) e o comportamento parabólico do custo total com o diâmetro, evidenciando a existência de um ponto em que o custo mínimo ( $C_{min}$ ) é obtido para um determinado valor de diâmetro econômico ( $D_o$  - diâmetro ótimo).



**Figura 102.** Gráfico mostrando a variação dos custos totais com o diâmetro, diferenciando a contribuição dos custos fixos e operacionais. (Adaptado de FREIRE, 2000)

O comportamento do aumento do custo fixo com o diâmetro se explica pelo fato de que quanto maior o diâmetro da tubulação para uma mesma pressão nominal, maior é sua espessura e a quantidade de material utilizado. Porém, a redução do custo operacional com o diâmetro se deve ao fato de que a perda de pressão na tubulação reduz à quinta potência do diâmetro da tubulação, reduzindo assim o custo de bombeamento na sua operação.

O custo total anual (CTA) é estimado pela soma do custo fixo anual (CFA) e o custo operacional anual (COA), fornecido pela Equação 18:

$$CTA = CFA + COA \quad (18)$$

Os dois componentes de custo da equação serão detalhados a seguir:

#### Custo fixo anual

Considera-se nesse item o cálculo do custo fixo anual para a aquisição da tubulação ao longo de sua vida útil, que pode ser expresso pela Equação 19:

$$CFA = CI \times FRC \quad (19)$$

Sendo:

CFA = custo fixo anual (R\$ ano<sup>-1</sup>)

CI = custo inicial do investimento (R\$ m<sup>-1</sup>)

FRC = Fator de Recuperação de Capital anual ou fator de amortização anual do investimento, estimado em função da vida útil e juros anuais pela Equação 20:

$$FRC = \frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (20)$$

Sendo:

$i$  = taxa de juros anual ou custo de oportunidade do capital (decimal);

$N$  = período de amortização do investimento, considerado normalmente como a vida útil dos tubos (anos).

A taxa de juros anual ou o custo de oportunidade do capital devem refletir o retorno financeiro que o agricultor obterá se aplicasse o valor investido em outra atividade econômica (PERES, 2006).

#### Custo operacional anual (COA)

O custo operacional anual considera somente os custos com a energia, sendo necessário considerar a potência fornecida pelo conjunto de bombeamento para compensar a perda de carga provocada pela tubulação. Essa variável é estimada pela equação:

$$COA = P_{hf} \times H_t \times Ce \quad (21)$$

Sendo:

COA = custo operacional anual (R\$ ano<sup>-1</sup>)

$P_{hf}$  = potência consumida devido à perda de carga (KW)

$H_t$  = horas anuais de trabalho (horas ano<sup>-1</sup>)

$C_e$  = custo da energia (R\$ kWh<sup>-1</sup>)

A potência consumida pela perda de carga de cada diâmetro analisado pode ser estimada pela aplicação da equação de potência consumida, utilizando o valor da perda de carga estimada pela equação de Darcy-Weisbach:

$$P_{hf} = \frac{1}{FCU} \times \frac{Q \times H_f}{E_f} \quad (22)$$

Sendo:

$P_{hf}$  = Potência consumida devido à perda de carga (kW)

$Q$  = vazão da tubulação (L s<sup>-1</sup>)

$H_f$  = perda de carga estimada (mca)

$E_f$  = eficiência total do sistema de bombeamento (decimal)

FCU = Fator de correção da unidade, que é igual a 102 para vazão em L s<sup>-1</sup> e perda de carga em mca para obter a potência em kW

Combinando as duas equações, tem-se a Equação 23, que permite calcular o COA para diferentes combinações de diâmetro:

$$COA = \frac{Q \times H_f \times C_e \times H_t}{102 \times E_f} \quad (23)$$

Utilizando os resultados das equações derivadas para os cálculos de CFA e COA, é possível construir uma tabela com os valores de diâmetros comerciais e verificar qual oferece o melhor desempenho econômico, ou seja, o menor custo total anual para as condições consideradas no dimensionamento.

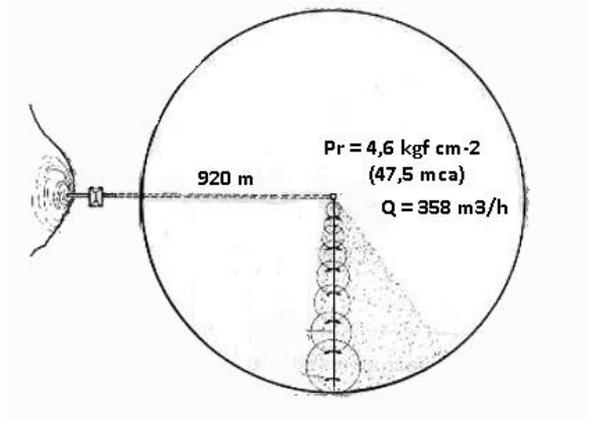
## Exemplos de aplicação dos critérios

### Exemplo A

Para exemplificar a aplicação dos critérios já apresentados neste tópico, pode-se considerar o dimensionamento de uma adutora para um pivô central com as seguintes características:

- Comprimento total da adutora 920 m
- Vazão total de 358 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>
- Desnível entre a bomba e o pivô de 64 m (Ds)
- Pressão requerida (Pr) na torre central do pivô: 4,6 kgf cm<sup>-2</sup> (47,5 mca)

A Figura 103 mostra um esquema do pivô central, cujas tubulações adutora e sucção serão dimensionadas nesse exemplo.



**Figura 103.** Esquema do pivô e da adutora a ser dimensionada no exemplo.

**Passo 1:** Seleção do diâmetro e material da adutora

A adutora do pivô que vai transportar a vazão de  $358 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  deverá ter um diâmetro interno mínimo de:

$$DI \geq 13,30 \times 358^{0,5} = 251,6 \text{ mm}$$

Como o desnível total ( $D_s$ ) entre a bomba e o pivô é de 64 m e a pressão requerida ( $Pr$ ) no pivô de 47,5 mca ( $4,6 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ ), a soma desses valores é de 111,5 m, correspondente à pressão na bomba sem considerar a perda de carga na tubulação; dessa forma, será analisada a possibilidade de se utilizar tubos de PVC modelo DEFoFo PN125 (classe  $12,5 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$  ou 125 mca), cujas dimensões comerciais estão disponíveis na Tabela 14. Avaliando-se a tabela, verifica-se que se pode selecionar qualquer diâmetro acima da DN250, pois possuem diâmetros internos maiores que 251,6 mm e fornecem uma velocidade inferior ao limite máximo de  $2 \text{ m s}^{-1}$ .

**Tabela 14.** Dimensões normalizadas de tubos de PVC DEFoFo PN125

PN 125			
DN	DE (mm)	e (mm)	DI (mm)
200	222	8,9	204,2
<b>250</b>	<b>274</b>	<b>11,0</b>	<b>252,0</b>
300	326	13,1	299,8
350	378	15,2	347,6
400	429	17,2	394,6

Fonte: TIGRE, 2014.

Como quanto maior o diâmetro, maior é seu custo, pelo critério da velocidade máxima, o correto é escolher o DN250, que vai determinar uma velocidade de escoamento ( $V$ ) de:

$$V = 353,68 \frac{Q}{DI^2} = 353,68 \frac{358}{252^2} = 1,99 \cong 2 \text{ m s}^{-1}$$

**Passo 2:** Cálculo da perda de carga

Para se determinar a pressão requerida na motobomba, é preciso calcular a perda de carga para a tubulação selecionada. Considerando um comprimento equivalente às perdas localizadas de 5%, haverá um acréscimo de 46 m ( $0,05 \times 920$  m) no comprimento da tubulação (PERES, 2006). Para o tubo DN 250 PN 125 para a vazão de  $358 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , a perda de carga para o comprimento de 966 m pode ser estimada pela Equação 17, utilizando um valor de  $K$  igual a 82.903,03 (vazão em  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ ,  $DI$  em mm e  $L$  em m), chegando à seguinte expressão:

$$h_f = 82.903,03 \times \frac{966 \times 358^{1,75}}{252^{4,75}} = 9,25 \text{ mca ou } 0,90 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$$

Dessa forma, a pressão requerida na motobomba será de:

$$P_{MB} = P_r + Ds + h_f = 47,5 + 64 + 9,25 = 120,75 \text{ mca} = 11,7 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$$

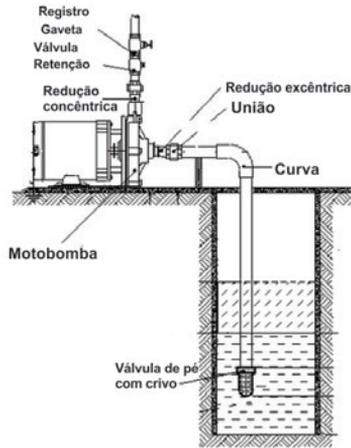
**Exemplo B**

A partir dos dados do exemplo anterior e da seleção do diâmetro da adutora, esse exemplo demonstra a escolha do diâmetro e do material da tubulação de sucção da bomba centrífuga.

Para selecionar o diâmetro da tubulação de sucção, é preciso avaliar uma tubulação de diâmetro comercial imediatamente superior ao da adutora para que a velocidade nesse trecho atenda o critério de velocidade máxima para a sucção. Nesse caso, seria necessário selecionar uma tubulação de aço zincado com diâmetro nominal de 300 (DN 300, DE de 323,8 mm e espessura de 8,38 mm – Sch 40), com pontas rosqueáveis para a conexão com a bomba. A velocidade na tubulação de sucção seria de:

$$V = 353,68 \frac{Q}{DI^2} = 353,68 \times \frac{358}{307,04^2} = 1,34 \text{ m s}^{-1}$$

Esse dimensionamento estaria apropriado, pois a velocidade na sucção é menor que  $1,4 \text{ m s}^{-1}$ , recomendada pela Norma NBR 12214:1992 para o diâmetro de 300 mm (Tabela 13). Considerando a escolha de uma bomba centrífuga que tem um diâmetro de sucção de 200 mm, é preciso utilizar uma redução excêntrica para adequar às duas tubulações. A Figura 104 mostra um esquema de um conjunto motobomba com seus acessórios e conexões.



**Figura 104.** Esquema de um conjunto de bombeamento com as conexões requeridas.

**Exemplo C**

Aplicar o método de análise econômica na seleção do diâmetro e material da adutora para os dados fornecidos anteriormente.

Ao fazer o dimensionamento da adutora utilizando o critério da análise econômica, será necessário buscar outras informações que permitam desenvolver esse procedimento, como:

- Vazão (Q) igual a 358 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> ou 99,44 L s<sup>-1</sup>
- Horas anuais de funcionamento do sistema (H<sub>f</sub>): 900 horas por ano
- Eficiência global da motobomba (E<sub>f</sub>): 70%
- Vida útil da tubulação (N): 20 anos
- Custo da energia elétrica (C<sub>e</sub>): R\$ 0,17 por kWh (CPFL-Paulista-novembro/2014)
- Taxas de juros anuais (i): 12%
- Custos dos tubos de PVC PN 125 DEFoFo (Tabela 15)

**Tabela 15.** Valor de revenda dos tubos de PVC PN125 DEFoFo (preço novembro/2014)

DN	Custo (R\$/barra 6m)	Custo* (R\$/m)
250	549,99	91,67
300	789,85	131,64
350	1.260,86	210,14
400	1.359,89	226,65

\* Coluna 3 = coluna 2 dividido por 6 (comprimento tubo em metros).

**Passo 1:** Estimar o custo Fixo Anual

Estimativa do Fator de Recuperação de Capital (FRC)

$$FRC = \frac{i \times (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1} = \frac{0,12 \times (1 + 0,12)^{20}}{(1 + 0,12)^{20} - 1} = 0,1339$$

A partir dos valores de comercialização dos tubos selecionados e de FRC, é possível construir uma tabela para cálculo do CFA (Tabela 16).

**Tabela 16.** Metodologia para cálculo do custo fixo anual

DN	Custo (R\$ metro <sup>-1</sup> )	CFA (R\$ ano <sup>-1</sup> metro <sup>-1</sup> )	CFA (R\$ ano <sup>-1</sup> )
250	91,67	12,27	11.292,64
300	131,64	17,63	16.216,47
350	210,14	28,14	25.886,73
400	226,65	30,35	27.920,56

**Coluna 1.** Diâmetros nominais para PVC PN125 DEFoFo.

**Coluna 2.** Preço do tubo por metro (Tabela 15).

**Coluna 3.** CFA por metro = coluna 2 multiplicado pelo FRC (0,1339).

**Coluna 4.** CFA anual = coluna 3 multiplicado pelo comprimento total da tubulação (920m).

**Passo 2:** Estimar o custo operacional anual

Aplicando os valores dos parâmetros da equação para estimativa de COA, verifica-se o seguinte resultado:

$$COA = \frac{Q \times H_f \times C_e \times H_t}{102 \times E_f} = \frac{99,44 \times H_f \times 0,17 \times 900}{102 \times 0,70} = R\$ 213,09 \times H_f \text{ (m)}$$

A partir do valor unitário de COA por metro de perda de carga é possível construir uma tabela para a estimativa de COA para as diferentes opções de diâmetro. Com base nos valores correspondentes de CFA (Tabela 16), calcular os valores de CT (Tabela 17).

**Tabela 17.** Estimativa do Custo Operacional Anual (COA) e do Custo Total (CT)

Diâmetro (mm)	DI (mm)	Hf (total) (m)	COA (R\$)	CFA (R\$)	CT (R\$)
250	252,0	9,25	1.971,04	11.292,64	13.263,68
300	299,8	4,05	863,01	16.216,47	17.079,48
350	347,6	2,01	428,31	25.886,73	26.315,04
400	394,6	1,10	234,40	27.920,56	28.154,96

**Coluna 1.** Diâmetros nominais para PVC PN125 DEFoFo.

**Coluna 2.** Diâmetros internos correspondentes ao DN.

**Coluna 3.** Perda de carga calculada para as condições de projeto (equação de Darcy-Weisbach).

**Coluna 4.** COA = coluna 3 multiplicado pelo valor do custo operacional unitário (R\$ 213,09).

**Coluna 5.** Valor de CFA retirado da tabela anterior.

**Coluna 6.** Custo total = soma da coluna 4 com coluna 5.

Os resultados do custo total (CT) apresentados na Tabela 17 para os diâmetros avaliados mostram que o menor custo total (R\$ 13.263,68) foi o da tubulação com DN250, diâmetro selecionado também pelo critério da velocidade máxima. Esse resultado foi observado para as condições de projeto propostas, mas salienta-se que nem sempre o menor diâmetro dentro das opções que atendem o critério hidráulico é aquele que apresenta o menor custo, pois depende do comportamento da perda de carga e do preço das tubulações no momento da análise. Pela Tabela 17 também fica demonstrado o comportamento de variação dos custos operacionais e fixos em função do diâmetro da tubulação (setas vermelhas), ou seja, o custo operacional (COA) diminui com o aumento do diâmetro da tubulação, enquanto o custo fixo (CFA) aumenta.

## CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO PARA LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO

A linha lateral ou de distribuição é definida especificamente como tubulação de irrigação onde estão conectados os emissores (aspersores, gotejadores ou microaspersores). O dimensionamento dessas tubulações é realizado pela aplicação de critérios diferentes daquele utilizado em adutoras; possuem regime de escoamento diferenciado e classificado como distribuição em marcha com vazão decrescente, ou seja, em uma linha lateral a vazão decresce no sentido da entrada para o fim, devido às múltiplas saídas que abastecem os aspersores ou emissores na irrigação localizada (Figura 105).



**Figura 105.** Exemplo de linhas laterais de irrigação por aspersão convencional (esquerda) e gotejamento (direita). (Fonte: ANTUNES, 2006)

Como nesse caso os valores de vazão vão diminuindo após cada emissor instalado na tubulação, o critério de dimensionamento do diâmetro da tubulação empregado é evitar que a variação de vazão ao longo da linha ultrapasse um determinado limite, garantindo uniformidade de distribuição adequada de água para toda a cultura, de forma a não permitir diferentes lâminas aplicadas ao longo da tubulação e também da quantidade de fertilizantes, no caso do uso da fertirrigação.

## Etapa de dimensionamento

O critério aprovado no dimensionamento de linhas laterais recomenda que a diferença de vazão nos emissores em uma lateral deve ser inferior a 10% da vazão nominal (vazão média na linha). Como a vazão em emissores do tipo turbulento é diretamente proporcional à raiz quadrada da pressão, sua variação entre o primeiro e último emissor na linha lateral não deve ultrapassar a 20% da sua pressão de serviço na linha, considerando nessa variação a diferença de pressão causada pela declividade da linha.

Como a linha lateral possui saídas múltiplas para os emissores, o que provoca a redução da vazão, as equações de perda de carga, que não consideram essa variação, superestimariam as perdas dessas tubulações. Portanto, recomenda-se o emprego de um coeficiente de correção que considera a redução na perda de energia decorrente da redução na vazão, permitindo afirmar que perda de carga da tubulação com saídas é uma fração ( $< 1$ ) da perda de carga da tubulação sem saídas, de acordo com a Equação 24.

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} \quad (24)$$

Sendo:

$hf_{cs}$  = perda de carga real de uma linha lateral de irrigação com saídas (mca)

$hf_{ss}$  = perda de carga equivalente ou fictícia para uma tubulação sem saídas (mca)

F = Fator de correção da perda de carga denominado Fator F de CHRISTIANSEN (1942)

O valor do fator de correção (F) depende do expoente da vazão ou da velocidade na equação de perda de carga utilizada no seu cálculo, do número de saídas na tubulação e da distância do início da linha para a posição da primeira saída na linha lateral, sendo calculado pela Equação 25:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6n^2} \quad (25)$$

Sendo:

n = número de saídas na linha lateral

m = exp. da velocidade ou vazão na equação de perda de carga. Se for empregada a equação de Hazen-Williams ( $m = 1,852$ ), enquanto na equação de Darcy-Weisbach ( $m = 1,75$ )

Essa equação é recomendada quando o primeiro emissor estiver instalado a uma distância da entrada da linha igual ao espaçamento utilizado entre todos os emissores. Quando essa distância for igual à metade do espaçamento utilizado entre emissores, recomenda-se o uso da Equação 26:

$$F = \frac{2n}{2n-1} \times \left[ \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6n^2} \right] \quad (26)$$

Como é preciso incluir variação causada pela declividade da linha no limite de variação de pressão, o critério de dimensionamento pode ser expresso como (Equação 27):

$$\Delta P_p = P_i - P_f = hf_{cs} \pm \Delta z \leq 0,20Pn \quad (27)$$

Sendo:

$\Delta P_p$  = variação de pressão permitida em uma linha lateral, ou seja, pressão no início da linha ( $P_i$ ) menos a pressão no final ( $P_f$ ) (mca).

$\Delta z$  = variação de pressão na linha devido à declividade ao longo do comprimento da tubulação (mca).

$Pn$  = pressão nominal ou pressão média de operação do emissor na linha lateral (mca).

Dessa forma, se a linha lateral estiver em nível,  $\Delta z = 0$ , portanto:

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn \quad (28)$$

Se a linha estiver em declive (descendo):

$$\Delta P_p = hf_{cs} - \Delta z \leq 0,20Pn \quad (29)$$

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn + \Delta z \quad (30)$$

Se a linha estiver em aclave (subindo):

$$\Delta P_p = hf_{cs} + \Delta z \leq 0,20Pn \quad (31)$$

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn - \Delta z \quad (32)$$

Esse critério se aplica para linhas laterais de aspersão convencional, gotejamento e microaspersão.

## Exemplos de aplicação dos critérios

### Exemplo A

Para exemplificar os critérios discutidos, propõe-se o dimensionamento do diâmetro de uma linha lateral de aspersão convencional posicionada nas curvas de nível do terreno, empregando tubulações de PVC, para o comprimento máximo de 150 m, utilizando os aspersores operando à pressão de 35 mca e vazão de  $1,35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com espaçamento de 6 por 12 m (6 metros entre aspersores e 12 metros entre linhas laterais).

**Passo 1:** Determinar o número de emissores na linha lateral (n):

O número de emissores ( $n$ ) na linha lateral é determinado pela divisão do comprimento da linha ( $L$ ) pelo espaçamento de emissores ( $Ea$ ).

$$n = \frac{L}{Ea} = \frac{150}{6} = 25 \text{ aspersores}$$

**Passo 2:** Calcular a vazão total da linha lateral ( $Q_{LL}$ ):

A vazão de entrada na lateral é calculada pela multiplicação do número de emissores pela vazão nominal de projeto do aspersor.

$$Q_{LL} = n \times q_a = 25 \times 1,35 = 33,75 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$$

**Passo 3:** Calcular o fator de correção da perda de carga ( $F$ ):

Assumindo que o primeiro aspersor será instalado a 6 metros do início da linha, ou seja, com espaçamento igual aos demais aspersores, deve-se calcular o valor do fator de correção pela equação:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6n^2} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 25} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6 \times 25^2} = 0,384$$

**Passo 4:** Calcular o limite de perda de carga na linha ( $hf_{cs}$ ):

Como a linha lateral está em nível ( $\Delta z = 0$ ), tem-se que:

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn = 0,20 \times 35 = 7\text{mca} \rightarrow hf_{cs} \leq 7\text{mca}$$

**Passo 5:** Calcular a perda de carga admissível para o tubo sem saída ( $hf_{ss}$ ):

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} \rightarrow 7 = 0,384 \times hf_{ss} \rightarrow hf_{ss} = \frac{7}{0,384} = 18,2\text{mca} \rightarrow hf_{ss} = 18,2\text{mca}$$

**Passo 6:** Calcular o diâmetro de tubulação ( $DI$ ) que forneça a perda de carga admissível.

Aplicando os valores do problema na equação de Darcy-Weisbach, tem-se:

$$hf = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow 18,2 = 82.903,03 \times \frac{150 \times 33,75^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow DI = 61,9 \text{ mm}$$

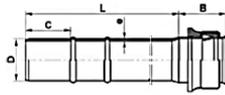
Resolvendo a equação para o valor do diâmetro interno, encontra-se  $DI = 61,9 \text{ mm}$ .

**Passo 7:** Selecionar diâmetro comercial de tubulação que atenda a condição de projeto

Para o selecionamento do diâmetro comercial que atenda a condição de projeto é necessário buscar os catálogos das empresas fabricantes e analisar, para a pressão nominal desejada, os diâmetros nominais disponíveis. Na Tabela 18, verificam-se os dados de tubulações de PVC com engate metálico tipo sela com PN 80, que atende a pressão de trabalho média da linha lateral.

**Tabela 18.** Dados das dimensões comerciais de tubulações de PVC com engate metálico PN 80

Tubo Irriga ES Sem Engate



Cotas	DIMENSÕES (mm)		
	2"	3"	4"
B	60	75	85
C	57	71	81
D	50,6	75,4	101,6
e	1,9	2,5	3,6
L	6000	6000	6000

(Fonte: TIGRE, 2014).

Avaliando os dados fornecidos pela Tabela 18, é possível selecionar o tubo de 3" (DN75), com diâmetro interno de 70,4 mm ( $D = 75,4$  mm e  $e = 2,5$  mm), diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro calculado de 61,9 mm.

**Passo 8:** Recalcular os valores de perda de carga para o diâmetro selecionado

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} = 82.903,03 \times \frac{150 \times 33,75^{1,75}}{70,4^{4,75}} = 9,8 \text{ mca}$$

Dessa forma, a perda de carga na linha lateral (com saídas) será igual a:

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} = 0,384 \times 9,8 = 3,8 \text{ mca} < 7 \text{ mca} \quad \text{Projeto adequado!}$$

### Exemplo B

Recalcular o exemplo anterior (A) para o caso da linha lateral estar disposta no campo em acive de 1%.

Nesse caso, os passos 1, 2 e 3 usados no exemplo A seriam idênticos, com o passo 4 passando para:

**Passo 4:** Calcular o desnível em m entre o começo e o fim da linha lateral ( $\Delta Z$ ).

$$\Delta Z = \frac{D(\%) \times L(m)}{100} = \frac{1 \times 250}{100} = 2,50 \text{ m}$$

**Passo 5:** Calcular o limite de perda de carga na linha ( $hf_{cs}$ ):

Como a linha lateral está em acive, tem-se que:

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn - \Delta z = (0,20 \times 35) - 2,5 = 7 - 2,5 \rightarrow hf_{cs} \leq 4,5 \text{ mca}$$

Portanto, quando a linha lateral estiver subindo, a perda de carga admissível reduzirá, pois parte da energia será utilizada para vencer a diferença de nível.

**Passo 5:** Calcular a perda de carga admissível para o tubo sem saída ( $hf_{ss}$ ):

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} \rightarrow 4,5 = 0,384 \times hf_{ss} \rightarrow hf_{ss} = \frac{4,5}{0,384} = 11,7mca \rightarrow hf_{ss} = 11,7mca$$

**Passo 6:** Calcular o diâmetro de tubulação que forneça a perda de carga admissível (DI):

Aplicando os valores do problema na equação de Darcy-Weisbach, tem-se:

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow 11,7 = 82.903,03 \times \frac{150 \times 33,75^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow DI = 67,9 \text{ mm}$$

Dessa forma, o novo valor do diâmetro interno para a condição da linha em aclave é maior para a condição da linha em nível, devido à redução na perda de carga permissível e resultou no valor igual a 67,9 mm.

**Passo 7:** Selecionar diâmetro comercial de tubulação que atenda a nova condição de projeto

Utilizando as informações da Tabela 18, seleciona-se, para esse caso, o mesmo diâmetro que o exemplo anterior, ou seja, o tubo com 3" (DN75) com diâmetro interno de 70,4 mm, diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro calculado 67,9 mm.

**Passo 8:** Recalcular os valores de perda de carga para o diâmetro selecionado ( $hf_{cs}$ )

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} = 82.903,03 \times \frac{150 \times 33,75^{1,75}}{70,4^{4,75}} = 9,8 \text{ mca}$$

Dessa forma, a perda de carga na linha lateral (com saídas) será igual a:

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} = 0,384 \times 9,8 = 3,8mca < 11,7mca \quad \text{Projeto adequado!}$$

### Exemplo C

Dimensionar o diâmetro de uma linha lateral de gotejamento posicionada em nível, empregando tubulações de PE, para o comprimento de 120 m, utilizando gotejadores que operando a uma pressão de 10 mca fornecem uma vazão de 3,2 L h<sup>-1</sup>, com espaçamento entre emissores de 0,30 m.

**Passo 1:** Determinar o número de emissores na linha lateral (n):

O número de emissores ( $n$ ) na linha lateral é determinado pela divisão do comprimento da linha ( $L$ ) pelo espaçamento de emissores.

$$n = \frac{L}{Ea} = \frac{120}{0,3} = 400 \text{ gotejadores}$$

**Passo 2:** Calcular a vazão total da linha ( $Q_{LL}$ )

A vazão de entrada na lateral é calculada pela multiplicação do número de emissores pela vazão nominal de projeto do aspersor.

$$Q_{LL} = n \times q_a = 400 \times 3,2 = 1280,0 \text{ L h}^{-1} = 1,28 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

**Passo 3:** Calcular o Fator de correção da perda de carga ( $F$ )

Considerando que o primeiro gotejador será instalado a 0,3 metros do início da linha, ou seja, com espaçamento igual aos demais emissores, deve-se calcular o valor do fator de correção pela equação:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6n^2} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \times 400} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6 \times 400^2} = 0,365$$

**Passo 4:** Calcular o limite de perda de carga na linha ( $hf_{cs}$ ):

Como a linha lateral está em nível ( $\Delta z = 0$ ), tem-se que:

$$hf_{cs} \leq 0,20Pn = 0,20 \times 10 = 2mca \rightarrow hf_{cs} \leq 2mca$$

**Passo 5:** Calcular a perda de carga admissível para o tubo sem saída ( $hf_{ss}$ ):

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} \rightarrow 2 = 0,365 \times hf_{ss} \rightarrow hf_{ss} = \frac{2}{0,365} = 5,5 \text{ mca} \rightarrow hf_{ss} = 5,5mca$$

**Passo 6:** Calcular o diâmetro de tubulação que forneça a perda de carga admissível ( $DI$ ):

Aplicando os valores do problema na equação de Darcy-Weisbach, tem-se:

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow 5,5 = 82.903,03 \times \frac{120 \times 1,28^{1,75}}{DI^{4,75}} \rightarrow DI = 22,7mm$$

Solucionando para o valor do diâmetro interno, resulta em:  $DI = 22,7 \text{ mm}$ .

**Passo 7:** Selecionar diâmetro comercial de tubulação que atenda a condição de projeto:

Na Tabela 19 estão listados os dados de tubulações de PE do tipo linear de baixa densidade com vários valores de pressão nominal, a partir dos quais é possível selecionar uma tubulação adequada para as condições do projeto.

**Tabela 19.** Dados das dimensões comerciais de tubulações de PEBD

Produto	Código	Diâmetro	DI (mm)	Pressão de Trabalho (m.c.a.)	Embalagem
Tubo PELBD 0437 PN 110	15017	4 mm	4,3	110	500 metros
Tubo PELBD 0437 RETO PN 110	15098	4 mm	4,3	110	6 metros
Tubo PELBD 0551 PN 110	15015	5 mm	5,3	110	500 metros
Tubo PELBD 1335 PN 30	15011	13 mm	13,0	30	500 metros
Tubo PELBD 1342 PN 40	15013	13 mm	13,0	40	450 metros
Tubo PELBD 1435 PN 30	15037	14 mm	13,6	30	400 metros
Tubo PELBD 1630 PN 20	15036	16 mm	16,0	20	400 metros
Tubo PELBD 1630 PN 20	17633	16 mm	16,0	20	500 metros
Tubo PELBD 1635 PN 30	15012	16 mm	16,0	30	400 metros
Tubo PELBD 1645 PN 40	15016	16 mm	16,0	40	350 metros
Tubo PELBD 2037 PN 20	15039	20 mm	20,6	20	200 metros
Tubo PELBD 2043 PN 30	15014	20 mm	20,6	30	200 metros
Tubo PELBD 2650 PN 30	13530	26 mm	26,9	30	200 metros

(Fonte: AMANCO, 2014)

Pela Tabela 19, é possível selecionar o tubo PELBD 2650 PN 30, com diâmetro interno de 26,9 mm, diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro calculado 22,7 mm.

**Passo 8:** Recalcular os valores de perda de carga para o diâmetro selecionado ( $hf_{cs}$ ):

$$h_f = K \times \frac{L \times Q^{1,75}}{DI^{4,75}} = 82.903,03 \times \frac{120 \times 1,28^{1,75}}{26,9^{4,75}} = 2,5 \text{ mca}$$

Dessa forma, a perda de carga na linha lateral (com saídas) será igual a:

$$hf_{cs} = F \times hf_{ss} = 0,365 \times 2,5 = 0,9 \text{ mca} < 2\text{mca}$$

**Projeto adequado!**

## Linha de distribuição de pivô central

Sistemas de irrigação por pivô central possuem uma linha de distribuição constituída por uma tubulação de aço zincado montada sobre torres móveis que se deslocam radialmente (Figura 106). O abastecimento de água é realizado por uma adutora que chega na torre central do pivô.

Em função de sua operação circular, a área irrigada pelo pivô vai aumentando do centro para a sua extremidade, sendo necessário que a vazão aumente proporcionalmente para que a lâmina média aplicada seja uniforme em toda a área. Dessa forma, diferentemente das linhas laterais de aspersão e localizadas, cuja vazão dimi-

nui ao longo da linha, no pivô, a vazão deve aumentar. Para obter esse desempenho existem basicamente duas opções de projeto: a primeira é selecionar *sprays* aumentando o diâmetro dos bocais ao longo do raio do pivô, ou, reduzir o espaçamento dos *sprays* para que haja maior superposição do raio molhado.



**Figura 106.** Detalhe de um pivô central em campo.

Dessa forma, o dimensionamento na linha de distribuição do pivô não é realizado pelos critérios até aqui estabelecidos para os outros tipos de linhas laterais. Na prática, os fabricantes definem o diâmetro da tubulação a partir de padrões próprios em função da área e da cultura a ser irrigada e da topografia do terreno, variando geralmente entre 100 e 250 mm (4" e 10"), sendo os mais usados os diâmetros de 168 e 200 mm (6 $\frac{3}{8}$ " e 8"). Após a determinação da demanda hídrica da cultura, o projeto consiste em definir os espaçamentos entre emissores e o tamanho dos bocais para cada posição. Por não ser o objetivo deste documento, não serão tratados aqui os procedimentos de cálculo para definição dos bocais e espaçamentos de *sprays* em linhas de distribuição em pivô central.

No caso de linha de distribuição em sistemas de pivô central, o critério da análise econômica é aplicável para se determinar o diâmetro mais adequado para o equipamento, buscando o ponto de mínimo custo total. Como o custo de investimento inicial (preço do equipamento) é o principal fator utilizado pelo agricultor na escolha da marca do fabricante, quase sempre, o menor custo deriva de tubos com diâmetros e espessuras menores, que vai determinar maior perda de carga e maior potência requerida. Esse tipo de escolha vai determinar uma configuração de equipamento que além de reduzir sua vida útil (alta velocidade, maior abrasão e desgaste), vai resultar em custos elevados de energia do sistema, fator restritivo para viabilizar economicamente o projeto de irrigação.

## CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES DE CONTROLE

As tubulações de controle têm o objetivo de conectar os acessórios das válvulas de controle presentes no seu próprio corpo (Figura 107), assim como, de conectar essas válvulas ao controlador, no caso de comandos hidráulicos de setorização da irrigação (Figura 108).



**Figura 107.** Válvula de alívio de sobre pressão com tubos de controle. (Fonte: BERMAD, 2014)



**Figura 108.** Cavalete de distribuição em irrigação localizada com válvula operada por tubos de controle. (Fonte: ANTUNES, 2006)

Os tubos utilizados para fazer esse tipo de conexão com válvulas de controle em sistemas de irrigação são fabricados em polietileno linear de baixa densidade (LLDPE) e possuem diâmetros variando de 4 a 6 mm. A escolha do diâmetro é realizada em função do tipo e da dimensão da conexão existente nas válvulas e no controlador, que são geralmente acoplamentos mecânicos de compressão (Figura 109).



**Figura 109.** Detalhes de conexões de válvulas com controlador por tubos de controle.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os critérios de dimensionamento de tubulações com diferentes funções dentro do sistema de irrigação: adução, distribuição e controle. Buscou-se com os exemplos práticos oferecer um detalhamento do método e fortalecer a fundamentação teórica presente nesses cálculos. Os procedimentos metodológicos detalhados visam fornecer um caminho didático para a solução, lembrando que existem outras formas e equações disponíveis para se atingir o dimensionamento de tubulações empregadas na irrigação.



# INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO

---

O conteúdo deste capítulo tem o objetivo de fornecer informações básicas sobre procedimentos práticos para instalação e operação dos principais tipos de tubulações empregadas na irrigação; e apresentar alguns cuidados que se deve ter na manutenção dos equipamentos, visando atingir a eficácia da sua utilização, redução de custos de reparos e o aumento de sua vida útil. Não será possível abranger neste documento todos os tipos de instalações de tubulações presentes na irrigação, restringindo-se a apresentação somente para as situações consideradas mais comuns nessa área.

## INSTALAÇÃO DE TUBULAÇÕES EM IRRIGAÇÃO

As adutoras e as linhas laterais de irrigação são instaladas, na maioria das propriedades, sobre a superfície do solo ou enterradas. Somente em casos específicos são utilizadas linhas aéreas, como equipamentos de pivô central com tubulação sustentada por estruturas; linhas de gotejamento suspensas para reduzir danos nas tubulações por serviços de tratos culturais, como limpeza de plantas daninhas, ou linhas de microaspersão em ambientes protegidos, para facilitar os tratos culturais e a automação dos setores (Figura 110).



**Figura 110.** Exemplo de tubulações aéreas em irrigação: (esquerda) cultura da videira com linhas por gotejamento instaladas em cabo de aço; (direita) linhas de nebulizadores em estufas de mudas. (FONTE: ANTUNES, 2006)

Pode-se afirmar que existem basicamente três tipos de instalação para tubulações em irrigação. O primeiro são as tubulações completamente portáteis, desde a captação na fonte de água até sua aplicação na cultura pelos emissores (gotejadores, microaspersores, *sprays*, aspersores). O segundo tipo é uma combinação de tubos enterrados com outros dispostos na superfície do solo. Nesse caso, parte da tubulação enterrada fica permanente e tem a função de conduzir a água da fonte até a área a ser irrigada (adutora); parte da tubulação fica na superfície do solo com a função de distribuir a água para a cultura (linha lateral). O terceiro tipo de tubulação de irrigação é com o sistema totalmente enterrado e fixo.

Qualquer que seja a forma de disposição da tubulação utilizada em irrigação, a qualidade de instalação é fundamental para o sucesso da utilização e operação dessa técnica, e está baseada, em parte, pelo armazenamento, transporte e manuseio (descarga e movimentação) das tubulações e conexões, inspeção local da instalação, escavação de valas, união ou conexão correta dos tubos, ancoragem da rede, etc.

## Etapas de instalação

Após o dimensionamento e a aquisição dos tubos e acessórios, é preciso fazer a montagem da tubulação em campo, de acordo com o projeto e colocá-lo em operação atendendo o manejo de irrigação proposto. Para se chegar até a operação do sistema, é preciso concluir algumas etapas que podem se apresentar na seguinte sequência:

- Transporte
- Recebimento e inspeção
- Descarga e manuseio
- Armazenamento
- Montagem

### *Transporte*

O transporte dos tubos e acessórios deve ser realizado atendendo as recomendações do fabricante no que se refere à altura máxima de empilhamento, o tipo de apoio e a disposição do material durante o transporte para impedir que as peças sejam danificadas. Na Figura 111 observa-se o transporte de tubos de PVC em carrocerias de caminhão. Durante o transporte, algumas situações devem ser evitadas, tais como:

- Que os tubos fiquem em balanço, sem apoio na parte inferior.
- Contato dos tubos com peças cortantes, pontiagudas ou metálicas.
- Não colocar apoios, gerando flechas excessivas por flexão nos tubos.

- Alturas excessivas de empilhamento.
- Movimentação da carga por falta de confinamento lateral.



**Figura 111.** Exemplo de transporte de tubos de PVC por caminhões. (Fonte: TRANSPEGASUS, 2014)

### *Recebimento e inspeção*

O recebimento de todo o material adquirido deve ser realizado por um profissional responsável, que deve acompanhar seu descarregamento e inspecioná-lo para comprovar se a quantidade e as dimensões dos tubos e acessórios estão de acordo com o projeto; se existe evidências de danos ou avarias causadas durante o transporte ou carregamento do material. Toda e qualquer ocorrência deve ser registrada junto ao fabricante e à transportadora, a fim de ressarcimento ou troca do material.

### *Descarga e manuseio*

Durantes as operações de carga e descarga do material, independente do tipo de fabricação, deve-se evitar que as tubulações e acessórios sofram batidas, choques e atritos com outras peças, com o assoalho da carroceria ou com o solo onde será depositado na propriedade, principalmente em suas extremidades. Devido ao baixo peso dos tubos utilizados em irrigação, existe a tendência que o descarregamento seja feito manualmente; dessa forma, deve-se impedir que ocorra seu lançamento direto no solo ou que sejam arrastados sobre o solo ou outros objetos, sendo essencial que os tubos sejam sempre devidamente manuseados. Dessa forma, recomenda-se que tanto no carregamento como no descarregamento sejam utilizados empilhadeiras ou guinchos com capacidade adequada para os tubos e acessórios.

No recebimento é recomendável que se prepare uma base firme de solo batido ou cascalho, a fim de preservar a integridade dos materiais (Figura 112). A tubulação deve ser disposta sobre essa base, apoiando as extremidades sobre areia ou uma estrutura de apoio (TIGRE, 2014).



**Figura 112.** Exemplo de recebimento de material para montagem de um sistema de irrigação. (Fonte: ANTUNES, 2006)

### *Armazenamento*

O armazenamento do material na propriedade pode ser necessário quando a montagem da tubulação não ocorrer imediatamente à entrega ou da sua recepção, ou quando a tubulação for do tipo portátil nos momentos em que a irrigação não é utilizada.

Nesses casos, recomenda-se que o material seja armazenado em local de fácil acesso e à sombra, livre de ação direta do clima ou de exposição aos raios solares, principalmente no caso de tubos plásticos. Deve-se respeitar a altura máxima de empilhamento recomendada pelo fabricante e, em caso de dúvida, as pilhas não devem exceder 1,5 m de altura. No caso de tubos com pontas e bolsa, esses devem ser empilhados com as pontas alternadas, sem que as bolsas encostem uma nas outras (Figura 113).



**Figura 113.** Exemplo de armazenamento de tubos de PVC. (Fonte: ONCMETAIS, 2014)

## Montagem

A execução da montagem de toda a rede de tubulações que compõe um sistema de irrigação deve obedecer ao projeto executivo e demais informações técnicas fornecidas pelo fabricante. Esse procedimento é necessário para não se perder a garantia dos materiais no prazo estipulado pelo contrato. De forma geral, é possível realizar a etapa de montagem nos seguintes passos:

### **Passo 1:** Alocação do local de instalação do conjunto motobomba

Inicia-se o processo de montagem com a alocação ou demarcação do lugar onde será instalada a motobomba do sistema de irrigação. Preliminarmente, esse local de instalação já deve ter sido criteriosamente definido no projeto do sistema de irrigação, de forma que se tenha um local de fácil acesso para manutenção e, preferencialmente, estar acima da linha de inundação da propriedade.

O conjunto de motobomba deve ser abrigado no interior de edificações próprias para protegê-lo das intempéries, adequadamente iluminadas e com espaço suficiente para movimentação e instalação da parte elétrica, assegurando plena ventilação, a fim de permitir boa refrigeração do motor (Figura 114).



**Figura 114.** Exemplos de casas de bombas utilizadas em irrigação.

### **Passo 2:** Demarcação do trajeto da tubulação adutora

Preferencialmente, os pontos principais do trajeto que a tubulação vai ter dentro da propriedade devem ser marcados topograficamente no terreno com estacas, a partir da localização do conjunto de bombeamento, cerificando-se que a área corresponde àquela que está descrita no projeto. Se alguma parte da tubulação for instalada enterrada, é preciso delimitar claramente com estacas a linha da escavação da valeta.

### **Passo 3:** Montagem do conjunto motobomba

As bombas centrífugas mais utilizadas em irrigação são as de eixo horizontal, que devem ser assentadas em nível sobre uma fundação resistente, quase sempre de concreto, para evitar trepidações e o perfeito alinhamento entre as partes (Figura 115).



**Figura 115.** Detalhes do início da montagem de um conjunto motobomba. (Fonte: ANTUNES, 2006)

As tubulações utilizadas no conjunto de bombeamento são, geralmente, de aço com acoplamentos tipo flange, principalmente para bombas de maior potência. Para reduzir as possíveis perdas localizadas de pressão por conexões ou acessórios, a tubulação de sucção deve ser a mais curta possível, utilizando o mínimo necessário de peças, utilizando conexões de raios de curvatura longos, sem reduções bruscas de diâmetro.

Deve-se iniciar a montagem da sucção pela parte horizontal da tubulação, utilizando uma redução excêntrica na entrada da bomba para evitar bolsas ou bolhas de ar nessa posição (Figura 116). Pelo mesmo motivo, recomenda-se que essa seção da tubulação tenha uma leve inclinação no sentido bomba-fonte de água, contribuindo também para evitar o acúmulo de água no motor e conservar melhor o sistema. Para facilitar a remoção da bomba, no caso de manutenção, recomenda-se a instalação de uma união na linha horizontal de sucção, para não afetar o restante da instalação dessa tubulação.



**Figura 116.** Detalhe da montagem da tubulação de sucção pela sua parte horizontal. (Fonte: ANTUNES, 2006)

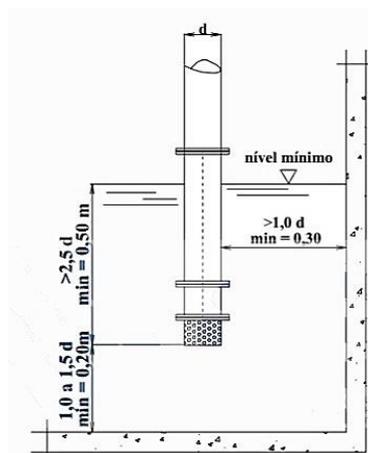
Após a montagem da parte horizontal, devem-se acoplar as peças da seção vertical da sucção. Recomenda-se que na extremidade do tubo de sucção, a qual ficará submersa, seja instalada uma válvula de pé com crivo (válvula de retenção com pequenas aberturas), para manter essa tubulação cheia de água, evitando entrada

de ar e de resíduos ou sujeiras na bomba que possam danificá-la (Figura 117). A área das aberturas do crivo deve ser superior a duas vezes a seção transversal do tubo de sucção (AZEVEDO NETTO, 1998).



**Figura 117.** Detalhe da montagem da parte vertical da tubulação de sucção com a presença da válvula de pé com crivo. (Fonte: ANTUNES, 2006)

É preciso também garantir que a válvula de pé fique na posição vertical para sua correta operação e não fique encostada no fundo da fonte de água (rio, poço, açude, lagos, etc.) para evitar a sucção de sedimentos, devendo ter a distância mínima de pelo menos 20 cm de distância do fundo da captação. Adicionalmente, essa peça não pode ficar próxima da superfície da água, para evitar a entrada de ar no sistema, devendo à sua profundidade ser superior a 2,5 vezes o diâmetro da tubulação de sucção, com um valor mínimo de 50 cm (Figura 118).



**Figura 118.** Esquema com distâncias mínimas de instalação da válvula de pé. (Adaptado de CEDAE, 2006)

Depois de unidas as duas seções, horizontal e vertical, deve-se apoiar essa tubulação de sucção em um sistema de sustentação para que ela não se apoie na carcaça da bomba, impossibilitando a transmissão de nenhum tipo de esforço.

Para evitar a presença de tensões no corpo da bomba, é preciso projetar uma estrutura específica de apoio para evitar que com a operação do conjunto, que gera vibrações, ocorram trincas ou quebra da carcaça, além de desalinhamento do conjunto (Figura 119). A tubulação de sucção deve estar alinhada antes do aperto final dos dois flanges e adequadamente apoiada para evitar esforços na entrada da bomba.



**Figura 119.** Exemplos de sistemas de sustentação da tubulação de sucção: à esquerda, por pilar de concreto e à direita, por treliça metálica em balanço.

#### **Passo 4:** Montagem das tubulações de recalque

A montagem da tubulação de recalque começa pela instalação dos acessórios que devem estar presentes na saída da bomba. A primeira peça na saída da bomba deve ser uma redução concêntrica, acompanhada de registro gaveta para a regulação de vazão e pressão do bombeamento ou de uma válvula controladora da bomba, operada por solenoide que, após o acionamento do conjunto motobomba, é ativada para permitir a abertura da válvula principal com velocidade controlada. Assim, como na tubulação de sucção, recomenda-se a instalação de uma união no início do recalque para facilitar a desmontagem do conjunto. Na Figura 120 há exemplos de diferentes montagens de conjuntos motobombas; na Figura 120A a bomba centrífuga foi instalada com registro gaveta, união, válvula ventosa, manômetro com acoplamentos rosqueáveis metálico e PVC; na Figura 120B há uma redução concêntrica, curva, válvula controladora da partida com tubulações metálicas e acoplamentos flangeados; na Figura 120C observa-se uma redução concêntrica, válvula controladora de partida, redução e conexão tipo junta dresser.

No caso de agricultores que exploram culturas itinerantes, como tomate, batata, berinjela, jiló, etc., é possível optar por sistemas motobombas com motor de combustão interna, montados sobre carretas, para facilitar seu transporte entre as safras (Figura 121). A montagem da sucção e do início do recalque deve seguir a mesma sequência de instalação, com a diferença que a tubulação de sucção é constituída por mangote ou tubulações plásticas com reforço de lonas sintéticas com espiral de arame ou arames de aço.



**Figura 120.** Exemplos de diferentes montagens do conjunto de bombeamento para bomba centrífuga. (Fonte: ANTUNES, 2006)



**Figura 121.** Exemplo de sistema motobomba montado sobre carreta com sucção tipo mangote e saída para tubulações metálicas com acoplamentos tipo sela.

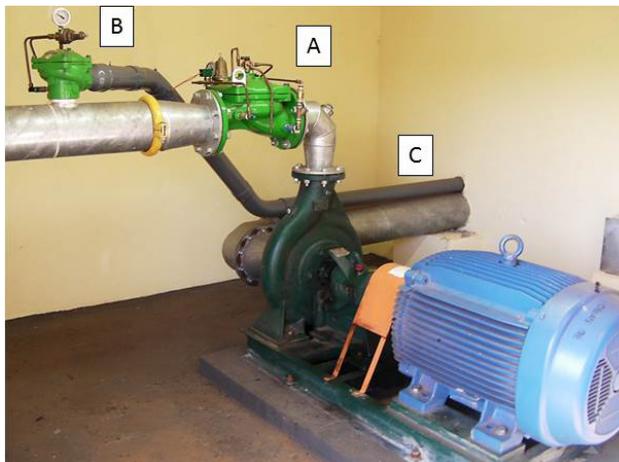
A tubulação de recalque imediatamente após a saída da bomba pode receber outros acessórios em função da potência instalada da bomba, pois quanto maior a potência maior será a demanda hidráulica de toda a estrutura. Para evitar que esforços da tubulação, devido à dilatação e contração, danifiquem a bomba recomenda-se a colocação de juntas de expansão.

Recomenda-se a instalação de uma válvula de retenção entre a bomba e o registro de gaveta, para impedir o retorno da água através das bombas e o esvaziamento da tubulação de recalque quando do seu desligamento intencional ou não (Figura 122). Esse esvaziamento vai criar uma descontinuidade de líquido-ar e no próximo acionamento da bomba, determinar uma variação brusca da pressão, gerando golpes de aríete na tubulação. Segundo alguns autores e empresas, a posição inversa com o registro precedendo a válvula de retenção é viável, mas não aconselhável, pois vai dificultar as inspeções e os consertos eventuais.

Outro dispositivo de segurança para a tubulação e o conjunto motobomba que pode ser instalado no início da linha de recalque é a válvula de alívio ou anti-golpe, que vai abrir automaticamente quando a tubulação atingir um valor pré-estabelecido de pressão e evitar as consequências de sobrepessão, que ultrapassam os limites recomendados e pode se propagar pelo sistema (Figura 123).



**Figura 122.** Válvula de retenção com destaque para o sistema *by pass*, instalada em uma linha de recalque de pivô central.



**Figura 123.** Montagem de motobomba com válvula controladora de partida (A) e válvula de alívio (B) com tubulação de saída ou descarga (C) para a fonte de água.

Iniciando na saída da bomba, a linha de recalque vai ser montada até atingir as linhas de distribuição, através de ramificações. O trajeto escolhido para essa tubulação deve ser o mais reto possível para evitar perdas de pressão desnecessárias e instalada de forma a garantir a estanqueidade requerida, impedindo vazamentos e a possível entrada de ar no sistema. Outra forma de reduzir a perda de carga é

sempre optar por curvas de raio longo e médio, com mudanças suaves de direção ao invés de mudanças bruscas. A montagem da linha de recalque deve atender as recomendações do fabricante com relação ao tipo de acoplamento utilizado e de suas vedações.

Um dos principais problemas que deve ser controlado em uma linha de recalque é a presença ou ausência do ar no interior da tubulação, que pode causar sérios danos ao sistema. A entrada do ar na tubulação ocorre de duas formas: na partida do sistema de irrigação quando a tubulação está cheia de ar e, com a pressurização e movimentação da água, é empurrado para a abertura mais próxima; durante a operação normal do sistema, quando o ar dissolvido na água é liberado e acumulado em pontos altos do sistema, precisando ser retirado do interior da tubulação.

A forma mais eficiente de se controlar a retirada do ar em sistemas de irrigação é pelo uso adequado de válvulas ventosas, que são dispositivos projetados para expulsar o ar aprisionado nos pontos elevados da tubulação durante seu enchimento e também durante o seu funcionamento. As ventosas também podem ter a função de admitir o ar no desligamento do sistema, evitando a criação de vácuo interno, que pode colapsar as tubulações (Figura 124).



**Figura 124.** Exemplo de uma válvula ventosa instalada em uma linha de recalque enterrada.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

Dentre as consequências que a presença de ar no interior de tubulações pode causar em um sistema de irrigação, citam-se (NETAFIM, 2014):

- Aumento da resistência ao escoamento, com obstrução parcial até a completa paralisação do fluxo.
- Aumento da perda de carga, resultando em perdas de energia.
- Danos aos tubos e acessórios por golpe de aríete.
- Avarias graves em peças internas móveis de medidores, válvulas, aspersores ou *sprays*;
- Ocorrência de corrosão e cavitação.

- Fornecimento insuficiente de água para setores irrigados devido à obstrução do escoamento de água ou acumulação de perdas de pressão no final do sistema.

Assim como a presença de ar, a criação de vácuo no interior das tubulações, principalmente, quando o sistema de irrigação é desligado ou a irrigação interrompida por falta de energia, precisa ser evitada com reintrodução de ar no sistema, para não gerar alguns problemas, como:

- Sucção de lama e sujeira pelos gotejadores.
- Aspiração de juntas e vedações, gotejadores integrados e outros acessórios internos para dentro da tubulação.
- Colapso da tubulação ou acessórios devido a pressões negativas ou subatmosférica.

AZEVEDO NETTO (1998) e NETAFIM (2014) recomendam a instalação de ventosas em diferentes pontos das redes de tubulação, destacando dentre eles as posições mais importantes para sistemas de irrigação, como:

- Em pontos altos da tubulação (Figura 124).
- Em todos os pontos de mudança de declividade em trechos ascendentes ou descendentes da tubulação.
- Em pontos intermediários de trechos horizontais, ascendentes ou descendentes muito longos.
- Em linhas com válvulas para liberar o ar quando a válvula estiver fechada (Figura 125).
- Em cabeçal de controle de irrigação localizada.



**Figura 125:** Exemplos de instalação de ventosas em sistemas de irrigação. (Fonte: ANTUNES, 2006)

Diferentemente dos outros sistemas, que não precisam buscar o balanceamento da vazão e pressão nos setores irrigados, a irrigação localizada requer que a linha de recalque passe também pelo cabeçal de controle; este pode ser definido como a montagem de acessórios e dispositivos que vão viabilizar o controle automático do manejo de irrigação, melhorar a qualidade de água (filtragem), possibilitar o uso da quimigação ou fertirrigação e regular o valor da pressão e vazão a ser distribuída pela área (Figura 126). Dessa forma, o cabeçal de controle é constituído de

instrumentos de medição da vazão e pressão da água, filtros, injetores de fertilizantes e produtos químicos, válvulas para controle da vazão e pressão, e controladores que definem o tempo de irrigação.



**Figura 126.** Exemplo da instalação de um cabeçal de controle em irrigação localizada.  
(Fonte: LOPES, 2014)

#### **Passo 5:** Montagem das tubulações enterradas

Dependendo do sistema de irrigação que será utilizado na propriedade agrícola e as condições do relevo e de tráfego na área a ser irrigada, a tubulação de recalque pode ou vai precisar ser enterrada (Figura 127). Esse tipo de disposição da tubulação permite, quando a cultura já não estiver estabelecida, obter um trajeto mais curto e direto entre a fonte de água e os pontos de distribuição de irrigação ao longo da propriedade, eliminando perdas de área ou interferência com tratos culturais. Algumas informações e detalhes sobre a montagem dessas tubulações serão fornecidos neste tópico.



**Figura 127.** Exemplo de tubulação de recalque enterrada em irrigação localizada.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

Segundo REPLOGLE e KRUSE (2007), pelo fato de ficarem permanentes, as tubulações enterradas exigem mais cuidados e critérios na definição do seu trajeto no campo em comparação com aquelas que são instaladas na superfície do solo, as quais possuem direções mais flexíveis. Esses autores recomendam que, se possível, a localização deve permitir que a linha seja enterrada a uma profundidade uniforme e com o mínimo de volume de aterro ou cobertura, evitando rotas que sejam cortadas por tráfego pesado na superfície. Além disso, sugerem que o número de pontos altos no traçado da tubulação seja minimizado para reduzir a necessidade da retirada do ar nesses pontos. Outra indicação sugere ainda que, sendo possível, as valetas não devem cortar as áreas irrigadas, pois a água pode criar caminhos preferenciais no aterro mal compactado, determinando uma distribuição inadequada da umidade para a cultura.

Os principais cuidados com a montagem de tubulações enterradas estão relacionados com a escavação, preparação e regularização das valetas, e ao assentamento ou montagem propriamente dita dos tubos e acessórios. As valas ou valetas devem ser escavadas na direção e na declividade indicadas no contrato do projeto e em perfeita conformidade com as normas de segurança aplicáveis nesse caso.

As valetas para tubos plásticos devem ser escavadas de forma a permitir a construção de uma base inferior firme, contínua, relativamente suave e livre de pedras ou outros materiais que possam danificar os tubos. Quando se tratar de solo rochoso (rocha decomposta, pedras soltas e rocha viva), é necessário executar um berço de areia ou solo de granulometria fina de, no mínimo, 15 cm sob os tubos (TIGRE, 2014). A largura inferior da valeta deve ser suficiente para dar espaço para o manuseio dos tubos e para a compactação inicial do aterro (Figura 127). Para AZEVEDO NETTO (1998), a largura mínima (em metros) para valas deve estar compreendida entre  $D + 0,30$  e  $D + 0,60$ , sendo D o diâmetro nominal da tubulação em metros.

A profundidade de escavação deve ser suficiente para que 0,75 a 1,20 m de aterro seja colocado sobre tubos de irrigação (ASABE, 2010). Esta cobertura é suficiente para proteger o tubo da passagem do tráfego ou rachaduras no solo, e não vai gerar carga excessiva do solo sobre o tubo. Áreas baixas podem ser atravessadas com profundidades de valetas rasas e preenchidas com volumes adicionais de aterros para possibilitar a profundidade de cobertura mínima (Figura 128).



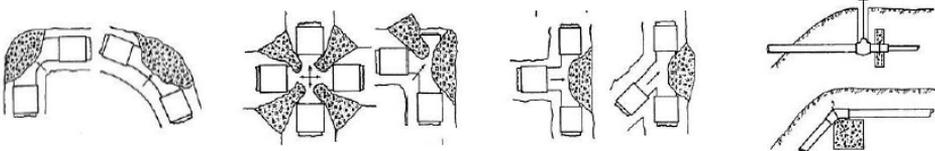
**Figura 128.** Exemplo de escavação de valeta com baixa profundidade. (Fonte: ANTUNES, 2006)

Nas tubulações pressurizadas, onde existem mudanças de direção (em curvas, tês, reduções, etc.), vão aparecer forças de reação que podem deslocar a tubulação e separar os acoplamentos ou conexões. Nesses casos, recomenda-se a ancoragem desses pontos com blocos de concreto ou alvenaria, que vão oferecer resistência ao movimento do tubo (Figura 129).

Segundo a TIGRE (2014), não se recomenda o envolvimento direto de tubos de PVC com concreto, pois pode haver rupturas e atingir o tubo. Segundo esse fabricante, as tubulações devem ser ancoradas no sentido do peso próprio e dos possíveis esforços longitudinais, para que as peças trabalhem livres de esforços ou deformações. Na Figura 130 verificam-se exemplos de blocos de ancoragem propostos pela norma ASAE S376 (ASABE, 2010).



**Figura 129.** Detalhe da ancoragem de um cavalete de irrigação localizada, transmitindo a reação para a parede da valeta. (Fonte: LOPES, 2014)



**Figura 130.** Exemplos de ancoragem de tubulações enterradas com mudanças de direções. (Adaptado ASABE, 2010)

Após abertura das valetas de forma adequada, os tubos e acessórios devem ser colocados no seu interior e as técnicas de instalação e conexão devem ser empregadas, atendendo todas as especificações e recomendações do fabricante, pois essa atividade é crítica para a qualidade de operação e vida útil do sistema (Figura 131).



**Figura 131.** Tubulação adutora de PVC soldável sendo conectada e disposta em valeta rasa.  
(Fonte: ANTUNES, 2006)

Antes de a tubulação ser coberta ou aterrada, é preciso realizar um ensaio de operação com o sistema pressurizado em condições superiores às de trabalho, para verificar a estanqueidade de juntas e uniões. Esse procedimento também é essencial para verificar a qualidade do sistema de ancoragem nos pontos de mudança de direção e se não ocorre o desacoplamento de tubos ou acessórios. É preciso inspecionar criteriosamente a tubulação nesse momento, pois mesmo pequenos vazamentos podem determinar zonas de umedecimento que vão favorecer a corrosão externa de tubos metálicos e erosão interna do solo.

Após o ensaio de estanqueidade, a tubulação deve ser recoberta com material selecionado (isento de rochas, material orgânico e detritos), com a compactação realizada em camadas sucessivas de 10 cm; até atingir a altura do tubo, a compactação deve ser feita manualmente apenas nas laterais da valeta (Figura 132). O restante do material deve ser lançado em camadas sucessivas de 30 cm e compactado de forma a obter a mesma condição do terreno das laterais da valeta (TIGRE, 2014).



**Figura 132.** Valeta de tubulação no processo de cobertura ou aterramento.  
(Fonte: AMERIGUI PLANTATION, 2014)

Quando a profundidade da valeta for inferior a 80 cm ou a tubulação atravessar locais com tráfego pesado é preciso tomar ações de proteção aos tubos, como por exem-

plo, sua colocação no interior de canaletas, envolvidos em material granular e uma tampa de concreto armado ou a execução de uma laje de concreto armado (TIGRE, 2014).

## MANUTENÇÃO

A realização da manutenção regular das tubulações tem como finalidade manter sua capacidade de conduzir a água para garantir sua eficácia na distribuição uniforme desses recursos à cultura. Apesar da pouca importância que o agricultor dá para as atividades de manutenção, elas são necessárias, pois os custos são relativamente baixos se comparados à substituição de peças danificadas e o risco de perda de produção devido a paradas obrigatórias do sistema. Os principais métodos de manutenção que podem ser empregados na irrigação são: corretiva, preventiva e preditiva, que serão discutidos a seguir neste tópico.

### Manutenção Corretiva

É o tipo de manutenção realizado quando a tubulação ou acessórios são consertados somente após sua quebra ou avaria (manutenção tipo quebra/conserta), sendo o método que mais ocorre na agricultura irrigada. Uma desvantagem importante da manutenção corretiva é que ela exige paradas obrigatórias sem data marcada e, muitas vezes, nos momentos em que se mais precisa do equipamento ou sistema. É praticamente impossível evitar este tipo de manutenção, pois, em algumas situações pela falta de visualização ou de um monitoramento, não se pode prever o momento em que vai ocorrer um defeito que vai exigir uma manutenção corretiva de emergência.

A manutenção corretiva deve ser consequência de inspeções locais regulares, enquanto o sistema está operando, sendo estes os problemas mais comuns encontrados nessas verificações:

- Aspersores, *sprays*, gotejadores ou microaspersores entupidos.
- Vazamentos nas tubulações, acessórios e emissores (Figura 133).
- Aparecimento de escoamento superficial e, às vezes, com ocorrência de erosão no solo
- Ocorrência de manchas de áreas secas na cultura.
- Barulho no conjunto motobomba.



**Figura 133.** Exemplo de vazamentos em tubulações de irrigação.

Na Tabela 20 verificam-se exemplos de problemas que podem ocorrer em sistemas de tubulações em irrigação, com suas possíveis causas e soluções. Essa tabela somente exemplifica e apresenta possíveis soluções, sem a pretensão de cobrir completamente todas as dificuldades que vão aparecer nem oferecer a resposta correta para elas.

**Tabela 20.** Tabela orientativa de manutenção corretiva para alguns problemas em tubulações e acessórios

<b>Problemas</b>	<b>Causas</b>	<b>Solução</b>
<b>Queda de pressão no sistema ou nos emissores</b>	Problemas com o conjunto motobomba	Avaliar queda de tensão no motor elétrico ou entupimento de válvula de pé
	Vazamento na tubulação devido rompimento	Encontrar o local e consertar de acordo com o tipo de tubulação empregada
	Rompimento de uma válvula ou acessório	Trocar a válvula ou suas partes avariadas
	Regulador de pressão avariado	Trocar regulador
	Válvula parcialmente fechada	Reparar a válvula
<b>Falta de água na linha de distribuição</b>	Entupimento dos emissores	Avaliar a causa do entupimento e buscar solução
	Vazamento na tubulação devido a rompimento	Encontrar o local e consertar de acordo com o tipo de tubulação empregada
	Entrada de ar na tubulação adutora ou na sucção	Instalar ventosas na adutora ou avaliar montagem da bomba.
<b>Emissor aplica água continuamente mesmo após a troca de setor de irrigação</b>	Vazamento na válvula de controle	Reparar a válvula, trocando as partes avariadas ou substituí-la.
<b>Pressão excessiva no sistema ou nos emissores</b>	Regulador de pressão avariado	Trocar regulador
<b>Aspersores emperrados ou sem retorno completo</b>	Pressão excessiva ou insuficiente no bocal	Avaliar causas e reparar (ver itens anteriores)

Para tubos de emissão (tubos de PE de parede delgada), BURT (2015) apresenta um relatório sobre possíveis problemas que podem ocorrer, classificando os danos originalmente em mecânicos (durante a instalação das tubulações ou operação) ou biológicos. Apesar de ainda pouco estudados e caracterizados cientificamente, os danos biológicos podem ser originados pela ação de insetos ou mamíferos, como, formigas, grilos, larvas, lacraias, besouros, lagartas brancas, ratos e coelhos (STANSLY e PITTS, 1990).

## Manutenção Preventiva

A realização da manutenção preventiva é baseada no estado e no tempo de uso das tubulações e acessórios e nas recomendações fornecidas pelo fabricante (condições ótimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, etc.). Essa atividade é considerada como manutenção de rotina que não requer o aparecimento do problema para corrigir falhas comuns dos componentes, permitindo assim a redução do número e do custo de ações corretivas.

Os fabricantes devem apresentar sempre uma proposta de manutenção preventiva para seus equipamentos e uma tabela das atividades e dos momentos de realizá-las, a qual precisa ser entregue e informada ao produtor que vai providenciar sua fixação em um local visível para que o operador responsável execute corretamente essas tarefas. Esse tipo de manutenção geralmente é realizado quando o sistema não está em operação.

Como qualquer outra máquina, o sistema de irrigação, de forma geral, exige cuidados preventivos no manuseio, armazenamento e manutenção, principalmente nos casos em que o sistema é retirado do campo entre as safras. O armazenamento incorreto de tubos e acessórios durante esse período vão determinar a ocorrência ou não de problemas futuros de operação e de manutenção (Figura 134).



**Figura 134.** Exemplo de armazenamento de tubos de PVC em pilhas com alturas acima do valor recomendado de 1,5m.

## Manutenção Preditiva

Para se efetivar a manutenção preditiva é preciso monitorar ou acompanhar a variação de parâmetros operacionais ou de desempenho do sistema de irrigação, visando orientar a correção das partes do sistema envolvidas no problema, sem que ele esteja evidente. Dessa forma, o sistema de irrigação deve ser devidamente instrumentado para permitir medidas de variáveis operacionais, como a vazão e a pressão de trabalho, cujo monitoramento vai requerer a instalação de manômetros ou válvulas volumétricas no sistema (Figura 135), e a pré-definição dos seus intervalos operacionais adequados.

Para criar um programa de manutenção preditiva que possibilite o acompanhamento da operação do sistema, a análise do monitoramento e diagnóstico do problema encontrado, é preciso realizar o treinamento adequado da mão de obra responsável pela sua execução.



**Figura 135.** Exemplos de instalação de manômetros e válvula volumétrica para monitoramento da pressão e vazão, respectivamente, em sistemas de irrigação.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

O último capítulo deste manual tratou dos procedimentos práticos para instalação dos principais tipos de tubulações empregadas na irrigação e também de alguns fundamentos e cuidados que se deve ter na sua manutenção. Buscou-se oferecer ilustrações que permitissem a visualização das etapas de montagem com ênfase na padronização de instalações de tubulação enterrada e linhas de sucção. As informações detalhadas objetivaram dar ao leitor um conhecimento razoável sobre cada uma das operações, fornecendo um embasamento mínimo para as suas execuções, apesar de ainda ser necessário maior aprofundamento prático para a operação de sistemas de tubulações empregadas na irrigação.

# BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

---

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14654:2001 - Irrigação e drenagem - Tubos agropecuários de PVC rígido com junta soldável PN 60 e PN 80. 2001. 9p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12214:1992 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público – Procedimento. 1992. 15p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Técnicas: ABNT Coleção. Disponível em: <<http://abntcolegao.com.br/>>. Acesso em: agosto 2014.
- AGRONERI – Sistemas de irrigação. Disponível em: <<http://agroneri.com.br/projeto.php?id=3>> Acesso em: março 2015.
- AGTALK. Best way to straighten kinked 8” irrigation pipe? Disponível em: <<http://talk.newagtalk.com/forums/thread-view.asp?tid=58210&DisplayType=flat&setCookie=1>> Acesso em: novembro 2014.
- ALCOA. Catálogo de Extrusão. 2010. 29p. Disponível em: < [https://www.alcoa.com/brasil/pt/recursos/pdf/industria/catalogo\\_extrusao2010.pdf](https://www.alcoa.com/brasil/pt/recursos/pdf/industria/catalogo_extrusao2010.pdf)>. Acesso em: novembro 2014.
- ALRECO. Tubos de ferro fundido dúctil. Disponível em: < <http://www.alreco.es/pt/tubos-de-ferro-fundido-ductil-abastecimento>>. Acesso em: dezembro 2014.
- ALUMINIUMDESIGN.NET. Aluminium corrosion resistance. Disponível em: < <http://www.aluminiumdesign.net/design-support/aluminium-corrosion-resistance/>> Acesso em: novembro 2014.
- AMANCO. Soluções AMANCO Irrigação. Disponível em: <[http://www.amanco.com.br/web/image/texto/file/Catalogo\\_Irrigacao\\_2014\\_WEB.pdf](http://www.amanco.com.br/web/image/texto/file/Catalogo_Irrigacao_2014_WEB.pdf)> Acesso em: setembro 2014.
- AMERIGUI PLANTATION. Land and Water Resource Development. Disponível em: <[http://amerigui.blogspot.com.br/2007\\_04\\_01\\_archive.html](http://amerigui.blogspot.com.br/2007_04_01_archive.html)> Acesso em: dezembro 2014.
- ANTAKI, G. A. Piping and Pipeline Engineering: Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair. CRC Press, 2003. 564 p.
- ANTUNES, J. A. Coletânea particular de fotos de irrigação. Caçador: Gotejar/Irrigabrás. 2006.
- ARCELORMITTAL. Guia do Aço. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>> Acesso em: agosto 2014.
- ASABE- AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASAE/ASABE S376.2 (r2010). Design, Installation and Performance of Underground, Thermoplastic Irrigation Pipelines, 2010.
- AZEVEDO NETTO, J. M. Manual de Hidráulica. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670p.
- BERMAD – Válvulas de Controle. Disponível em: <http://www.bermad.com.br/downloads/>>. Acesso em: agosto de 2014.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A. MANTOVANI, E. C. E Manual de Irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV/Imprensa Universitária, 2008. 625p.
- BOMBAS FAL. Conexões. Disponível em: <<http://www.bombasfal.com.br/conexoes.html>>. Acesso em: novembro 2014.
- BURT, C. Drip Tape Problem Guide. ITRC Report N. R-08-003. Disponível em: <<http://www.itrc.org/reports/pdf/driptapeguide.pdf>>. Acesso em: junho de 2015.

- CADTOOLSONLINE. 3D piping symbols library. Disponível em: <<http://www.cadtoolsonline.com/3dpipe-draftsight.htm>>. Acesso em: novembro 2014.
- CASOTTI, B. P., DEL BEL FILHO, E., CASTRO, P. C. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. In: Metalurgia: BNDES Setorial 33. p. 121-162. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3304.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3304.pdf)> Acesso em: novembro 2014.
- CATES, W. H. History of steel water pipe: fabrication and design development. 1971. Disponível em: <<https://www.steeltank.com/Portals/0/pubs/history%20of%20steel%20water%20pipe%20hi%20res.pdf>>. Acesso em: novembro 2014.
- CEDAE – COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTO. NORMA CEDAE NT-2.200-000.000-SPT-04-001: Norma geral para projeto e construção de estações elevatórias de água. 2006. 47p.
- CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkley: University of California, 1942. 124p.
- CORDEIRO, L. C. Instalações Mecânicas Industriais. Disponível em: <[http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Instalacoes%20Mecanicas%20Industriais/Apostila%20IMI%20\(Aluno\).pdf](http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Instalacoes%20Mecanicas%20Industriais/Apostila%20IMI%20(Aluno).pdf)>. Acesso em: agosto 2014.
- CPFL. Tarifas - CPFL Paulista. Disponível em: <<http://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=CPFL>>. Acesso em: novembro 2014.
- DANIELETTO, J. R. B. Tubos de Polietileno e Polipropileno. v.1. São Caetano do Sul: Medialéa, 1990. 340 p.
- DINATECNICA. Juntas tipo Dresser. Disponível em: <<http://www.dinatecnica.com.br/portugues/produtos.php?familia=4&grupo=4&cod=27&familia=Acoplamentos&tgrupo=Juntas%20tipo%20Dresser>> Acesso em: setembro 2014.
- FIBERNEERINGS. About Composites. Disponível em: <<http://www.fiberneering.com/composites.html>> Acesso em: março 2015.
- FOCKINK IRRIGAÇÃO. Tubulações de Irrigação. Disponível em: <<http://www.fockink.ind.br/portal/abreModulo.aspx?mod=1&pag=122>>. Acesso em: novembro 2014.
- FREIRE, P. K. C. Estudo comparativo entre metodologias de dimensionamento econômico de adutoras. 2000. 126 f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências e Tecnologia: Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba: Campina Grande, 2000.
- FUKUDA H. Irrigation in the world. Tokio: University of Tokio Press, 1976. 341p.
- GABRIEL, L. H. Corrugated polyethylene pipe design manual & installation guide. In: History and Physical Chemistry of HDPE. Disponível em: <[https://plasticpipe.org/pdf/chapter-1\\_history\\_physical\\_chemistry\\_hdpe.pdf](https://plasticpipe.org/pdf/chapter-1_history_physical_chemistry_hdpe.pdf)> Acesso em: setembro de 2014.
- GAZETTE.NET. Twenty-year water main rehab program to extend indefinitely. Disponível em: <<http://www.gazette.net/article/20110907/NEWS/709079614/1094/1094/twenty-year-water-main-rehab-program-to-extend-indefinitely&template=gazette>>. Acesso em: novembro 2014.
- HAMAN, D. Z.; ZAZUETA, F.S. Valves in irrigation systems. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/wi005>> Acesso em: dezembro 2014.
- HIDROAMBIENTAL. Sistemas de filtração – Filtros Série HAF - 600-C. Disponível em: <[http://www.hidroambiental.com.br/downloads/fichas-tecnicas/HAF600\\_web.pdf](http://www.hidroambiental.com.br/downloads/fichas-tecnicas/HAF600_web.pdf)> Acesso em: junho de 2015.
- IRONHANDBOOK. History of Cast Iron. Disponível em: <<http://www.ironhandbook.com/history-of-cast-iron>>. Acesso em: novembro 2014.
- IRRIGAÇÃO PENÁPOLIS. Disponível em: <<http://www.irrigacaopenapolis.com.br/>>. Acesso em: agosto 2014.
- IRRIGATION MUSEUM. History of Irrigation Association. Disponível em: <<http://www.irrigationmuseum.org/iahhistory.aspx>>. Acesso em: novembro de 2014.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 16422:2014: Pipes and joints made of oriented unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-O) for the conveyance of water under pressure. 2014
- JEFFERSON – Engenharia de Processos Industriais. Disponível em: <<http://www.jefferson.ind.br/>>. Acesso em: fevereiro 2015.
- JIMENEZ - Grupo Jimenez. Disponível em: <<http://www.grupojimenez.com.br/>>. Acesso em: agosto 2014.

- JOPLAS. TUBOS E CONEXÕES LINHA RPVC. Disponível em: < <http://www.joplas.com.br/produto/prfv-liner-termoplastico-rpvc/>>. Acesso em: dezembro 2014.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- KING, R. C.; CROCKER, S. WALKER, J. H. Piping handbook. 5.th Edition. McGraw-Hill, 1967. 1622 p.
- KREBS SISTEMA DE IRRIGAÇÃO. Grupo Krebs. Disponível em: < <http://www.krebs.com.br/irrigacao/>>. Acesso em: agosto 2014.
- LANDGRAF, F. J. G. TSCHIPTSCHIN, A. P., GOLDENSTEIN, H. Notas sobre a história da metalurgia no Brasil (1500-1850). Disponível em: < <http://www.pmt.usp.br/notas/notas.htm>>. Acesso em: novembro 2014.
- LIMA, L. A. Laterais e adutoras. Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <[http://www.lalima.com.br/lalima/arquivos/laterais\\_e\\_adutoras.pdf](http://www.lalima.com.br/lalima/arquivos/laterais_e_adutoras.pdf)> Acesso em: outubro 2014.
- LOPES, M. U. Coletânea particular de fotos de irrigação por gotejamento enterrado. Nova Europa: Usina Santa Fé S/A, 2014.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3.ed. Viçosa: Ed. UFRV, 2009. 355 p.
- MARTIN, D. L.; HEERMANN, D. F. MADISON, M. Hydraulics of sprinkler and microirrigation systems. Chapter 15. In: G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, and R.L. Elliot (Eds.). Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2.<sup>nd</sup> edition. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.
- MFRURAL. Conjunto completo de aspersor para irrigação. Disponível em: < <http://www.mfrural.com.br/mobile/ClassificadosAnuncio.aspx?id=123515#fotos>> Acesso em: novembro 2014.
- MOSER, A. P.; FOLKMAN, S. Buried Pipe Design, Third Edition. McGraw-Hill: New York, 2008. 601p.
- NETAFIM. Irrigation Systems Air Vent Selection and Placement Guide. Disponível em: <<http://www.netafimusa.com/files/literature/agriculture/air-vents-check-valves-pressure-regulators/A047-Air-Vent-Selection-Guide.pdf>> Acesso em: dezembro 2014.
- OLIVIER H. Irrigation and water resources engineering. London: Edward Arnold, 1972. 188p.
- ONCMETAIS. Fotos de materiais. Disponível em: <<http://www.oncmetais.com.br/fotos-de-materiais.php>> Acesso em: novembro 2014.
- PERES, J. G. Hidráulica Agrícola. Piracicaba, SP: o autor. 2006. 377p
- PHILMAC. PVC fittings. Disponível em: <<http://www.philmac.com.au/Products/Pipe-Fittings/Compression-for-Water-Metric-Poly-Pipe>>. Acesso em: outubro 2014.
- PLASNOVA TUBOS. Disponível em: < <http://www.plasnovatubos.com.br/index1.html>>. Acesso em: agosto 2014.
- PORTESBORGES. Válvula de retenção. Disponível em: <<https://portesborges.wordpress.com/2013/09/06/valvula-de-retencao-vre/>> Acesso em: fevereiro 2015.
- RAESA DO BRASIL. In: ENCONTRO DE TÉCNICOS EM IRRIGAÇÃO COM VINHAÇA, 2. 2014. Apresentação do Coord. Técnico Edinei Cardoso de Moraes. Grupo São João, 2014.
- RAINBIRD. Plastic industrial irrigation valves - PEB & PESB Series. Disponível em: < [http://www.rainbird.com/landscape/products/valves/PEB\\_PESBseries.htm](http://www.rainbird.com/landscape/products/valves/PEB_PESBseries.htm)> Acesso em: dezembro 2014.
- REPLOGLE, J. A. KRUSE, E. G. Delivery and distribution systems. Chapter 11. In: G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, and R.L. Elliot (Eds.). Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 2.<sup>nd</sup> edition. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.
- RFCOMERCIAL. Linha Saneamento: Tubos de Ferro Fundido. Disponível em: <<http://www.rfcomercial.com.br/produtos/linha-saneamento-tubos-de-ferro-fundido/>> Acesso em: setembro 2014.
- SAINT-GOBAIN. Válvulas de controle: Modelos. Disponível em: <[http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/In\\_valvulas/vse2001-port06.asp](http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/In_valvulas/vse2001-port06.asp)> Acesso em: fevereiro 2015.
- SAWYER, T.; ARAGON, G.; ILLIA, T. Engineering News-Record. PVC Pipe Firm's False-Claims Suit Unsealed by District Court. Disponível em: <<http://enr.construction.com/products/materials/2010/0217-JMEaglePVCpipe.asp>> Acesso em: outubro 2014.
- SCHLADWEILER, J. History of sewage conveyance systems. Disponível em: <<http://www.sewerhistory.org>>. Acesso em: setembro 2014.

- SCHRAM, W.; VAN OPSTAL, D.; PASSCHIER, C. Roman aqueducts. Disponível em: [http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd\\_onderwerpen/pipe.htm](http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/pipe.htm). Acesso em: outubro 2014.
- SENAI – Serviço Nacional da Indústria - RJ. Tubulações industriais - Controle Dimensional – Caldeiraria e Tubulação. Rio de Janeiro, 2004. 130p.
- SENAI/CST. Acessórios de Tubulação Industrial. CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. Serviço Nacional da Indústria e Companhia Siderúrgica de Tubarão. Vitória, 1996. 54p.
- SENAI/CST. Instrumentação - Elementos Finais de Controle - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. Serviço Nacional da Indústria e Companhia Siderúrgica de Tubarão. Vitória, 1999. 180p.
- SENAI/CST. Tubulação industrial e estrutura metálica - Programa de certificação operacional CST. – Serviço Nacional da Indústria Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/51/51.pdf>> Acesso em: setembro 2014.
- SETTON, E; SENATORE, M. Estudo comparativo entre tubos de aço inoxidável austenítico com e sem costura. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL, 7., 2004. São Paulo. Anais... São Paulo, 2004. p.1-9.
- SKOUSEN, P. L. Valve Handbook. 3.<sup>rd</sup> Edition. New York: McGraw-Hill, 2011. 496 p.
- SPECTRA ALUMINUM PRODUCTS. History of Aluminum Extrusion. Disponível em: < <http://www.spectraaluminum.com/article-history-of-aluminum-extrusion>>. Acesso em: novembro 2014.
- STANSLY, P.A.; PITTS, D.J. Pest damage to micro-irrigation tubing: causes and prevention. Proceedings of the Florida Horticultural Society, v. 103, p. 137-139, 1990.
- SUZUKI, M. A.; HERNANDEZ, F. B. T. Automação de sistemas de irrigação. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>> Acesso em: dezembro 2014.
- TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. Filtros de areia na irrigação localizada. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2014. 56 p.
- THE DRIP STORE. Irrigation products. Disponível em: <<http://www.dripirrigation.com/>>. Acesso em: outubro 2014.
- THEPUMBLER.COM. The Early History of PVC Pipe. Disponível em: <<http://www.theplumber.com>> Acesso em: outubro 2014.
- THOMPSON, C. UGA researching ways to control pests that damage pecan tree roots. Disponível em <<http://farmerandranchernow.com/2014/03/31/uga-researching-ways-to-control-pests-that-damage-pecan-tree-roots/>>. Acesso em: novembro de 2014.
- TIGRE. Tigre Irrigação. Disponível em: <[http://www.tigre.com.br/pt/catalogos\\_tecnicos.php](http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php)> Acesso em: agosto 2014.
- TRANSPEGASUS. Transporte e Logística. Disponível em: <<http://www.transpegasus.com.br/empresa.php>>. Acesso em: novembro 2014.
- TURBEVILLE, W. C. Cracks in the Pipeline. Disponível em: <<http://ourfinancialsecurity.org/2012/12/cracks-in-the-pipeline/>> Acesso em: outubro 2014.
- VALAÇO. ValAço – Acessórios Industriais. Disponível em: <<http://www.valaco.com.br>> Acesso em: março de 2015.
- WIENDL, W. G. Tubulações para água. Centro Tecnológico de Saneamento Básico. São Paulo, CETESB, 1973. 339 p.

# AUTORES

---

## **ROBERTO TESTEZLAF**

Formado em Engenharia Agrícola pela UNICAMP, em 1979. Obteve o título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de Água e Solo, em 1982, na Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola. Obteve o título de Ph.D, em 1985, por Oklahoma State University. Participou, em 1992, do Advanced International Course on Irrigation and Soil Management realizado no Institute of Soils and Water, em Israel, e desenvolveu treinamento de Pós-Doutorado na University of Flórida, em 1995 e 1996. É Professor Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp desde 1999, sendo responsável por disciplinas de graduação e de pós-graduação na área de Engenharia de Irrigação. Atuou ainda como Coordenador de Pós-Graduação (1987-1991), Diretor Associado (1991-1993) e Diretor (2003-2007) da Faculdade de Engenharia Agrícola, além de participar ativamente em comissões de graduação e pesquisa da FEAGRI.

## **EDSON EIJI MATSURA**

Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo (1980), mestrado em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo (1987) e doutorado em Hidráulica Agrícola pela Université de Montpellier II (Scien. et Tech Du Languedoc) (1992). Tem treinamento de Pós-doutorado em Albacete na Universidade Castilla – La Mancha , Espanha, em 2008-2009. Atualmente é professor Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas(UNICAMP ). Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em conservação de solo e água, atuando principalmente nos seguintes temas: manejo de água e nutrientes, água de reuso na irrigação, e avaliação dos impactos das tecnologias de irrigação no meio ambiente.

## **LAERCIO JOSE LAVOR**

Formado em Engenharia Agrônômica pela ESALQ/USP em 1983. Coursou o Programa de Pós-Graduação na FEAGRI – UNICAMP em 1999, sem a obtenção do título. Atuou como Engenheiro de Aplicação, Coordenador de Engenharia e Gerente de Projetos nas empresas Proagro, Carborundum e Amanco. Possui experiência de mais de 30 anos de trabalho em projeto e dimensionamento, instalação e operação de sistemas de irrigação. É consultor na área de instalação e manejo de irrigação, ministrando cursos voltados para automação de sistemas de irrigação. Atualmente é Gerente Comercial do Segmento de Irrigação da empresa Bermad - Industria de Válvulas Ltda.



**FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
UNICAMP, 2015**