

IRRIGAÇÃO: MÉTODOS, SISTEMAS E APLICAÇÕES



ROBERTO TESTEZLAF

**Faculdade de Engenharia Agrícola
UNICAMP, 2017**

IRRIGAÇÃO:
MÉTODOS, SISTEMAS
E APLICAÇÕES

ROBERTO TESTEZLAF
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



CAMPINAS,
FEVEREIRO, 2017

Ficha Catalográfica

Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elaborada por:

Equipe Participante

Revisão de Vernáculo

Coordenação do Projeto:

Roberto Testezlaf

Faculdade de Engenharia Agrícola

Grupo de Pesquisa Tecnologia de

Irrigação e Meio Ambiente

bob@feagri.unicamp.br

www.feagri.unicamp.br/irrigacao

Editoração Eletrônica

Fotos da Capa

João Alberto Antunes

NETAFIM do Brasil

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.”

SUMÁRIO

PREFÁCIO	i
CONCEITOS, IMPORTÂNCIA E A IRRIGAÇÃO NO BRASIL	3
IRRIGAÇÃO: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA	4
MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	11
IRRIGAÇÃO NO BRASIL	18
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: TIPOS E PRINCÍPIOS	24
IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE	25
Sistemas de irrigação por inundação	28
Sistemas de irrigação por sulcos	34
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	43
Sistemas de irrigação por aspersão com linhas laterais	56
Sistemas de irrigação por aspersão com linhas laterais mecanizadas	60
Sistemas de irrigação por aspersão com aspersor canhão	75
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	82
Sistema de irrigação localizada por gotejamento	95
Sistema de irrigação localizada por microaspersão	105
Sistema de irrigação localizada por borbulhamento	110
Sistema de irrigação localizada por exsudação	111
IRRIGAÇÃO DE SUBSUPERFÍCIE	113
Sistema de subsuperfície por gotejamento subterrâneo	117
Sistema de subsuperfície por elevação do lençol freático	122
Sistemas de subirrigação em ambiente protegido	126
Sistemas hidropônicos	132
APLICAÇÕES DA IRRIGAÇÃO	135
IRRIGAÇÃO EM AMBIENTES PROTEGIDOS	136
IRRIGAÇÃO PARA PAISAGISMO	149
IRRIGAÇÃO: QUALIDADE, PLANEJAMENTO E IMPACTOS	158
IRRIGAÇÃO: FATORES DE QUALIDADE	159
Introdução	159
Planejamento da irrigação	160
Projeto de sistemas de irrigação	161
Instalação e montagem do sistema de irrigação	163

Operação do sistema de irrigação	164
Manejo racional dos sistemas de irrigação	168
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	170
Introdução	170
Identificação de objetivos e impactos do projeto	171
Levantamento e caracterização da propriedade	172
Pré-seleção de sistemas de irrigação	173
Comparação técnico-econômica dos sistemas pré-escolhidos	175
Seleção do sistema de irrigação	175
IMPACTOS DO USO DAS TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO	177
Introdução	177
Causas e efeitos	177
Impactos gerados pela irrigação	179
Salinidade e irrigação	186
Legislação ambiental e irrigação	187
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	190
AUTORES	208

PREFÁCIO

A vontade de apresentar os conceitos sobre métodos e sistemas de irrigação de forma simples e didática foi a principal motivação que encontrei para escrever esse livro. Busquei redigir um texto que atendesse o público em geral, composto por alunos de graduação de cursos de ciências agrárias, profissionais liberais, técnicos, agricultores, e, principalmente, por pessoas que tenham dentro de si o prazer incontrolável pelo conhecimento. Pode ser que em alguns momentos sejamos técnicos demais e a nossa linguagem não consiga atingir a todos, mas fica a vocês leitores, a possibilidade de me contatar e sanar possíveis problemas de entendimento que surgirem e, dessa forma, corrigir erros e permitir o aperfeiçoamento do texto.

Apesar do número elevado de Cursos de Agronomia, Engenharia Agrícola, Engenharia Civil e Escolas Técnicas Agrícolas no Brasil, os principais interessados em textos voltados para as técnicas de irrigação, não são muitos os livros relacionados com esse tema que estão publicados em português. Acredito que uma das razões por esse baixo número de publicações seja a não obrigatoriedade que o estudo desta ciência teve por muito tempo nas escolas agrárias brasileiras e ao pequeno número de profissionais especializados que o Brasil produziu por muito tempo. Entretanto, os programas federais de fomento à irrigação desenvolvidos na década de 80, do século XX, auxiliaram a alavancar esta área de forma significativa. Adicionalmente, a visão de que a irrigação será sempre a tábua de salvação do semiárido brasileiro, possibilitou a sua divulgação com maior intensidade pelos meios de comunicação, consolidando a sua importância dentro do cenário da ciência e da tecnologia nacional.

Buscando oferecer uma divisão lógica e coerente, dividiu-se esse livro em quatro módulos distintos. O Módulo I apresenta a definição de irrigação com seus benefícios, a descrição dos métodos e sistemas de irrigação e seus componentes, buscando enfatizar a sua importância para o agronegócio brasileiro e analisar a situação atual do uso dessa técnica no Brasil, comparando-a com outros países. No Módulo II, o mais longo deles, são caracterizados os métodos e sistemas de irrigação mais empregados atualmente, introduzindo um pequeno histórico de desenvolvimento da técnica, seus princípios de operação e as vantagens e limitações do uso. Nesse módulo é introduzida e discutida a inclusão da irrigação de subsuperfície dentro de uma nova classificação dos métodos de irrigação. O Módulo III mostra detalhes de aplicações de sistemas de irrigação em dois sistemas de produção distintos: em ambientes protegidos e em paisagismo; mostrando as adequações da técnica para esses empregos e fornecendo detalhes da operação dos equipamentos e informações básicas sobre projetos. No módulo IV foram enfatizadas as condições básicas que caracterizam uma irrigação de qualidade, mostrando os procedimentos de planejamento do uso da técnica e abordando os cuidados que se devem tomar para minimizar o impacto da irrigação no uso dos recursos naturais (hídricos e solos).

Este livro teve participação de coautores em alguns capítulos. Deixo aqui o meu agradecimento ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura da FEAGRI/UNICAMP, ao Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus da Universidade Federal de Lavras, do Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi da Universidade da Florida e do Prof. Dr. João Luiz Cardoso, professor aposentado da FEAGRI/UNICAMP. Outro agradecimento é para o Sr. João Alberto Antunes, das Empresas Gotejar e Irrigabras, que autorizou a utilização de sua coletânea de fotografias essenciais para o entendimento dos assuntos abordados no texto.

Buscou-se nesse livro, falar imparcialmente sobre irrigação, mostrando os lados positivos e negativos e procurando deixar a mensagem que toda a tecnologia desenvolvida pelo homem deve sempre ser utilizada para reduzir a miséria da condição humana, melhorando a qualidade de vida de todos, no presente e no futuro. De nada adianta retirar da terra o máximo que ela nos pode oferecer hoje (com aplicação intensiva da tecnologia), se amanhã nada restará para os nossos descendentes.

Boa leitura e uma excelente viagem pelas estradas da irrigação.

Roberto Testezlaf

Módulo I

CONCEITOS, IMPORTÂNCIA E A IRRIGAÇÃO NO BRASIL

Roberto Testezlaf, Edson Eiji Matsura e João Luiz Cardoso

Esse módulo introdutório tem o objetivo de definir conceitos e princípios relacionados com a irrigação e enfatizar a sua importância para o agronegócio brasileiro, fornecendo informações e dados que introduzem o leitor no mundo dos métodos e sistemas de irrigação e de seus componentes, permitindo uma análise da situação atual do uso dessa técnica no Brasil, pela exposição das políticas e ações governamentais até então adotadas para o desenvolvimento desse setor agrícola.



IRRIGAÇÃO: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA

DEFINIÇÃO

Existem várias definições para o termo irrigação fornecidas por diferentes autores ao longo da história da ciência agrícola. Para efeitos práticos e de fácil entendimento, a irrigação será definida aqui como: *as técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, procurando satisfazer suas necessidades e visando a produção ideal para o seu usuário*. Esta definição engloba todas as formas de irrigar uma planta, desde aquela realizada com uma simples mangueira de jardim até o equipamento de irrigação mais sofisticado.

É claro que, para leitores mais exigentes, será preciso enfatizar que *para satisfazer as necessidades das plantas e obter a sua produção ideal*, é necessário enxergar a irrigação como uma ciência e não simplesmente como um equipamento. E, como ciência, a aplicação de água mediante o uso da irrigação deve ser realizada de maneira correta, evitando-se desperdícios ou perdas e otimizando os possíveis impactos positivos e negativos do uso da técnica.

Como um exemplo de uma irrigação mal realizada pode-se citar a ocasião que, pela primeira vez, despejamos o conteúdo de um copo de água em um pequeno vaso de flores. A água, assim aplicada, infiltra-se rapidamente, sem ser absorvida pelo substrato ou solo, passando direto pelo seu interior, e molhando o local onde o vaso foi colocado. Essa irrigação mal realizada pode ser analisada dentro de duas visões. A primeira é que, a quantidade de água aplicada foi excessiva, ultrapassando a capacidade do vaso em armazená-la e, que poderíamos ter colocado uma menor quantidade de água mais vezes (com maior frequência), ao invés de tentar colocar uma quantidade maior de uma só vez. E, a segunda, é que a forma de aplicação foi incorreta, pois, geralmente, a melhor forma de irrigar as flores cultivadas em vasos com substrato, é colocando o vaso dentro de um recipiente com água, permitindo a sua absorção lentamente, e não aplicando diretamente sobre a superfície do vaso. Estes são dois erros muito comuns na irrigação moderna: o manejo de água incorreto e a escolha do método inadequado de aplicação de água.

O uso da irrigação pode ser observado em praticamente todos os lugares. A forma mais fácil de visualizá-lo é no campo, mas, às vezes ele está camuflado dentro de shoppings ou comércios. Mesmo não sendo tão evidente, a irrigação faz parte de nossa vida, mais do que podemos imaginar. As flores que compramos para presentear alguém ou para decorar algum ambiente foram, com certeza, irrigadas dentro de estufas ou ambientes protegidos. O arroz, alimento nosso de cada dia, vem na sua maioria de lavouras irrigadas. As nossas saladas praticamente não existiriam se não houvesse irrigação. Portanto, mesmo sabendo pouco sobre as técnicas de irrigação, é possível afirmar que a nossa vida depende delas.

O USO DA IRRIGAÇÃO

Um fato comprovado sobre a irrigação é que, desde a pré-história, o homem vem desviando cursos d'água para irrigar suas plantações. Foi o uso desta técnica que possibilitou o estabelecimento humano em zonas áridas e semiáridas, tornando esses locais permanentemente habitados. Desde cedo, o homem entendeu que ele não só precisava de água para viver, mas, que as plantas ficavam mais verdes e produziam mais com a sua presença. As mais antigas civilizações que se desenvolveram ao longo dos rios Nilo (Egito), Tigre e Eufrates (Mesopotâmia), Amarelo ou Huang (China) e Hindus (Índia) fizeram uso intensivo das técnicas de irrigação para garantir as suas sobrevivências. Mesmo nas

Américas, foram encontradas evidências de campos irrigados no Peru (Vale do Zaña) datados de 5.400 anos atrás.

Uma técnica assim tão antiga e tão importante deveria ser sempre estudada e avaliada como instrumento essencial para viabilizar o desenvolvimento socioeconômico e cultural de regiões desfavorecidas, onde a produção agrícola é afetada pela escassez de chuvas e pela falta da disponibilidade hídrica, ou para incrementar a lucratividade de regiões agrícolas tradicionais.

A irrigação é uma tecnologia imprescindível no processo de aumento da produção de bens agrícolas, sendo a sua adoção dependente da disponibilidade hídrica de cada região. Em regiões desérticas e áridas, onde a precipitação anual é inferior a 250 mm, ou seja, muito baixa ou nenhuma, a irrigação é obrigatória, pois nenhum tipo de cultura pode se desenvolver sem receber água. É o caso de países no Golfo Pérsico, na África Subsaariana e de algumas regiões do México, Chile e Argentina, e outras zonas desérticas do globo terrestre.

A irrigação também tem caráter obrigatório em regiões semiáridas, caracterizadas por precipitações entre 250-500 mm anuais, onde algumas culturas podem se desenvolver sem a necessidade de irrigação, porém com alto risco de quebra de safra. É o caso de grande parte do Nordeste brasileiro que se encontra nessas condições climáticas.

Já, em áreas que recebem mais de 600 mm de chuvas anuais, a irrigação pode ser necessária em alguns períodos do ano, de forma a complementar ao regime pluviométrico da região para atender as necessidades hídricas das culturas. Nessas regiões, a distribuição espacial e temporal das chuvas afeta a decisão de se usar a irrigação. Apesar dos altos índices pluviométricos, essas regiões apresentam épocas bem definidas onde a quantidade de chuva não é suficiente para atender as demandas das culturas. Este é o caso da maioria dos Estados do Centro-Oeste e Sudoeste do Brasil.

A Figura 1 exemplifica a situação pluviométrica mensal média de três cidades brasileiras: Campinas (SP), Goiânia (GO) e Petrolina (PE), pertencentes a três diferentes regiões geopolíticas.

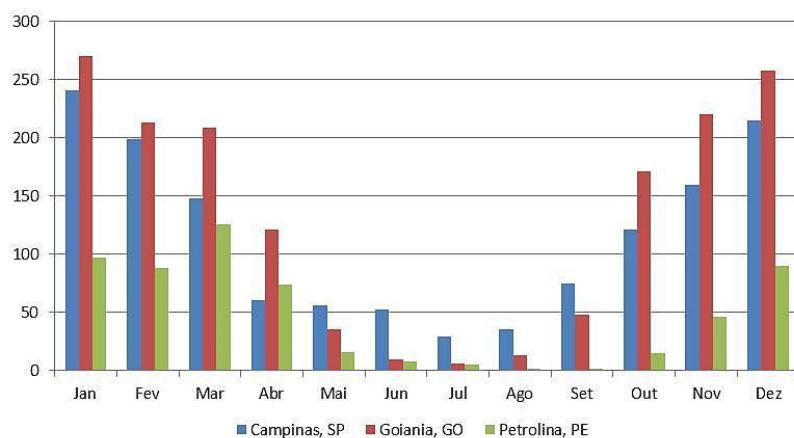


Figura 1: Dados pluviométricos mensais médios dos municípios de Campinas (SP), Goiânia (GO) e Petrolina (PE).

Na Figura 1 é possível observar o comportamento pluviométrico distinto dos três municípios. A cidade de Campinas (SP), com uma precipitação média anual de aproximadamente 1.400 mm apresenta uma diferença de aproximadamente 200 mm entre o mês mais chuvoso (janeiro) e o mais seco (julho). A cidade de Goiânia (GO), com uma precipitação média anual em torno de 1580 mm, um pouco maior que Campinas, se caracteriza por um verão com maiores precipitações e um período (maio a agosto) com poucas chuvas. Por outro lado, a cidade de Petrolina (PE), com uma precipitação média anual

de 570 mm, característica de climas semiáridos, se distingue por exibir um período com baixas precipitações mais longo (maio a outubro) que as outras duas cidades. Essa comparação entre municípios de distantes regiões permite refletir como a implantação da irrigação pode assumir diferentes finalidades para a produção agrícola e também para o agricultor.

IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

Vários são os benefícios gerados quando os agricultores passam a utilizar a técnica da irrigação no sistema produtivo, os quais determinam a importância da sua adoção na agricultura. Serão analisados nesse tópico os principais benefícios que mostram claramente como essa tecnologia pode se tornar uma parceira fiel do crescimento do agronegócio brasileiro.

- **Garantia de produção com relação às necessidades hídricas e redução dos riscos de quebra de safra por seca**

Quando se utilizam as técnicas de irrigação para suprir as demandas ou necessidades hídricas das plantas, mesmo que falte chuva, o risco de quebra de safra é minimizado, com maior garantia de produção. A redução dos riscos de quebra de safras é um fator atrativo essencial para investimentos, tanto em áreas já ocupadas por unidades produtivas, como em áreas agrícolas com baixa taxa de ocupação de terras. Desta forma, a irrigação pode se tornar um elemento ampliador da disponibilidade de produtos e facilitador de capitalização na agropecuária.

A irrigação, quando utilizada de forma complementar a chuva, principalmente nas regiões onde o total de precipitação permite o desenvolvimento e a produção das culturas, proporciona melhor aproveitamento dos recursos hídricos, aumentando a eficiência do uso da água aplicada pela chuva. A complementação da demanda hídrica da cultura pela irrigação, nos momentos mais requeridos, proporciona o aproveitamento da água da chuva de modo a resultar em produção efetiva. Caso contrário, a presença da precipitação pluviométrica durante quase todo o ciclo da planta não seria uma garantia de ocorrência da produção final, da forma desejada, se faltasse água em momentos críticos do ciclo vegetativo.

Um bom exemplo dessa visão é o que vem acontecendo nos últimos anos com o milho “safrinha”, modalidade distinta da safra normal, quando o milho é cultivado em condições climáticas não favoráveis (plantio de janeiro a março), principalmente pela menor disponibilidade hídrica e térmica durante o ciclo produtivo. Essa prática vem se desenvolvendo como uma alternativa econômica importante nos estados do Sudoeste brasileiro, contribuindo de maneira expressiva na produção total de milho. No entanto, é considerada ainda uma cultura de risco, alternando-se safras com boas produções e outras com perdas quase totais, sendo bastante incerto o nível de produtividade a ser obtido pelo produtor. A Figura 2 apresenta as áreas plantadas e as respectivas produções para o milho “safrinha”, no período de 2001 a 2008, para o Estado de São Paulo.

Observando os dados apresentados na Figura 2, fica evidente, que, apesar da baixa variação da área plantada durante os anos analisados, as produções de alguns anos (2002, 2006 e 2007) foram significativamente afetadas pelas condições climáticas dos referidos anos (estiagem e geada), evidenciando a importância da irrigação na diminuição de riscos e prejuízos, podendo incrementar a produção nesta modalidade de cultura, que tem crescido nos últimos anos.

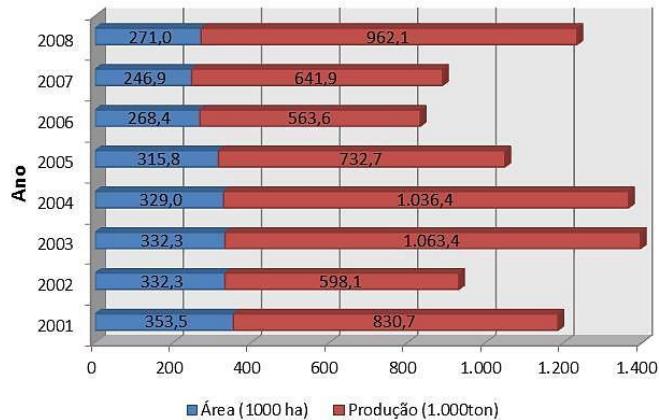


Figura 2: Variação da produção do milho safrinha no Estado de São Paulo (Fonte: CONAB, 2010).

Importante salientar que, quando se tem a irrigação, não se pode esquecer que outras práticas de cultivo devem ser corretamente dimensionadas e utilizadas, porque não basta ter água se faltar fertilizantes, tratos fitossanitários, conservação do solo, etc.

- **Aumento de produtividade das culturas**

A presença constante da água nas raízes das plantas fornecida pela irrigação deixa o solo em uma umidade ótima de desenvolvimento, não permitindo a ocorrência do estresse hídrico na cultura, proporcionando o aumento de produtividade de forma significativa. A irrigação realizada no momento correto e com a aplicação da quantidade certa de água, permite a obtenção de índices de produtividade acima das médias das culturas que são cultivadas na condição de sequeiro, ou seja, quando esta cresce somente com a água da chuva.

Exemplos de produtividades de algumas culturas brasileiras na condição de cultivo irrigado, comparadas com a produtividade média brasileira (IBGE, 2006) estão mostrados na Figura 3.

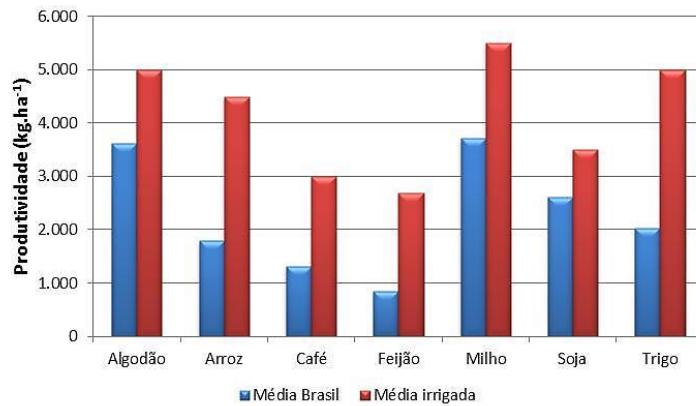


Figura 3: Produtividades médias brasileiras comparadas com produtividades médias de culturas irrigadas (Fontes diversas)

Como se pode avaliar pelos dados apresentados na Figura 3, o fornecimento de água pela irrigação no momento certo, aliado com técnicas de cultivo adequadas à cultura irrigada, sempre irá proporcionar um aumento da produtividade. Mas é importante salientar, mais uma vez que o incremento de produtividade depende também de outras condições e, que somente a utilização da irrigação, não é garantia de se atingir aumentos significativos de produção.

O incremento de produtividade e a participação da irrigação na produção de alimentos são exemplificados com dados da Organização das Nações Unidas para

Alimentação e Agricultura (FAO, 2000), que mostra que apenas 1/6 da área mundial cultivada é irrigada, mas sendo responsável por 2/5 da produção de alimentos. Para o Brasil, estudos da ANA (2004) mostraram que cultivos irrigados produziram 16% de nossa safra de alimentos e 35% do valor de produção, apesar da pequena percentagem de área irrigada em nossas terras, em comparação com a área plantada.

Além de ser um fator de incremento nos volumes de produtos agrícolas em geral, deve-se lembrar de que numerosas culturas de ciclo curto, como tomate, alface e outras hortaliças, particularmente exigentes em água, são viabilizadas somente com o uso da irrigação.

- **Melhoria na qualidade do produto final**

Outra comprovação científica a favor da irrigação é que algumas espécies de plantas, sob o regime controlado de irrigação e de fertilizantes, apresentam melhoria de qualidade no produto final. É o caso, principalmente, de frutas e legumes, cujas qualidades desejáveis para o consumo, como tamanho e teor de açúcar, podem ser conduzidas pela irrigação.

No caso do tomate consumido in natura, por exemplo, a aplicação correta de água pela irrigação é capaz de controlar o aparecimento de rachaduras e proporcionar um aumento do tamanho do fruto (PASCUAL et al., 2000; PUIUPOL et al., 1996). A cultura do melão também apresenta resultados significativos na qualidade, com o aumento do teor de sólidos solúveis, responsável pela concentração de açúcar presente no produto, e por incrementar a quantidade de frutos comercializáveis dentro da lavoura, pela obtenção de frutos de maiores dimensões (SOUSA et al., 1999; FERNANDES & TESTEZLAF, 2002). Outra cultura que comprovadamente a irrigação influencia na produtividade, peso médio e diâmetro dos frutos é o maracujazeiro-amarelo (CARVALHO et al., 2000).

- **Aumento no número de safras agrícolas e colheita na entressafra**

A presença controlada de água na produção agrícola, mediante o uso da irrigação, permite ao agricultor, acostumado tradicionalmente a colher uma safra por ano (época das chuvas), a ampliar o número de safras, passando a plantar em diferentes épocas ou estações e tendo a possibilidade de colheitas na entressafra. Este tipo de cultivo pode melhorar a lucratividade da produção pela remuneração extra que se obtém colocando o produto no mercado no momento de baixa oferta e alta remuneração.

Uma análise de mercado da cultura do chuchu no Estado do Paraná em 2007 (Figura 4) mostra a relação entre a disponibilidade do volume (t) do produto para venda e o preço de mercado praticado.

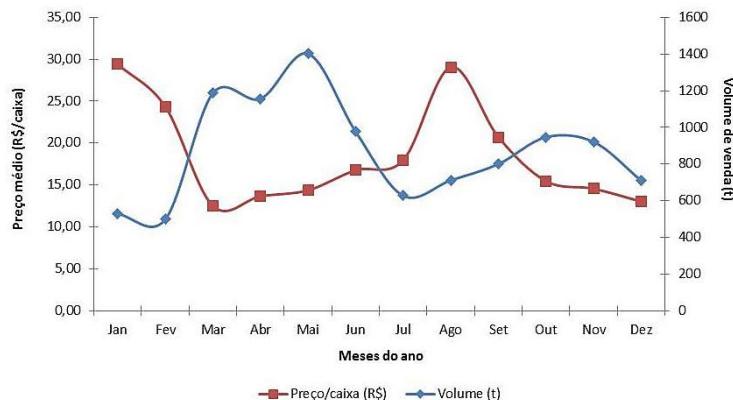


Figura 4: Variação anual (2007) do volume de vendas e do preço comercializado da cultura do chuchu no Estado do Paraná.

Fica evidente na Figura 4 a lei da oferta e procura, onde no momento que a quantidade do produto aumenta no mercado existe a redução de seu preço (março a maio), desestimulando o produtor do seu cultivo. Dessa forma, a possibilidade de se produzir na entressafra, ou seja, a partir do mês de junho, não só remunera melhor o produtor como também auxilia na distribuição da oferta ao mercado consumidor.

- **Criação e aumento na oferta de emprego**

Alguns estudos desenvolvidos no país comprovam o impacto positivo da irrigação na modernização da agricultura e a sua contribuição efetiva ao desenvolvimento regional. Um exemplo é a avaliação da contribuição socioeconômica decorrente da implantação de um projeto de irrigação financiado pelo Projeto São José, para as condições da comunidade Recreio, no município de Iguatu, no Ceará (KHAN et al., 2001). Os resultados evidenciaram que o projeto de irrigação promoveu substancial contribuição para melhoria na qualidade de vida da população da comunidade cearense dessa região, gerando novos empregos e melhoria da renda.

Além dos empregos diretos que o uso da técnica possibilita, na condição de ser uma prática adicional a ser utilizada no processo produtivo, a irrigação tem o potencial de criar empregos indiretos, seja na indústria de processamento agropecuário ou nos setores de insumos agrícolas. A capacidade de geração de emprego da agricultura irrigada pode ser avaliada por diferentes estudos, cujos valores apresentam variações em função da cultura, período e local analisado.

Segundo estimativas de REBOUÇAS et al. (1999), a irrigação era responsável por, pelo menos, 1,5 milhão de empregos diretos e 3 milhões de empregos indiretos. Devido à baixa utilização da irrigação na agricultura brasileira, como será mostrado posteriormente, essas estatísticas mostra um potencial significativo de crescimento.

A Figura 5 apresenta os resultados de quatro estudos apresentados por FRANÇA (2001), que estimou o emprego gerado pela agricultura irrigada no semiárido brasileiro.

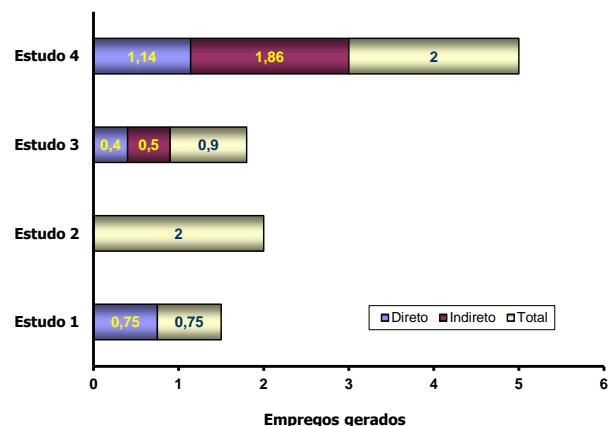


Figura 5: Empregos gerados pela agricultura irrigada, na região do semiárido (autores diversos).

Esses estudos mostraram que um hectare irrigado na região semiárida gera de 0,8 a 1,2 empregos diretos e 1,0 a 1,2 indiretos, de forma consistente e estável, contra 0,22 empregos diretos na agricultura de sequeiro (FRANÇA, 2001b). Assim, esta capacidade de gerar emprego por parte da agricultura irrigada contribui para a diminuição do êxodo rural desordenado do Nordeste.

A confirmação do potencial da irrigação em alavancar economias regionais onde ela está inserida é evidente em alguns casos conhecidos no Brasil, como as cidades Petrolina (PE), Juazeiro (BA), Barreiras (BA), Chapada do Apodi (RN) e Araguari (MG).

- **Redução de mecanização**

Alguns sistemas de irrigação, como a irrigação por gotejamento e o pivô central permitem que algumas práticas agrícolas sejam realizadas através da água da irrigação. É o caso da aplicação de agroquímicos e fertilizantes, comumente denominada de quimigação. Estudos comparativos de custo do uso da quimigação em pivô central e sistemas convencionais mostram que essa técnica torna-se mais econômica quando usada duas ou mais vezes por ano, sendo que a redução de custo geralmente aumenta com o número de aplicações anuais, dependendo da combinação dos produtos químicos aplicados (THREADGILL, 1985).

O uso do sistema de irrigação para a operacionalização de outras práticas agrícolas pode oferecer tanto o impacto econômico positivo, pela diminuição dos gastos de mão-de-obra e equipamentos, como pela melhoria do impacto ambiental, com a redução do trânsito de veículos e de pessoas dentro da cultura e a aplicação mais eficiente de agroquímicos, reduzindo perdas ou contaminação do solo e da água.

- **Outras oportunidades econômicas**

Outro benefício indireto que pode ser gerado pela implantação da irrigação nas propriedades agrícolas, é a utilização da infraestrutura dos sistemas em atividades de lazer e esporte com retorno financeiro extra para o produtor. Um exemplo é a exploração de barragens ou represas (Figura 6), canais de irrigação, com gerenciamento adequado, para usos múltiplos, como, pesca, cultivo de peixes, turismo, recreação e lazer, práticas de esporte, e constituir, assim, em fonte adicional de renda para o agricultor.



Figura 6: Exemplo de barragem construída para uso em irrigação com possibilidade de multiuso.

MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

MÉTODOS E SISTEMAS

Antes de iniciar esse tópico é preciso explicar uma dúvida que se criou cotidianamente com o uso das palavras *método* e *sistema* dentro da área de irrigação. Para esclarecer o significado dessas palavras, é necessário buscar o auxílio do dicionário, e segundo FERREIRA (2010):

Método (S m) - do Latim *methodu*, ou do Grego *méthodos*: Maneira de agir ou fazer as coisas; modo ordenado de proceder.

Sistema (S m) - do Latim *systema*, ou do Grego *sýstema*: Disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que funcionam como estrutura organizada e que concorrem para um resultado.

Portanto, a palavra método está relacionada com a forma de se fazer as coisas ou proceder dentro de um processo. Aplicando esse conceito em irrigação, é possível diferenciar quatro formas ou modos de se aplicar água à cultura e, assim, definir quatro **métodos** principais de irrigação, ou seja:

- **Aspersão:** a água é aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo (na forma de chuva);
- **Superfície:** quando se utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para a aplicação da água por ação da gravidade (como a enxurrada);
- **Localizada:** a aplicação da água é realizada em uma área limitada da superfície do solo, preferencialmente dentro da área sombreada pela copa das plantas;
- **Subsuperfície ou subterrânea:** a água é aplicada abaixo da superfície do solo, dentro do volume explorado pelas raízes das plantas.

A Figura 7 apresenta ilustrações dos quatro métodos de irrigação visando exemplificar as diferenças entre essas formas de aplicação de água.



Figura 7: Ilustrações dos quatro métodos de irrigação.

Para que a água seja aplicada às plantas pelos quatro diferentes métodos, atendendo as suas necessidades, é preciso fazer uso de diferentes **sistemas** de irrigação, que são definidos como o conjunto de equipamentos, acessórios, formas de operação e manejo, e que de forma organizada realizará o ato de irrigar as culturas. A Tabela 1 relaciona de forma didática os quatro métodos de irrigação com os seus principais sistemas de operação. Adicionalmente, no Módulo II desse documento serão descritos e detalhados outros tipos de sistemas dentro de cada classificação de métodos.

Tabela 1: Métodos de irrigação e exemplos de seus principais sistemas.

Métodos	Sistemas
Superfície	Sulcos Inundação
Aspersão	Convencional Mecanizada (Pivô e Carretel)
Localizada	Gotejamento Microaspersão
Subsuperfície	Gotejamento Subterrâneo Elevação do Lençol Freático Mesas de subirrigação

Sistemas de irrigação por superfície

Os sistemas de irrigação por superfície recebem também o nome de irrigação por gravidade, uma vez que a água é aplicada diretamente sobre a superfície do solo e pelo efeito da gravidade se movimenta e infiltra no solo. Os sistemas de irrigação por superfície podem ser classificados como:

- **Sistemas de irrigação por sulcos:** a água é aplicada pela inundação parcial na área a ser irrigada, acompanhando as linhas da cultura, escoando e se infiltrando por sulcos construídos na superfície do solo.
- **Sistemas de irrigação por inundação:** a água é aplicada sobre a área plantada e limitada por diques, acumulando na superfície do solo e se infiltrando, como se verifica na cultura do arroz.

A Figura 8 ilustra os sistemas de irrigação por sulcos e por inundação pertencentes ao método de irrigação por superfície, enfatizando a diferença entre os sistemas.



Figura 8: Sistema de irrigação por superfície: sulcos (esquerda) e inundação (direita).

Sistemas de irrigação por aspersão

Nestes sistemas, a água é distribuída na forma de gotas sobre a cultura e superfície do solo, imitando o efeito da chuva. A formação das gotas é obtida pela passagem da água pressurizada através de orifícios existentes em dispositivos mecânicos chamados aspersores ou sprays.

Os sistemas de irrigação por aspersão podem ser divididos basicamente em dois tipos:

- **Sistemas convencionais:** são aqueles que utilizam os componentes convencionais de aspersão (motobombas, tubulações e aspersores), e que podem

ser movimentados manualmente pelo campo (móveis), cobrindo em cada posição um setor da área irrigada ou permanecer parados (fixos) na mesma posição ao longo do período de produção e cobrindo toda a área irrigada ou setores específicos.

- **Sistemas mecanizados:** são sistemas onde os aspersores ou sprays são montados em estruturas metálicas que se movem ao longo da área para efetuar a irrigação. Estes sistemas podem se movimentar com o auxílio de um trator, ou de sistemas automatizados com movimentos linear ou circular, com a operação elétrica ou com a utilização da pressão existente na tubulação. Enquadram-se no sistema mecanizado, o pivô central, um dos mais conhecidos no Brasil, e o carretel enrolador.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional e mecanizada estão exemplificados na Figura 9.



Figura 9: Sistemas de irrigação por aspersão: sistema convencional com movimentação manual (esquerda), sistema por pivô central (centro) e a carretel enrolador (direita).

Sistemas de irrigação localizada

Na irrigação localizada a água é aplicada sobre o solo em uma área restrita, preferencialmente debaixo da área sombreada pela copa da cultura ou perto do caule, buscando umedecer somente o volume de solo explorado pelo sistema radicular da planta. Esses sistemas utilizam pequenas vazões, quando comparados a outros sistemas de irrigação, devido o emprego de emissores com diâmetros de saída reduzidos submetidos a baixas pressões. Em função do tipo de emissor utilizado, os sistemas de irrigação localizada podem ser classificados em:

- **Sistema por gotejamento:** a água é aplicada no solo na forma de gotas com baixa vazão através de pequenos emissores denominados gotejadores.
- **Sistemas de microaspersão:** estes sistemas utilizam microaspersores ou sprays, que aplicam a água na forma de jatos ou aerosol, preferencialmente, na área sombreada pela copa da planta. Esses sistemas possuem vazões e áreas de aplicação maiores que o gotejamento.

A Figura 10 apresenta os dois tipos de sistemas de irrigação localizada, onde se observa a diferença na área e no local de aplicação de água dos sistemas (abaixo da copa das árvores).



Figura 10: Sistemas de irrigação localizada: gotejamento (esquerda) e microaspersão (direita).

Sistemas de subsuperfície

Na irrigação de subsuperfície, a aplicação de água é realizada abaixo da superfície do solo, diretamente nas raízes das culturas, aproveitando a ocorrência do fenômeno de ascensão capilar, onde a água se eleva ao longo do perfil do solo por diferença de potencial total. Este tipo de aplicação é atingido com a utilização dos seguintes sistemas:

- **Gotejamento Subterrâneo ou subsuperficial:** Neste caso, as linhas de gotejamento são enterradas no solo às profundidades que permitam que a água aplicada atinja o volume explorado pelas raízes (Figura 11).
- **Elevação do lençol freático:** Esse sistema é empregado em áreas onde existe a ocorrência de camadas de impedimento subsuperficiais, que permite saturar o perfil do solo e controlar a profundidade do nível do lençol freático, deixando-o próximo às raízes das plantas. Esta condição é típica de locais com problemas de encharcamento. A elevação do nível freático pode ser atingida mediante o uso de estruturas de drenagem ou de linhas de irrigação enterradas (Figura 11).
- **Sistemas de subirrigação em ambientes protegidos:** Além dos sistemas de campo, existem os sistemas utilizados em ambiente protegido que utilizam do princípio de aplicação de água diretamente nas raízes das culturas. Como exemplo se tem a mesas capilares (Figura 11), calhas de hidroponia, etc..



Figura 11: Tipos de sistemas de subirrigação: irrigação subsuperficial por elevação do lençol freático na cultura da batata (esquerda) e gotejamento subsuperficial na cultura de café (centro) e mesa de capilaridade em plantas ornamentais (direita).

PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Os sistemas de irrigação podem, na sua maioria, ser constituídos por seis componentes 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.
- Unidade de drenagem ou reuso da água.

É importante salientar que nem todo sistema de irrigação precisa ser projetado com a presença de todas essas unidades, sendo que as condições locais e a viabilidade do projeto determinarão a necessidade ou não de se ter cada um componentes.

Unidade de bombeamento ou de elevação da água

A partir de uma fonte de água, que pode ser de origem superficial (rio, lagoa, barragens, etc.) ou subterrânea (poços), é necessária a utilização de bombas de recalque para elevar a água da fonte até a área a ser irrigada. A unidade de bombeamento tem a função de fornecer a pressão requerida para que a água possa se movimentar da fonte até a área de produção e, também, em sistemas pressurizados fornecer a pressão suficiente para que a mesma seja aplicada pelos aspersores, sprays e emissores (Figura 12).



Figura 12: Exemplos de estações de bombeamento utilizadas em sistemas de irrigação.

Unidade de condução ou transporte de água

Para levar a água da fonte até a área cultivada é preciso contar com as unidades de condução ou transporte de água. As distâncias entre as fontes de água e os locais a serem irrigados precisam ser vencidos por canais ou sistemas de tubulações (Figura 13). O dimensionamento dessas unidades precisa atender os requisitos econômicos e técnicos, permitindo que a vazão necessária para a operação do sistema esteja disponível na parcela a ser irrigada.



Figura 13: Exemplos de unidades de distribuição de água em sistemas de irrigação: tubos metálicos (a esquerda), tubos plásticos (centro) e canais de concreto (a direita).

Unidade de tratamento da água

Sistemas de irrigação que possuem emissores com saídas de pequeno diâmetro, geralmente na faixa de milímetros, requerem que a água esteja isenta de partículas suspensas que possam obstruir parcialmente ou entupir totalmente esses elementos, necessitando assim, da presença de unidades de tratamento ou de filtragem da água. Estas unidades são constituídas principalmente de filtros de areia, de tela ou disco. A Figura 14 exemplifica o uso

desses filtros que, além de proteger os emissores, possuem a função de reduzir os danos causados por sedimentos nas tubulações e acessórios dos sistemas.



Figura 14: Exemplos de unidades de tratamento de água em sistemas de irrigação.

A necessidade de utilização de unidades de tratamento de água tenta a aumentar nos próximos anos, devido ao aumento da escassez e da baixa qualidade das águas disponíveis aos agricultores, principalmente em bacias com maior presença de aglomerados urbanos, de atividades industriais intensivas ou com muita atividade agrícola.

Unidade de controle ou automação

Com a evolução dos sistemas de irrigação e com a necessidade cada vez maior de se economizar os recursos hídricos e reduzir a mão de obra utilizados nessa prática, vêm se intensificando nos últimos anos o emprego de sistemas de automação e controle (Figura 15).



Figura 15: Exemplo de unidades de automação e controle: a esquerda, caixa de controle de pivô central, no centro, conjunto de válvulas volumétricas e a direita sistema de controle de válvulas hidráulicas.

Além da função de determinar o momento de se iniciar a irrigação e de controlar a quantidade de água aplicada, esses sistemas permitem a automação de práticas agrícolas como a aplicação de diferentes produtos químicos via água de irrigação, como por exemplo, fertilizantes (fertirrigação).

Unidade de aplicação ou distribuição de água

Finalmente, depois da água captada, transportada, tratada e controlada entram em ação os equipamentos de aplicação e distribuição de água na cultura. Esses equipamentos devem se caracterizar por aplicar a água eficientemente, sem perdas excessivas e de forma uniforme sobre o cultivo, não permitindo áreas irrigadas deficientemente ou com excesso de água. Enquadra-se nessas unidades equipamentos como, aspersores, sprays, gotejadores, microaspersores, tubos sifões, etc. (Figura 16).

Unidade de reuso ou drenagem

A unidade de drenagem ou reuso da água de irrigação tem objetivo de captar o volume de água excedente não utilizado pela cultura, direcionando-a para o descarte na propriedade ou para sistemas de tratamento que permitam a sua reutilização no próprio sistema de produção. A utilização de sistemas de drenagem associado ao emprego da

irrigação é mais frequente em propriedades que fazem uso de sistemas de irrigação por superfície, onde o volume escoado superficialmente ou percolado é elevado quando comparado com outros sistemas de irrigação (Figura 17).



Figura 16: Exemplos de equipamentos de distribuição de água na irrigação.



Figura 17: Detalhe de sistema de drenagem associado à irrigação por sulcos na cultura da banana.

Outro setor de produção agrícola que começa a utilizar com mais intensidade sistemas de reuso é a produção de mudas e flores em ambientes protegidos. A Figura 18 mostra um sistema de coleta de água de chuvas que será misturada com a água descartada da irrigação, sendo posteriormente tratada e retornada ao sistema de produção.



Figura 18: Sistema de coleta e de reuso de água em ambientes protegidos.

A escassez de recursos hídricos, que já é característica de algumas bacias hidrográficas brasileiras, vai requer a exploração de novas fontes hídricas ou a utilização eficiente dos recursos disponíveis na propriedade, tornando os sistemas de reuso uma alternativa para permitir o uso racional dos recursos hídricos envolvidos no processo de produção agrícola.

A identificação das partes que constituem um sistema de irrigação permite avaliar o grau de conhecimento e experiência que deve ter o projetista responsável por planejar e dimensionar cada uma dessas unidades para produzir um sistema que opere corretamente aplicando o volume de água demandado pela cultura no momento que ela necessite.

IRRIGAÇÃO NO BRASIL

SITUAÇÃO ATUAL

O Brasil possui uma superfície territorial de 851 milhões de hectares e, segundo o IBGE (2015), o país utilizava com agricultura, em 2006, cerca de 333,6 milhões de hectares, sendo 60,6 milhões ocupados com lavouras, 160 milhões com pastagens e 100 milhões de matas e florestas. Segundo a CONAB (2015), o país produziu na safra 2013/2014 aproximadamente 193,6 milhões de toneladas de grão, evidenciando o lugar de expressão que ocupa o Brasil entre os países produtores.

Apesar de não se dispor de uma estatística atualizada sobre a área irrigada nacional, fontes como relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, lançado pela AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA, 2009), mostrava que o país tinha cerca de 4,6 milhões de hectares irrigados em 2009. Por outro lado a CSEI/ABIMAQ (2015) estimou que em 2014 esse número chegasse a 5,2 milhões de hectares, o que corresponderia a 8,6 % da área agrícola explorada com lavouras no país de 2006. A Figura 19 apresenta uma comparação entre a área irrigada estimada em 2014 com as áreas ocupadas no Brasil em 2006.

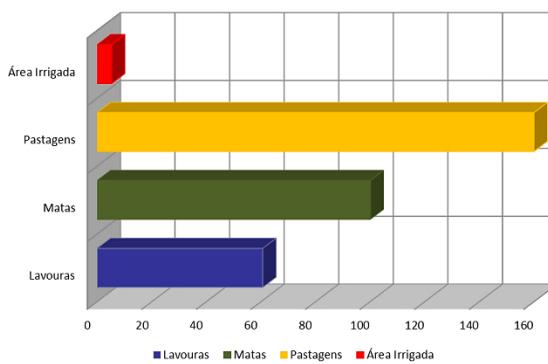


Figura 19: Dados de utilização das terras do Brasil em 2006 comparadas com a área irrigada em 2014.

Apesar da baixa participação da irrigação na área total cultivada no Brasil, segundo BERNARDES (1998), as explorações agrícolas conduzidas em áreas irrigadas são responsáveis por 16% do volume de produção agrícola nacional, representando 35 % do valor total da produção agrícola brasileira.

A Figura 20 mostra a contribuição de cada região geoeconômica brasileira na área total irrigada nacional com a participação de cada sistema de irrigação, utilizando dados fornecidos por CHRISTOFIDIS (2001). Pela Figura 20 é possível observar que a região Sul contribui com a maior área irrigada enquanto a região Norte apresenta a menor área entre as regiões. Esta situação é explicada pelas características de produção dos estados constituintes dessas regiões e pela característica climática de cada uma. Enquanto a agricultura do sul do país, principalmente os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, caracteriza-se pela oricultura irrigada (cultivo do arroz), os estados do Norte se encontram nas condições de clima equatorial, sendo a área praticamente coberta pela Floresta Amazônica.

Adicionalmente, é possível verificar que a região Sul é a que mais se utiliza dos sistemas de irrigação por superfície (neste caso, a irrigação por inundação, característica de regiões produtoras de arroz), e na região Sudeste predomina o uso da irrigação por aspersão convencional e de pivô central, sendo o Nordeste brasileiro o que mais contribui com áreas irrigadas pelo sistema de irrigação localizada.

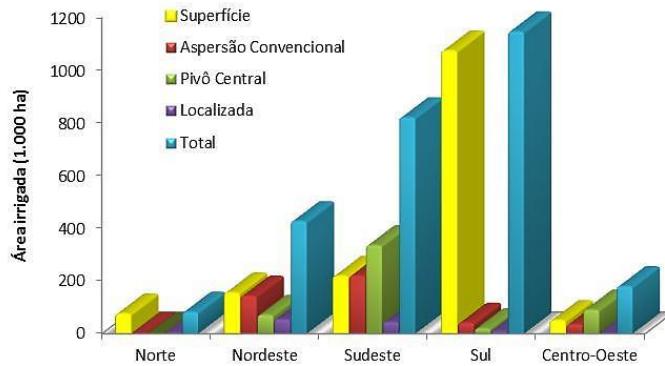


Figura 20: Participação das regiões brasileiras na área total irrigada do país.

Segundo REBOUÇAS et al. (1999), a agricultura irrigada brasileira apresenta a seguinte distribuição percentual quanto aos métodos de irrigação utilizados: superfície 51% (inundação 33% e sulcos 18 %), aspersão 41% (convencional 20% e mecanizada 21%) e irrigação localizada 8%. Esses números mostram que a presença da irrigação por superfície ainda prevalece sobre sistemas mais tecnificados em nosso país.

SITUAÇÃO MUNDIAL

Estima-se que, no princípio do século XX, a área total irrigada mundial estava em torno de 40 milhões de hectares. Em 1950, esse valor se elevou para 160 milhões de hectares e, segundo a FAO (2015), a área irrigada mundial em 2006 era de 301 milhões de hectares. Deste total, a Índia irriga em torno de 56 milhões, a China aproximadamente 54 milhões, os Estados Unidos 22 milhões, o Paquistão 18 milhões, contribuindo esses quatro países com mais de 50% da área irrigada mundial. A Figura 19 apresenta uma comparação gráfica entre a área irrigada brasileira em milhões de hectares com a área irrigada de países com ou sem participação significativa no cenário agrícola mundial.

A Figura 19 mostra que, comparativamente, tanto a países com maior ou menor extensão territorial, o Brasil não apresenta uma área irrigada destacada, contribuindo somente com 1,9% da área mundial irrigada, apesar de ser o quinto maior país com área territorial.

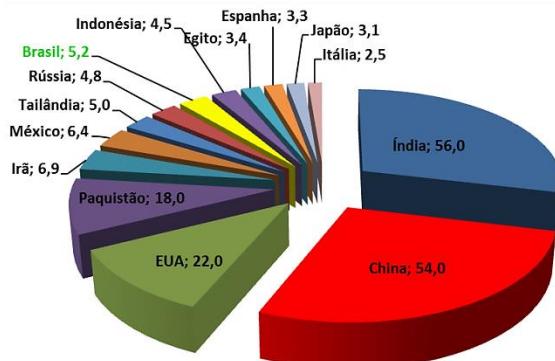


Figura 21: Comparação da área irrigada brasileira (milhões ha) com diversos países do mundo.

Segundo o WORLDWATCH INSTITUTE (1996), a área irrigada representaria 17% da área mundial cultivada e seria responsável por 40 % da produção mundial de alimentos. Por esses números é possível visualizar o papel que a irrigação ocupa mundialmente na

manutenção e no crescimento da produção agrícola, se tornando assim uma tecnologia imprescindível para garantir a segurança alimentar mundial.

A fim de tornar possível uma comparação no contexto internacional, acerca da importância das áreas irrigadas, CARDOSO (2001) efetuaram uma análise comparativa utilizando países do Continente Americano. Foram relacionados os dados (referentes às médias dos anos 1997, 1998 e 1999) de terras irrigadas com os de áreas de terras aráveis mais as áreas de culturas permanentes, provenientes dos anuários estatísticos da FAO. A Figura 22 apresenta os dados comparativos para os países pertencentes ao Continente Americano, sendo que valores dos índices abaixo ou acima de 100 (cem) indicam, respectivamente, usos menos intensivos ou mais intensivos da técnica de irrigação, comparativamente ao conjunto de países do mundo (tomado como referência, de base 100).

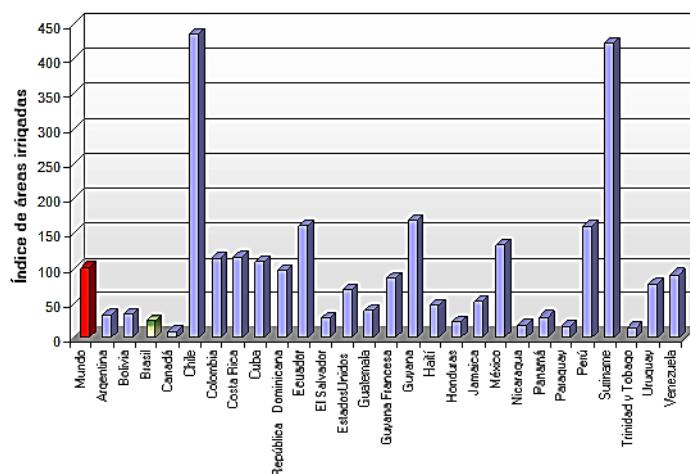


Figura 22: Representação dos índices das áreas irrigadas para o caso das áreas de terras aráveis mais as áreas com culturas permanentes, nos países do Continente Americano.

Os países do continente americano com mais elevadas participações de áreas irrigadas são o Chile (78,4%) e Suriname (76,1%). Na outra extremidade estão os países em que a irrigação ocorre em pequena escala como, por exemplo, o Canadá (1,6 %), Trinidad & Tobago (2,5%), Paraguai (2,9%), e o Brasil (4,4%).

Evidentemente, os índices de áreas irrigadas confirmam os aspectos apresentados, pois considerando o conjunto de 27 países americanos, o Brasil (com índice de 24) se posiciona, em ordem decrescente, como o vigésimo segundo, superando apenas Honduras, Nicarágua, Paraguai, Trinidad & Tobago e Canadá.

As comparações apresentadas demonstram que a área irrigada brasileira é bem inferior ao potencial irrigável e muito baixa quando comparada com países dotados até de níveis bem menos elevados de desenvolvimento agrícola.

POTENCIAL BRASILEIRO DE ÁREAS IRRIGADAS

Estudos desenvolvidos pelo Programa Nacional de Irrigação (PRONI, 1989) indicaram que, dentre todos os países do mundo, o Brasil detinha o segundo potencial de áreas irrigadas, com 55 milhões de hectares, sendo 30 milhões de terras baixas de várzeas e 25 milhões de terras altas. Estudo realizado pelo IICA (2015) estimou que o país possuía uma área adicional irrigável de cerca de 75 milhões de hectares, que foi subdividido em 29% em terras de alta aptidão, 34% em média aptidão e 37% em baixa aptidão. Mesmo dentro de uma visão mais conservadora, o Brasil possui condições pedológicas, hídricas e topográficas, para

atingir índices de utilização da agricultura irrigada idênticos ou maiores que muitos países que hoje fazem uso intensivo dessa técnica.

A atual situação socioeconômica brasileira não permite prescindir de uma tecnologia que reconhecidamente proporcionou a outros países a possibilidade de atingir altos níveis de desenvolvimento agrícola. A viabilização da produção de alimentos com redução de riscos, gerando empregos e aumento de renda para o setor rural faz da irrigação uma técnica que deveria ter a sua utilização fomentada de forma racional em várias regiões brasileiras.

Estudos realizados indicam que a aplicação dos métodos de irrigação como meio de aumento de produtividade, poderia satisfazer o déficit de produtos agrícolas a um custo mais baixo que alternativas disponíveis para suprir estas demandas, como: expansão da área de sequeiro e importação de alimentos. Dentro deste contexto, BERNARDES (1998), afirma que a exploração agrícola em condições irrigadas pode ainda proporcionar os seguintes benefícios com relação aos problemas regionais brasileiros:

- Utilização de áreas que apresentam riscos de produção (Cerrados/Centro-Oeste);
- Transformação de área-problema em área especial com produção competitiva (Semiárido/Nordeste);
- Aumento da renda e do emprego no campo, com fixação da população rural (Semiárido/Nordeste);
- Contenção da expansão agrícola para áreas com ocupação ambientalmente críticas (Amazônia/Norte).

Contudo, em áreas sujeitas à secas recorrentes e prolongadas, com recursos hídricos limitados, como algumas regiões semiáridas do Brasil, a irrigação pode não ser a resposta para melhorar as condições locais de produção de alimentos e fornecer garantias totais contra a seca. As secas prolongadas podem limitar a utilização de fontes de água, tornando a agricultura irrigada tão vulnerável quanto à agricultura de sequeiro. Geralmente, os custos associados ao desenvolvimento da agricultura irrigada nessas áreas só se justificam na exploração de produtos de alta rentabilidade, com mercado limitado, beneficiando poucas pessoas. Portanto, o desenvolvimento da agricultura irrigada nessas áreas pode não ser a alternativa ideal para o combate da seca e, portanto, para aumentar a produção e minimizar a pobreza rural.

POLÍTICAS E AÇÕES GOVERNAMENTAIS

De forma geral, as ações provenientes de políticas agrícolas em favor da irrigação, sobretudo voltadas ao desenvolvimento regional, proporcionaram benefícios às comunidades envolvidas e viabilizaram tomadas de consciência relacionadas à viabilidade de uso da técnica. É preciso deixar registrado que o crescimento da agricultura irrigada no Brasil esteve sempre associado à implantação de programas especiais por parte dos governos federais e estaduais. Estes programas foram quase sempre estabelecidos em épocas específicas e, portanto, com forte conotação conjuntural e atendendo demandas regionais bem definidas.

Na Tabela 2 está apresentada uma listagem cronológica das principais leis e programas que foram estabelecidos com o objetivo de proporcionar o desenvolvimento da agricultura irrigada brasileira.

De acordo com BERNARDES (1998), a ação governamental pode ser dividida em dois períodos distintos. O primeiro, que vai até o final dos anos sessenta do século XX, caracterizado por ações no âmbito do governo federal e orientado para questões setoriais (relacionadas à cultura do arroz no Rio Grande do Sul; combate à seca e pobreza no

Nordeste), e o segundo período, que se iniciou no final dos anos sessenta, e que permitiu a inserção da iniciativa privada nas questões de irrigação e drenagem.

Tabela 2: Legislações e Programas governamentais relacionados ao desenvolvimento da agricultura irrigada brasileira.

Ano	Ações
1909	Criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), transformado no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1945.
1934	Aprovação do Código de Águas (Decreto Federal nº 24.643 de 10/07/34)
1940	Criação do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).
1948	Criação da Comissão do Vale do São Francisco transformada na Coord. De Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) em 1974.
1968	Criação do Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola (GEIDA) no Ministério do Interior.
1969	Criação do Programa Nacional de Irrigação .
1981	Criação do Programa Nacional para Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis (PROVÁRZEAS).
1982	Instituído o Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação (PROFIR)
1986	Criado o Programa Nacional de Irrigação (PRONI) e o Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE)
1988	Promulgada a Constituição da República Federativa do Brasil, que trata em alguns artigos sobre uso dos recursos hídricos e da irrigação.
1992	Realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, com assinatura da Carta de Princípios- ECO/92 .
1997	Promulgada a Lei Federal nº 9.433, de 08/01/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
2000	Aprovada a Lei Federal Nº 9.984 de 17/07/00, que cria a Agência Nacional de Água - ANA , entidade federal responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
2001	Aprovada a Resolução CONAMA 284 , de 30/08/01, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de irrigação.
2003	Aprovado o Decreto nº 4.613, de 11/03/03, que regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos ,
2005	Entra em tramitação no Congresso Brasileiro o Projeto de Lei nº 6.381/2005 que propõe a Política Nacional de Irrigação.
2008	Foi criado o Fórum Permanente de Desenvolvimento da Agricultura Irrigada pela Portaria nº 1.869, de 5/12/08, pelo Ministro de Estado da Integração Nacional.
2013	Aprovada Lei Federal Nº 12.787, de 11/01/2013, que institui a Política Nacional de Irrigação, a ser executada em todo o território nacional.

A análise da Tabela 2 mostra que diversos programas governamentais de desenvolvimento da agricultura irrigada ocorreram no país nos últimos trinta anos. Segundo OLIVEIRA & COELHO (2000): “no início da década de 80, criaram-se o Programa Nacional de

Várzeas Irrigáveis (Provárzeas) e o Programa de Financiamento a Equipamentos de Irrigação (Profir), que resultaram num incremento de um milhão de hectares às áreas irrigadas do Brasil, entre 1986 e 1988. A partir daí até 1995, foram incorporados 263 mil hectares irrigados ao processo produtivo, incentivados pelo Programa Nacional de Irrigação”.

No Plano Agrícola e Pecuário 2015/2016 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015), dentre os programas de incentivo à agropecuária foi mantido o Programa de Incentivo à Irrigação (Moderinfra), para o qual foram destinados recursos para financiar o desenvolvimento da agropecuária irrigada sustentável, econômica e ambientalmente.

Neste momento, quando a questão ambiental se evidencia e a escassez de recursos hídricos se torna uma realidade no país, o aparecimento de leis e regulamentações passa a constituir uma ameaça e dificuldade que podem desestimular o agricultor a investir na técnica, com naturais entraves ao desenvolvimento agrícola no Brasil. Pela importância que a irrigação representa para a segurança alimentar, é preciso encontrar um equilíbrio entre a necessidade de se preservar os recursos naturais e a participação da irrigação no agronegócio.

Módulo II

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: TIPOS E PRINCÍPIOS

Nesse módulo serão caracterizados os métodos de irrigação e os sistemas mais conhecidos e empregados atualmente, com um pequeno histórico de desenvolvimento da técnica, seus princípios de operação e as vantagens e limitações do uso. Essa parte do livro tem o objetivo de permitir ao leitor um aprofundamento do seu conhecimento sobre os sistemas de irrigação, suas particularidades e mostrando suas aplicabilidades em diferentes métodos de cultivo.



IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Roberto Testezlaf

INTRODUÇÃO

Possivelmente o método mais antigo de irrigação do mundo é a irrigação por superfície, também conhecida como irrigação por gravidade, pois os agricultores deixam a água escoar sobre o solo, cobrindo-o total ou parcialmente, utilizando a ação da gravidade e possibilitando a infiltração durante essa movimentação e após o seu represamento.

Com certeza, depois que o homem aprendeu a cultivar campos com sementes, ele aprendeu que era preciso umedecer o solo de forma a viabilizar o cultivo, principalmente em regiões com escassez de chuvas. Alguns autores consideram que a irrigação por superfície surgiu após os povos antigos visualizarem os efeitos positivos da inundação de planícies ao longo dos rios, originando, assim, um método rústico que não necessitava de muitos detalhes técnicos a não ser o controle de canais que transportavam a água e irrigavam as plantações em suas margens.

As primeiras civilizações já praticavam a irrigação por superfície, desviando a água de rios para áreas adjacentes inundáveis, através de barragens ou canais de distribuição. Evidências mostram que a irrigação por superfície já era utilizada na Mesopotâmia e no Egito por volta do sexto milênio A.C.. No Egito antigo, os faraós da 12^a dinastia utilizavam lagos como reservatórios de armazenamento dos excedentes de água gerados pelas inundações anuais do rio Nilo, para uso durante a estação seca. No continente americano o registro mais antigo de irrigação foi encontrado por arqueólogos no Vale Zaña (Peru), que dataram restos de canais de irrigação do terceiro e quarto milênios A.C. (DILLEHAY et al., 2005).

A irrigação por superfície é atualmente utilizada intensamente em todo o mundo, especialmente em países e áreas menos desenvolvidas, onde a produção de arroz é a principal atividade agrícola, com Índia, China, Paquistão e Japão (Figura 23). Mesmo nos Estados Unidos, a irrigação por superfície ocupa o segundo lugar entre os sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores, devido a pouca tecnologia empregada e os baixos custos de investimento e operacional. De acordo com o Censo de Irrigação (USDA, 2008) em 2008, aproximadamente 8,9 milhões de hectares eram irrigados por superfície (38,7% do total) comparados com 12,5 milhões irrigados por aspersão (54,3%). No Brasil a situação é bem parecida, pois de acordo com REBOUÇAS et al. (1999), a irrigação por superfície representava 51% da área irrigada no Brasil, mostrando participação significativa na produção agrícola nacional e a necessidade de se desenvolver políticas públicas específicas para atender esse setor da agricultura irrigada.



Figura 23: Irrigação por superfície na cultura do arroz.

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

Sob a definição de irrigação por superfície estão incluídos os sistemas de irrigação que distribuem a água diretamente sobre a superfície do solo, a partir de uma extremidade da área ocupada pela cultura e cobrindo-a de forma gradual. Como existem diferentes formas de classificação desses sistemas na literatura técnica, um mesmo sistema pode ser referenciado por diferentes nomes. Apesar da irrigação por superfície incluir uma diversidade de sistemas, optar-se-á por classificá-los de uma forma geral em: sistemas de irrigação por inundação e sistemas de irrigação por sulcos.

- **Sistemas de irrigação por inundação:** a água é aplicada sobre toda a área de cultivo e se acumula na superfície do solo (Figura 24). Nesse caso, além da água se infiltrar durante a sua movimentação na área, ela pode permanecer acumulada ou represada na superfície de forma **permanente**, no caso da cultura do arroz, ou de forma **temporária**, no caso de culturas não tolerantes à saturação de suas raízes.
- **Sistemas de irrigação por sulcos:** a água é aplicada pela inundação parcial da área a ser irrigada, escoando por sulcos ou pequenos canais construídos na superfície do solo e que acompanham as linhas da cultura (Figura 24). Nesse caso, a água se infiltra durante a sua movimentação e também durante o tempo em que permanecer acumulada na superfície do solo após atingir o final do sulco. O melhor exemplo de cultura que utiliza esse sistema no Brasil, principalmente no estado de São Paulo é a do tomate de mesa. Entretanto, culturas anuais e permanentes podem também ser irrigadas por esse sistema.



Figura 24: Sistemas de irrigação por superfície: inundação (esquerda) e sulcos (direita).

Apesar das inovações tecnológicas que a irrigação ganhou nas últimas décadas, os sistemas de irrigação por superfície apresentam ainda a maior percentagem de área irrigada no mundo e no Brasil. Este fato se justifica pelas características que esses sistemas apresentam com relação aos outros sistemas pressurizados:

- A simplicidade operacional permite que parte dos agricultores, que tenha um mínimo de conhecimento, opere e mantenha satisfatoriamente os sistemas;
- O custo inicial elevado na irrigação por superfície está associado ao preparo e ao nivelamento do solo, mas se a topografia não for ondulada, a necessidade de investimento inicial é baixa;
- O requerimento de energia necessária para operação desse sistema está relacionado, geralmente, a diferença de elevação entre a fonte de água e o local de aplicação na cultura. Além disso, toda aplicação de água não consome energia, devido aos sistemas não serem pressurizados (pressão maior que a atmosfera) e

utilizarem para isso efeito da gravidade. Portanto, esses sistemas se caracterizam por possuírem o potencial para baixos consumos de energia;

- A operação desses sistemas não é afetada pela qualidade de água, possibilitando o aproveitamento de água com baixa qualidade física, química ou biológica;
- Diferentemente do método por aspersão, esses sistemas podem ser operados na presença de vento sem problemas;
- Quando bem projetados e operados, esses sistemas tem potencialidade para apresentar valores de eficiências de aplicação de água superiores a 60%;
- Não interferem com os tratos fitossanitários da cultura, principalmente, os realizados na área foliar da planta;
- Adaptabilidade a várias culturas, principalmente o arroz, a cultura de maior importância para a subsistência humana.

Entretanto, apresentam algumas limitações importantes:

- O projeto e as práticas de manejo desses sistemas são mais complexos para serem definidas e implantadas do que outros sistemas, principalmente porque os desempenhos são afetados pelas variações espaciais e temporais das propriedades do solo;
- O projeto adequado desses sistemas requer ensaios de campo para obtenção dos parâmetros de dimensionamento;
- Como utiliza a superfície do solo na condução e distribuição de água requer áreas planas ou niveladas por sistematização ou nivelamento superficial. Os custos de sistematização podem ser altos, limitando, assim, o seu uso para áreas que tenham pouca declividade;
- Necessitam de reavaliações de campo para manter boas eficiências de aplicação;
- A utilização desses sistemas não é recomendada para solos extremamente permeáveis ou que apresentam altas velocidades de infiltração;
- Quando operados com baixas eficiências de aplicação, esses sistemas requerem alta demanda de água, podendo impactar outros tipos de usuários;
- Esses sistemas tendem a requerer mais mão-de-obra do que outros sistemas, apesar de não se necessitar de pessoal altamente especializado. Entretanto, para se atingir boas eficiências é preciso que o agricultor tenha noções básicas de manejo da irrigação;
- Dentro de uma visão atual de utilização da irrigação para outras práticas agrícolas, esses sistemas não proporcionam facilidades para aplicação de agroquímicos e fertilizantes via água de irrigação.

É importante enfatizar que a irrigação por superfície não é o método de irrigação mais eficiente, mas é, financeiramente, o mais econômico e com baixo requerimento de tecnologia para ser operado. Esse método apresenta menores perdas de água por evaporação quando comparado com a aspersão, entretanto, perdem mais água por escoamento superficial e por percolação profunda (água que ultrapassa a camada explorada pelas raízes da cultura).

Aliada a essas limitações, a utilização desse método por agricultores tende a se reduzir, devido à falta de uma maior divulgação dos sistemas por técnicos (principalmente por falta de conhecimento) e pelas críticas que recebem pelos problemas ambientais que podem se originar devido ao manejo incorreto.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO

Roberto Testezlaf

INTRODUÇÃO

A irrigação por inundação, como o próprio nome informa, é a aplicação de água em uma cultura de forma a alagar a área de cultivo, exigindo a sua adequação em bacias ou tabuleiros, principalmente na cultura do arroz, em regiões onde preponderam pequenas propriedades (Figura 25).



Figura 25: Irrigação de arroz em bacias ou tabuleiros.

O tabuleiro ou bacia é construído a partir de uma área nivelada em todas as direções, onde são levantados nos seus limites diques ou taipas (paralelos ou em nível), de forma a armazenar a água no seu interior, criando uma área inundada, e impedindo que ocorram perdas por escoamento superficial.

De acordo com BARRIGOSSI et al. (2004), arroz irrigado era responsável por, aproximadamente, 60% da produção brasileira, sendo que existia naquele ano cerca de 1,4 milhões de hectares irrigados por inundação. Dentre os impactos ambientais que podem decorrer da rizicultura irrigada, esses autores salientaram a redução da quantidade e qualidade da água devido a processos de assoreamento, eutrofização e uso de agrotóxicos. Associado a essa questão, os empreendimentos que utilizam a irrigação por inundação são, na maioria das vezes, desenvolvidos nas proximidades de áreas de preservação permanente, apresentando assim potencial para causar algum tipo de degradação e exigindo, dessa forma, licenciamento ambiental dos órgãos competentes para iniciar a sua atividade.

OPERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

A partir da fonte de água disponível na propriedade, é preciso bombeá-la até a parte mais alta do terreno, possibilitando que toda a distribuição da água na área irrigada seja realizada por meio da gravidade. Geralmente a água é liberada a partir de um canal situado na parte mais elevada do campo utilizando estruturas hidráulicas como comportas de alvenaria ou madeira ou ainda utilizando sifões ou tubulações. A lâmina de água move por gravidade para a parte mais baixa conduzida pelos diques. Normalmente, os tabuleiros se intercomunicam permitindo que o que estiver na parte mais alta alimente os demais na parte mais baixa.

As bacias ou tabuleiros recebem uma lâmina de água, que fica retida no seu interior e disponível para infiltração. No manejo com lâmina intermitente, essas lâminas de irrigação ficam acumuladas até serem infiltradas ou drenadas. No caso de irrigação com lâmina

contínua, como no caso da cultura do arroz, a lâmina d'água é mantida nos tabuleiros, por meio da aplicação de uma vazão pequena e continua (Figura 26).



Figura 26: Exemplo da irrigação por inundação com lâmina contínua (direita) e intermitente.

Existem poucas culturas e solos que não são recomendados para serem utilizados com a irrigação em tabuleiros, mas a condição mais indicada são os solos com baixa capacidade de infiltração e culturas com raízes profundas com pequeno espaçamento entre plantas. Este sistema não deve ser usado em solos arenosos e com culturas sensíveis à saturação do solo na zona radicular ou em solos que formem crosta na superfície, a não ser se os tabuleiros sejam sulcados e se o cultivo seja realizado em canteiros.

A irrigação por inundação é o método mais recomendado para proporcionar a lixiviação de solos afetados por sais, não sendo necessário dimensionar a aplicação de lâminas adicionais para ocorrer escoamento superficial ou drenagem, como em outros sistemas de irrigação. Entretanto, é preciso incluir no projeto do sistema estruturas de drenagem ou coleta da área (Figura 27), em função principalmente das chuvas ou de um possível erro no manejo da lâmina de irrigação.



Figura 27: Exemplo de canal de drenagem utilizado em sistemas de irrigação por superfície.

O uso da irrigação por tabuleiros apresenta algumas vantagens para os agricultores, com:

- Pouca perda de água por escoamento superficial;
- Possui baixa demanda de mão-de-obra;
- O manejo de irrigação é simples de ser operacionalizado no campo;
- Sistemas bem projetados e manejados tem o potencial para fornecer eficiências de irrigação adequadas e com poucas perdas;
- Utilização em solos com baixa capacidade de infiltração;
- A manutenção da lâmina de água possibilita o controle de ervas daninhas;
- Permite o aproveitamento das águas da chuva.

Além das restrições com relação culturas e solos adequados, a irrigação por tabuleiros apresenta outras limitações que dificultam o seu uso pelos agricultores:

- A implantação do sistema requer a sistematização da área para atingir altas eficiências e uniformidades (Figura 28);



Figura 28: Agricultor nivelando um tabuleiro para o plantio de arroz.

- A presença de canais, diques e taipas limitam o trânsito das máquinas e implementos;
- Tabuleiros com pequenas dimensões dificultam a mecanização e exige trabalhos manuais;
- Os diques devem ser altos e com manutenção adequada, ocupando junto com o sistema de distribuição de água (canais e estruturas hidráulicas) áreas significativas de plantio (Figura 29);



Figura 29: Exemplo da altura de diques e da área ocupada por canais.

- Para se atingir níveis altos de eficiência é preciso utilizar altas vazões por unidade de largura, sem causar erosão;
- Pela presença da lâmina de água ocorre um aumento na incidência de insetos;
- O sistema não é adaptável a solos com alta capacidade de infiltração.

Tipos de tabuleiros

Os tabuleiros são geralmente retangulares, mas existem todos os tipos de configurações com formatos regulares ou irregulares. Eles podem conter sulcos ou corrugações no seu interior ou possuir outras modificações no relevo, como canteiros, para poder beneficiar diferentes culturas que são exploradas nesses sistemas.

Os dois tipos mais comuns de tabuleiros são os tabuleiros retos e os tabuleiros em contorno, típico de regiões declivosas e produtoras de arroz.

- Tabuleiros retos ou retangulares: são construídos em áreas planas, limitadas por diques ou taipas retilíneas (Figura 30). Geralmente possuem pequenas dimensões, exigindo terrenos uniformemente sistematizados, com pequena declividade. Podem ser utilizados em solos com velocidade de infiltração acentuada que necessitam um enchimento rápido dos compartimentos, para

atingir boa uniformidade de aplicação. Os tabuleiros de dimensões maiores devem ser empregados em solos de permeabilidade mais baixa e adaptados a culturas tolerantes a saturação do solo. O manejo dos tabuleiros retangulares pode ser realizado com alimentação individual dos tabuleiros ou com alimentação coletiva, onde a água passa de um tabuleiro para outro (Figura 31).



Figura 30: Formados de tabuleiros: em contorno (esquerda) e retos (direita).

- Tabuleiros em Contorno (diques em nível): São formados por um sistema de diques seguindo a curva de nível e diques retilíneos em direção transversal às curvas de nível, para dividir a área no tamanho apropriado, geralmente maior que os tabuleiros retangulares (Figura 30). Esse tipo de sistema exige menor movimentação de terra na sistematização do terreno, pois normalmente requer somente a retirada de algumas saliências e depressões mais pronunciadas.



Figura 31: Tipos de alimentação de tabuleiros: individual com canal (esquerda) e coletiva (direita)

Existem dois tipos de tabuleiros em contorno:

- Diques paralelos entre si, ou seja, o espaçamento entre diques é constante, exigindo assim um terreno bem sistematizado.
- Diques que acompanham a curva de nível, ou seja, o espaçamento entre diques varia ao longo do tabuleiro em função da declividade. Esse tipo é muito usado na cultura do arroz.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

Os principais fatores de projeto que podem afetar a uniformidade da irrigação por inundação são:

- Vazão adequada de projeto;
- Lâmina de água de irrigação correta;
- Tamanho dos tabuleiros;
- Sistematização da área;

- Taxa de infiltração uniforme.

Vazão de projeto

A vazão deve ser suficiente para encher rapidamente os tabuleiros, proporcionando boa uniformidade na lâmina de irrigação, evitando uma diferença significativa nas lâminas de água infiltrada no inicio e no final do tabuleiro. A vazão de entrada e as características de infiltração do solo vão determinar a velocidade de avanço da água dentro do tabuleiro, o seu tempo de preenchimento e o valor da vazão de reposição para manter a lâmina constante dentro do tabuleiro. Outros fatores podem afetar a taxa de avanço como: declividade da área, rugosidade da superfície do solo, geometria ou forma da seção transversal de escoamento. (Figura 32).



Figura 32: Tabuleiros de arroz mostrando uniformidade de sistematização e de lâmina de água aplicada.

Tamanho dos tabuleiros

O tamanho e forma dos diques ou taipas que irão formar os tabuleiros dependem da altura da lâmina d'água que será mantida dentro dos tabuleiros, da intensidade do vento da região, os quais determinarão o tamanho das ondas, da instabilidade do solo, do seu assentamento e do tipo e intensidade do tráfego sobre os diques.

A área do tabuleiro deve ser projetada em função do valor da vazão, da declividade do terreno e capacidade de infiltração do solo. Quanto mais impermeável for o subsolo, maiores poderão ser os tabuleiros. O tamanho dos tabuleiros podem variar de 1 m² para hortaliças e pomares, até áreas maiores que 5 ha, usados na irrigação de arroz e outros tipos de cereais plantados em solos planos e argilosos.

Recomenda-se a utilização desse tipo de irrigação para terrenos planos ou levemente declivosos com declividades entre 0,1 a 2%. Áreas com declividades abaixo deste limite podem tornar a drenagem longa e difícil, e áreas com declividades acima, pode determinar tabuleiros com dimensões pequenas que podem prejudicar os trabalhos culturais.

Construção dos tabuleiros e diques

A área a ser irrigada deve ser sistematizada procurando compensar a movimentação de terra nos cortes e aterros e evitando-se a exposição do subsolo infértil. Esta sistematização pode ser realizada por máquinas em áreas maiores ou por meio de um pranchão com tração animal (Figura 33). Em áreas com menor declividade, um simples nivelamento com o tabuleiro coberto com uma lâmina d'água, pode ser suficiente.



Figura 33: Agricultores utilizando tração animal para sistematização de tabuleiros para o plantio de arroz.

Os diques ou taipas podem ser classificados como permanentes ou temporários. As principais características desses diques são:

- **Temporários:** construídos para durar somente uma safra ou ciclo da cultura e usados para culturas de ciclo curto, não precisam apresentar acabamento final.
- **Permanentes:** são mais largos e mais bem acabados, usados em pastagens, arroz, etc.

Para construir os diques podem-se usar diferentes tipos de equipamentos como: entaipadeiras, arado de disco e arado de aiveca. Os diques devem ter margem livre de 10 a 20 cm acima do nível d'água dos tabuleiros. Na parte interna dos diques em contorno, deve-se construir um sulco paralelo ao dique para facilitar a distribuição de água e a drenagem dos tabuleiros.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS

Roberto Testezlaf

INTRODUÇÃO

A irrigação por sulcos é o sistema de irrigação por superfície que aplica a água para as plantas através de pequenos canais ou sulcos paralelos às linhas de plantio, por onde se movimenta ao longo do declive (Figura 34).



Figura 34: Detalhe do sistema de irrigação por sulcos.

Nesse sistema, a água se infiltra no fundo e nas laterais do sulco (perímetro molhado) se movimentando vertical e horizontalmente no perfil do solo e proporcionando a umidade necessária para o desenvolvimento vegetal. Esse tipo de aplicação, não molha toda a superfície do solo, molhando normalmente de 30 a 80% da superfície do solo, dependendo do espaçamento entre sulcos e da cultura a ser irrigada, reduzindo as perdas por evaporação e a formação de crostas superficiais em alguns solos. A irrigação por sulcos possibilita ao irrigante manejar as irrigações a fim de atingir boas eficiências, permitindo adequá-la às mudanças que ocorrem no campo durante a safra.

SCALOPPI (2003) relaciona algumas vantagens da irrigação por sulcos em relação aos demais processos de irrigação que merecem ser salientadas:

- Há pouca interferência para com os tratamentos fitossanitários desenvolvidos na parte aérea das plantas;
- No processo de aplicação da água não é necessária mão de obra especializada;
- Quando comparado aos principais sistemas pressurizados, revelam um baixo custo anual;
- Pode ser realizada sem bombeamento, possibilitando a utilização em regiões desprovidas de fornecimento de energia;
- Menor interferência da qualidade física e biológica da água, sendo uma característica interessante com relação às águas superficiais utilizadas na irrigação nas condições brasileiras;
- Pode ser utilizado praticamente em todas as culturas.

Entretanto, algumas limitações que a irrigação por sulcos apresenta, dificulta a sua utilização pelos agricultores, como:

- Possibilidade de ocorrência perdas de água por escoamento superficial em sulcos abertos no final e onde não há o seu reaproveitamento;
- Aumento no potencial de erosão da área;
- Dificuldade do tráfego de equipamentos e tratores sobre os sulcos;
- Aumento do custo inicial devido à construção dos sulcos;

- Dificuldades em se automatizar o sistema, principalmente com relação a aplicar a mesma vazão em cada sulco;
- Acúmulo de sais entre sulcos quando mal manejado em regiões propícias à salinização.

É importante salientar que a principal limitação da utilização da irrigação por sulcos é atualmente a imagem ambiental negativa que o sistema adquiriu por desperdiçar excessivamente recursos hídricos devido às baixas eficiências apresentadas, o que vem determinando autuações de órgãos ambientais governamentais na lacração de motobombas de agricultores em bacias com usos conflitantes da água.

OPERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Um sistema de irrigação por sulcos é composto, geralmente, pelas seguintes partes: bombeamento, transporte, distribuição e drenagem. Devido à possibilidade de gerar perdas por escoamento, é necessário que o projeto inclua unidades de coleta para retirada dessas águas da área de produção.

Um exemplo de operação de um sistema de irrigação por sulcos pode ser fornecido pela cultura do tomate de mesa que, geralmente, utiliza esse sistema no Brasil, principalmente no estado de São Paulo. As Figuras 34, 35 e 36 mostram como, tradicionalmente, os tomateiros operam a irrigação por sulcos nessa cultura. A partir de uma fonte, a água é bombeada por um sistema motobomba, para um canal primário localizado na parte mais alta da propriedade (Figura 35). Esses produtores empregam, preferencialmente, motores a diesel, pois a cultura possui um caráter itinerante, ou seja, não são cultivadas na mesma área consecutivamente devido a problemas fitossanitários que surgem com a repetição do cultivo na mesma área.



Motobomba diesel

Canal primário

Figura 35: Unidade de bombeamento e de distribuição de água na cultura de tomateiro de mesa.

A partir do canal primário ou superior (Figura 35), a água é direcionada por gravidade para canais secundários em declive (Figura 36), e aplicada nos sulcos utilizando um anteparo, chamado de “bandeira” pelos agricultores (Figura 37).



Canal secundário em declive

Sulco irrigado

Figura 36: Unidade de distribuição de água em sulcos na cultura do tomateiro.

Após o operador admitir a água no sulco, ele espera que ela chegue ao seu final e move o anteparo para o próximo sulco. A forma como a irrigação é conduzida nessa cultura, na qual a vazão total bombeada é dividida pelos talhões da cultura em canais de solo nu e, então, distribuída aos sulcos, na maioria das vezes, sem adotar critérios que garantam o manejo adequado da irrigação, determinam uma condição de uso excessivo de água. Esse desempenho é comprovado por CAMPOS & TESTEZLAF (2009) que encontraram uma eficiência de aplicação de 32% para um produtor tomateiro da região de Estiva Gerbi, SP.



Figura 37: Exemplo do uso de anteparos (bandeiras) na irrigação por sulcos na cultura de tomateiro.

TIPOS DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS

Os tipos mais comuns de sistemas de irrigação por sulcos que existem no Brasil permite classificá-los com relação à declividade que possuem: em nível ou em declive, e com a forma de disposição no terreno, retos ou em contorno. A Figura 38 apresenta exemplos dos tipos de sulcos mais comuns.



Figura 38: Exemplos de tipos de sulcos utilizados na agricultura irrigada.

Existe ainda outro tipo de irrigação por sulcos denominada de corrugação. Nesse caso, a água se movimenta sobre a superfície do solo através de pequenos sulcos construídos na direção de maior declividade do terreno. Esse tipo de irrigação se adapta melhor em culturas que não exijam capinas e que tenham alta densidade de plantio, tais como pastagens, forrageiras, etc. Pode ser utilizada também em culturas cultivadas em linhas contínuas, tais como arroz, trigo, e plantadas em nível. A Figura 39 apresenta a aplicação de sistemas de corrugação na cultura do feijão.

Sistemas de distribuição de água em sulcos

Os principais tipos de unidades de distribuição de água na irrigação por sulcos que permitem ao agricultor o controle da vazão aplicada são: canais com sifão, canais com saídas laterais, canais com desvio manual e tubos janelados.



Figura 39: Exemplo de irrigação por corrugação na cultura do feijão.

Canais com sifões

Neste método de aplicação, canais de terra ou revestidos podem ser utilizados para aplicar a água em sulcos ou em áreas a serem inundadas, através de tubos sifões instalados no lado dos canais (Figura 40). A água dentro do canal deve ser elevada até uma altura suficiente para criar uma carga hidráulica acima do bocal de entrada do sifão que determinará a sua vazão. Esta elevação pode ser conseguida pela instalação de comportas ou barragens de madeira ou outro material.



Figura 40: Exemplo da utilização de sifão na aplicação de água na irrigação por sulcos

Os tubos sifões são geralmente feitos de tubos comerciais de alumínio ou de material termoplástico (PE), por serem leves, portáteis e duráveis. Eles podem trabalhar com a sua saída livre ou afogada. Quando eles trabalham com a saída livre a carga hidráulica é igual à diferença de elevação entre a saída do sifão e o nível da água dentro do canal. Quando eles trabalham afogados, a carga hidráulica é igual à diferença de nível entre as superfícies da água dentro e fora do canal.

Como os tubos sifões precisam trabalhar completamente cheios de água, eles devem ser escorvados para que possam operar. Isto é feito submergindo o tubo na água, deixando-o encher completamente e cobrindo uma das saídas com a mão e então, abaixando o mesmo vagarosamente no lado do canal, sem deixar que a ponta que está submersa saia da água (Figura 40). Quando em uma seção do canal operam-se vários sifões podem ocorrer variações significativas da altura da água dentro do canal (Figura 41), o que pode afetar seriamente as vazões de saída dos sifões. Portanto, a eficiência de irrigação depende da experiência e habilidade do irrigante em manejar a irrigação utilizando tubos sifões.



Figura 41: Canal operando com vários sifões em seção do canal controlada por comporta.

Canais com saídas laterais

Neste tipo de aplicação, tubos curtos de aço ou de alumínio são instalados na lateral de canais de alvenaria ou de cimento para aplicar água em sulcos (Figura 42). Neste caso, a água dentro do canal também deve ser elevada até uma altura suficiente para criar uma carga hidráulica acima da entrada do tubo o que determinará a sua vazão. Esta elevação pode ser conseguida pela instalação de comportas manuais ou automáticas.



Figura 42: Sistema de irrigação por sulcos utilizando canal de concreto com saídas laterais em operação.

Canais com desvio manual

Esse é o sistema utilizado por tomaticultores, onde a água é aplicada em um canal principal que serve vários canais secundários, que distribuem água para os sulcos. Para desviar a água desses canais secundários para os sulcos os irrigantes utilizam de uma montagem rústica denominada “bandeira”. Na prática, a “bandeira” é construída a partir de um pedaço de madeira onde é fixada uma lona plástica, normalmente, um saco plástico de adubo ou de agroquímico, e amarrada um pedaço de corda para ser puxado morro abaixo. Essa movimentação permite que a água, que escoa no canal secundário, seja desviada para o sulco, por um tempo suficiente para chegar ao final do sulco (Figura 37). Apesar de extremamente prático e de baixo custo, esse sistema não permite nenhum controle sobre a vazão a ser aplicada em cada sulco, fazendo com que vazões excessivas sejam aplicadas em cada irrigação (Figura 43).

Tubos janelados

Tubos janelados são tubos de alumínio, PVC, ou de outro material que possuem orifícios igualmente espaçados ao longo do seu comprimento que servem para aplicar a água em sulcos de irrigação (Figura 44). Estes orifícios podem ter externamente *janelas*, que com a sua abertura ou fechamento, permitem o controle da vazão, ou qualquer outro dispositivo que possibilite variar a vazão aplicada ao sulco (Figura 45).



Figura 43: Aplicação de água manual em sulcos com vazão excessiva.

Os tubos janelados podem ser conectados a tubulações de distribuição de água enterradas e que através de tubos de subida dão acessos às válvulas hidráulicas, que podem ter saídas simples ou duplas para dar acesso aos dois lados do campo. Apesar do uso de tubos janelados serem extremamente populares nos Estados Unidos, em função do incremento de eficiência que se obtém com estes sistemas, o seu uso no Brasil é relativamente baixo, não despertando interesses comerciais para a sua produção no país.



Figura 44: Tubos janelados operando em irrigação por inundação. (USDA, 2000)

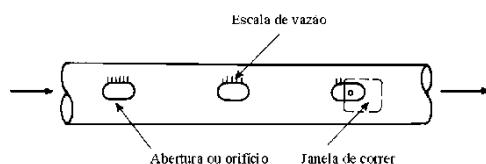


Figura 45: Esquema de um tubo janelado

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

Topografia

Os sistemas de irrigação por sulcos exigem topografia adequada, com declive suave e as condições superficiais do terreno uniformes. Caso contrário, vai requerer sistematização do terreno. A declividade na direção da irrigação (para onde a água escoa) pode variar de 0% até 2%, em condições adequadas de vazão e solo. Na direção perpendicular ao escoamento de água, o declive pode atingir até 10%, desde que, sejam asseguradas medidas que reduzam os riscos de erosão. A Figura 46 mostra uma alternativa de impermeabilização de sulcos secundários quando eles possuem declividade excessiva, de forma a evitar a erosão e o carreamento de sedimentos.

Geralmente, a declividade do sulco segue a declividade média do terreno, podendo variar de 0,2 a 3%, mas recomenda-se não exceder a 2% para se evitar problemas potenciais de erosão.



Figura 46: Exemplo de sistema com impermeabilização do canal secundário para evitar erosão.

Tipo de solo

Não se recomenda o uso desse sistema em solos com alta capacidade de infiltração (por exemplo, solos arenosos), pois pode levar a elevadas perdas de água por percolação, além de potencializar o aparecimento de erosão. Por outro lado, a aplicação em solos excessivamente impermeáveis (por exemplo, solos muito argilosos), o problema pode ser as perdas excessivas de água por escoamento superficial.

Vazão de projeto

A vazão aplicada por sulco é um dos parâmetros mais importantes para se atingir uma irrigação eficiente, devendo o seu valor ser a máxima possível de forma a não causar erosão. As vazões individuais para cada sulco pode variar geralmente de 0,2 a 2 L s⁻¹.

Como a velocidade de infiltração do solo decresce exponencialmente com o tempo em função da sua saturação, o ideal seria ter um sistema que permitisse a utilização de vazões decrescentes durante a irrigação para se evitar perdas excessivas. Existem duas técnicas utilizadas para aumentar a eficiência de aplicação de água nesses sistemas:

- **Vazões reduzidas:** é uma das formas de minimizar o escoamento superficial e aumentar a eficiência de aplicação de água. O método das vazões reduzidas consiste em diminuir a vazão de entrada de água para os sulcos depois que a água atingir um determinado comprimento ou o seu final. O objetivo básico do corte da vazão é reduzir o escoamento superficial da área, igualando o valor da vazão de entrada no sulco com a capacidade de infiltração média do solo. Essa redução pode ser facilmente atingida na irrigação que utiliza mais de um sifão por sulco na aplicação de água. Assim que a água chegar no final do sulco, retira-se um determinado número de sifões, diminuindo a vazão de entrada.
- **Fluxo intermitente:** a água é aplicada ao sulco de irrigação de forma intermitente, em ciclos, ou seja, a água é aplicada por um determinado período de tempo e depois desligada, repetindo os ciclos em um número de vezes suficiente para irrigar todo o comprimento do sulco. Normalmente, para a realização desse tipo de aplicação utiliza-se válvulas no ponto intermediário do campo, de forma a alternar os ciclos de irrigação entre duas metades do campo (Figura 47).



Figura 47: Dois tipos de válvulas automáticas utilizadas em fluxo intermitente (Fonte: MALHEUR, 2010).

Espaçamento de Sulcos

A velocidade de infiltração afeta o processo de entrada de água no perfil do solo e, consequentemente, o desempenho da irrigação nesse tipo de sistema. Através das características de infiltração e dos parâmetros relacionados ao movimento de água no seu perfil, principalmente a condutividade hidráulica, é possível determinar o perfil de umedecimento dos sulcos, que se diferencia em função da textura e da estrutura do solo irrigado.

A seção molhada no perfil de solos mais permeáveis apresenta forma mais alongada e com tendência a ter a movimentação vertical maior que a horizontal, enquanto que solos menos permeáveis, apresentam uma tendência de movimentação lateral ou horizontal maior. Por essa razão, como regra geral, os sulcos podem se mais espaçados em solos argilosos que nos solos arenosos.

O espaçamento entre sulcos dependerá além do perfil de umedecimento do solo, da cultura a ser irrigada e do tipo de equipamento que será utilizado nos tratos culturais. O espaçamento entre sulcos deverá ser escolhido de forma a assegurar o movimento lateral de água entre sulcos adjacentes, umedecendo toda a zona radicular da cultura e evitando o umedecimento das áreas abaixo dela (perdas). O espaçamento entre sulcos pode variar entre 0,30 a 1,80 m, com a média ao redor de 1,0 m.

Comprimento do sulco

Além da vazão, a definição do comprimento do sulco é fator essencial para o sucesso desse sistema de irrigação. A determinação do seu valor mais eficiente para a área a ser irrigada deve ser realizada mediante ensaios de campo, onde deverão ser avaliados diferentes declividades, vazões e comprimentos de sulco. Um erro no cálculo desse parâmetro pode levar a efeitos indesejáveis para o agricultor. No caso do seu valor ser superestimado, isso pode acarretar:

- Aumento nas perdas por percolação de água no inicio do sulco;
- Diminuição significativa na uniformidade de distribuição de água no sulco;

Mas, se o seu valor for subestimado, isso pode levar a:

- Aumento na quantidade de mão-de-obra;
- Aumento nos custos de irrigação;
- Incremento nas perdas de área de cultivos em função da presença de canais e obras de infraestrutura;
- Dificuldades na mecanização da área.

Os principais fatores que devem ser considerados na determinação do comprimento do sulco são:

Tipo do solo: Quanto mais arenoso ou permeável for o solo, mais curto deve ser o sulco e, quanto mais argiloso ou impermeável for o solo, mais longo poderá ser o sulco.

Declividade: Para um dado valor de vazão, o comprimento do sulco pode aumentar à medida que a declividade aumenta (declividades suaves entre 0,2 a 0,5%), até o limite de 0,5%, a partir do qual o comprimento deve diminuir devido ao aumento da velocidade de escoamento, devendo, nesse caso, reduzir o valor da vazão para se evitar a erosão.

Cultura: Plantas com sistema radicular profundo cultivadas em solos argilosos, que apresentam maior capacidade de retenção de água, permitem utilizar sulcos mais longos do que plantas com sistema radicular raso cultivados em solos arenosos, com menor capacidade de retenção de água. Pois, como no início do sulco a lâmina aplicada é maior, sulcos de maior comprimento em solos arenosos determinam aumento nas perdas por percolação quando comparados com solos argilosos.

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Roberto Testezlaf

INTRODUÇÃO

Aspersão é o método de irrigação que melhor simula a chuva, ou seja, a água é aplicada sobre as plantas e a superfície do solo na forma de gotas. A água é bombeada a partir de uma fonte (rios, lagos, açudes, poços subterrâneos, etc..) e distribuída por uma rede de tubulações e aspergida (pulverizada) no ar na forma de pequenas gotas. A formação de gotas é obtida pela passagem da água sob pressão por orifícios presentes em tubulações ou em dispositivos mecânicos chamados aspersores ou sprays.

Segundo HÜBENER (1996), a Inglaterra, berço da revolução industrial, foi também pioneira no desenvolvimento da irrigação por aspersão. Equipamentos originalmente desenvolvidos, por volta do ano de 1800, para extinção de incêndios, teriam sido utilizados na irrigação de jardins e de áreas produtoras de hortaliças ao redor de grandes cidades. Segundo esse autor, com o objetivo de reduzir o trabalho requerido pela irrigação, engenheiros britânicos teriam desenvolvido a primeira linha lateral portátil ou móvel e o primeiro aspersor rotativo até 1875. A Figura 48 apresenta o esquema de um aspersor de jardim datado de 1894, segundo Irrigation Association (2010).



Figura 48: Desenho de um aspersor de jardim vendido em 1894 (Fonte: IRRIGATION MUSEUM, 2010a).

Nos Estados Unidos, a popularização do uso da irrigação por aspersão começou no início do século XX, com o surgimento de aspersores rotativos. A Figura 49 apresenta os modelos iniciais de um aspersor rotativo patenteado pela empresa Rainbird na terceira década do século XX, que atua até hoje no mercado da irrigação.



Figura 49: Detalhes de dois estágios de desenvolvimento do primeiro aspersor rotativo fabricado pela empresa Rainbird em 1935. (Fonte: IRRIGATION MUSEUM, 2010b).

No princípio de sua aplicação, os aspersores tinham uso restrito à irrigação de jardins e gramados, mas com o tempo passaram a ser utilizados em pomares e nas plantações em geral. O desenvolvimento do transporte de água por tubulações fabricadas com materiais metálicos como ferro, aço, alumínio e, finalmente em materiais plásticos como PVC (policloreto de vinila) e PE (polietileno), estimulou a utilização da aspersão em todos os tipos

de cultivos e por agricultores com diferentes capacidades de investimento. Outro fator que incentivou o desenvolvimento da prática da irrigação por aspersão foi a necessidade de irrigar áreas que, por diferentes motivos, não era possíveis de serem irrigadas por inundaçao ou sulcos, como por exemplo, terrenos localizados em um nível mais elevado do que as fontes de água, encostas muito inclinadas e áreas muito onduladas.

O processo de surgimento de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação por aspersão no Brasil teve início em 1950, quando governo federal incentivou a importação de sistemas de irrigação por aspersão, isentando-os do pagamento de imposto de importação e oferecendo taxas cambiais especialmente favoráveis. Cinco anos depois, em 1955, algumas empresas iniciaram a fabricação de componentes para irrigação, especialmente tubos e acoplamentos de alumínio e aspersores metálicos, bem como foram importados equipamentos para a produção de tubos de aço leve com engates rápidos, destinados exclusivamente à irrigação.

Segundo REBOUÇAS et al. (1999), o Brasil tem em torno de 21% da sua área irrigada utilizando aspersão mecanizada e 20% por aspersão convencional, sendo o segundo método de irrigação mais empregado por agricultores brasileiros. Entretanto, essa participação tende a aumentar, pois tem prevalecido nos últimos anos a opção do agricultor pelos sistemas mais tecnificados e mais eficientes.

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

As condições de cultivo e as necessidades da agricultura exigiram, com o passar do tempo, o desenvolvimento de diferentes sistemas de irrigação por aspersão, como por exemplo: sistemas portáteis e semiportáteis para transporte manual ou mecanizado, sistemas fixos estacionários ou permanentes, com aplicação por cima ou por baixo da folhagem, operando com diferentes níveis de pressão e vazão. Assim, existe no mercado uma variedade de sistemas de irrigação por aspersão que podem ser adaptados às mais diversas situações de operação e funcionamento.

Didaticamente, é possível classificar os sistemas de irrigação em dois tipos: aqueles que operam a partir de uma tubulação com aspersores instalados ao longo do seu comprimento, também denominada linha lateral, e sistemas que operam a partir do funcionamento de somente um aspersor que opere a alta pressão e vazão. Baseado nesta proposta de divisão é possível separar os tipos de sistemas de aspersão na seguinte forma:

- **Sistemas constituídos por linhas laterais** (tubulações com aspersores)
 - Fixo ou permanente;
 - Móvel com movimento manual;
 - Móvel com movimento contínuo mecanizado:
 - Pivô Central;
 - Linear;
 - Lateral rolante.
- **Sistemas constituídos por um aspersor canhão**
 - Fixo ou estacionário
 - Montagem direta
 - Móvel com movimento autopropelido:
 - Carretel enrolador tracionado por mangueiras;
 - Autopropelido tracionado por cabos de aço.

Os principais tipos de sistemas serão descritos e caracterizados posteriormente, entretanto, para uma melhor compreensão dessa classificação, a Figura 50 apresenta exemplos de sistemas por aspersão constituídos de linhas laterais com movimentos diferenciados, enquanto a Figura 51, mostra os sistemas que operam com canhão fixo e em movimento.



Figura 50: Exemplos de sistemas por aspersão com linha lateral: fixas (esquerda), móveis manualmente (centro) e mecanizadas por pivô central (direita).

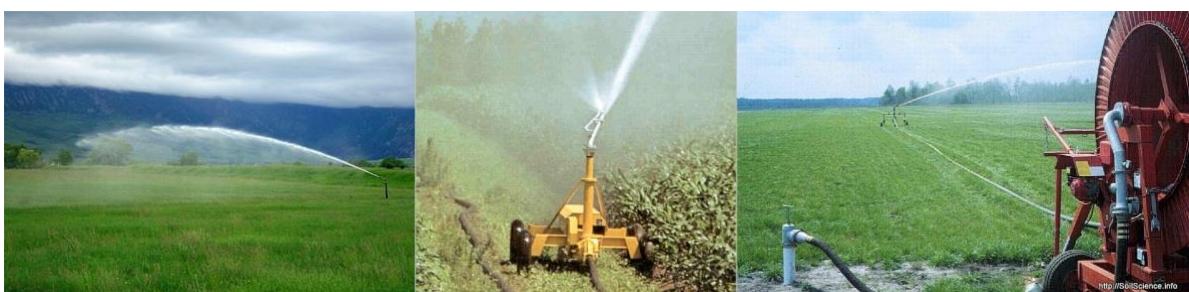


Figura 51: Exemplos de sistemas de irrigação por aspersão que operam com aspersor tipo canhão: estacionário (esquerda) ou em movimento: tracionado por cabos de aço (centro) e pela própria mangueira (direita).

A mobilidade presente em equipamentos de alguns sistemas por aspersão proporciona ao agricultor o seu uso em diferentes cultivos em uma mesma propriedade pela possibilidade de transportá-lo para outras áreas. Essa característica é especialmente importante em condições de irrigação suplementar, quando o número de aplicações de água durante o ciclo da cultura é menor comparado à irrigação obrigatória.

As características operacionais dos sistemas de irrigação por aspersão proporcionam vantagens importantes com relação aos sistemas por superfície, cujo conhecimento é essencial na escolha e na implantação do sistema, assim como, na utilização racional do sistema de irrigação escolhido:

- A sua implantação não requer a sistematização do terreno, proporcionando economia nos custos de instalações e a utilização em áreas com topografia ondulada (Figura 52);



Figura 52: Exemplo da utilização de pivô central em terrenos com topografia ondulada.

- Não requer a construção de canais de distribuição, diques ou sulcos, permitindo melhor aproveitamento do terreno e reduzindo a perda de área com infraestrutura e de água por condução em solo nu;
- Adequados para a maioria das culturas e solos, pois permite o controle da precipitação dos aspersores e do grau de pulverização do jato, adaptando-a a capacidade de infiltração característica de cada solo, ou à fase de desenvolvimento da cultura;
- Flexibilidade e mobilidade do sistema na aplicação de diferentes valores de lâminas de irrigação, devido à disponibilidade de aspersores com diferentes vazões e possibilidade de modificar suas disposições no campo;
- Com o projeto e manejo adequados pode reduzir os riscos de erosão causada pela aplicação excessiva de água, como ocorre nos casos de irrigação por superfície.
- Como a água é geralmente transportada por tubulações, apresenta menores perdas por evaporação e por infiltração, quando comparados aos sistemas de irrigação por superfície;
- Possui boa uniformidade de distribuição de água no terreno, o que aumenta a eficiência de aplicação;
- Permite a utilização dos sistemas para outras finalidades:
 - Controle do microclima, protegendo a cultura contra geadas e também, através de resfriamento evaporativo, em dias mais quentes.
 - Aplicação de agroquímicos via água, permitindo tratamentos fitossanitários e também a prática da fertirrigação.

Por outro lado, esses sistemas apresentam limitações que devem ser avaliados com critério quando for realizado o planejamento do seu uso:

- A uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação da água são afetadas significativamente pela presença de ventos com velocidade acima de 4 m s^{-1} (Figura 53);



Figura 53: Exemplo da ação do vento: (esquerda) pivô central e (direita) o jato de um aspersor canhão.

- Ocorrência de perdas de água por evaporação quando os sistemas são operados em condições de altas temperaturas ambientais e baixa umidade relativa;
- Custo inicial de investimento é superior aos sistemas de superfície por serem mais tecnificados e com maior demanda de equipamentos e acessórios;
- Custo de operacional mais elevado em função de trabalhar em pressões e vazões mais altas que os sistemas por superfície;
- Requer maiores cuidados de manutenção devido aos equipamentos utilizados;

- Não se recomenda o seu uso em culturas sensíveis ao molhamento total da planta, principalmente, por problemas fitossanitários veiculados hidricamente, ou por desprendimento de flores ou danos a qualidade do fruto;
- Culturas altas podem obstruir o jato de água e reduzir a uniformidade de aplicação da irrigação;
- A energia cinética de gotas maiores produzidas podem provocar selamento da superfície do solo, principalmente pelo uso de aspersores de grande alcance com insuficiente pulverização (pressão inadequada) trabalhando em solos argilosos;
- A durabilidade e funcionalidade dos equipamentos podem ser afetadas pela qualidade de água.

COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema de irrigação por aspersão é composto geralmente pelas seguintes partes: bombeamento, tubulação e acessórios (transporte) e aspersores ou sprays (distribuição). Tradicionalmente no Brasil, os sistemas de aspersão são projetados sem as unidades de tratamento da água, apesar da baixa qualidade da água superficial aqui utilizada, e também das unidades de automação e controle. Esse procedimento pode levar a sérios comprometimentos da durabilidade dos equipamentos e a uma eficiência de aplicação não apropriada a esse tipo de irrigação. A Figura 54 apresenta um esquema mostrando as principais partes de um sistema de irrigação por aspersão, que serão discutidas a seguir.

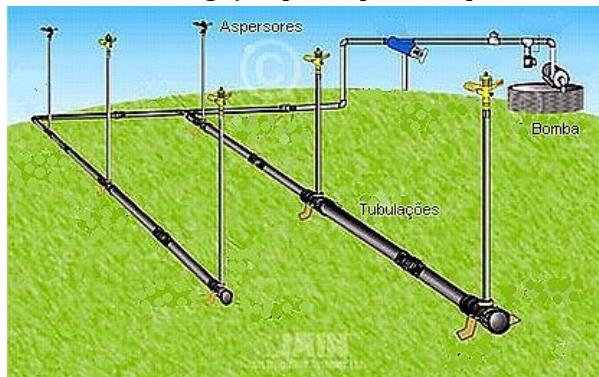


Figura 54: Esquema com as principais partes de um sistema de irrigação por aspersão (adaptado de JAIN, 2010).

Conjunto motobomba

O conjunto motobomba, formado por uma bomba centrífuga e um motor acionador, é responsável pela captação da água pela sua sucção, impulsionando-a sob pressão até os aspersores que devem atingir a pressão ideal de serviço para o seu funcionamento adequado. A motobomba deve ser corretamente instalada, atendendo os padrões exigidos de proteção e segurança (Figura 55).

As motobombas podem ser alimentadas por diferentes fontes de energia, sendo as mais utilizadas: energia elétrica e motores de combustão, principalmente motor a diesel (Figura 56). Como as fontes de águas mais utilizadas no Brasil são as superficiais (rios, lagos, barragens, etc.), as bombas centrífugas de eixo horizontal predominam em sistemas de irrigação por aspersão. Essas bombas podem ser fixas ou estacionárias ou móveis, montadas em carretas (Figura 56).

Os sistemas de bombeamento devem ser dimensionados atendendo uma combinação de rotação entre o motor e a bomba de forma a proporcionar a vazão e a pressão correta para o funcionamento eficiente do sistema de irrigação. A escolha do sistema motobomba correto é de fundamental importância para o funcionamento de todo o sistema de aspersão, devendo

ser adequada às condições de operação e proporcionar o menor custo operacional ao agricultor.



Figura 55: Casa de motobomba movida à energia elétrica em propriedade rural.



Figura 56: Exemplos de sistemas motobombas: móvel a óleo diesel (esquerda) e fixa e elétrica (direita).

Tubulações e acessórios

São responsáveis pela condução da água desde a motobomba até os aspersores no campo. Existem vários tipos de tubulações fabricadas de diversos materiais, e podem ser classificadas de acordo com a sua finalidade (TESTEZLAF e MATSURA, 2015). As tubulações responsáveis pela condução da água do conjunto motobomba até o sistema de irrigação pode ser chamada de tubulações de recalque ou linha principal. As tubulações que conduzem a água da linha principal até os aspersores são chamadas tubulações de distribuição ou linhas secundárias ou linhas laterais (Figura 54).

Os materiais mais utilizados na fabricação de tubulações (Figura 57) em sistemas de aspersão são:

- Metálicos: aço zinkado, alumínio, ferro fundido;
- Plásticos: PVC (cloreto de polivinila) e PE (polietileno).

As tubulações metálicas de irrigação possuem comprimento padrão de 6 metros, e o peso, a pressão de serviço admissível e a espessura de suas paredes variam com o diâmetro e o material de que são constituídos. Os acoplamentos utilizados nas tubulações devem, além de dar facilidade na operação, possibilitar alta flexibilidade no alinhamento da canalização permitindo um perfeito ajuste às condições topográficas e também possibilitando uma drenagem rápida da água contida em seu interior, quando a bomba é desligada, reduzindo a pressão e facilitando assim as mudanças de posição.



Figura 57: Tipos de tubulações: aço zinkado com conexão franjeada (esquerda) e PVC com conexão rosqueada (direita).

TESTEZLAF e MATSURA (2015) afirmam que o dimensionamento das tubulações em irrigação consiste escolher corretamente o material da tubulação e estimar o valor do diâmetro que otimize os valores de perdas de pressão e minimize os custos totais do empreendimento (custos fixos mais custos variáveis).

A escolha do material vai depender da função que a tubulação tem dentro do sistema e da avaliação econômica do projeto. Por exemplo: nas adutoras de pivô central pode-se utilizar o ferro fundido, o PVC e o aço zinkado, já nas linhas laterais de aspersão os materiais mais utilizados são o alumínio e o PVC (mais comum), pela leveza e facilidade de manuseio.

Aspersores

Os aspersores podem ser considerados o principal componente do sistema de irrigação, pois são responsáveis pela distribuição da água na superfície do terreno, sob a forma de precipitação. Durante a sua operação, o jato de água passa pelo bocal e é lançado para o ar em alta velocidade, fragmentando-se em gotas devido ao atrito entre o ar e o fluxo de água, precipitando na superfície do solo semelhante à chuva (Figura 58).



Figura 58: Detalhe da operação de um aspersor com dois bocais (Fonte: ANTUNES, 2006).

Na ausência de vento, o tamanho das gotas e seus padrões de distribuição dependem do projeto do bocal e dos mecanismos de fragmentação associada ao fluxo, à pressão de serviço do aspersor e a sua altura acima da superfície do solo. Na presença de vento, a sua velocidade e direção vão afetar os tamanhos de gotas e padrões de distribuição, determinando a intensidade da ocorrência das perdas de água por deriva, ou seja, água que cai fora da área irrigada, causando baixa uniformidade de distribuição e, consequentemente, baixa eficiência.

Um número variado de critérios pode ser utilizado para classificar um aspersor, entre eles é possível citar: tipo de movimentação do jato, magnitude da pressão de serviço, alcance

do jato, tamanho de gotas, ângulo de lançamento do jato de água, etc. A Tabela 3 apresenta os principais critérios de classificação de aspersores e suas principais características, sendo os mais importantes discutidos em seguida.

Tabela 3: Classificação de aspersores de acordo com diferentes critérios.

Critério	Classificação	Características
Movimento rotacional do jato	Estacionário ou fixo	Difusores ou sprays
	Rotativo	Impacto, reação e engrenagens
Pressão de Serviço	Muito baixa	$P_s < 100 \text{ kPa}$
	Baixa	$100 \text{ kPa} < P_s < 200 \text{ kPa}$
	Média	$200 \text{ kPa} < P_s < 400 \text{ kPa}$
	Alta	$P_s > 400 \text{ kPa}$ (Canhões)
Ângulo de inclinação do jato	Normal	Entre 25° e 35°
	Subcôpia	$< 7^\circ$
Ângulo de cobertura do jato	Círculo completo	360°
	Setorial	Ângulos $< 360^\circ$
Número de bocais	Um bocal	---
	Múltiplos bocais (> 1)	(> 1)
Local de instalação	Superfície	---
	Enterrados	Escamoteáveis (popup)

Um dos principais critérios de classificação de aspersores é o mecanismo pelo qual o aspersor se movimenta e fragmenta o jato, distribuindo sobre o solo. Nesse caso, o aspersor é classificado em dois tipos diferentes: estacionário ou fixo e rotativos.

No aspersor estacionário ou fixo, também conhecido como difusor ou spray, o círculo molhado é formado sem o movimento de rotação do jato, sendo a distribuição da água realizada com o jato defletindo em anteparos fixos. A Figura 59 apresenta um exemplo de spray utilizado em pivô central, onde é possível observar que o jato é fragmentado e distribuído pela sua deflexão ou espalhamento sobre um anteparo ou defletor ou placa espalhadora sem que haja movimento circular ou mecanismos de rotação do jato.



Figura 59: Exemplo de um spray utilizado em pivô central, classificado como fixo ou estacionário.

No caso do aspersor rotativo, a fragmentação do jato é realizada pelo seu movimento circular realizado por diferentes mecanismos e, às vezes, associado com a sua fragmentação em um anteparo. Os principais mecanismos ou princípios do movimento de rotação utilizados em aspersores rotativos são: reação, impacto e engrenagens.

- **Movimento por reação ou impulsão:** nesse processo o movimento de rotação é originado a partir do impulso ou força criada entre dois ou mais jatos horizontais

criados por bocais direcionados em sentidos opostos instalados em um tubo também horizontal, apoiados ao meio em um eixo vertical (Figura 60).



Figura 60: Exemplo de aspersores rotativos com princípio de rotação por reação utilizados na irrigação paisagística.

Uma nova geração de aspersores que utilizam o princípio da reação foi desenvolvida nas últimas décadas. Em 1980, a empresa americana Senninger apresentou um novo conceito de aspersor rotativo, denominado *wobbler*, que foi projetado com um sistema de anteparo excêntrico de ação rotativa que possui ranhuras na forma de espiral que cria o movimento de rotação quando o jato incide sobre ele e permite a formação de gotas de diferentes tamanhos ao longo de sua área de aplicação (Figura 61).



Figura 61: Detalhes do aspersor rotativo modelo *Wobbler* da marca Senninger, destacando o sistema excêntrico de rotação do anteparo (Fonte: SENNINGER, 2010).

A empresa americana Nelson desenvolveu um aspersor chamado de *rotator*, que além de rotacionar o anteparo de fragmentação das gotas pelo princípio da reação também possui um sistema de amortecimento de sua velocidade, permitindo a formação de gotas com boa distribuição ao longo de sua área de aplicação (Figura 62).



Figura 62: Aspersor rotativo da Marca Nelson, modelo *rotator*, com princípio de movimentação por reação (Fonte: NELSON, 2010).

- **Movimento por impacto:** A mecânica deste princípio de rotação baseia-se na força resultante do choque entre o defletor do balancim ou braço do aspersor, que oscila em um eixo vertical fixo, com o jato d'água que sai do bocal principal. Como o braço está conectado a uma mola presa ao corpo do aspersor, cria-se um movimento de “vai-e-vem”, caracterizando o movimento rotativo (Figura 63). Geralmente, um aspersor rotativo por impacto é constituído por: corpo do aspersor, braço oscilante, mola de impacto, defletor, mancal e bocal. Esse mecanismo de rotação para aspersores ainda é o mais difundido na irrigação, devido, entre outros motivos, às suas características de simplicidade, durabilidade e facilidade de manutenção.

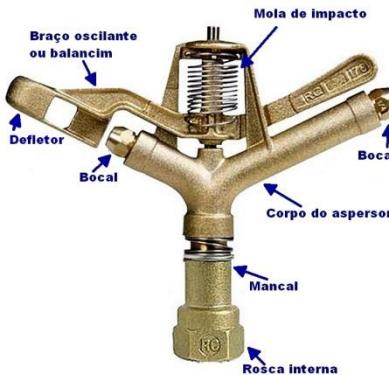


Figura 63: Detalhe de um aspersor rotativo por impacto com dois bocais e suas partes constituintes.

A Figura 64 mostra um aspersor rotativo que opera por impacto em operação no campo, evidenciado a sua forma de aplicação de água e o seu mecanismo de rotação.



Figura 64: Detalhe de aspersores de impacto em operação no campo (Fonte: ANTUNES, 2006).

- **Movimento por engrenagens:** Nesse sistema, a água passa por dentro de uma pequena turbina localizada no corpo do aspersor que movimenta um conjunto de engrenagens, que por sua vez rotaciona a parte superior do equipamento onde está o bocal de aplicação de água. Esses aspersores são utilizados em jardins e na irrigação de campos esportivos, e requerem boa qualidade de água, pois apresentam passagens internas de pequeno diâmetro no seu corpo.



Figura 65: Exemplo de aspersores tipo escamoteável (*popup*) acionados por engrenagens (Fonte: RAINBIRD, 2010).

Outra forma de classificar os aspersores é utilizando o nível de pressão de serviço ótimo para o seu funcionamento. A partir desse critério, os aspersores podem ser classificados nos seguintes grupos:

- **Aspersores de pressão de serviço muito baixa:** trabalham com pressão de serviço inferiores a 100 kPa (1kgf cm^{-2} ou 10mca), e possuem baixo alcance de jato ($< 6\text{m}$). São geralmente estacionários ou rotativos por reação e compreendem os tipos especiais de aspersores utilizados em cultivos em ambiente protegido, pomares, e jardins (Figura 66). Atualmente, existe a tendência da utilização de sprays de pressão muita baixa em pivô central.



Figura 66: Exemplo de aspersores de jardins que operam a pressões muito baixas.

- **Aspersores com pressão de serviço baixa:** trabalham com pressão de serviço entre 100 a 200 kPa (1 kgf cm^{-2} e 2 kgf cm^{-2}), com raio de alcance do jato entre 6 e 12m. São geralmente do tipo rotativo, movidos por impacto e usados, principalmente, para irrigar pomares (cultivo permanente) ou para pequenas áreas de cultivo.
- **Aspersores com pressão de serviço média:** trabalham com pressão de serviço entre 200 a 400 kPa (2 kgf cm^{-2} a 4 kgf cm^{-2}), com raio de alcance do jato entre 12 e 36 m. Constituem os tipos mais usados nos projetos de irrigação por aspersão e se adaptam às características de quase todos os tipos de solo e cultura (Figura 64).
- **Aspersores com pressão de serviço alta ou canhão hidráulico:** esses aspersores operam com pressões superiores a 400 kPa (4 kgf cm^{-2}), mas com dois modelos de alcance do jato: médio e de longo alcance. Os aspersores canhões de médio alcance possuem um raio de alcance entre 30 e 60m, trabalhando a pressões entre 400 kPa e 800 kPa (4 e 8 kgf cm^{-2}) e são usualmente utilizados para a irrigação de forragens, pastagens, cereais, cana-de-açúcar e pomares (Figura 67). Os aspersores canhões de

longo alcance possuem um raio de alcance entre 40 e 80 m, trabalhando a uma pressão de serviço entre 500 kPa e 1.000 kPa (5 e 10 kgf cm⁻²) sendo mais utilizados em sistemas autopropelidos ou de carretel enrolador.



Figura 67: Exemplo de um canhão de médio alcance em operação (Fonte: IRRIMAGRAN, 2010 e FABRIMAR, 2010).

Quando a irrigação é empregada em jardins ou em campos esportivos é necessária a utilização de sprays escamoteáveis, também denominados *popup*, que somente se elevam acima da superfície do solo quando estão pressurizados, e após o desligamento da motobomba voltam para o interior do solo, não prejudicando a prática desportiva ou a paisagem da área (Figura 68).



Figura 68: Spray escamoteável em operação quando pressurizado (Fonte: HERNANDEZ, 2010).

É importante salientar que os aspersores também podem ser fabricados para fornecer diferentes ângulos de cobertura do jato. A maioria dos aspersores está disponível para aplicar água no formato de um círculo completo ou com 360° de cobertura do jato. Entretanto, para a cobertura de áreas irregulares ou para cobrir extremidades das linhas laterais existem os aspersores setoriais que possuem dispositivos que permitem regular qualquer valor de ângulo circular e irrigar semicírculos ou setores do círculo (Figura 69).

Seleção do aspersor

Na escolha do tipo de aspersor a ser utilizado no sistema de irrigação por aspersão devem-se considerar alguns fatores como: cultura a ser irrigada, tipo de solo, qualidade da água, manejo da irrigação, condições desejadas na aplicação da água (pressão, vazão, horários), mão-de-obra, cálculos econômicos, entre outros. Adicionalmente, é preciso considerar as características do próprio aspersor como: eficiência de aplicação, coeficiente de uniformidade, intervalo de pressão e vazão no qual trabalha, distribuição da água em condições de vento, etc.



Figura 69: Exemplo de aspersor setorial utilizado no campo (Fonte: TRADEINDIA, 2010).

Na seleção dos aspersores devem-se utilizar as tabelas fornecidas pelos fabricantes, que devem apresentar as características e especificações de cada modelo de aspersor, como por exemplo: o diâmetro dos bocais (mm), a pressão de serviço (mca), diâmetro de alcance (m), vazão ($m^3 h^{-1}$ ou $L h^{-1}$) e a intensidade de aplicação ou precipitação ($mm h^{-1}$). Os valores de precipitação fornecidos por essas tabelas são específicos para cada condição de operação do aspersor, ou seja, disposição dos aspersores no campo ou espaçamento adotado, e valores de pressão e vazão selecionados (Tabela 4).

Tabela 4: Tabela das características operacionais do aspersor modelo IS30, da marca Agropolo (Fonte: AGROPOLO, 2010).

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL (mm)	CÓDIGO	PRESSÃO (mca)	DIÂMETRO ALCANCE (m)	ALTURA MÁXIMA DO JATO (m3/h)	VAZÃO (m3/h)	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)			
						6X12	12X12	12X18	18X18
3,0 X 3,0									
	2881 - ER	25	27	3,40	1,067	14,81	7,41	4,94	3,29
	2894 - ERL	30	29	3,70	1,168	16,23	8,11	5,41	3,61
Longo Preto									
4,0 X 3,0									
	2882 - ER	25	30	3,60	1,489	20,67	10,34	6,89	4,59
	2895 - ERL	30	30	3,90	1,631	22,65	11,32	7,55	5,03
	2882 - ER	35	31	4,10	1,761	24,46	12,23	8,15	5,44
	2895 - ERL	40	32	4,30	1,883	26,15	13,08	8,72	5,81
Longo Amarelo									

Exemplificando o uso da Tabela 4, é possível afirmar que o aspersor modelo IS 30 possui dois bocais, sendo fabricado com dois jogos de diâmetros de bocais (3,0 x 3,0 e 4,0,x 3,0 mm), operando no intervalo de pressão de serviço de 250 a 400 kPa (25 a 40 mca) e fornecendo vazões na faixa de 1 a 1,9 $m^3 h^{-1}$, com diâmetro de alcance do jato variando entre 27m e 32m. O lado direito da Tabela 4 fornece os valores de precipitação ou intensidade de aplicação em $mm h^{-1}$, para diferentes espaçamentos entre aspersores e linhas. Por exemplo: o conjunto de bocais de 3,0 x 3,0 mm (destaque em vermelho) a uma pressão de 300 kPa (30 mca) fornece uma vazão de 1,17 $m^3 h^{-1}$ e tem uma precipitação de 5,4 $mm h^{-1}$, para um espaçamento entre aspersores de 12 m e entre linhas laterais de 18m. A partir dos valores das características operacionais dos aspersores fornecidos pelos fabricantes é possível selecionar aquele que atende as condições da propriedade.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM LINHAS LATERAIS

Nesse tipo de sistema de irrigação, um determinado número de aspersores é instalado em tubulações metálicas, geralmente alumínio ou aço zinado ou plásticas (PVC ou PE), com comprimento definido pelo manejo de irrigação adotado para a área. O número de aspersores é estimado pela relação entre o comprimento da linha lateral e o espaçamento adotado entre aspersores. Essas tubulações de distribuição podem operar fixas ou se movendo ao longo da área irrigada, seja manual ou mecanicamente.

LINHAS LATERAIS FIXAS COM ASPERSORES

No sistema fixo ou permanente de aspersão, toda a área de cultivo é coberta por tubulações e aspersores, permitindo a sua irrigação sem que haja a necessidade de mudanças de posição das tubulações. A Figura 70 apresenta um exemplo de um sistema de aspersão permanente em operação no campo.



Figura 70: Sistema de irrigação por aspersão com linhas laterais fixas em operação (Fonte: ANTUNES, 2006).

Existem diferentes configurações para a instalação de tubulações nesse tipo de sistema. Desde aquelas que apresentam todas as tubulações enterradas com os registros e hastes de aspersores aparecendo na superfície do terreno, até outros onde todas as tubulações são superficiais.

Por fazer a cobertura de toda área de cultivo, os sistemas permanentes de aspersão necessitam de investimento inicial maior quando comparado aos sistemas portáteis. Esse investimento é parcialmente compensado pela redução da mão-de-obra que seria empregada na sua movimentação. Dessa forma, o uso dos sistemas fixos é recomendado em regiões onde a mão de obra é escassa e/ou de custo elevado e, principalmente em produções com alto valor agregado, o que permitiria o aumento de investimento. O cultivo que mais utiliza esse sistema atualmente é o de hortaliças em cinturões verdes de grandes cidades, atividade realizada por pequenas propriedades com exploração familiar (Figura 71).



Figura 71: Exemplo do emprego da aspersão fixa na cultura da alface.

Apesar de existirem diferentes formas de manejo, os sistemas permanentes são, geralmente, operados nas seguintes formas:

- Aplicação de água simultaneamente em toda a área.
- Operação por setores de irrigação dentro de uma sequência pré-definida.

A divisão da área para ser irrigada por setores permite reduzir os requerimentos de água do sistema, reduzindo a vazão, o diâmetro das tubulações e a potência instalada do sistema motobomba.

LINHAS LATERAIS FIXAS COM MANGUEIRAS PERFORADAS

Um sistema de aplicação de água que tem encontrado aceitação entre agricultores, principalmente da região Nordeste do Brasil, e também por produtores de café, é a fita de polietileno perfurada. Esse sistema é constituído de tubos de polietileno linear de baixa densidade, com diâmetro de 28 mm e espessura da parede da tubulação de 0,20 mm (200 micra), que operam a pressão de serviço de 0,2 a 0,8 kgf cm⁻² (SANTENO, 2010). A água é aplicada por furos com diâmetros de 0,03 mm, perfurados a laser, com espaçamentos variando entre 0,15 e 1,05 m (Figura 72).



Figura 72: Cultura do café irrigada por mangueiras de paredes delgadas perfuradas (Fonte: SANTENO, 2010).

Esse sistema é utilizado em diferentes culturas, como: frutas, hortaliças, culturas perenes, etc. Segundo SANTENO (2010), essas tubulações perfuradas podem produzir, para um espaçamento de furos de 0,15 m, uma vazão de $7,8 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para uma pressão de 20 kPa ($0,2 \text{ kgf cm}^{-2}$) ou de $20,4 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para uma pressão de 80 kPa ($0,8 \text{ kgf cm}^{-2}$). Por funcionar a baixas vazões e pressões essas mangueiras tem o potencial para requerer baixas potências de bombeamento, podendo operar por gravidade em casos favoráveis de topografia e de localização da fonte de água. O alcance máximo lateral por furo é de 2,5 m (a pressão de $0,8 \text{ kgf cm}^{-2}$), requerendo que o espaçamento entre linhas laterais seja criteriosamente definido de acordo com o espaçamento da cultura irrigada. Como esse sistema aplica a água a alturas de jato de até 1,8 m está sujeito a perdas de água por deriva por ação de ventos, assim como, por evaporação das gotas de menor diâmetro (SANTENO, 2010).

Apesar de operar a baixas vazões e pressões e apresentar uma área de aplicação inferior a aspersores de baixa pressão, optou-se por classificar o sistema de mangueiras perfuradas dentro do método de aspersão por aplicar a água sobre a planta e o solo e estar sujeito às perdas de água características da aspersão.

LINHAS LATERAIS MÓVEIS OU PORTÁTEIS

No sistema portátil de aspersão, também conhecido como sistema de aspersão convencional, tanto a tubulação principal como as linhas laterais com os aspersores são transportados de local de funcionamento após cada irrigação. Este método é hoje o mais

utilizado no Brasil, devido ao baixo custo inicial, porém requer maior quantidade de mão-de-obra no seu manejo quando comparado ao sistema fixo. A Figura 73 exemplifica o ato de irrigar uma cultura utilizando o sistema de irrigação por aspersão convencional.



Figura 73: Vista de um sistema de irrigação por aspersão convencional com duas linhas em operação.

O esquema de movimentação das linhas laterais a partir de hidrantes instalados na linha principal nos sistemas portáteis é definido no projeto da área a ser irrigada e depende da sua geometria. Essa movimentação pode ser realizada com uma ou mais linhas laterais operando simultaneamente e circulando na mesma direção, ou em movimento alternado e rotativo sobre a linha principal (Figura 74).



Figura 74: Esquema de movimentação alternada e rotativa em um sistema móvel de aspersão (Fonte: NÚCLEO DE FRUTICULTURA, 2016).

A movimentação alternada e rotativa, apresentada esquematicamente na Figura 74, pode trazer algumas vantagens, como: redução da vazão e pressão de projeto na motobomba, diminuição do diâmetro das tubulações em relação aos sistemas de movimentação simultânea para uma mesma precipitação de água desejada. Isto ocorre devido à redução do valor de vazão requerido nas diversas posições da lateral, evitando-se o dimensionamento das tubulações para maiores valores de pressão e vazão que ocorre no sistema de movimentação simultâneo, principalmente, quando as linhas laterais encontram-se na extremidade da linha principal.

LINHAS LATERAIS COM ASPERSORES MÓVEIS OU DISTRIBUIÇÃO EM MALHA

Um sistema que se popularizou na irrigação de pastagens, principalmente em pequenas propriedades é o sistema de aspersão com distribuição na forma de malha. Nesse

sistema, as tubulações das linhas laterais, de derivação e principal são fixas e enterradas, com os aspersores operando individualmente e mudando de posição dentro da área a ser irrigada. Além das tubulações serem enterradas, o sistema exige a conexão entre duas linhas laterais adjacentes pela extremidade final, utilizando uma tubulação e duas curvas, formando um par de linhas laterais interligadas, de onde vem a denominação de irrigação por malha (Figura 75).

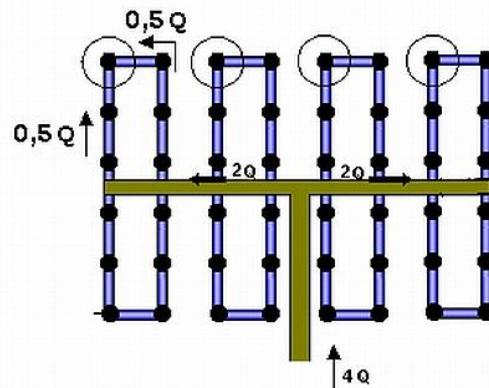


Figura 75: Diagrama do sistema de irrigação com distribuição por malha (Fonte: Adaptado de DRUMOND & FERNANDES, 2001).

Na Figura 75 é apresentado um esquema de operação do sistema em malha, onde se observa que em cada malha ou par de laterais funciona apenas um aspersor, cujo tubo de subida é fixado numa estaca (Figura 76). Dessa forma, a água vai chegar ao aspersor por tubulações distintas, com cada uma transportando metade do valor da vazão do aspersor. Como a vazão é reduzida, as tubulações podem ter diâmetros menores, diminuindo o custo do projeto para uma mesma área quando comparado com laterais móveis que necessita de mudança tanto dos aspersores quanto das linhas laterais. Consequentemente, ocorre uma redução significativa da mão-de-obra requerida na operação do sistema.



Figura 76: Irrigação em malha em pastagem (Fonte: GPID, 2016).

O sistema de irrigação por aspersão com distribuição em malha possui algumas vantagens como: baixo custo operacional pela redução do consumo de energia, redução no investimento inicial por utilizar tubos de PVC de baixo diâmetro; possibilidade para aplicação de fertirrigação; facilidade de operação e manutenção e possibilitando a divisão da área em subáreas ou piquetes. Apesar de esse sistema estar sendo utilizado principalmente com pastagens em pequenas propriedades, ele tem o potencial para utilização em outras culturas, como: café e cana de açúcar.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM LINHAS LATERAIS MECANIZADAS

PIVÔ CENTRAL

A tecnologia de irrigação por aspersão começou a ter o seu maior impulso a partir da II Guerra Mundial, com o desenvolvimento dos aspersores rotativos e da disponibilidade de tubos de alumínio, razoavelmente mais baratos naquele momento. Por volta de 1950, buscando uma solução para substituir todo trabalho braçal requerido nos sistemas de aspersão portáteis, Frank Zybach inventou, no Estado de Nebraska (EUA), o primeiro sistema de pivô central, que foi patenteado em 1952 e com início da produção comercial em 1953 (Figura 77). Originalmente, o acionamento desse pivô era realizado por mecanismos de pistões movidos hidráulicamente.

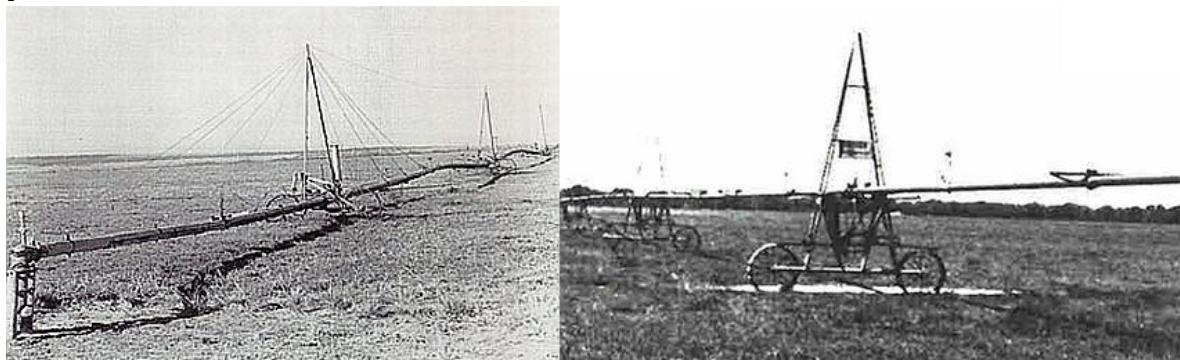


Figura 77: Fotografia do primeiro pivô e detalhe da torre, com funcionamento hidráulico.

O pivô central é basicamente uma linha lateral de aspersão montada sobre um sistema de treliças e mantida a uma determinada altura do solo por torres de sustentação equipadas com rodas, que se movimentam ao redor de uma torre central ancorada. O comprimento dessa linha lateral se transforma no raio de uma área circular irrigada pelo sistema (Figura 78).



Figura 78: Imagem aérea de propriedade agrícola com cultivo sob pivô central (Fonte: Valmont, 2010).

Os primeiros pivôs foram projetados para ajustar-se ao terreno devido à capacidade da tubulação de fletir entre as torres. Posteriormente, o desenvolvimento de juntas flexíveis, colocadas em cada torre, permitiu ao sistema adequar-se melhor às várias condições de terreno. Os desenvolvimentos tecnológicos implantados no sistema de pivô central permitiram atingir a automação de todo o processo de irrigação com esse equipamento.

A rápida aceitação desse sistema pelo produtor se deve a vários fatores, dentre os quais se podem citar: a redução dos requerimentos de mão de obra para irrigar grandes áreas, operação simples do equipamento, possibilidade de aplicação de produtos químicos e fertilizantes via água de irrigação, adaptabilidade de operação do equipamento em terrenos ondulados e declivosos (até 20%) e possibilidade técnica de se atingir altas eficiências e

uniformidade de distribuição de água. Esses benefícios fazem do pivô central o sistema de irrigação automatizado mais utilizado na atualidade em todo o mundo.

Levantamento nacional realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) identificou em 2014 um número de 19.892 pivôs centrais, ocupando 1,275 milhão de hectares. De acordo com esse estudo, houve um crescimento de 43,3% da área equipada por pivôs em relação aos dados apresentados no Censo Agropecuário de 2006 que levantou 893 mil hectares (IBGE, 2009). Entretanto, segundo a ABIMAQ/CSEI (2015), apesar do crescimento anual contínuo, o acréscimo anual de área irrigada por pivôs país vem diminuído a partir de 2013, sendo que de 2015 ocorreu uma redução de 23,5% em comparação a 2014.

De acordo com o Censo de Irrigação dos EUA em 2008 (USDA, 2008), um total de 23 milhões de hectares era irrigado nesse país. Desse total, 12,5 milhões eram irrigados por aspersão (54%), sendo que aproximadamente 10,4 milhões de hectares eram irrigados por pivô central, constituindo 83 % desse total. Adicionalmente, esse censo mostrou que da área irrigada por pivô central 51,3% utilizavam equipamentos operando com aspersores de baixas pressões (menores que 140 kPa), 42,5 % com média pressão (maiores que 140 kPa e menores que 410 kPa) e 6,2% com alta pressão (maiores que 420 kPa). As estatísticas mostram a importância da aspersão como método de irrigação utilizado e confirma a contribuição significativa do sistema de pivô central, orientado para a utilização de sistemas de baixa pressão, pela questão econômica e energética.

Características e partes do pivô

A Figura 79 mostra um esquema da vista lateral do pivô, salientando as suas principais partes. Para o entendimento de como o sistema funciona, serão caracterizadas as seguintes partes: torre central, caixa de controle, anel coletor, tubulação de distribuição, torres móveis, conjunto moto-redutor, junta flexível, lance final em balanço e canhão final.

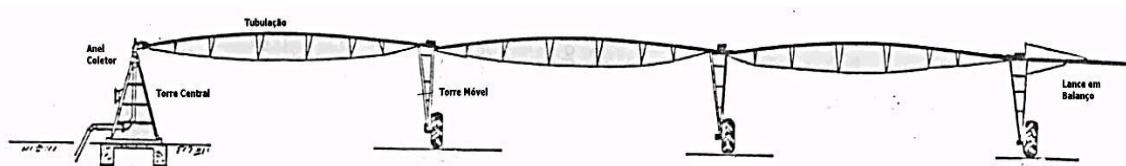


Figura 79: Vista lateral esquemática de um pivô central salientando partes do equipamento.

Torre Central Fixa

A torre central está localizada no centro da área circular irrigada e é onde toda estrutura móvel está ancorada. Sua forma é piramidal de base quadrada, sendo a sua estrutura construída normalmente de cantoneiras ou perfis em "L" de aço zinkado (Figura 80). Ela pode ser fixa, na maioria das situações, ou móvel quando o pivô for do tipo rebocável, permitindo a movimentação de todo o equipamento dentro da propriedade.

A estrutura da torre central e sua ancoragem deve ser projetada de forma adequada, pois ela é submetida a esforços consideráveis no momento em que a tubulação de distribuição executa o movimento circular juntamente com o bombeamento da água através da tubulação. Portanto, é necessário que a torre central seja instalada sobre uma base de concreto armado, tendo, geralmente, uma área da base de aproximadamente 3,0 x 3,0 m e o volume do bloco de 9,0 m³. No caso de pivôs rebocáveis, a torre central possui rodas para viabilizar a sua movimentação, devendo, mesmo assim, apresentar um sistema de ancoragem que tolere os esforços que atuam sobre a sua estrutura.

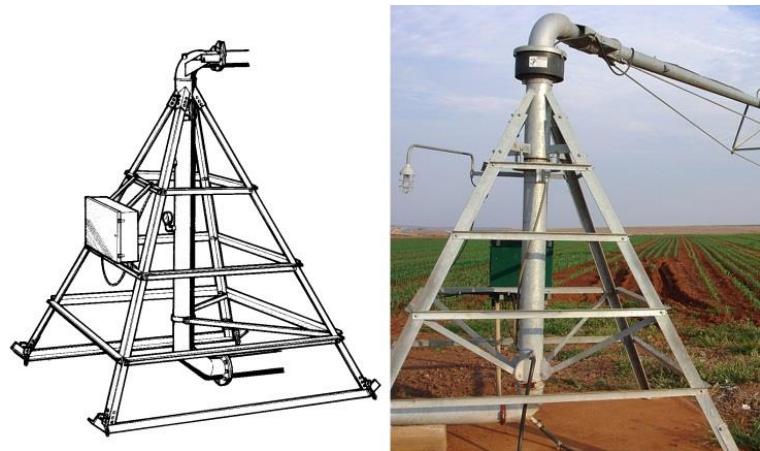


Figura 80: Modelo de torre central de um pivô central (Fonte: Lindsay, 2010).

Caixa de Controle

É a caixa onde está localizado o comando central elétrico do sistema. Está montada na torre central, sendo construído em armário à prova de variações climáticas. Por meio dos controles elétricos, mecânicos ou eletrônicos aí dispostos, o agricultor pode controlar o avanço e retrocesso do pivô, o tempo necessário para completar uma volta, injeção de fertilizantes e a operação do sistema motobomba (Figura 81).



Figura 81: Modelo de caixa de controle instalada na torre central de um pivô.

A caixa ou painel de controle contem: chave geral, que permite ligar e desligar a conexão elétrica, a chave de partida, que possibilita ligar o pivô para frente ou em reversão, voltímetro, horímetro (registra o tempo de uso do equipamento), o relê percentual, que regula a velocidade do sistema em valores percentuais da máxima velocidade do equipamento, e, quando existir, o monitoramento da aplicação de fertilizantes ou agroquímicos.

Anel Coletor

Como o cabo de alimentação da energia sai da torre central para alimentar as torres móveis, é preciso ter um sistema que permita a transferência dessa energia elétrica sem que o cabo enrole ao longo da tubulação devido a sua movimentação circular. O anel coletor tem essa função, existindo basicamente dois sistemas distintos de anéis coletores, um onde o cabo elétrico de alimentação é conectado diretamente no anel e passa externamente à tubulação do pivô sem interferir no fluxo de água e outro onde o cabo passa internamente à tubulação indo se conectar ao anel internamente (Figura 82).



Figura 82: Dois modelos de anel coletor utilizados em pivô: cabo externo à tubulação (esquerda) e interno (direita) (Fonte: LINDSAY, 2010 e VALMONT, 2010).

Tubulação de Distribuição

A tubulação de distribuição ou linha lateral onde aspersores ou sprays são instalados é constituída geralmente por tubos de aço zinado com 6 metros de comprimento e diâmetros variando geralmente entre 100 e 250 mm (4" e 10"), sendo os mais usados os diâmetros de 168 e 200 mm (6½" e 8"). Os vãos entre torres são formados por um número específico de tubos, sendo que quanto mais plano for o terreno, maior é o número de tubulações que podem ser utilizadas. Assim, em terrenos com até 5% de declividade podem ser utilizados vãos com até 9 tubos, enquanto terrenos mais declivosos na ordem de 15 a 20 % exigem vãos com até 6 tubos, determinando assim o comprimento do vão entre torres.



Figura 83: Detalhe da tubulação de aço zinado com conexões franjeadas.

A tubulação de distribuição se mantém suspensa por meio de um sistema de torres móveis e suportadas por treliças e tirantes. Geralmente a altura livre sob a estrutura é igual a 2,70 m para culturas normais ou 3,70 m para culturas de porte elevado (por ex.: cana de açúcar). Os sprays são instalados na tubulação de distribuição por meio de pendurais que são tubos de metal ou mangueiras plásticas, espaçados geralmente de distâncias múltiplas de 2,0 metros.

Torres Móveis (unidades propulsoras)

As torres móveis sustentam todo o conjunto de tubulações de distribuição com os sprays. Elas estão distanciadas entre 25 m e 70 m (em média 39 m), ao longo da linha lateral, dependendo do número de tubos que constituem o vão. São equipadas com pneus tipo trator de banda de rodagem larga, motorredutor, caixa de controle da torre, sistema de cardã e redutores de roda (Figura 84).



Figura 84: Exemplo de torre móvel de pivô central, com destaque para as suas partes constituintes e o sistema de movimentação das rodas.

Conjunto motorredutor

A movimentação de cada torre é realizada pelo acionamento elétrico de um motorredutor com engrenagens para serviço pesado, acionado por motor elétrico blindado com potências de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 ou $1\frac{1}{2}$ CV, alimentados, geralmente, com voltagem de 480 V. O torque é transmitido dos motorredutores aos redutores de rosca sem fim das rodas por eixos cardãs (Figura 85).



Figura 85: Detalhe do conjunto de motorredução da torre móvel (esquerda) com detalhes da transmissão de movimento por eixo cardã para o redutor de roda (direita).

Junta articulada ou flexível

A união entre dois lances de torres é feita por juntas flexíveis articuladas de borracha que deve permitir movimentos em qualquer direção e evitar a transmissão de esforços às torres subsequentes, evitando que elas possam tombar num movimento de reação no caso de algum problema de desalinhamento do equipamento (Figura 86).

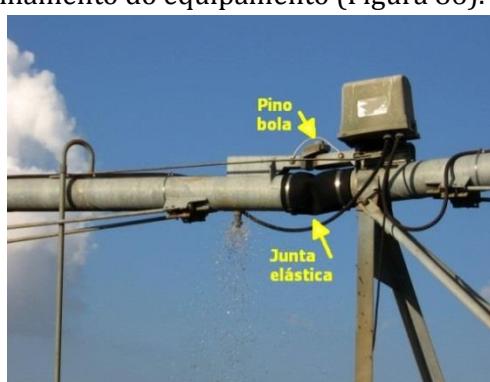


Figura 86: Vista da junta flexível entre dois lances de um pivô.

Na conexão entre as tubulações das torres móveis existe também um sistema de segurança do tipo pino bola (Figura 86) que permite a movimentação da estrutura em todas as direções, assim como, o movimento rotacional sem nenhum esforço sobre as tubulações, assegurando maior vida útil às tubulações garantindo maior durabilidade e flexibilidade.

Lance Final em balanço

Após a última torre, a tubulação do pivô é prolongada utilizando um lance em balanço, que é sustentado por cabos de aço conectados a ultima torre. O objetivo desse lance adicional é aumentar a área irrigada (Figura 87).



Figura 87: Lance final do pivô em balanço com canhão final.

Canhão Final

Com o objetivo de incrementar a área irrigada no anel externo do pivô é possível instalar no final do lance em balanço, um canhão hidráulico com dispositivo setorial (Figura 88). Para pivôs que utilizam baixa pressão é necessário empregar uma bomba “booster”, normalmente instalada na ultima torre, para pressurizar o canhão final.

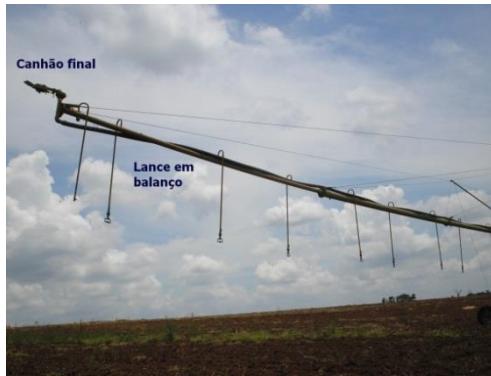


Figura 88: Detalhe de um canhão final no lance em balanço do pivô.

Conjunto de Aplicação de Água

Os primeiros pivôs centrais foram projetados para operar com aspersores rotativos de impacto para a aplicação de água, que eram instalados na parte superior da tubulação (Figura 89). Esse tipo de pivô apresentava duas limitações na sua operação:

- Operavam a pressões superiores a 200 kPa ($2 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$), determinando a necessidade de se ter pressões elevadas na torre central ($> 500 \text{ kPa}$ ou $5 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$), acarretando em um sistema de bombeamento com alta potência e elevado custo operacional;
- A altura de instalação dos aspersores aumentava as perdas por deriva pelo vento, reduzindo a eficiência e a uniformidade de distribuição.



Figura 89: Pivô central operando com aspersores rotativos de impacto instalados na parte de cima da tubulação principal.

A alternativa encontrada para resolver esses dois problemas foi o desenvolvimento de novos tipos de emissores de forma a operar com menores pressões de serviço, alterar o local de sua instalação e trazê-los mais perto da cultura. Dessa forma, se iniciou a utilização de sprays fixos com reguladores de pressão instalados no prolongamento de tubulações plásticas ou de metal denominadas pendurais, que tem a forma de cabo de guarda-chuva e permitiu a aplicação de água mais próxima da cultura (Figura 90).



Figura 90: Pivô central com sprays instalados em pendurais plásticos acima da cultura.

A Figura 91 mostra um esquema da evolução que ocorreu tanto no tipo de emissor quanto do seu local de operação em pivôs centrais.

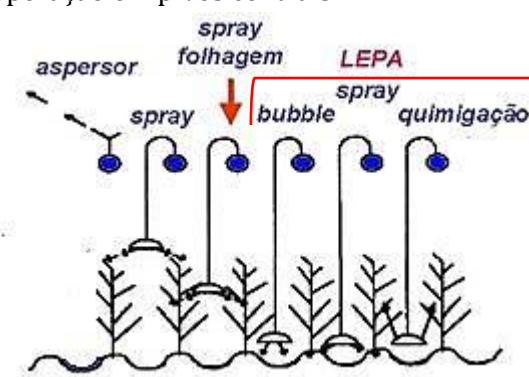


Figura 91: Esquema comparativo dos tipos de emissores utilizados em pivôs e os correspondentes locais de instalação.

A partir do lado esquerdo da Figura 91, começando com o aspersor de impacto instalado na parte superior da tubulação até o lado direito com os sprays tipo LEPA (*Low Energy Precision Application*), desenvolvido pela empresa americana SENNINGER (2010), instalados próximo ao solo. Esse esquema evidencia como essas mudanças tecnológicas contribuíram para a redução dos tipos de perdas de água que podem ocorrer em cada tipo de

emissor e posição de operação. Conforme o tipo de emissor era modificado operando a pressões mais baixas e a sua posição ficando mais próxima do solo, as perdas de água foram reduzidas, aumentando a eficiência de aplicação do sistema e reduzindo o seu consumo de energia.

A Figura 92 exemplifica a utilização dos sprays tipo LEPA (*Low Energy Precision Application*), em três pivôs com configurações do conjunto de aplicação de água próximo do solo.



Figura 92: Três tipos de pivô operando a baixas pressões e com aplicação próxima do solo.

Operação do Sistema

A Figura 93 apresenta um esquema da instalação de um sistema de pivô central em campo com as suas partes constituintes. O funcionamento do pivô está condicionado a existência de uma fonte de água com disponibilidade suficiente para atender a demanda do sistema e uma fonte de alimentação elétrica, pois a movimentação das torres é realizada por acionamento elétrico de motorredutores.

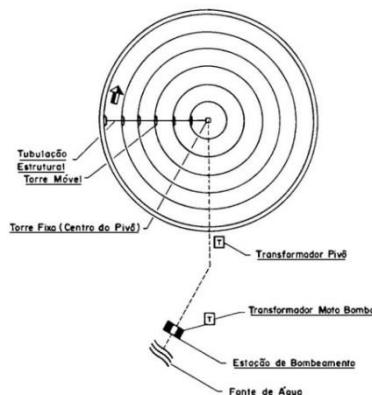


Figura 93: Esquema da instalação de um pivô central em campo.

A propulsão do pivô central é elétrica, operando a uma tensão especial de 480 V (ou 440 V), trifásico, 60 Hz, o que torna sempre necessário a aquisição de um transformador. Toda alimentação do pivô é feita por cabos elétricos devidamente projetados e enterrados a partir do transformador até a torre central.

A velocidade de rotação de cada torre e do avanço da linha de distribuição é determinada pela velocidade da torre externa, que é regulada na caixa central de controle pelo relé percentual (percentímetro). Os valores percentuais do percentímetro indicam a relação de tempo ligado e desligado do motor da última torre. Por exemplo, um valor de 50% no relé percentual indica que a última torre se movimentará por um período de tempo (30 segundos, por exemplo), cujo valor depende do fabricante e ficará parada pelo mesmo espaço de tempo. Ao iniciar o seu movimento, a ultima torre provoca um desalinhamento com relação à penúltima torre que vai estar desligada. Quando o ângulo de desalinhamento entre essas torres ultrapassar um determinado valor, em geral 6°, a penúltima torre iniciará o seu

movimento. Dessa forma, o movimento da última torre desencadeará uma reação de avanço a partir do anel externo do pivô, progredindo para o centro. A velocidade e o perfeito alinhamento das demais torres são comandados pelas caixas de controles individuais de cada torre, que possuem micro interruptores de alta sensibilidade (Figura 94). Se o sistema de alinhamento falhar e alguma unidade desalinhado excessivamente, um dispositivo de segurança é acionado e o sistema para automaticamente.

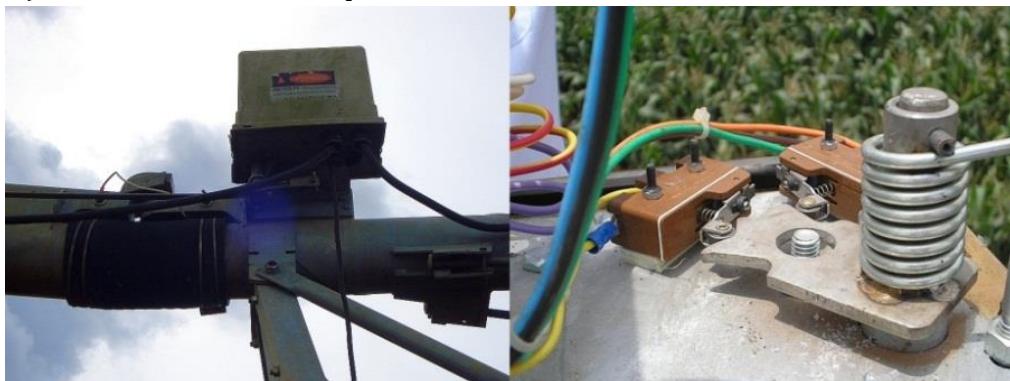


Figura 94: Vista da caixa de controle das torres móveis e dos micro interruptores.

Em função de sua operação circular, a área irrigada pelo pivô aumenta 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, a vazão dos emissores deve aumentar proporcionalmente para incrementar a precipitação ou intensidade de aplicação para as posições cada vez mais externa do anel circular. Assim, a água deve ser aplicada ao solo a uma baixa precipitação perto do pivô (centro), tornando-se progressivamente alta quando caminhamos para a extremidade externa.

Para atender essa condição de variação de precipitação é possível trabalhar com três variações de arranjos de aspersores e espaçamentos ao longo da lateral para uniformizar a distribuição da água.

- Sistema com espaçamento constante entre aspersores: Os aspersores são espaçados de modo uniforme ao longo da lateral, aumentando gradativamente os diâmetros dos bocais em direção à extremidade externa do pivô.
- Sistema com espaçamento variado: Os sprays, normalmente de baixa ou média pressão, são instalados com redução progressiva do espaçamento entre eles, a partir do ponto central do pivô para a extremidade externa.
- Sistema combinado: Os sprays, geralmente de baixa pressão, são espaçados uniformemente ou não ao longo da tubulação, com aumento gradativo dos diâmetros dos bocais.

O fato dos sistemas de pivô central requerer o maior volume de água no fim da linha lateral vai resultar em elevada perda de carga ao longo da tubulação, resultando em variações significativas de pressão em cada ponto de instalação do emissor. Essa condição exige que se considere no projeto a instalação de reguladores de pressão em cada emissor (Figura 95) de forma a garantir pressão constante de operação, independente de sua posição ao longo da linha e da variação de pressão causada pela topografia irregular, quando isso acontecer.



Figura 95: Exemplo de emprego de reguladores de pressão em emissores de pivô central.

O sistema de irrigação por pivô central apresenta vantagens e limitações em relação ao sistema de aspersão convencional. Estas vantagens eliminam muitas dificuldades mecânicas e problemas operacionais associados a outros tipos de equipamentos autopropelidos. As principais vantagens são:

- A condução de água é simplificada pelo uso de um ponto estacionário único de entrada da água na área de projeto;
- A orientação e alinhamento do sistema são controlados pelo ponto central do pivô;
- O sistema tem potencial para fornecer elevados valores de uniformidade de aplicação;
- Após completar uma irrigação, o sistema estará posicionado para o início de uma nova irrigação;
- O manejo da irrigação é facilitado pela possibilidade de controlar a lâmina d'água aplicada;
- Possibilita a aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos na água de irrigação;
- Sua flexibilidade de operação auxilia no desenvolvimento de esquemas de uso da rede elétrica, evitando horários de pico.
- Possibilidade de aplicação da lâmina d'água na intensidade de aplicação desejada, o que representa uma grande vantagem quando se irriga solos arenosos ou mesmo argilosos;
- Baixa demanda de mão-de-obra na operação do sistema.

Há, no entanto, certas limitações no seu uso, dos quais se pode citar:

- Como o sistema cobre áreas circulares, deixa sempre vértices ou cantos entre os pivôs sem cobertura. Considerando-se o ponto do pivô de uma área quadrada de 64,8 ha, somente 50,3 ha poderão ser irrigados. Isto representa 20% de área não irrigada a não ser que se instalem equipamentos especiais, os quais aumentam consideravelmente o custo e a complexidade do sistema;
- A intensidade de aplicação de água na extremidade da lateral pode atingir valores superiores a 200 mm h^{-1} , dependendo da configuração dos aspersores;
- Para reduzir ou eliminar problemas de escoamento superficial associados a estas altas taxas de aplicação de água, é possível utilizar irrigações mais frequentes com menores lâminas. Assim, pode ser necessário operar o sistema em mais de uma revolução por dia, o que pode não ser ideal para a cultura ou para o uso eficiente da água e energia;

- Pode existir grande diferença de nível entre as posições do fim da lateral à medida que o sistema se movimenta, resultando em elevada variação na vazão devido à topografia do terreno.
- Custo elevado de implantação quando comparado a outros sistemas de irrigação por aspersão.

Pivô Rebocável

Para aumentar a utilização dos equipamentos de pivô central, reduzindo o custo por hectare irrigado para o produtor, foram desenvolvidos pivôs que podem ser movimentados entre campos adjacentes de cultivo utilizando tratores, e que foram denominados pivôs rebocáveis (Figura 96).



Figura 96: Detalhe de um pivô rebocável sendo transportado entre áreas irrigadas. (Fonte: FOCKINK, 2010)

O pivô rebocável pode ser extremamente útil dentro de um programa anual de rotação de culturas, onde a sua movimentação irá acontecer uma ou duas vezes por ano, e sendo adequados para aplicação de lâminas suplementares de irrigação. Dessa forma, devem ser projetados para atender a maior área irrigada, requerendo que a sua capacidade operacional seja ampliada para atender essa condição e compensar o tempo gasto na movimentação do equipamento de uma área para outra, quando não é possível irrigar.

Uma das limitações desse tipo de equipamento é que durante os períodos de pico da demanda de água da cultura, o manejo pode requerer circulação diária do equipamento em solos de textura leves para culturas com raiz superficial, dificultando o atendimento das demandas de água das culturas, e podendo levar ao stress hídrico. Este movimento frequente do equipamento pode significar também um tempo relevante sem irrigação, o que pode aumentar os custos de mão de obra e reduzir a capacidade de sistema em cobrir todas as áreas irrigadas.

Para que os pivôs possam ser transportados é preciso permitir a movimentação da torre central e das torres móveis. Dessa forma a torre central é construída sobre rodas (duas, três ou quatro), possuindo um sistema pivotante, que permite girar e colocar as rodas no sentido do deslocamento (Figura 97).



Figura 97: Modelos pivôs rebocáveis com torres centrais de quatro e duas rodas (Fonte: VALMONT, 2010)

SISTEMAS LINEARES

Outro sistema mecanizado de irrigação onde a linha de distribuição de água é montada sobre torres móveis, similar aos equipamentos de pivô, é o sistema linear de aspersão, que se desloca transversalmente sobre a cultura. É constituído por uma linha lateral montada a partir de uma torre de controle localizada em uma das extremidades da área com duas ou quatro rodas (Figura 98).



Figura 98: Detalhe de um sistema linear de irrigação com duas (esquerda) e quatro rodas (direita) abastecidos por mangueiras.

Por se deslocar em linha reta, este equipamento é recomendado para áreas retangulares ou quadradas quase planas, permitindo um melhor aproveitamento da área. Para que opere em linha reta, o sistema é controlado por sistemas de alinhamento das torres móveis, idênticos aos pivôs, cujos vãos estão espaçados em média de 58m. Seu deslocamento é alinhado por meio de um sulco de balizamento no solo ou por um cabo de aço presente na extremidade da área da cultura, que serve de orientação para as rodas da torre de controle (Figura 99).



Figura 99: Detalhes da movimentação transversal do sistema linear com sistema de alinhamento.

Na tubulação de distribuição estão instalados aspersores ou sprays, obedecendo ao espaçamento compatível para fornecer uma precipitação uniforme ao longo da linha. A alimentação elétrica do sistema pode ser fornecida por rede elétrica convencional, ou por meio de grupo gerador.

Os sistemas lineares se deslocam para frente e para trás na mesma faixa, com a alimentação de água podendo ser realizada de duas formas, utilizando um canal aberto posicionado na direção de deslocamento do sistema com o bombeamento feito na própria torre ou conectando a lateral por mangueiras a uma linha de recalque pressurizada (Figura 100).



Figura 100: Sistemas lineares de irrigação por aspersão abastecidos por canal (esquerda) e mangueiras (direita).

Assim como o pivô central é possível ter sistemas lineares rebocáveis que permitem irrigar várias áreas com um único equipamento. Outra opção são os sistemas pivotantes que facilitam as manobras de canto possibilitando a irrigação de áreas em formato “L” (VALMONT, 2016).

SISTEMA LATERAL ROLANTE

Outro sistema com movimento linear e com movimentação mecânica é a lateral rolante, onde a tubulação de distribuição (linhas laterais) opera como o eixo de rodas metálicas com diâmetros variando de 1,20 a 2,40m (Figura 101).



Figura 101: Detalhe da utilização do sistema de lateral rolante.

A movimentação da linha, quando a irrigação está desligada, é realizada por um carro propulsor posicionado no centro ou na lateral da linha que desloca todo o equipamento por meio de engrenagens e corrente acionadas por um motor a combustão interna, geralmente a gasolina com menos de 10 CV.



Figura 102: Detalhe do carro propulsor do sistema de lateral rolante

A alimentação de água na lateral rolante é realizada pela conexão de uma das suas extremidades a mangueiras acopladas a hidrantes instalados a uma linha de recalque pressurizada, permitindo a sua movimentação em múltiplos do comprimento desta mangueira. A operação desse tipo de equipamento consiste em irrigar uma posição no campo pelo tempo necessário para a aplicação da lâmina requerida pela cultura, desligar o bombeamento, drenar a tubulação e, mover toda a linha para a próxima posição a ser irrigada.

Pela baixa altura do equipamento recomenda-se a sua utilização para culturas de porte baixo, como forrageiras e algumas culturas anuais. Apesar de ser um sistema relativamente antigo ele sempre foi pouco utilizado no Brasil, diferentemente de outros países que utilizam como opção para irrigação de pastagens e culturas de porte baixo. Nos EUA, esse sistema é utilizado em 6,1% da área irrigada por aspersão, significando em torno de 760 mil hectares irrigados (USDA, 2008).

Na Figura 103 é apresentado um exemplo do sistema de lateral rolante em funcionamento no campo, com detalhe do tipo de conexão do aspersor com a tubulação para possibilitar que, independe da posição de parada da tubulação, ele permanecerá sempre de pé.



Figura 103: Sistema de lateral rolante operando em campo e detalhe da conexão do aspersor.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM ASPERSOR CANHÃO

AUTOPROPELIDO

Dentre os equipamentos de irrigação que surgiram, a partir da segunda metade do século XX, destaca-se o sistema autopropelido, que foi desenvolvido para cobrir áreas onde a irrigação por aspersão convencional possuía limitações operacionais pelos requerimentos de mão de obra e a irrigação por pivô central se tornava antieconômica devido ao tamanho da área a ser irrigada. Esse sistema de irrigação se caracteriza por apresentar um único aspersor do tipo canhão montado sobre um veículo suporte, que se desloca ao longo do terreno por ação hidráulica, enquanto distribui a água de irrigação (Figura 104).



Figura 104: Exemplo de um autopropelido em operação.

O conceito de se projetar equipamentos de irrigação por aspersão autopropelidos é antigo; sendo que as primeiras instalações deste tipo foram produzidas na Alemanha em 1932 e na Itália em 1936. Em alguns países da Europa (França, Itália, Portugal) este sistema é muito utilizado, devido ao tamanho das áreas irrigadas e as facilidades operacionais encontradas no seu manejo, obrigando os fabricantes a uma constante atualização do equipamento. Nos EUA, esse sistema irriga em torno de 280 mil hectares representando 2,3% da área irrigada por aspersão (USDA, 2008). Introduzido no Brasil por volta de 1976 e 1977, o uso deste equipamento vem se reduzindo ao longo dos anos, principalmente pelo seu elevado custo operacional quando comparado com outros sistemas de irrigação por aspersão.

Operação e características do sistema

A movimentação ao longo da área do veículo com o aspersor canhão é realizada por um sistema de recolhimento (tambor ou carretel) acionado por um sistema de engrenagens ou caixa de transmissão conectadas por correias ou engrenagens a uma turbina movida pela passagem da água pressurizada da irrigação (Figura 105).



Figura 105: Detalhes do sistema de acionamento de um autopropelido.

Deste modo, a forma de deslocamento do carro com canhão permite classificar o autopropelido em dois tipos: com movimentação a cabo de aço e com mangueira, descritas a seguir.

- **Movimentação a cabo de aço:** nesse caso, o aspersor montado no carro com quatro rodas de pneu, se movimenta pelo recolhimento de um cabo de aço ligado ao tambor ou carretel que é acionado pela turbina. O cabo de aço deve ser previamente esticado e ancorado na extremidade oposta da faixa do terreno a ser irrigada. A turbina é alimentada por uma mangueira com comprimento que pode variar de 100 a 200m, conectada a hidrantes da linha de recalque instalada no meio da faixa irrigada. A Figura 106 apresenta um esquema de funcionamento do autopropelido acionado com cabo de aço.

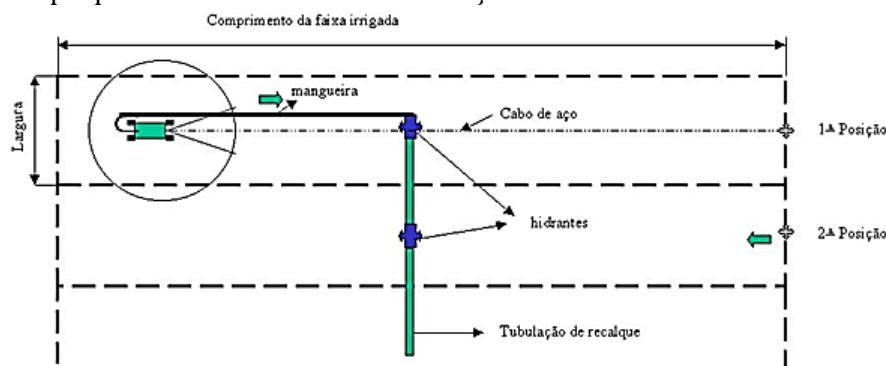


Figura 106: Esquema de operação do autopropelido com movimentação a cabo de aço.

O carro com o canhão é posicionado, no início do carreador e o cabo de aço esticado na outra extremidade da faixa a ser molhada, sendo ambas as operações realizadas com o uso de um trator (Figura 107). A mangueira é desenrolada e conectada a um hidrante situado no meio da faixa. Com a motobomba em funcionamento, abre-se o registro no hidrante, permitindo que a turbina seja ativada e o movimento iniciado. Com a finalização da irrigação no final do carreador, o sistema deve ser mudado para a próxima posição de irrigação.



Figura 107: Detalhe de um sistema autopropelido acionado por cabo de aço (Fonte: ASBRASIL [198-]).

A área irrigada por faixa desse sistema é determinada pelo comprimento do cabo de aço, que é geralmente de 400 metros, e limitada pelo dobro do comprimento da mangueira.

- **Movimentação com mangueira:** Também conhecido por carretel enrolador, esse sistema apresenta o deslocamento do aspersor pelo enrolamento da própria mangueira alimentadora de água do equipamento, cujo comprimento é geralmente de 200 metros, determinando que o comprimento total da área irrigada por faixa seja, geralmente, de 400 metros, devido a operação de o equipamento acontecer dos dois lados do hidrante. Da mesma forma que o sistema anterior, o recolhimento da mangueira que produz a movimentação do aspersor é gerado pela passagem da água de irrigação por uma turbina (Figura 108).

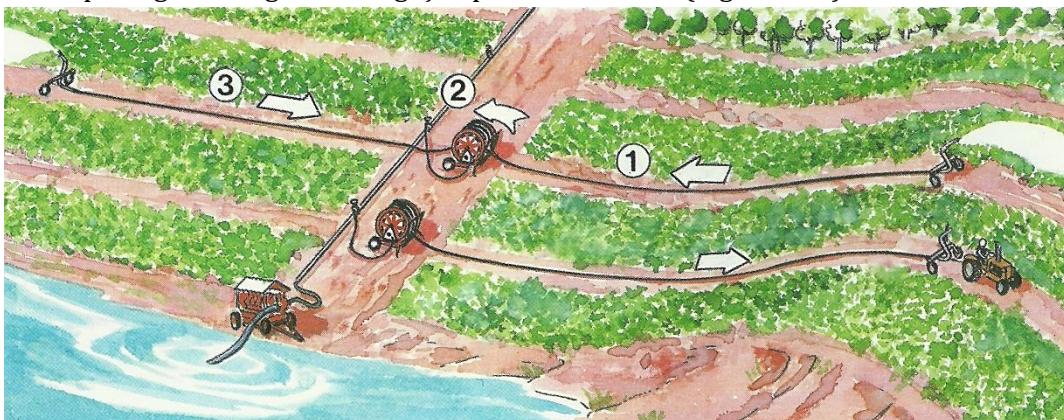


Figura 108: Sistema de carretel enrolador operando em campo (Fonte: BATTISTELA, [199-]).

Na operação desse sistema, o carretel fica estacionado junto ao hidrante na posição central da faixa a ser irrigada, e vai enrolando o comprimento total da mangueira, puxando o canhão fixado no suporte, a partir da extremidade da faixa (Figura 108). Para irrigar o outro lado da faixa ou carreador, quando houver, é preciso girar a base do carretel na direção oposta e, com a ajuda de um trator, levar o aspersor canhão com sua base de duas rodas, (trenós, patins ou outro sistema do gênero) até a outra extremidade da faixa, ficando a mangueira desenrolada (Figura 109).



Figura 109: Detalhe das duas extremidades de uma faixa irrigada pelo carretel enrolador.

Normalmente devido ao princípio de funcionamento e suas características, esse sistema se adapta a diversos tamanhos de áreas, mesmo com certo declive. Alguns inconvenientes podem ser observados, como a menor durabilidade da tubulação de alimentação de água, normalmente de polietileno (PE), em consequência do seu arrastamento sobre o terreno e ao tracionamento por ocasião do deslocamento do canhão.

O autopropelido possui boa flexibilidade de utilização, podendo irrigar áreas pequenas, médias ou grandes, e ser usado praticamente todas as culturas, e empregado para irrigar várias áreas com apenas um equipamento. É normalmente recomendado para culturas

anuais como o feijão, milho, soja, cana-de-açúcar, etc., em pomares e cafezais e em pastagens. É desejável que terreno seja o mais plano possível, mas é possível a sua utilização em terrenos com alguma declividade. Esses sistemas se adaptam a diversos tipos de solo, pois é possível de serem projetados para intensidades de precipitações compatíveis com diferentes capacidades de infiltração. Permitem a irrigação noturna, em virtude do seu funcionamento automático e, apesar de ter sua aplicação afetada pelo vento, a variação da uniformidade de distribuição de água pode ser compensada, uma vez que o equipamento opera com movimento contínuo do aspersor sobre o terreno.

Por outro lado, esses sistemas apresentam algumas desvantagens como o elevado consumo de energia e a potência requerida quando comparado aos sistemas convencionais, devido a:

- Requerer altas pressões de serviço para operar o aspersor canhão;
- Perdas de pressão causada pela turbina que viabiliza o deslocamento do mesmo;
- Perdas de pressão ocasionadas pelo comprimento da mangueira.

Componentes do sistema

Em geral, o autopropelido é composto pelas seguintes partes: um aspersor tipo canhão, o suporte ou base do aspersor, a mangueira, sistema de movimentação (turbina e carretel enrolador), tubulação de recalque e acessórios e conjunto motobomba. Serão descritos a seguir os elementos que diferenciam esse sistema dos demais:

Aspersor canhão

Os sistemas autopropelidos utilizam um aspersor de impacto de grande porte, com um ou mais bocais, onde suas dimensões variam conforme o tamanho da área ou ainda do modelo do equipamento. Normalmente os bocais utilizados são do tipo cone, propiciando longo alcance ao jato de irrigação. A Figura 110 ilustra a operação de um canhão utilizado nesses equipamentos.



Figura 110: Aspersor canhão instalado em um sistema de carretel enrolador.

Recomenda-se a utilização de um aspersor canhão setorial em autopropelidos, o que vai permitir a aplicação de água rotação em setores menores que o círculo, possibilitando que a sua movimentação seja realizada em uma faixa de solo que não foi irrigada, e assim evitar variações na velocidade de deslocamento pela patinação das rodas.

Suporte ou base do canhão

O aspersor canhão é fixado sobre uma estrutura metálica (Figura 111), que pode ser montada sobre rodas metálicas ou com pneus, onde o espaçamento entre as rodas é variável e depende do espaçamento entre linhas de culturas ou do carreador da cultura.



Figura 111: Exemplos de base metálicas utilizadas em autopropelidos.

Mangueira

É um dos elementos importantes desse sistema de irrigação, e suas dimensões estão associadas ao tamanho do equipamento. O diâmetro de mangueiras utilizadas varia de 100 a 150 mm, onde seu comprimento pode chegar até 320 metros. O material utilizado nestas mangueiras depende do tipo do acionamento do equipamento. Quando os equipamentos são tracionados com cabo de aço, as mangueiras são normalmente de borracha, e quando a mangueira traciona o suporte são de polietileno de média ou alta densidade, o que ocorre com o carretel enrolador (Figura 112). Estas mangueiras devem possuir resistência a tração e ao atrito (ou abrasão), pois são usadas esticadas sobre o terreno.



Figura 112: Exemplo de mangueira de polietileno de alta densidade utilizada em autopropelidos.

Sistema de movimentação

O conjunto de movimentação de um autopropelido apresenta três partes principais: a turbina, responsável por transformar a energia hidráulica em energia mecânica, o carretel que enrolará o cabo de aço ou a mangueira, e a caixa de transmissão, que permite a mudança da velocidade de avanço do aspersor canhão. A Figura 113 apresenta detalhes de um sistema de movimentação automatizado de um carretel enrolador, com destaque para a turbina e a caixa de transmissão.



Figura 113: Detalhes de um sistema de movimentação automatizada de carretel enrolador (Fonte: BAUER, 2010).

O carretel é o suporte onde se enrola a mangueira para puxar o suporte com o aspersor em direção ao sistema propulsor e mudar o sistema de posição. A Figura 114, mostra o carretel utilizado em sistemas autopropelidos movimentados por mangueiras.



Figura 114: Exemplo de carretel utilizado em sistemas autopropelidos com movimentação por mangueiras.

MONTAGEM DIRETA

A montagem direta é um sistema de irrigação composto por um canhão hidráulico, uma bomba centrífuga e uma unidade de sucção por mangote especialmente montados sobre um chassi de quatro rodas e que opera estacionado ao lado do reservatório ou canal de água (Figura 115). Após a aplicação da lâmina requerida, o sistema deve ser tracionado por um trator para mudar de posição da irrigação.



Figura 115: Detalhe da utilização de um sistema de montagem direta na cultura do milho.

Outra forma de operar a montagem direta é acoplar o canhão em mangueiras ou tubos metálicos com diâmetros de 150 mm (6") e até 300 metros de comprimento abastecidas por bombas centrífugas movidas a motor de combustão interna (Figura 116).

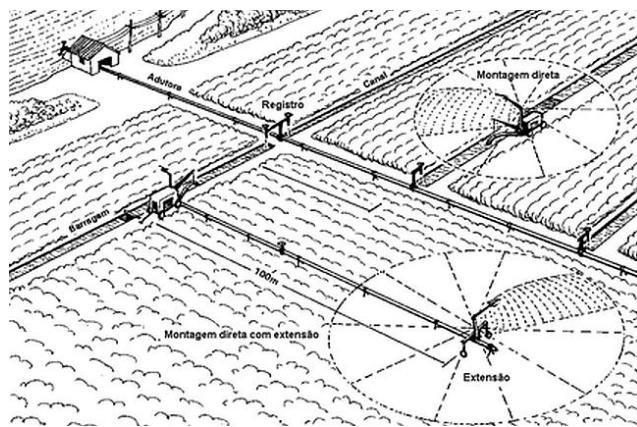


Figura 116: Exemplo das duas formas de operação de sistemas de montagem direta.

A montagem direta é um sistema que pode ser utilizado na irrigação de culturas anuais em áreas extensivas, mas a sua principal aplicação no Brasil é a aplicação de vinhaça em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem próximas a usinas de açúcar e álcool. O sistema de montagem direta apresenta alguns benefícios aos seus usuários.

- Investimento inicial relativamente baixo, se as condições da propriedade permitirem que toda a área irrigada seja suprida por um bombeamento e tubulação de recalque única;
- Utilização de pouca mão-de-obra para a operação do sistema;
- O sistema pode irrigar uma área próxima de 1,0 ha por posição de aspersão, devido ao alcance do canhão hidráulico.

Entretanto apresenta algumas limitações, como:

- Pode apresentar baixa uniformidade de distribuição de água nas posições mais distantes do conjunto motobomba, devido à variação da pressão de serviço, principalmente em áreas com declividades maiores que 5 %, onde pode ocorrer ganho ou perda de pressão, conforme a posição do canhão;
- Devido a altura de operação, o jato de aspersores canhões é facilmente afetado pela presença do vento, podendo determinar perdas significativas por deriva;
- Perda de área de plantio no caso de uso de canais com pequenos espaçamentos;
- Consumo maior de energia do sistema comparado a outros sistemas de aspersão, pois opera com alta pressão e vazão.

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Roberto Testezlaf e Fábio Ponciano de Deus

INTRODUÇÃO

Esse método de irrigação se baseia no princípio da distribuição “localizada” da água, ou seja, diferentemente dos outros métodos de irrigação, a água é aplicada próxima à região radicular das plantas, permitindo o seu melhor aproveitamento. A irrigação localizada se caracteriza pela aplicação de pequenos volumes de água com alta frequência. A Figura 117 mostra a cultura da maçã irrigada por um tipo de sistema de irrigação localizada (gotejamento), evidenciando que somente uma fração da superfície do solo é molhada.



Figura 117: Aplicação da irrigação por gotejamento na cultura da maçã (Fonte: ANTUNES, 2006).

As primeiras formas de irrigação localizada podem ser encontradas nos tempos mais antigos, onde potes ou jarros de barro eram enterrados no solo ao lado das plantas e depois preenchidos com água, permitindo que a água vazasse gradualmente para fora e umececesse a zona das raízes da vegetação nas proximidades (IRRIGATION DIRECT, 2016). A primeira referência de experiências com irrigação localizada ocorreu na Alemanha em 1860, onde tubos de argila eram utilizados como sistemas de irrigação e drenagem. Nos Estados Unidos, por volta de 1913, experimentou-se irrigar com tubos perfurados enterrados, mas concluiu que o sistema tinha um custo elevado. Também foram observadas experiências com tubos com pequenas aberturas no Reino Unido por volta de 1940.

A irrigação localizada é uma tecnologia que vem sendo adotada principalmente pela possibilidade de atingir uma maior eficiência no uso da água, ou seja, aumento da produtividade e da qualidade do produto, associado à redução no consumo da água devido à diminuição das perdas. Este tipo de irrigação apresenta potencial em situações onde:

- A água é cara e escassa;
- Os solos são salinos, pedregosos ou de topografia acidentada;
- Áreas que produzem culturas com alto valor comercial;
- Agricultores que possuem adequado conhecimento técnico.

Atualmente nos Estados Unidos 1,5 milhões de hectares são irrigados por sistemas localizados, representando 6,6% do total de área irrigada (USDA, 2008). Parte do crescimento do uso da irrigação localizada nesse país se deve principalmente ao incremento no uso de estufas e casas de vegetação. Nos últimos anos outros aumentos também foram observados na Austrália, Israel, México e África do Sul.

De acordo com REBOUÇAS et al. (1999), a irrigação localizada é responsável no Brasil por aproximadamente 8% da área total irrigada, sendo o método de irrigação menos empregado por agricultores brasileiros. Entretanto, segundo ABIMAQ/CSEI (2015), a área

irrigada por esses sistemas vem crescendo em média 36 mil ha por ano, tendo contribuído com um acréscimo de 38% da área irrigada em 2007. Os números tem mostrado que a participação da irrigação localizada tende a aumentar, especialmente pelo aumento da variabilidade temporal e espacial da disponibilidade dos recursos hídricos nos últimos anos.

As principais culturas que empregam esse método de irrigação são as frutíferas em geral, como, citros, manga, melão, uva, abacate, morango; as flores e plantas ornamentais e também as olerícolas. A sua utilização também se faz presente em projetos paisagísticos de jardins e residências.

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

Pela relevância econômica e pela participação na área irrigada pelo método, pode-se dividir a irrigação localizada nos seguintes sistemas:

- **Irrigação por gotejamento:** comprehende os sistemas onde a aplicação da água e de produtos químicos é realizada na forma de gotas por uma fonte pontual, denominado gotejador (Figura 118). Esses emissores operam com pressões que variam entre 50 a 200 kPa e vazões na ordem de 0,5 a 12 L h⁻¹.
- **Irrigação por microaspersão:** Esse sistema se caracteriza pela aplicação da água e de produtos químicos, numa fração do volume de solo explorado pelas raízes das plantas, de forma circular ou em faixa contínua, realizada por microaspersores, que são aspersores de pequenas dimensões (Figura 118). Nesse sistema, as pressões variam geralmente de 100 a 300 kPa, e as vazões de 30 a 200 L h⁻¹.



Figura 118: Sistemas de irrigação localizada: gotejamento (esquerda) e microaspersão (direita)

Além dos sistemas acima citados, é possível enquadrar dois outros tipos de sistemas em função de suas características de aplicação localizada da água para as plantas: o sistema de irrigação por borbulhamento (*bubbler*) e o sistema de exsudação. Esses sistemas serão descritos e caracterizados em tópicos específicos nesse módulo.

Os sistemas de irrigação localizada, quando corretamente projetados e bem manejados, apresentam vantagens sobre os outros sistemas de irrigação, como, por exemplo:

- Permite um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, pois irriga apenas a área ao redor da planta, diminuindo assim, a evaporação direta da água do solo para a atmosfera e as perdas por escoamento superficial (Figura 119).



Figura 119: Uso do gotejamento mostrando a aplicação localizada da água.

- O manejo adequado da água nesses sistemas possibilita baixas perdas por percolação profunda, e no uso de microaspersão há reduzida perda por deriva.
- Não interfere na execução dos tratos culturais (capinas, por exemplo), pois permite o movimento de máquinas e implementos nas entrelinhas da cultura.
- Propicia aumento da produtividade, melhorando a qualidade do produto, devido ao fato da umidade permanecer razoavelmente constante (próxima à capacidade de campo) e da distribuição ao longo da linha de cultivo ser mais uniforme.
- Reduz o perigo de salinidade para as plantas, pois devido à maior frequência na aplicação da água desse método (maior umidade do solo), os sais são mantidos em maior diluição na água do solo nos limites do bulbo molhado, permitindo até o uso de água com salinidade média.
- Possibilita a prática da quimigação, ou seja, aplicação de produtos químicos (fertilizantes, inseticidas, fungicidas) via água de irrigação, o que acarreta em redução na mão-de-obra, e na quantidade de insumos utilizados devido ao aumento da eficiência de aplicação desses produtos.
- Facilita o controle fitossanitário, pois não molha a parte aérea das plantas, o que permite que os defensivos não sejam “lavados”, ao mesmo tempo em que facilita o controle de plantas daninhas, pois desestimula seu crescimento, reduzindo o uso de mão-de-obra e defensivos químicos.
- Pelo fato de operar a baixas pressões e vazões e curtos períodos de operação, reduz o requerimento de energia.
- A possibilidade da automação desses sistemas localizados que são instalados de forma permanente no campo propicia a economia de mão-de-obra.
- Adapta-se relativamente a diferentes tipos de solos e topografia.

Entretanto, esses sistemas possuem limitações que dificultam a sua utilização por agricultores, tais como:

- Apresenta elevado investimento inicial quando comparado a outros sistemas.
- Devido ao pequeno diâmetro dos emissores, pode apresentar problemas de entupimento, causado principalmente por partículas de areia, fertilizantes, algas, bactérias, óxido de ferro e precipitados químicos, tornando-se necessário a manutenção periódica e o tratamento da água de irrigação (Figura 120).



Figura 120: Detalhe de gotejadores e tubulações com sedimentos e óxido de ferro.

- Pode ocorrer acúmulo de sais na superfície do solo, bem como no perímetro do bulbo molhado, podendo trazer prejuízos às plantas, tais como limitação no desenvolvimento do sistema radicular.
- Se projetado inadequadamente, a uniformidade de distribuição dos emissores pode ser afetada em áreas excessivamente declivosas, onde os emissores podem apresentar variações de vazão acima do recomendado em norma de projeto.
- Exige manejo rigoroso no caso de ser empregado em solos com baixa capacidade de infiltração, insuficiente para absorver a água aplicada pelos emissores.
- Como um pequeno volume do solo é umedecido e explorado pela planta, limitando o crescimento radicular e a busca por água e fertilizantes em profundidades afastadas da zona úmida, poderá ocorrer prejuízos na produção em casos de interrupção da irrigação.
- As operações de capina nas linhas de cultivo podem ser dificultadas pela presença das tubulações na superfície do solo.
- As linhas de polietileno podem ser danificadas por roedores (Figura 121) e formigas.



Figura 121: Exemplo de tubulação de polietileno atacada por roedor (Fonte: THOMPSON, 2014).

- A operação e manutenção do sistema devem ser realizadas por mão de obra especializada e treinada;
- Como parte dos equipamentos dos sistemas de controle e automação são importados, existe a dependência por assistência técnica e reposição de peças de outros países.

COMPONENTES DO SISTEMA

A Figura 122 apresenta um esquema de um sistema de irrigação localizada (nesse caso, por gotejamento) em operação no campo. É possível visualizar que esse sistema de irrigação é composto pela estação de bombeamento, cabeçal de controle, sistema de distribuição de água composto por linhas principais, de derivação e laterais, emissores, válvulas e outros dispositivos. Os componentes desse sistema serão discutidos a seguir.

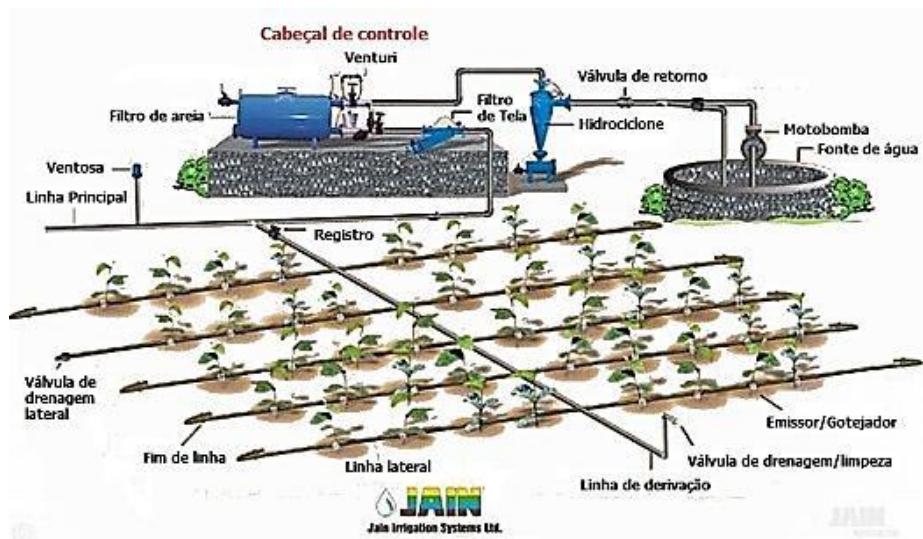


Figura 122: Esquema de um sistema de irrigação localizada em operação no campo (Fonte: JAIN, 2010).

Cabeçal de Controle

Como a uniformidade de distribuição de água das linhas laterais depende da pressão de entrada nessas tubulações e da qualidade de água utilizada, os sistemas de irrigação localizada requerem a existência de uma unidade central de controle e tratamento da água. Dessa forma, é preciso que a linha de recalque passe pelo cabeçal de controle, definido como uma estrutura composta por acessórios e dispositivos que vão viabilizar o controle da irrigação, a melhoria na qualidade da água (filtragem), o uso da quimigação ou fertirrigação, e a regulagem e balanceamento da pressão e vazão a ser distribuída dos setores irrigados.

O cabeçal situa-se após a motobomba, ou seja, no início da linha principal, sendo constituído das seguintes partes: medidores de vazão, filtros de areia e tela ou disco, injetor de fertilizantes, válvula de controle de pressão, registros e manômetros. A Figura 123 mostra tanto o esquema de montagem de um cabeçal de controle, como um cabeçal montado em uma propriedade rural.

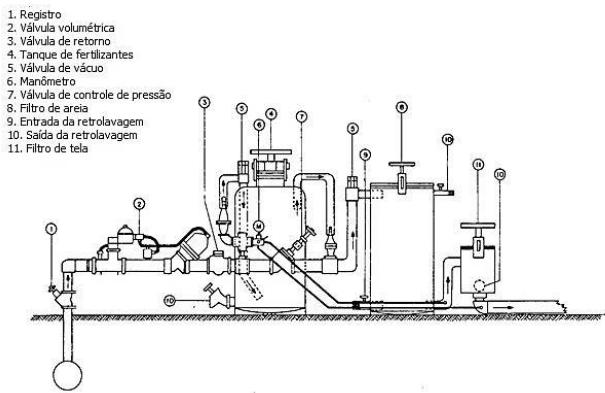


Figura 123: Esquema de cabeçal de controle para irrigação localizada (esquerda) e exemplo de um cabeçal montado em propriedade rural (direita) (Fonte: ANTUNES, 2016).

Medidores de vazão

São utilizados para permitir o controle do volume de água aplicado nos setores de irrigação, facilitando a automação do sistema, apesar de elevarem o custo do sistema de irrigação. Em regiões onde a água não é fator limitante, e não há problemas com disponibilidade de mão-de-obra, a automação do sistema pode ser dispensada, sendo possível

retirar os medidores de vazão do cabeçal de controle. Nesse caso, utilizando somente registro, manômetro e a informação de vazão média dos emissores, pode-se fazer um controle da lâmina de água aplicada por irrigação.



Figura 124: Detalhe de uma válvula volumétrica instalada na tubulação de um cabeçal de controle.

Sistemas de Filtragem

O objetivo do uso de sistemas de filtragem na irrigação localizada é remover partículas sólidas em suspensão presentes na água de irrigação, buscando impedir o entupimento dos emissores, que possuem diâmetros de saída de água com dimensões reduzidas (0,5 a 1,5 mm). O funcionamento de um sistema de irrigação com emissores entupidos determina baixa uniformidade na distribuição da água ao longo da linha lateral, ampliando os problemas de manutenção, com aumento no custo de operação, e reduzindo as possibilidades de se alcançar os resultados esperados com a irrigação.

Segundo MESQUITA (2010), a filtração consiste na remoção de partículas sólidas suspensas, substâncias coloidais e de microrganismos presentes na água de irrigação. O processo de filtragem se dá pela passagem forçada da água contra um meio filtrante, que pode ser de fibras naturais, sintéticas não tecidas, metálicas ou por um meio poroso. Essa ação pode ser realizada por diferentes tipos de filtros, destacando na irrigação os seguintes: filtros de areia, filtros de discos ou tela, os quais são usados individualmente ou em conjunto, de forma a se obter uma melhor eficiência na remoção das impurezas.

Os filtros de areia são equipamentos que utilizam uma camada de meio filtrante para remover partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água para irrigação. Esses filtros utilizam como elemento filtrante uma ou mais camadas de materiais granulares, principalmente areia e/ou pedregulho (Figura 125). Este filtro é responsável pela remoção de partículas grosseiras em suspensão, algas e viscosidades bacterianas, matéria orgânica, microrganismos e partículas coloidais (TESTEZLAF et al, 2014).

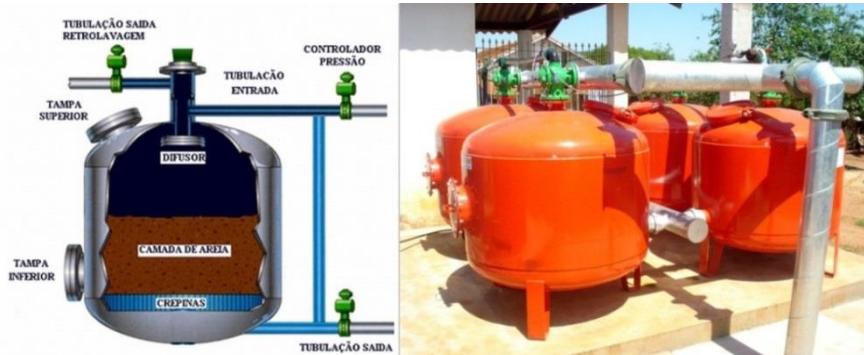


Figura 125: Esquema das partes internas de filtros de areia (esquerda) e detalhe de um conjunto de filtros de areia instalado em campo (direita).

Ao entrar em contato com o meio filtrante, as partículas em suspensão são removidas da água de irrigação. Devido à retenção das partículas no meio filtrante, os filtros de areia sujam com o passar do tempo, causando aumento na perda de pressão e provável redução da eficiência de remoção. Nesse sentido é necessário proceder a limpeza ou retrolavagem do equipamento, para retirar todas as impurezas retidas, e retornar o equipamento às condições iniciais de perda de pressão e eficiência de remoção. Essa limpeza, que é realizada mediante a mudança na direção de fluxo a partir da tubulação de saída (normalmente fluxo no sentido ascendente), é denominada de retrolavagem.

Os filtros de tela são recipientes fechados com formato cilíndrico, com uma tela interna, por onde a água passa e é filtrada (Figura 126). São muito eficientes na retenção de partículas sólidas, porém obstruem facilmente por águas com matéria orgânica em sua constituição. São responsáveis pela eliminação de impurezas que ultrapassam o filtro de areia, inclusive a areia do próprio filtro de areia, bem como partículas insolúveis advindas de fertilizantes.

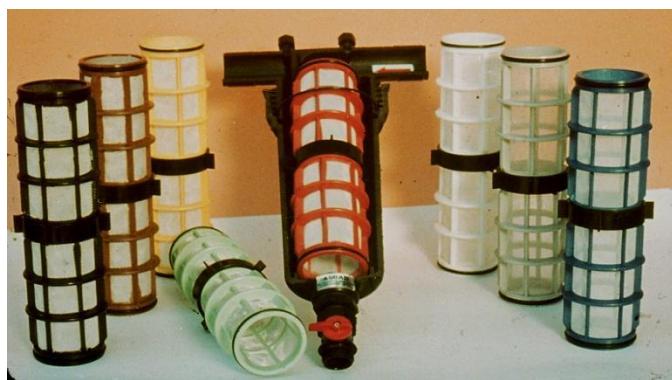


Figura 126: Filtros de tela com diferentes aberturas de malha (mesh).

Outro filtro com utilização significativa na irrigação localizada é o filtro de disco, cujo elemento filtrante consiste no empilhamento de discos plásticos ranhurados colocados juntos em uma estrutura. Os discos possuem ranhuras em ambos os lados, e as suas dimensões definem o tamanho da partícula que será retida (Figura 127).



Figura 127: Instalação de filtros de disco com manômetros e detalhe do elemento filtrante.

Os filtros de disco e de tela contam com versões automatizadas que visam realizar a limpeza ou retrolavagem dos elementos filtrantes automaticamente e, assim, reduzir a mão-de-obra necessária para essa tarefa, bem como aumentar a eficácia do procedimento. A Figura 128 apresenta as versões de equipamentos automatizados instalados em propriedades agrícolas.



Figura 128: Exemplos de filtros automatizados: tela (esquerda) e disco (direita).

Para um melhor tratamento da água de irrigação, o sistema de filtragem deve ser composto de pelo menos dois tipos de filtros, com os filtros de tela ou de disco localizados após o filtro de areia.

Em algumas situações onde o curso d'água apresenta alta concentração de sólidos em suspensão, recomenda-se realizar uma pré-filtragem da água, de modo a evitar a obstrução frequente do meio filtrante dos filtros utilizados. Dentre os métodos mais comuns, destacam-se a decantação ou sedimentação pela redução da velocidade da água (bacias ou tanques de sedimentação), telas de malha grossa na entrada da água no conjunto motobomba (Figura 129), e o uso de hidrociclones.



Figura 129: Sistema de pré-filtragem: tela (esquerda) e bacias de sedimentação com barreiras de pedra (direita).

Os hidrociclones são equipamentos que usam a ação centrífuga (resultante da passagem da água no seu interior) e o diferencial de massa específica para remover partículas presentes na água de irrigação (Figura 130).



Figura 130: Exemplo de um equipamento de hidrociclone e do esquema da sua operação de separação (Fonte: TESISAT DUNYASI, 2016).

Apesar de ser largamente utilizado na indústria de processos envolvendo procedimentos de separação sólido-líquido, o hidrociclone é um equipamento pouco utilizado na agricultura irrigada brasileira, mas que deveria ser mais empregado em nossas condições, onde águas superficiais com alta concentração de sólidos em suspensão é a principal fonte para irrigação.

A análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de irrigação é fundamental para planejar o tratamento mais adequado, mantendo as impurezas dentro dos limites aceitáveis para os sistemas de irrigação localizada.

Sistema de injeção de produtos químicos (quimigação)

Esses equipamentos permitem a injeção de agroquímicos na água conduzida ao sistema de irrigação. O seu emprego tem-se generalizado, principalmente com o desenvolvimento de novas tecnologias de irrigação que permitiram a expansão do número de produtos aplicáveis pela água de irrigação, como por exemplo: fertilizantes (fertirrigação); herbicidas (herbigação); fungicidas (fungigação); inseticidas (insetigação); nematicidas (nematigação); ácidos, cloro, reguladores de crescimento e agentes de controle biológico.



Figura 131: Sistema de fertirrigação por bomba centrífuga com corpo de inox.

Sistemas de controle de pressão e vazão e de segurança

Como os sistemas de irrigação localizada operam com baixas pressões e vazões, é necessário o uso de válvulas reguladoras de pressão e vazão em vários pontos do sistema, para se ter controle das condições operacionais e da quantidade de água que escoa no sistema (Figura 132). Tais reguladores podem ser instalados no cabeçal de controle, na entrada das linhas secundárias, nas laterais, e até nos emissores.



Figura 132: Sistema de controle de pressão e de operação instalados em cavaletes de setores do sistema de irrigação localizada (Fonte: ANTUNES, 2006).

Além das válvulas reguladoras de pressão e vazão, recomenda-se a instalação de válvulas ventosas nos pontos altos das tubulações, nas mudanças de declividade, e ao término dos trechos horizontais. Isso permite a entrada de ar na tubulação quando ocorre redução de pressão em pontos altos da tubulação, ou durante o seu esvaziamento, evitando o seu amassamento da tubulação. Adicionalmente possibilita a saída do ar que tenha permanecido na tubulação ou entrado nas adutoras por gravidade ou nas tubulações de recalque (Figura 133).



Figura 133: Detalhe da instalação de uma ventosa em tubulações de irrigação localizada (Fonte: ANTUNES, 2006).

TESTEZLAF e MATSURA (2015) detalham os tipos de válvulas empregadas em sistemas de irrigação, apresentando os princípios de operação e recomendações de instalação desses dispositivos.

Tubulações

Linha principal

É a tubulação que conduz a água da motobomba até as linhas de derivação. Geralmente, utilizam-se na linha principal tubos de polietileno, de PVC rígido ou flexível (Figura 134) e de aço galvanizado. Ela pode ser instalada na superfície do solo ou ser enterrada para facilitar as operações com máquinas agrícolas na área (Figura 134).



Figura 134: Detalhe da instalação da linha principal enterrada com tubulação de PVC (Fonte: ANTUNES, 2006).

Linhos de derivação

São as tubulações que conduzem a água da linha principal até as linhas laterais. O material que compõem as linhas de derivação são geralmente tubos de polietileno flexível, quando instalados sobre a superfície do solo, ou tubos de PVC rígido quando enterrados. É comum a instalação de válvulas de controle de pressão no início das linhas de derivação para controlar vazão do sistema (Figura 135).



Figura 135: Detalhe da conexão entre a linha secundária ou ramal e as linhas laterais (Fonte: ANTUNES, 2006).

Linhos laterais

Denomina-se de linhas laterais ou de distribuição, as tubulações onde são instalados os emissores que, no caso da irrigação localizada, são os gotejadores e microaspersores. Geralmente utilizam-se nas linhas laterais tubulações de polietileno (PE) de baixa densidade. Essas linhas podem ser enterradas, colocadas na superfície do solo ou suspensas, no caso específico de algumas culturas para facilitar o seu manejo. As tubulações de polietileno utilizadas como linhas laterais devem ser tratadas contra os efeitos da radiação ultravioleta, evitando torná-las quebradiças no decorrer do tempo (Figura 136).



Figura 136: Exemplo de linhas laterais dispostas sobre o solo (esquerda) e suspensas no caso da cultura da uva (direita) (Fonte: ANTUNES, 2006).

Emissores

Emissores são dispositivos instalados nas linhas laterais e projetados para aplicar água a baixas vazões na forma de gotas na irrigação por gotejamento, ou na forma de jatos de pequeno alcance na irrigação por microaspersão (Figura 137).



Figura 137: Exemplo de gotejador (esquerda) e microaspersor (direita).

As principais características de emissores considerados ideais são:

- Apresentar baixa suscetibilidade ao entupimento ou possuir dispositivos que evitem esses problemas, como operação em regime turbulento ou com sistema de limpeza interna, ou projeto com seção de fluxo relativamente grande;
- Possuir vazão constante e com baixa sensibilidade a variações de pressão e temperatura;
- Oferecer baixa variabilidade de dimensões e características operacionais no processo de fabricação;
- Possuir baixo custo e alta durabilidade (vida útil elevada);
- Manter constante a relação vazão-pressão em função do tempo de uso;
- Possuir alta resistência química para possibilitar a quimigação;
- Possibilitar baixa perda de pressão no sistema de acoplamento com a linha lateral (perda de carga localizada), pela interferência interna do emissor na espessura da tubulação.

Na irrigação localizada existem basicamente dois tipos de emissores:

- **Gotejadores:** São emissores desenvolvidos para dissipar a pressão do interior das tubulações, de modo que a água atinja a planta em forma de gotas com vazões dentro de certa faixa de uniformidade ao longo da linha lateral. (Figura 138).



Figura 138: Detalhe de um gotejador operando em campo.

Em geral, operam com vazões de 0,5 a 12 L h⁻¹ e pressões entre 50 e 200 kPa. Para obtenção dessas reduzidas vazões a saída do gotejador possui diâmetro igualmente reduzido, sujeitando-o, portanto, à possibilidade de entupimentos. O processo de fabricação dos gotejadores deve ser bastante preciso, pois pequenas variações nas dimensões de cada peça podem acarretar mudanças significativas de vazão.

- **Microaspersores ou sprays:** são pequenos mecanismos aplicadores de água ou aspersores de pequenas dimensões, também chamados de microsprays, que operam geralmente a pressões variando de 100 a 300 kPa e a vazões de 30 a 200 L h⁻¹, cobrindo áreas de aproximadamente 1 a 10 m² (Figura 139).



Figura 139: Detalhe de um microaspersor em operação.

Por operar com valores de vazão superiores aos gotejadores, esses emissores exigem sistemas de bombeamento com maior potência, e consequentemente maior consumo de energia.

Seleção de emissores

A seleção do emissor mais adequado para um projeto de irrigação deve levar em consideração alguns fatores que determinam a sua adequação para as condições apresentadas pela propriedade, dentre eles é possível citar: cultura a ser irrigada e demanda de água no seu ciclo, tipo de solo, disponibilidade de água (quantidade e qualidade), relevo da propriedade e condições de vento.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GOTEJAMENTO

INTRODUÇÃO

A irrigação por gotejamento se caracteriza por aplicar pequenos volumes de água, na forma de gotas, com alta frequência (reduzido intervalo entre irrigações ou turno de rega), nas áreas localizadas na zona radicular das plantas, molhando uma fração da superfície do solo, reduzindo as perdas e apresentando maiores valores de eficiência de aplicação quando comparada aos sistemas de aspersão e superfície. Essa forma de aplicação de água determina uma distribuição de água no solo, abaixo do ponto de aplicação, na forma de um bulbo molhado onde somente uma pequena área saturada fica exposta na superfície do solo (Figura 140).

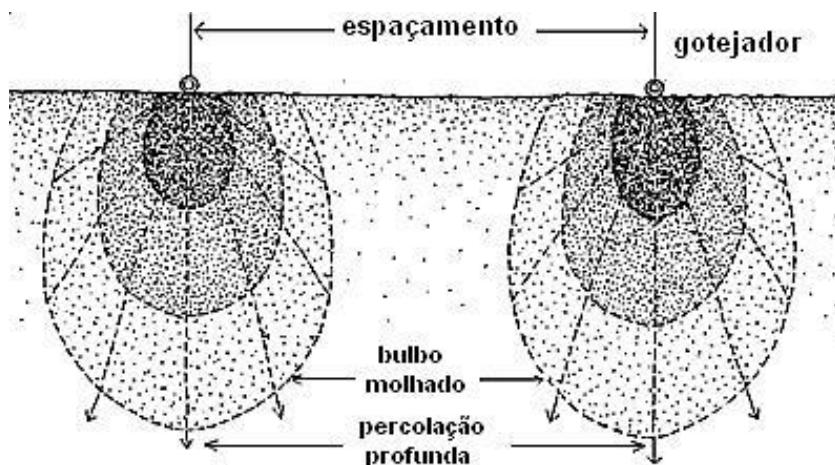


Figura 140: Distribuição da umidade no solo em sistemas localizados (KELLER & BLIESNER, 1990).

Somente após o aparecimento dos materiais plásticos, depois da II Guerra Mundial, que foi gerado os principais avanços na irrigação por gotejamento, onde tubos capilares plásticos e outros tipos de emissores começaram a ser usados em estufas da Europa e dos Estados Unidos. Em 1965, foi patenteado em Israel pelo Eng. Simcha Blass o primeiro emissor de plástico, onde a água passava por um tubo mais longo e com maior diâmetro, substituindo emissores com pequenos orifícios, até então utilizados, que apresentavam sérios problemas de entupimento (Figura 141). A redução da pressão no interior do emissor era obtida pelo atrito da passagem da água por uma passagem de maior comprimento e menor diâmetro e, assim, atingindo baixas vazões (NETAFIM, 2016).



Figura 141: Fotografia do primeiro gotejador desenvolvido pelo Eng. Simch Blass em 1965 (Fonte: NETAFIM, 2016).

O sistema por gotejamento se difundiu rapidamente para a Austrália, América do Norte e América do Sul. No Brasil, o gotejamento surgiu no início da década de 70, sendo que a sua aceitação aconteceu de forma lenta, devido a pouca divulgação do método, falta de

técnicos habilitados, equipamentos importados (assistência técnica) e custos iniciais elevados.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Um sistema de irrigação por gotejamento é composto geralmente pelas seguintes partes: bombeamento, tubulações e acessórios, cabeçal de controle e os gotejadores ou linhas de gotejamento (distribuição). Obrigatoriamente é preciso que esses sistemas tenham no cabeçal de controle equipamentos para o tratamento da água de irrigação, principalmente, se for utilizada água superficial (rios, açudes, lagoas, etc.).

Todo planejamento de um sistema por gotejamento requer a resposta de algumas questões, permitindo a correta seleção dos equipamentos que atendam as necessidades da cultura explorada na propriedade. As dúvidas mais importantes estão relacionadas ao custo do equipamento, fonte de água (qualidade e quantidade), topografia da área, nível de filtragem requerido, manutenção necessária, assistência técnica disponível, dentre outros detalhes.

A principal etapa a ser realizada nesses projetos diz respeito à seleção do tipo de gotejador que será utilizado no sistema produtivo. A aplicação de água na forma de gotejamento pode ser realizada desde forma rudimentar pela perfuração de tubos de polietileno (PE) ou pela inserção manual de tubos capilares com diâmetros reduzidos nessas tubulações, até por alta tecnologia, com tubos de emissão ou tubogotejadores com gotejadores integrados na parede interna das tubulações e que são inseridos espaçadamente durante o processo de fabricação. Por serem os principais componentes da irrigação por gotejamento, os gotejadores serão descritos e classificados a seguir.

GOTEJADORES: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

Para se obter a aplicação em forma de gotas nos gotejadores é preciso que a pressão interna da tubulação onde ele está inserido seja toda dissipada até atingir a pressão atmosférica na sua saída. Para alcançar essa perda de pressão no interior dos gotejadores com uma baixa vazão é preciso reduzir a seção transversal de fluxo, variando de 0,3 a 1,0 mm, o que determina aumento da suscetibilidade ao entupimento.

Como a vazão dos emissores em geral aumenta proporcionalmente ao aumento da área de saída, a opção de aumentar a seção transversal de fluxo do emissor, visando diminuir o problema de entupimento, possui limitação referente à vazão, exigindo o desenvolvimento de outras formas de dissipação de pressão. Dessa forma, novos processos para redução da pressão nos emissores apareceram, tais como: aumentar o comprimento de percurso do fluxo, estabelecer percursos em labirintos com mudanças da direção do fluxo, adaptar válvulas para controle de vazão, dentre outros. Como consequências desses desenvolvimentos surgiram diferentes tipos de gotejadores, dentre os quais se podem citar os principais:

- Microtubos ou tubos capilares;
- Gotejador de longo percurso integrado
- Gotejador tipo orifício
- Tubos emissores

Microtubos ou tubos capilares: é o clássico gotejador de longo percurso, também denominado comercialmente por “espaguete” ou capilar, sendo o precursor da irrigação por gotejamento, com ampla utilização na irrigação de vasos em estufas e em residências. Consiste em um simples pedaço de tubo com reduzido diâmetro (microtubo), com diâmetros

internos variando de 0,5 a 1,5 mm, que são inseridos diretamente na linha lateral (Figura 142). A perda de pressão ao longo do microtubo é função direta do seu comprimento. Como a vazão de qualquer emissor é diretamente proporcional à pressão disponível na tubulação, nesse sentido, para garantir certa uniformidade de aplicação dentro da linha lateral, considerando o microtubo com mesmo diâmetro interno, é preciso reduzir o seu comprimento ao longo da linha lateral.



Figura 142: Detalhe da utilização de um microtubo na irrigação da cultura do tomate.

Segundo ALVES et al. (2012), os microtubos são indicados para locais onde existem diferenças significativas de pressão por desniveis de topografia, devido a possibilidade de compensar a variação de pressão variando o comprimento do microtubo, e consequentemente, obter uma vazão uniforme ao longo da linha lateral.

Gotejadores com longo percurso integrado: esses gotejadores baseiam-se no mesmo princípio dos tradicionais microtubos, porém com maior uniformidade e menor susceptibilidade a danos mecânicos. O longo percurso do fluxo é concentrado em peças compactas, sendo que a perda de pressão necessária para se obter o gotejamento ocorre ao longo de uma trajetória em espiral ou na forma de labirinto, determinando escoamento em regime laminar. A Figura 143 ilustra um gotejador tipo labirinto disponível no mercado.



Figura 143: Gotejador de longo percurso ou labirinto integrado.

Gotejador tipo orifício: nesses gotejadores a perda de pressão é função do fluxo d'água através de pequenos orifícios (Figura 144). Este tipo de gotejador requer, para pequenas vazões, orifícios com diâmetros muito reduzidos. No emissor tipo orifício a água flui por uma única ou uma série de aberturas, onde a pressão é dissipada, resultando em um escoamento turbulento.



Figura 144: Detalhes dos componentes internos de um gotejador tipo orifício (Adaptado de TESSLER, 1999).

Tubos emissores ou tubo gotejadores: são tubos contínuos, incluindo tubos de paredes delgadas (denominados *fitas* ou *cintas*), que possuem perfurações ou dispositivos hidráulicos fundidos ou integrados na própria parede do tubo durante o processo de fabricação. Apresentam como principal vantagem o baixo custo quando comparado aos outros tipos de emissores, além da facilidade de transporte e instalação. A principal desvantagem desse equipamento refere-se à sua menor vida útil. Esses emissores proporcionam, geralmente, vazões inferiores a 4 L h^{-1} . Podem ser classificados de acordo com o número de seções de fluxo (câmaras simples ou duplas) e com relação ao tipo de sistema de controle de vazão (orifício, labirinto e capilar). Os principais modelos de tubos emissores disponíveis no mercado são:

- **Tubo emissor de paredes delgadas com gotejador moldado** (fitas gotejadoras): é basicamente uma mangueira de polietileno de paredes finas ou delgadas com os gotejadores ou emissores moldados na parede do tubo (Figura 145). Essas tubulações estão disponíveis com espessuras de paredes de 120 a 400 micras e com espaçamentos variados entre gotejadores (entre 10 e 60 cm). São fornecidas em diferentes vazões com o intuito de atender as necessidades dos cultivos, principalmente, para as culturas cultivadas em linha e com safras únicas de longa duração, como a cultura do tomateiro, por exemplo.



Figura 145: Tubo de emissão com labirinto moldado na própria parede da tubulação.

- **Tubo emissor com gotejador integrado:** nesse caso, o gotejador é fundido na superfície interna do tubo durante o processo de extrusão (Figura 146). Geralmente, esse tubo emprega gotejadores do tipo labirinto para reduzir a pressão interna da tubulação. Comercialmente esse tubo emissor está disponível nas espessuras de parede de 200 a 1250 micras e distâncias entre emissores de 30 a 120 cm.



Figura 146: Detalhes de tubos emissores com gotejador tipo labirinto integrado à tubulação.

Pela maior durabilidade, esse tubo emissor é indicado para a irrigação de frutíferas ou para aplicações com linhas laterais mais longas (Figura 147).



Figura 147: Tubo emissor com gotejador tipo labirinto integrado instalado em campo (Fonte: ANTUNES, 2006).

Os gotejadores são fabricados com relação a sua capacidade de compensar ou não a variação de vazão causada pela variação de pressão ao longo da linha lateral, tais como: não compensados e autocompensados.

- Emissores não compensados: são aqueles que apresentam variação da vazão com a mudança da pressão de serviço (Figura 148). Esses gotejadores são mais indicados em regiões com topografia plana, onde a variação de pressão devido à diferença de elevação é menor.

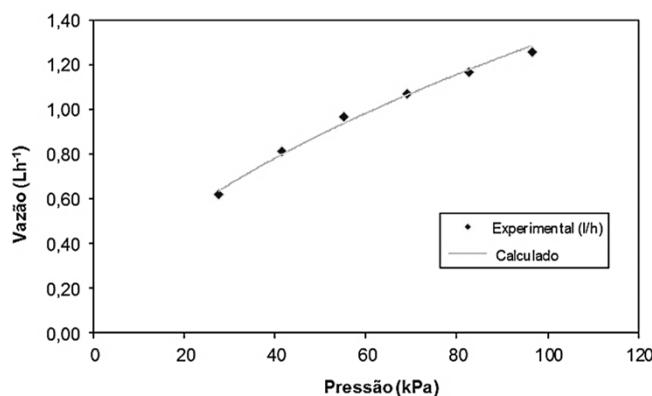


Figura 148: Curva característica de um gotejador não compensado, que relaciona a vazão em função da pressão.

- Emissores autocompensados: são gotejadores que possuem dispositivos internos capazes de equilibrar as variações de pressão mudando a seção de fluxo, e fornecer praticamente a mesma vazão para um intervalo de pressão de operação, denominado intervalo de compensação (Figura 149).



Figura 149: Detalhes das partes internas de um gotejador compensado, mostrando a operação do mecanismo de compensação (Adaptado de TESSLER, 1999).

Pela Figura 149, pode se verificar que o sistema de compensação desses gotejadores utiliza uma membrana de silicone, que reduz a seção de fluxo no interior do gotejador com o aumento da pressão de operação, garantindo a manutenção de uma vazão com reduzida variação.

A Figura 150 exemplifica a curva de vazão em função da pressão para um gotejador autocompensante, comparando o seu desempenho na condição de novo e após cinco anos de uso (RESENDE et al., 2001).

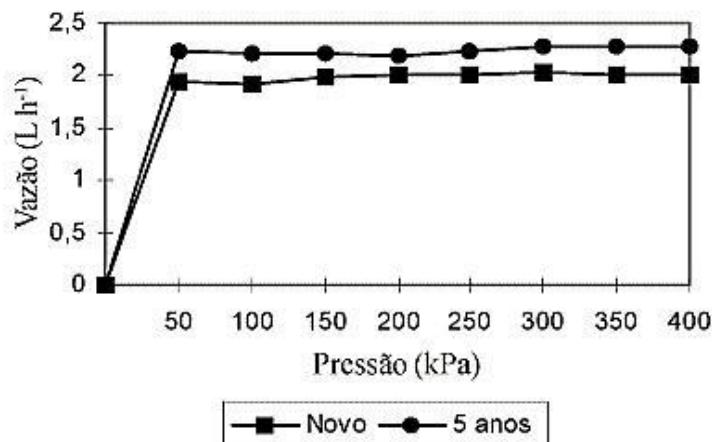


Figura 150: Curva de vazão versus pressão para um gotejador autocompensante nas condições de novo e com cinco anos de uso (Fonte: RESENDE et al., 2001)

Pela figura é possível observar que após o valor de 50 kPa de pressão, para as duas condições de uso, os gotejadores apresentaram baixa variação de vazão em função do aumento da pressão, sendo que o gotejador usado mostrou um aumento do valor da vazão para essa condição.

Os gotejadores autocompensados operam para qualquer condição topográfica, entretanto, a sua aplicação é recomendada para regiões declivosas ou acidentadas. Adicionalmente sua aplicação é exigida em projetos com maiores comprimentos de linha lateral, desde que não ultrapassem os valores de pressão do intervalo de compensação.

Outra classificação dos gotejadores relaciona-se à forma como eles são conectados à tubulação da linha lateral, sendo considerados três tipos básicos: inserção externa (*online*), inserção interna (*integrated*) ou inserção interligada (*inline*).

- *Inserção externa*: os gotejadores são instalados na parte externa da tubulação da linha lateral de irrigação (Figura 151).



Figura 151: Detalhe de um gotejador conectado a parte externa da tubulação (externo).

Esse tipo de acoplamento permite definir o espaçamento entre emissores no momento da instalação, que pode ser feito em distâncias iguais ou com os gotejadores agrupados, dependendo das características da cultura ou tipo de distribuição espacial desejada. Esse tipo de instalação deixa o gotejador mais vulnerável a danos e ao entupimento por contato com o solo (sucção do solo no desligamento do sistema), mas a sua troca é simples de ser executada. Outro problema desses gotejadores é o efeito da interferência da sua inserção interna no fluxo de água no interior do tubo, o que aumenta a perda de pressão (perda de carga localizada devido à inserção do gotejador).

- *Inserção interna*: os emissores são instalados e integrados na parte interna da tubulação durante o processo de fabricação e espaçados em distâncias pré-determinadas (Figura 152).



Figura 152: Detalhe de um gotejador conectado à parte interna da tubulação.

A sua posição no interior do tubo dificulta a sua troca, no caso de entupimento, necessitando o corte da tubulação. Existe no mercado uma diversidade enorme de diâmetros de tubos, espessuras de parede, espaçamento e tipos de emissores internos para atender diferentes demandas, desde pequenas áreas para agricultura familiar até grandes áreas de frutíferas. De acordo com GOMES et al. (2010), gotejadores instalados internamente e autocompensados produzem maior perda de pressão do que os gotejadores internos convencionais e, embora, garantam melhor uniformidade na distribuição de água, podem aumentar o custo de aquisição e o custo do bombeamento.

- *Inserção interligada*: esse emissor é instalado durante o processo de fabricação entre dois trechos de tubos em uma lateral de irrigação, e também espaçados em distâncias pré-determinadas (Figura 153). A troca desses emissores é mais difícil e demanda mais mão de obra, sendo que atualmente houve uma diminuição na produção desse tipo de emissores, pela baixa aceitação dos produtores.



Figura 153: Detalhe de um gotejador instalado de forma interligado entre dois trechos de uma linha lateral.

Além dos gotejadores já especificados, pode-se citar ainda a existência de gotejadores com dispositivos antidrenantes, que tem a função de eliminar a drenagem de água no momento que o sistema de irrigação é desligado e reduzir o efeito de reenchimento da linha lateral quando o sistema é ligado novamente (Figura 154). Esse dispositivo impossibilita a drenagem da água da tubulação pelos gotejadores localizados nas áreas mais baixas, evitando o excesso de água aplicado nesses locais. O dispositivo antidrenante pode estar integrado ao emissor ou disponibilizado separadamente (válvula antidrenante), sendo recomendado em instalações de ambiente protegido, onde a irrigação é obrigatória e frequente (Figura 154).



Figura 154: Exemplo de gotejador antidrenante (esquerda) e de válvula antidrenante (direita).

Outro desenvolvimento importante em gotejadores são os dispositivos antivácuo, que tem o objetivo de evitar a sucção de impurezas para dentro da tubulação, quando são criadas pressões negativas no seu interior, principalmente pelo desligamento do sistema, quando a motobomba está localizada em uma cota inferior ao sistema de irrigação.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

Os gotejadores são geralmente especificados tecnicamente pelo valor da sua vazão nominal. Essa vazão está referenciada a uma determinada pressão, denominada pressão de serviço. Se a pressão variar, o valor da vazão também modificará, a não ser que os gotejadores sejam do tipo autocompensados. Os gotejadores são fabricados

convencionalmente para operar em um intervalo de vazão entre 0,5 a 12 L h⁻¹, operando a pressões de serviço de 100 a 200 kPa, apesar de existirem gotejadores que trabalham a baixas (até 50 kPa) e altas pressões (até 300 kPa).

A seleção da vazão do gotejador depende do tipo de solo que será irrigado, da topografia e da cultura que será explorada. Em geral, solos arenosos, ou terrenos declivosos, ou culturas com raízes superficiais e instaladas em pequenos espaçamentos (como hortaliças), a seleção converge a um gotejador com baixa vazão, instalando-os em menores espaçamentos. Essa condição irá assegurar que pequenas quantidades de água serão aplicadas regularmente, armazenando água adequadamente no perfil do solo e disponibilizando à cultura, sem causar perdas significativas por percolação profunda ou escoamento superficial. Em solos argilosos e planos, com culturas de sistema radicular mais profundo, a vazão do gotejador pode ser maior, além da possibilidade de ser instalados com maiores espaçamentos. Entretanto, a seleção final, deve ser uma combinação de fatores e vai requer uma consulta com profissionais habilitados e experientes, sendo assegurado por testes de campo (teste do bulbo molhado).

Um dos maiores problemas operacionais do sistema de irrigação por gotejamento é o tratamento inadequado da água de irrigação. Isso determina diretamente a obstrução dos emissores, o que aumenta o tempo de limpeza do sistema, ou há a necessidade de substituição dos gotejadores, adicionando custos de manutenção e de operação à irrigação.

O tipo, tamanho e o número de filtros necessários para o adequado tratamento da água dependem da qualidade da água do curso d'água, da vazão do sistema e da qualidade final requerida para a água de irrigação (TESTEZLAF et al., 2014). Mesmo com a utilização de sistemas de filtragem, entupimentos dos emissores podem ocorrer devido a três causas básicas, podendo estas atuar em conjunto:

- 1. Entupimentos físicos:** causados por sólidos facilmente sedimentáveis, tais como: cascalho, areia grossa; sólidos em suspensão: areia, matéria orgânica, partículas inorgânicas e sólidos dissolvidos (silte e argila). Além desses fatores, é possível ocorrer esse tipo de obstrução por pequenos fragmentos de PVC ou polietileno originados de perfuração das tubulações durante a instalação ou reparos.
- 2. Entupimentos químicos:** referem-se a depósitos de cálcio, magnésio ou ferro ou adubos mal dissolvidos no sistema de injeção.
- 3. Entupimentos biológicos:** como lodo microbiano (sulfo-bactérias), algas, plantas aquáticas, protozoários, crustáceos, caracóis, etc.

A Figura 155 apresenta exemplos de entupimentos ocorridos pelos processos físico, químico e biológico, respectivamente.



Figura 155: Tipos de entupimentos em irrigação localizada: físico (esquerda), químico (centro) e biológico (direita).

Existem no Brasil duas regiões geográficas que apresentam problemas distintos no processo de entupimento por fatores químicos. Na região Sudeste, é comum se encontrar águas superficiais que apresentam elevados teores de ferro total, principalmente, quando está presente na forma solúvel (Fe⁺²), podendo precipitar no interior das tubulações, passando para a forma Fe⁺³ quando oxidado, e favorecendo, o desenvolvimento de

ferrobactérias. Na região Nordeste, onde predomina o clima semiárido, ocorre com frequência a precipitação química por íons presentes na água de irrigação, especialmente carbonatos de cálcio ou magnésio.

O aerador de cascata ou cascata aeradora é o equipamento utilizado no tratamento físico de águas com óxido de ferro presente, onde precipitando, pode-se separá-lo antes da água entrar no sistema. Adicionalmente pode-se tratar quimicamente a água pela injeção de cloro, reduzindo o seu pH, podendo manter o ferro em solução (solúvel), e possibilitando que a água passe por todo o sistema e saia pelos emissores sem precipitar e causar entupimentos (Figura 156).



Figura 156: Tratamentos para fatores químicos de entupimento: aerador (esquerda) e bomba de pistão injetora de cloro (direita).

No caso dos carbonatos, recomenda-se também a cloração da água, com o uso hipoclorito de sódio ou de cálcio (mais comum) para aumentar a acidez da água, deixando os íons em solução, evitando a sua precipitação no interior do sistema.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR MICROASPERÇÃO

INTRODUÇÃO

Diferentemente do gotejamento que aplica a água na forma de gotas diretamente sobre o solo, na irrigação por microaspersão, os emissores operam em pequenos jatos que são lançados ao ar, percorrendo uma pequena distância antes de atingir o solo (Figura 157).



Figura 157: Microaspersor operando em campo com 14 pequenos jatos de aplicação.

Segundo REINDERS (2000), o conceito da microaspersão foi desenvolvido na África do Sul, a partir de uma solução para o problema de poeira gerada em montes de rejeitos de mineração. Esse autor afirma que aprimoramentos foram necessários para que esse método fosse utilizado na produção agrícola. Atualmente nos Estados Unidos 570 mil hectares são irrigados por microaspersão, representando 37% do total de área irrigada por irrigação localizada (USDA, 2008). No Brasil não se tem informações estatísticas que demonstre a participação desse sistema na área irrigada nacional, contudo, existem evidências vindas dos fabricantes que as áreas sob esse sistema vêm se expandindo de forma constante, principalmente na irrigação de citros, mangueiras, bananeiras, videiras, e outras espécies de frutíferas.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Os sistemas de irrigação por microaspersão apresentam os mesmos componentes do gotejamento, com exceção do emissor utilizado. O microaspersor apresenta vazões superiores aos gotejadores e molham áreas maiores do solo na forma circular. A Figura 158 apresenta uma comparação entre o perfil molhado criado por um gotejador e um microaspersor, em um solo homogêneo, evidenciando a maior ação em área e volume do microaspersor.

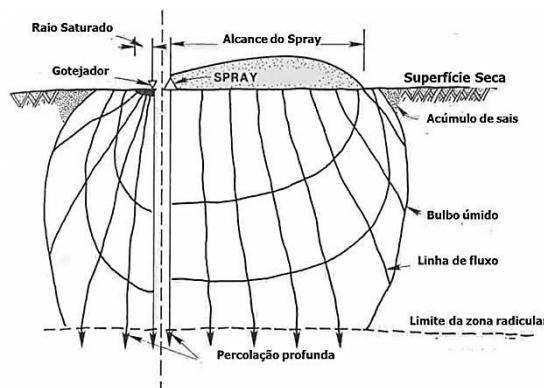


Figura 158: Comparação entre o perfil molhado do gotejamento (esquerda) e da microaspersão (direita) em um solo homogêneo (Fonte: Adaptado de KELLER e BLIESNER, 1990).

Nesse sistema de irrigação, as dimensões do bulbo molhado dependem, quase que exclusivamente, do alcance do jato, do perfil de distribuição da intensidade de aplicação ao longo do raio do emissor, e do volume de água aplicado pela irrigação. Portanto, o padrão de umedecimento ou molhamento do solo é determinado pelo modelo de microaspersor utilizado.

Os emissores utilizados na microaspersão podem ser classificados em:

- Microaspersor rotativo ou somente microaspersor: quando o emissor possui um sistema rotativo de dispersão do jato (parte móvel), chamado popularmente de bailarina, que auxilia a distribuição do jato na área de aplicação (Figura 159). O movimento dos microaspersores é produzido principalmente pelo mecanismo de reação causado pela passagem da água no corpo da bailarina.



Figura 159: Detalhes de um microaspersor rotativo com o sistema de dispersão do jato (Fonte: ANTUNES, 2006).

- Microaspersor estacionário ou spray ou microspray: este emissor não possui parte móvel para dispersão do jato, apresentando placa deflectora (lisa ou ranhurada) responsável pelo espalhamento do jato na forma definida pelo tipo de placa utilizada (Figura 160). Os sprays não possuem movimento de rotação, mas funcionam de forma similar aos rotativos. Apresentam a vantagem de permitir o uso em áreas com relevo irregular.



Figura 160: Exemplo de microaspersor estacionário ou spray operando em campo (Fonte: ANTUNES, 2006).

Comercialmente os modelos de microaspersores são especificados de acordo com a pressão de serviço, vazão e características de aplicação de água, tais como a intensidade de precipitação, dimensão das gotas, número de bocais e perfil de distribuição de água.

A Figura 161 apresenta diferentes modelos de microaspersores rotativos, onde os sistemas móveis de dispersão do jato estão destacados, assim como, as bailarinas com sistema anti-inseto que fecham a saída de água após o sistema ser despressurizado, evitando que a presença de insetos bloquee ou entupam o emissor. Outro modelo de microaspersor apresenta um defletor angular de 60° que impede a aplicação de água sobre o caule da árvore, por exemplo. Da mesma forma que os gotejadores, os microaspersores podem ser fabricados com dispositivos de compensação de pressão, como pode ser visto em um exemplo na mesma figura.



Figura 161: Exemplos de diferentes modelos de microaspersores (Fonte: Amanco, 2010).

A Figura 162 apresenta exemplo de um mesmo modelo de spray ou microaspersor estacionário, com dois tipos de placa defletora que definirão o número de jatos de aplicação de água e o ângulo de cobertura. O uso da placa defletora indicada à esquerda da figura determina a aplicação em círculo completo de 360° com 16 jatos, enquanto a placa da direita tem uma aplicação em setor de 330° e 11 jatos.



Figura 162: Exemplo de dois modelos de sprays (Fonte: Amanco, 2010).

A escolha do microaspersor mais adequado depende principalmente das características da cultura (espaçamento, sistema radicular). Recomendam-se selecionar microaspersores que operam com baixas pressões por propiciar um menor consumo de energia.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

A Tabela 5 mostra, comparativamente, os intervalos médios de valores de vazão, pressão de serviço e intensidade de aplicação de água para microaspersores rotativos e estacionários (sprays). Os valores apresentados são somente referenciais, pois cada fabricante possui a sua linha de produtos com diferentes tipos de aplicações.

Tabela 5: Variação da pressão, vazão e intensidade de precipitação para os tipos de microaspersores.

Tipos de Microaspersores	Rotativos	Estacionários
Pressão de serviço (kPa)	100 -300	100 - 250
Vazão ($L\ h^{-1}$)	2-1.000	50-700
Intensidade de aplicação de água ($mm\ h^{-1}$)	2-30	12-100

Quanto à instalação em campo, os microaspersores podem ser dispostos em pé (Figura 163) ou operar invertidos, para atender utilizações específicas. Na posição em pé podem ser montados diretamente sobre o solo, com o auxílio de suportes ou estacas de polietileno, e conectados à linha lateral por meio de tubos capilares, ou em tubos elevados.

**Figura 163: Exemplos de microaspersores instalados na posição em pé (Fonte: ANTUNES, 2006).**

A posição invertida de instalação tem o objetivo de atender necessidades específicas de produtores, principalmente, em cultivos conduzidos em ambiente protegido. Nesse caso, é importante salientar que as bairarinhas escolhidas devem atender a especificação de operar nessa posição, pois a escolha errada desse componente vai reduzir a uniformidade de distribuição de água. A Figura 164 apresenta o uso de spray invertido na cultura do chuchu, com detalhe de um spray com bairarina específica para operar nessa posição.

**Figura 164: Spray operando na posição invertida na cultura do chuchu.**

Como a intensidade de precipitação dos microaspersores diminui com o aumento da distância a partir do emissor, é necessário dimensionar o sistema com a superposição das áreas molhadas, mantendo assim, uma distribuição uniforme da água. Sendo assim, geralmente recomenda-se um espaçamento entre os emissores em torno de 50% do seu raio de alcance, permitindo que o jato do microaspersor sobreponha o raio dos microaspersores vizinhos.

A microaspersão apresenta todas as vantagens atribuídas aos sistemas de irrigação localizada, acrescentando a facilidade de visualização de distribuição d'água na superfície do solo. Comparada ao sistema de gotejamento, oferece menores riscos de entupimento, pois apresentam emissores com maior diâmetro de saída de água. Em contrapartida, pode favorecer o aparecimento de doenças devido ao fato de permitir o molhamento parcial da parte aérea da planta (caule, por exemplo). Este tipo de sistema pode apresentar perdas de água pela deriva do jato por ventos fortes, assim como, perdas por evaporação em locais de baixa umidade e altas temperaturas. Normalmente a filtração exigida é mínima e requer manutenção menor que o sistema por gotejamento.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR BORBULHAMENTO

Na irrigação por borbulhamento (*bubbler ou xerigation*) a água é aplicada localizadamente na superfície do solo na forma de uma fonte borbulhante, a partir de um emissor comercial, na forma de guarda-chuva, ou escoando por um tubo de pequeno diâmetro em torno de 1 a 10 mm (Figura 165).



Figura 165: Exemplo da operação de dois tipos de emissores empregados em sistema de borbulhamento (Fonte: HUNTER, 2016 e RAINBIRD, 2016).

Nos Estados Unidos esse sistema é aplicado principalmente na irrigação paisagística, não tendo participação significativa na agricultura. Segundo HILLS & YITAYEW (2070), a sua não aceitação na área agrícola se deve a falta de interesse no desenvolvimento de um critério de projeto e pela não aceitação dos procedimentos de operação do sistema. No Brasil, o seu aproveitamento é praticamente inexistente.

Nesses sistemas geralmente a intensidade de aplicação é superior à velocidade de infiltração do solo, requerendo a construção de pequenas bacias ou coroamento no pé da planta para armazenar e controlar a distribuição de água no solo. Os emissores borbulhantes assemelham-se aos emissores de pequeno orifício usados em gotejamento, mas com maiores vazões.

Os sistemas de borbulhamento podem ser planejados para operar a pressões baixas ou sobre a ação da gravidade (10 kPa), quando a configuração do sistema permitir, e também para pressões mais elevadas (150 kPa). A vazão típica desses emissores varia entre 5 e 80 L h⁻¹. A maioria dos borbulhadores é comercializada com dispositivos para compensar a variação de pressão, podendo ser equipados com uma ou múltiplas saídas (Figura 166).



Figura 166: Detalhe da operação de um borbulhador de múltiplas saídas (Fonte: RAINBIRD, 2016).

Esses sistemas podem ser utilizados em culturas perenes, principalmente pomares, devido à possibilidade de se utilizar linhas enterradas e bacias ao redor das plantas.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR EXSUDAÇÃO

A irrigação por exsudação é um sistema de irrigação localizada que utiliza uma tubulação porosa para exsudar ou transpirar a água pelos seus poros, sendo distribuída de forma linear ao longo de seu comprimento e na totalidade da superfície do solo em contato com ela (Figura 167). A água exsudada produz uma faixa umedecida de solo que é contínua ao longo das linhas de irrigação.



Figura 167: Fita geotêxtil utilizada na irrigação por exsudação (Fonte: PORITEX, 2011).

No mercado mundial existem diferentes tipos de materiais de fabricação de tubos porosos: de borracha natural, de polietileno e têxtil (tecido com poliéster impregnado com resina). O sistema mais comercializado é o tubo têxtil e, segundo PASSEROTTI (2000), este sistema pode apresentar as seguintes vantagens:

- Economia de água e energia;
- Permite a aplicação de adubos e produtos químicos;
- Apresenta menor evaporação de água quando comparado a sistemas de inundação e aspersão;
- Opera a baixas pressões (20 a 80 kPa);
- São de fácil instalação, manuseio e manutenção;
- Possui boa durabilidade, e quando enterrado apresenta maior vida útil;
- Exige pouco espaço para armazenagem e transporte;
- Aplicável para diferentes tipos de cultivo (superfície coberta ou enterrada);
- As raízes não afetam os tubos, pois cessada a irrigação estes drenam completamente;
- Não provoca compactação e erosão no terreno.

Entretanto, esse sistema pode apresentar problemas de entupimento, que tendem a se agravar, pois como as partículas maiores de impurezas não atravessam os poros da tubulação, as partículas menores que não conseguem ultrapassar essa camada agregam-se às partículas maiores, o que resulta em incrustações. Esse fenômeno foi constatado por BATISTA (2001), que observou, tanto em testes de laboratório como em campo, uma diminuição na vazão contínua do tubo com o tempo de uso, sendo este efeito mais pronunciado quando foi utilizada água não tratada. Ocorre também o problema da falta de uniformidade de distribuição, sendo que na região próxima ao início da linha, a quantidade de água distribuída é maior que na região posterior, principalmente em solos arenosos onde o efeito da distribuição da água pelo solo é menor. Além disso, as tubulações também podem sofrer danos causados por roedores e cupins.

O sistema de irrigação por exsudação pode ser empregado em hortas, produção de flores, pastagens, cultivos extensivos, fruticultura, viticultura, jardinagem, gramados, viveiros de plantas, estradas, paisagismo. A Figura 168 apresenta a aplicação de tubos têxteis de exsudação em campo, e a Figura 169 mostra a sua aplicação na irrigação subterrânea na cultura do morango.



Figura 168: Exemplos da aplicação de tubos têxteis de exsudação na agricultura (Fonte: PORITEX, 2010).



Figura 169: Exemplo de aplicação do tubo têxtil de exsudação enterrado na cultura do morango (Fonte: PASSEROTTI, 2000).

IRRIGAÇÃO DE SUBSUPERFÍCIE

Roberto Testezlaf e Rhuanito Soranz Ferrarezi

INTRODUÇÃO

A irrigação de subsuperfície também chamada de irrigação subterrânea se caracteriza pela aplicação da água diretamente ou abaixo do sistema radicular das culturas. O processo de capilaridade ou de ascensão capilar da água (FERRAREZI et al., 2015b), nos solos ou substratos, responsável pela sua elevação contra a ação da gravidade é o princípio básico de operação desse método, que pode ser tanto aplicado em condições de campo como de cultivos protegidos.

Quando o cultivo é feito em campo essa aplicação dever ser realizada no volume de solo abaixo da superfície do solo, controlando artificialmente o bulbo molhado ou zona de saturação e mantendo-o a uma profundidade ideal para que a água suba até as raízes da cultura por capilaridade (Figura 170).



Figura 170: Exemplo de aplicação da irrigação por meio de gotejamento subterrâneo na cultura do tomate (Fonte: PETE MORTIMER, 2016).

Não existem áreas expressivas de culturas irrigadas por esse método no Brasil, a sua aplicação está limitada ao gotejamento enterrado na cultura da cana de açúcar, café, e algumas culturas anuais. Nos Estados Unidos em 2008, a irrigação subsuperficial contribuía com somente 340 mil hectares representando 1,5% da área irrigada total (USDA, 2008), sendo utilizada, majoritariamente, em áreas que possuem lençol freático elevado ou próximo da superfície do solo.

O emprego da irrigação de subsuperfície em cultivos realizados em estufas ou ambientes protegidos, também chamada de subirrigação requer o controle da irrigação de forma a colocar as raízes ou o meio crescimento (substrato) em contato direto com a solução nutritiva. A Figura 171 exemplifica o emprego da subirrigação em ambientes protegidos na produção de plantas ornamentais em mesas de subirrigação, onde a solução nutritiva circula pelo equipamento e é absorvida pelo contato com as raízes da cultura que estão acondicionadas em bandejas.

Não existe um levantamento oficial da área irrigada pela irrigação de subsuperfície em ambientes protegidos no Brasil, mas acredita-se que a sua participação seja inexpressiva perante aos outros métodos. Isso se deve ao fato de se tratar de uma tecnologia relativamente nova que ainda não está incluída nos censos ou levantamentos como método de irrigação e por ainda necessitar de mais desenvolvimentos tecnológicos, relacionados especialmente a equipamentos, manejo, e de mais conhecimentos operacionais para gerar a confiança necessária para ser adotada por agricultores.



Figura 171: Produção de plantas ornamentais em mesas de subirrigação na cidade de Colbert, Estado da Georgia (EUA).

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

No caso dos cultivos irrigados em campo por esse método, o processo artificial de criação de um volume saturado no solo pode ser realizado de duas formas:

- **Gotejamento subterrâneo ou enterrado:** Nesse sistema, a aplicação de água é realizada por gotejadores enterrados logo abaixo do sistema radicular, próximos à região explorada pelas raízes, sem que haja o molhamento da superfície (Figura 172).



Figura 172: Irrigação por gotejamento enterrado na cultura de café (Fonte: CAFEPOINT, 2016).

- **Elevação do lençol freático:** Esse princípio de operação é utilizado nos Estados Unidos, principalmente em áreas cultivadas com batata e se baseia na aplicação de água na superfície do solo, usando sulcos ou canais bem espaçados, que irão contribuir com a saturação do perfil do solo, elevando o lençol freático até a profundidade desejada (Figura 173).



Figura 173: Sistemas de irrigação subsuperficial na cultura da batata com o emprego de sulcos superficiais.

A aplicação de água subsuperficial nos sistemas empregados no campo apresenta benefícios e limitações. Dentre os benefícios pode-se citar:

- Alta eficiência de aplicação de água, com a redução das perdas de água e nutrientes, devido a aplicações diretas na zona radicular;
- Aplicação uniforme de água;
- Baixos requerimentos de pressão e de potência;
- Redução de prejuízos por vandalismo devido o sistema estar enterrado;
- Potencial para ser automatizado;
- Facilita a mecanização da cultura e o controle de plantas infestantes.

Entretanto, o emprego desse método em campo pode apresentar limitações, do tipo:

- Custo inicial é elevado, principalmente com o uso de gotejamento;
- O perfil de molhamento da água não pode ser visualizado;
- É suscetível a entupimento de emissores por intrusão de raízes,
- Pode sofrer danos por roedores;
- Necessita maior controle da irrigação como uso de hidrômetros, válvulas de drenagem e antivácuo;
- Uso criterioso do sistema de filtragem, no caso de gotejamento;
- Pode apresentar requerimentos complexos de manutenção, como cloração, injeção de ácidos, lavagem da tubulação;
- Dificuldade da visualização de problemas que necessitam de reparos e da realização de manutenção corretiva.

Quando se trata da aplicação da subirrigação em ambientes protegidos, com destaque para o cultivo de mudas, flores e plantas ornamentais, o princípio de aplicação de água exige o contato da solução nutritiva (água com adição de nutrientes) com o substrato ou diretamente com as raízes das plantas (cultivo sem solo). Portanto, nesse tipo de cultivo pode-se afirmar que existem dois tipos de sistemas:

- **Sistemas de subirrigação:** São sistemas utilizados em plantas cultivadas em recipientes, bandejas, tubetes ou vasos empregando meios de crescimento ou substratos. Um exemplo são as mesas de subirrigação, que tem bordas elevadas que, no momento da aplicação de água, são cheias até um determinado nível, fazendo com que parte do substrato seja saturada e as plantas irrigadas por capilaridade. A Figura 174 apresenta exemplos das mesas de subirrigação utilizadas por um produtor na cidade de Colbert, no Estado da Geórgia (EUA).



Figura 174: Exemplo de produção de flores cultivadas em mesas de subirrigação.

- **Sistemas hidropônicos:** são os sistemas de produção onde as plantas crescem em contato somente com a água ou solução nutritiva, sem a utilização do solo. Neste

caso, todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas são dissolvidos na água que vai circular pelo sistema e passar pelas raízes que serão responsáveis pela absorção dos nutrientes. Esses sistemas serão descritos posteriormente nesse documento (Figura 175).



Figura 175: Produção de alface em calhas de hidroponia (Fonte: FRAGMAQ, 2016).

Quando utilizado na produção vegetal em ambiente protegido, a subirrigação apresenta diversos benefícios em relação aos demais sistemas de irrigação:

- Aumento da produção por área (ROUPHAEL et al., 2006);
- Controle efetivo de plantas daninhas (WILEN et al., 1999);
- Eliminação das perdas de água e nutrientes para o meio ambiente, pois a água pode ser recirculada e os sais ficam no substrato de cultivo em função de ser um sistema fechado, sem acúmulo nos solos e potencial contaminação de lençóis freáticos;
- Fornecimento adequado dos nutrientes minerais (LAVIOLA et al., 2007);
- Menor tempo para produção de mudas e plantas e aumento na uniformidade de produção (BARRETO, 2011);
- Possibilidade de aplicação de defensivos agrícolas e de estimuladores de crescimento vegetal (VAN IERSEL et al., 2001 e ROUPHAEL et al., 2006);
- Possibilidade de automação de sua operação;
- Redução da disseminação de patógenos (ROUPHAEL et al., 2006);
- Redução da dispersão de contaminantes químicos (MILLION et al., 1999);
- Redução na quantidade de água aplicada (JAMES & VAN IERSEL, 2001);
- Redução nos custos com mão-de-obra, demonstrando maior empregabilidade em culturas de maior valor econômico, principalmente quando o custo de mão-de-obra é mais representativo (UVA et al., 2001).

Por outro lado, pode apresentar limitações quanto à sua utilização comercial, dentre as quais é possível citar:

- Alta concentração de sais nas camadas superiores do substrato em relação à porção inferior em contato com a água (ROUPHAEL et al., 2006; RICHARDS & REED, 2004; DOLE et al., 1994);
- Alto custo inicial de implantação e manutenção (UVA et al., 1998);
- Aumento do risco de disseminação de fitopatógenos, principalmente aqueles veiculados pela água de irrigação e fertirrigação (VAN DER GAAG et al., 2001);
- Falta de manejo hídrico e nutricional adequado em razão da utilização de substratos com características físicas diferenciadas (CARON et al., 2005);
- Utilização de estrutura de suporte, o que dificulta reaproveitamento de estruturas já disponíveis nos ambientes de produção.

SISTEMA DE SUBSUPERFÍCIE POR GOTEJAMENTO SUBTERRÂNEO

INTRODUÇÃO

Na irrigação por gotejamento subterrâneo, a água é aplicada por emissores que estão enterrados e localizados diretamente ou abaixo da zona radicular (Figura 176). Nesse tipo de sistema de irrigação, a água é aplicada com maior frequência que nos outros métodos, buscando repor diariamente a água perdida por evapotranspiração.



Figura 176: Emprego de um sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo na cultura do milho (Fonte: EHMKE, 2014).

O movimento e a redistribuição de água no perfil do solo ocorrem basicamente pelo diferencial do potencial total, onde os componentes mais significativos são o potencial matricial ou capilar, que tem a mesma magnitude em todas as direções do perfil do solo e o potencial gravitacional, que direcionada a água para baixo. O princípio da irrigação de subsuperfície é que, mediante a aplicação frequente de pequenos volumes de água, o potencial matricial, que é maior quanto mais seco estiver o solo, prevaleça sobre o gravitacional, fazendo assim, que a água se movimente mais no sentido horizontal, criando um bulbo molhado ou volume umedecido com dimensões suficientes para atingir a zona radicular da cultura (Figura 177).

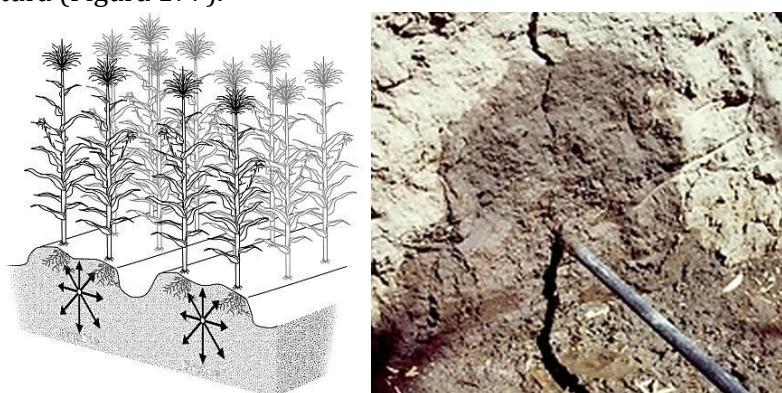


Figura 177: Bulbo de umedecimento gerado por linha lateral de gotejamento enterrada (Fonte: K-STATE, 2010).

A irrigação por gotejamento subsuperficial incrementa a eficiência do uso da água pela redução ou remoção das perdas ou dos usos não benéficos da água, como a evaporação, escoamento superficial ou percolação profunda. Consequentemente, como aplica volumes de água próximos ao requerimento diário da cultura, se torna mais eficiente e com menos consumo dos recursos hídricos do que os outros sistemas de irrigação. Desta forma, a irrigação subsuperficial proporciona maior produção com menor consumo de água.

Em função de aplicar a água abaixo da superfície do solo, esse sistema apresenta algumas vantagens quando comparado a outros sistemas de irrigação:

- Proteção dos tubos plásticos à deterioração da luz do sol e aos estragos causados pelos tratos culturais e da mecanização (Figura 178);
- Redução de condições saturadas na superfície do solo;
- Baixo potencial para causar escoamento superficial e erosão do solo.



Figura 178: Cultura da alface irrigada por gotejamento subsuperficial.

- Comprovada economia de água do sistema;
- Aplicação de água com alta uniformidade e eficiência, quando o sistema é projetado e operado adequadamente;
- Apresenta também a possibilidade de automação;
- Limita o crescimento e germinação de ervas daninhas pela indisponibilidade hídrica na superfície do solo;
- Requer menor potencia no bombeamento e consumo de energia por operar a baixas pressões e vazões;
- Menor incidência de doenças devido à ausência de molhamento foliar da cultura;
- Operações de tratos culturais podem ocorrer durante os eventos de irrigação;
- Redução das limitações relacionadas ao clima, como ventos fortes ou temperaturas extremas;

Apresenta também desvantagens, como:

- Alto custo inicial de investimento, devido ao custo de instalação;
- Impossibilidade de visualizar a operação do sistema, dificultando a realização de reparos e manutenção,
- Ocorrência de entupimentos do sistema por sucção de solo pelos emissores no desligamento do sistema devido à pressão negativa ou por pinçamento das linhas ou por intrusão radicular nos gotejadores devido ao crescimento das raízes próximo às tubulações (Figura 179);
- Requer um tratamento mais complexo da qualidade de água quando comparado com gotejamento na superfície do solo;
- Exige mais procedimentos de manutenção como: injeção de ácidos, cloração e lavagens das tubulações mais frequentes;
- Sistema requer mais componentes hidráulicos (válvula antivácuo, válvula antidrenantes, etc..);
- Pode apresentar desenvolvimento radicular restrito ao volume molhado (Figura 179);



Figura 179: Detalhe do perfil do solo e o crescimento radicular de uma videira com oito anos irrigada por gotejamento subsuperficial (Fonte: ISRAELAGRI, 2016).

- O bulbo molhado pode apresentar dimensões reduzidas em solos arenosos e com perdas por percolação;
- Pode gerar limitações na germinação das culturas;

A tecnologia do gotejamento subsuperficial está presente na agricultura desde os anos 60 do século XX. Entretanto, o seu maior desenvolvimento ocorreu nas últimas duas décadas graças ao desenvolvimento de pesquisas aplicadas para solucionar as suas limitações e proporcionar uma irrigação mais eficiente e sustentável. Dessa forma, o potencial de mercado desta tecnologia tem aumentado apesar da relação custo/benefício apresentar-se alta quando comparada a outros métodos, sendo necessário minimizar estes custos, tornando assim, essa tecnologia mais prática e econômica.

COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema de irrigação subsuperficial por gotejamento possui praticamente os mesmos componentes de um sistema de gotejamento convencional. A Figura 180 apresenta um esquema da montagem de um sistema no campo, onde é possível identificar o cabeçal de controle, as linhas de distribuição e as linhas laterais enterradas.

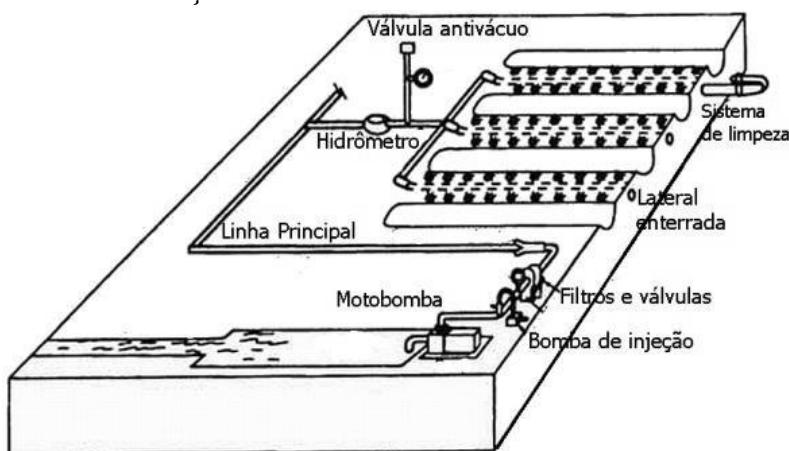


Figura 180: Esquema da instalação de um sistema de gotejamento subsuperficial em campo (Adaptado de CSU-EXTENSION, 2010).

No projeto desses sistemas é preciso considerar um sistema de drenagem das linhas laterais de forma a permitir a retirada de resíduos que ficarem sedimentados nas linhas de irrigação. Na Figura 181 é apresentado um cabeçal de controle típico de um sistema subsuperficial de gotejamento onde o sistema de filtragem deve ser adequadamente projetado.



Figura 181: Instalações de um cabeçal de controle para irrigação por gotejamento subsuperficial em cana de açúcar.

Nesses sistemas é imprescindível o uso de ventosas de duplo efeito em todos os pontos altos ou de mudança de declividade das tubulações para prevenir sucção e entrada de solo ao drenar a tubulação, especialmente em declives acentuados. Como o solo saturado próximo aos gotejadores, não permite, na maioria das vezes, a entrada de ar na lateral durante a drenagem, desenvolve-se assim pressões negativas dentro da tubulação que vai sugar partículas do solo via gotejador. Essas partículas são acumuladas no tubo e tendem a sair pelos gotejadores das partes mais baixas, podendo causar entupimento. Outra possibilidade para minimizar esse problema é o uso de gotejadores especiais com sistemas antisucção, como os mostrados na Figura 182.



Figura 182: Exemplo de gotejadores com dispositivos antisucção.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

As tubulações dos sistemas de irrigação subsuperficial são enterradas com o auxílio de maquinário específico acoplado ao trator (Figura 183).



Figura 183: Detalhe de implemento utilizado para instalação de linhas laterais subsuperficiais.

A profundidade de instalação das tubulações pode variar de 15 a 60 cm, dependendo da cultura e do solo. Plantas com sistema radicular raso, como hortaliças, podem requerer uma profundidade menor que 10 cm.

Solos mais arenosos possuem baixa ascensão capilar, resultando em bulbos desuniformes e com pouca expansão horizontal e no sentido da superfície do solo. Esse comportamento pode dificultar o processo de germinação das culturas, necessitando profundidades de instalação mais rasas e com espaçamentos menores, podendo necessitar, às vezes, da complementação da irrigação por aspersão nessa fase do ciclo.

Em solos mais argilosos, a água ascende com maior facilidade e se distribui melhor horizontalmente, permitindo que as linhas sejam instaladas mais profundamente e espaçadas. Essa instalação mais profunda ajuda a prevenir o ataque de roedores e aumenta os benefícios das técnicas de plantio (Figura 184).



Figura 184: Detalhes da instalação das linhas secundárias e das laterais (KIZER, 2011).

Para se atingir um teor de água uniforme ao longo de toda área irrigada pelas linhas enterradas é necessário que a profundidade de instalação dos gotejadores seja constante, com a saída de água do gotejador voltada preferencialmente para a parte de cima da tubulação.

SISTEMA DE SUBSUPERFÍCIE POR ELEVAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO

INTRODUÇÃO

Nesse sistema de subirrigação, o nível do lençol freático da área de cultivo é controlado a uma profundidade abaixo da zona radicular das culturas, permitindo que a água ascenda para as raízes por capilaridade. Essa técnica de irrigação é viável em áreas de produção agrícola com um lençol freático alto, devido geralmente à presença de uma camada impermeável rasa. Esses sistemas de subirrigação também podem operar como um sistema de drenagem em solos mal drenados. A Figura 185 mostra uma área irrigada por esse sistema no Estado da Florida, EUA, que tem a dupla função de irrigar e drenar. Nessa figura é possível visualizar o canal ou sulco que serve como controle do nível do lençol freático, tanto para a situação de drenagem como de irrigação da área de cultivo.



Figura 185: Exemplo de sistema de subirrigação por elevação do lençol freático na cultura da batata no Estado da Florida, EUA (Fonte: IFAS, 2010).

A operação desses sistemas acontece de duas formas distintas. Nos períodos de seca ou com baixa precipitação, quando não há água disponível nos canais, é necessário bombeiar água para dentro do canal de controle, que irá escoar por gravidade até encontrar a comporta de saída. A água armazenada nesse canal irá infiltrar no perfil do solo, elevando o nível do lençol freático da área de cultivo (Figura 186). A manutenção do nível da água no canal de drenagem pela ação das comportas determina a elevação da água por capilaridade até uma profundidade considerada ideal para a cultura, evitando a saturação do sistema radicular.

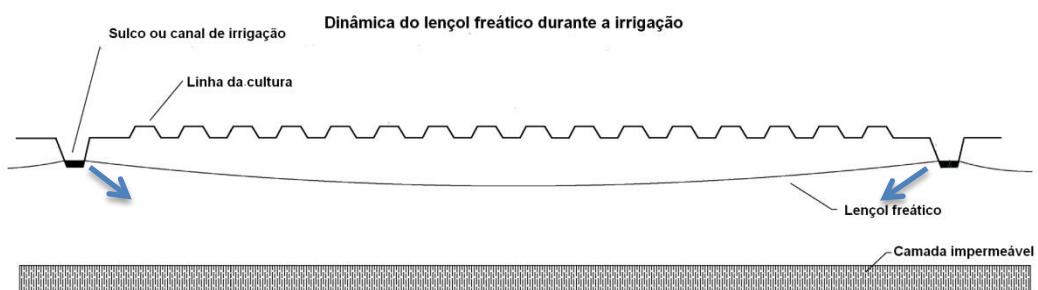


Figura 186: Ilustração esquemática da contribuição do canal de irrigação para o lençol freático (Fonte: Adaptação de ZOTARELLI et al., 2013)

Durante os períodos de maiores precipitações este sistema funciona como um sistema de drenagem, retirando o excesso de água do campo por meio de canais, com saída para um sistema drenagem principal ou canal aberto (Figura 187). A utilização de uma comporta na saída do canal de drenagem permite regular a vazão de drenagem, possibilitando que o sistema funcione como um sistema de drenagem controlado, mantendo o nível freático a profundidade desejada.

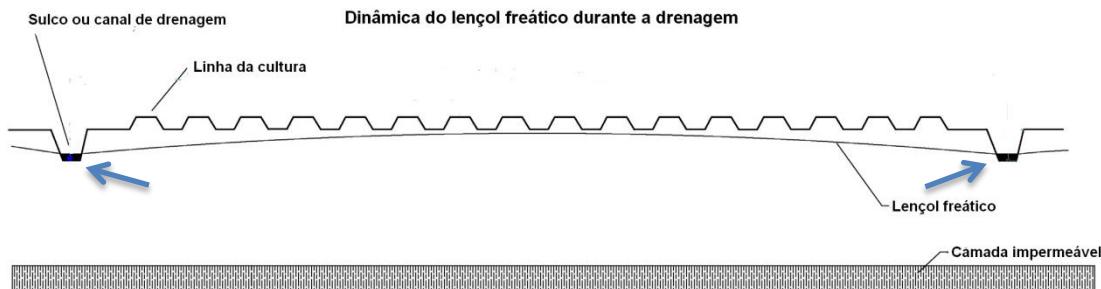


Figura 187: Ilustração esquemática da contribuição do canal de drenagem no rebaixamento do lençol durante a fase de drenagem da área (Fonte: Adaptação de ZOTARELLI et al., 2013)

A operação desse sistema ao longo do ciclo da cultura oscila normalmente entre a drenagem controlada e a subirrigação, em função do regime pluviométrico da região. Dessa forma, o sistema exige um monitoramento intensivo para o seu funcionamento eficaz. Como o nível freático deve ser estabelecido e mantido em uma baixa profundidade, recomenda-se a utilização do sistema de subirrigação em terras relativamente planas, geralmente em planícies e vales aluviais, associados a sistemas de drenagem (Figura 188). A propriedade agrícola necessita ter alta disponibilidade de água e o perfil do solo deve contar com a presença de camadas uniformes de solo impermeável ou de lençóis freáticos permanentemente rasos.



Figura 188: Exemplo do cultivo da batata irrigada por elevação do lençol freático em áreas planas (Fonte: ZOTARELLI et al., 2013).

Uma forma alternativa de controlar o nível do freático, melhorando a uniformidade de distribuição ao longo da linha da cultura e reduzindo o tempo requerido para elevar o lençol freático é a utilização da irrigação por gotejamento enterrado ou subsuperficial (Figura 189).



Figura 189: Sistema de elevação do lençol freático por gotejamento enterrado na cultura da batata (Fonte: IFAS, 2010).

A água aplicada a altas intensidades pelas linhas de gotejamento enterradas se infiltra rapidamente atingindo e elevando o lençol freático um pouco acima do limite inferior da zona

radicular da cultura (Figura 190). Esse tipo de aplicação gera um lençol freático temporariamente elevado que drena lentamente com o tempo.

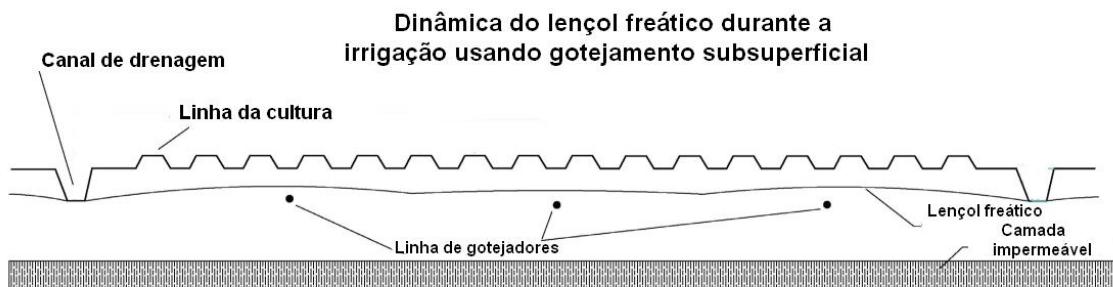


Figura 190: Ilustração esquemática da operação da irrigação por gotejamento subsuperficial na elevação do lençol freático durante a irrigação da área (Fonte: Adaptação de ZOTARELLI et al., 2013).

O sistema de aplicação de água por gotejamento na subirrigação apresenta algumas vantagens no controle do lençol freático como, a maior uniformidade de distribuição de água e requerimentos reduzidos de água para irrigação. A uniformidade é maior porque a água é distribuída por tubulações laterais com vazões controladas pela operação hidráulica do sistema. Adicionalmente, existe uma redução na demanda de água devido a sua aplicação localizada diretamente nos canteiros, sendo uma parte da água fornecida pelo lençol freático e também pela redução do escoamento superficial.

Esse sistema de irrigação subsuperficial é indicado no cultivo de plantas de elevado valor econômico, que requer elevada umidade no solo, assim como, para algumas espécies hortícolas e frutíferas. Os estudos recentes com esse método também tem enfatizado a irrigação de culturas anuais, como milho, algodão e culturas perenes como café e citros.

Apesar de esse sistema ser empregado nos Estados Unidos com certo sucesso, principalmente na cultura da batata no estado da Florida, o seu emprego no Brasil é praticamente desconhecido. Entretanto, a sua aplicação poderia ser realizada em áreas adequadas com relevo plano e que possuem lençol freático elevado ou próximo da superfície do solo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO

Nesse tipo de sistema de irrigação, o agricultor precisa tomar as seguintes decisões importantes com relação ao seu manejo:

- O momento de atuar no sistema de controle para elevar ou baixar o nível da água;
- A definição da profundidade que deve ser mantido o nível freático na área de cultivo e, consequentemente, como regular o sistema de controle da saída de água do sistema;
- Momento de aplicar água no sistema para que não falte água para a cultura.

Essas decisões são diferentes para cada local e também para cada cultura explorada. As variações no tipo de solo, da capacidade de retenção de água do solo, profundidade do sistema radicular, profundidade dos drenos, da profundidade e do tipo da estrutura de controle, vão definir a quantidade de água a ser aplicada e a que será drenada pelo sistema.

A Figura 191 apresenta detalhes de sistemas de controle utilizados na subirrigação por elevação do lençol freático para garantir o volume aplicado e a profundidade de elevação do nível de saturação.



Figura 191: Detalhes de sistemas de controle utilizados na subirrigação: calha na entrada do sulco para controle da vazão (esquerda), e piezômetro para detectar a profundidade do nível do lençol freático (direita).

No lado esquerdo da Figura 191 é mostrado o uso de uma calha tipo Parshall para monitoramento da vazão de entrada no canal ou sulco. Do lado direito da figura é destacado o uso de um piezômetro constituído de um tubo perfurado de PVC, instalado no perfil do solo e com uma régua graduada colada em uma boia colocada em seu interior, que fica flutuando na superfície do poço para monitorar os níveis do lençol freático na área de cultivo.

Nesses sistemas, o lençol freático pode ser controlado para se manter a uma profundidade constante ou variável atendendo as alterações da zona radicular com o crescimento da cultura. As flutuações diurnas do lençol freático ocorrem como a queda do nível freático devido à evapotranspiração da cultura, recuperando-se a noite com a redução da demanda das plantas.

SISTEMAS DE SUBIRRIGAÇÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO

INTRODUÇÃO

A subirrigação é o sistema de irrigação subsuperficial que aplica água na base dos recipientes de cultivo, sejam eles vasos, bandejas ou tubetes, umedecendo o substrato pela ação da capilaridade. Esse fenômeno proporciona a ascensão da água e dos nutrientes dissolvidos na solução nutritiva da base para o topo do recipiente (FERRAREZI et al., 2015a). A Figura 192 exemplifica esquematicamente a operação de uma mesa de subirrigação.

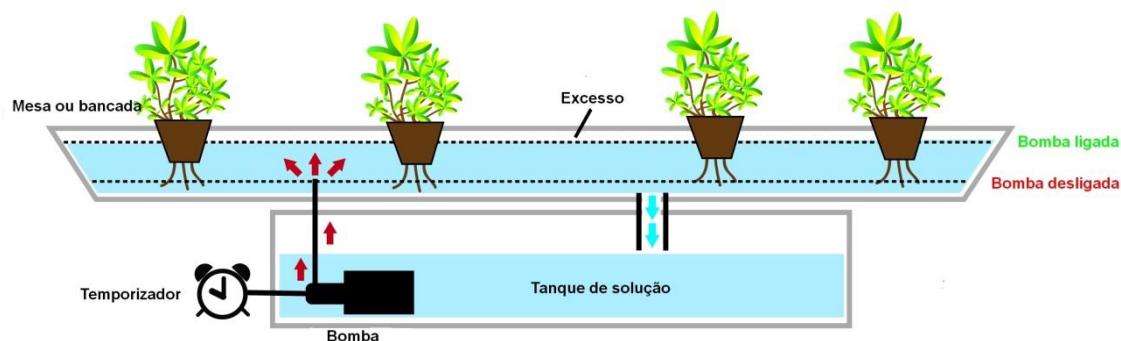


Figura 192: Ilustração esquemática da operação de uma mesa de subirrigação utilizada em ambiente protegido.

A operação desse sistema de subirrigação requer o bombeamento da solução nutritiva de um tanque para o enchimento temporário de uma mesa de produção, seguido de um rápido esvaziamento, após o desligamento da bomba (FERRAREZI et al., 2015b). A operação do sistema pode ser realizada por uma bomba de recalque acionado por um temporizador ou sensor de umidade (FERRAREZI et al., 2015a) ou por gravidade utilizando um depósito instalado numa cota superior a bancada. A solução nutritiva recalcada pela bomba para a mesa atinge o sistema radicular pela ação da ascensão capilar no substrato. Uma vez desligado o bombeamento, a solução nutritiva retorna por gravidade ao depósito, esvaziando a mesa.

A subirrigação é uma alternativa tecnológica para maximizar o uso da água em ambientes protegidos, operando como um circuito fechado de irrigação, no qual ocorre recirculação da solução nutritiva e/ou da água ao longo dos ciclos de cultivo (FERRAREZI et al., 2014). Nesses ambientes, a solução nutritiva descartada na irrigação é coletada, misturada com os adubos para compor uma nova solução (devidamente ajustada com os nutrientes necessários) e recirculada, sendo aplicada em irrigações subsequentes, incrementando a eficiência de utilização de água e nutrientes e reduzindo a poluição ambiental causada pela lixiviação da solução nutritiva.

A subirrigação apresenta diversos benefícios em relação aos demais sistemas de irrigação utilizados na produção vegetal em ambiente protegido:

- Aumento da produtividade das culturas (ROUPHAEL et al., 2006);
- Controle efetivo de plantas daninhas (WILEN et al., 1999);
- Eliminação das perdas de água e nutrientes para o meio ambiente, pois a água pode ser recirculada e os sais ficam no substrato de cultivo em função de ser um sistema fechado, sem acúmulo nos solos e potencial contaminação de lençóis freáticos;
- Fornecimento adequado dos nutrientes minerais (LAVIOLA et al., 2007);
- Menor tempo para produção de mudas e plantas e aumento na uniformidade de produção (BARRETO, 2011; BARRETO et al., 2015);

- Possibilidade de aplicação de defensivos agrícolas e de estimuladores de crescimento vegetal (VAN IERSEL et al., 2001 e ROUPHAEL et al., 2006);
- Possibilidade de controle do crescimento vegetal (FERRAREZI et al., 2015a, e FERRAREZI et al., 2015c);
- Possibilidade de automação de sua operação (FERRAREZI et al., 2015);
- Redução da dispersão de contaminantes químicos no meio ambiente (MILLION et al., 1999);
- Redução na quantidade de água aplicada (JAMES & VAN IERSEL, 2001);
- Redução nos custos com mão-de-obra, demonstrando maior empregabilidade em culturas de maior valor econômico, principalmente quando o custo de mão-de-obra é mais representativo (UVA et al., 2001).

Por outro lado, pode apresentar limitações quanto à sua utilização comercial, dentre as quais é possível citar:

- Alta concentração de sais nas camadas superiores do substrato em relação à porção inferior em contato com a água (ROUPHAEL et al., 2006; RICHARDS & REED, 2004; DOLE et al., 1994);
- Alto custo inicial de implantação e manutenção (UVA et al., 1998);
- Aumento do risco de disseminação de fitopatógenos, principalmente aqueles veiculados pela água de irrigação e fertirrigação (VAN DER GAAG et al., 2001);
- Dificuldade de adequar o manejo hídrico e nutricional das culturas em razão das diferenças entre as características físicas dos substratos comerciais (CARON et al., 2005);
- Limitação do reaproveitamento da infraestrutura de produção disponível nas propriedades agrícolas devido requerimentos específicos desses sistemas.

Por aplicar a solução pela base dos recipientes, a subirrigação não possibilita a lixiviação do substrato, podendo gerar um aumento do valor de condutividade elétrica do meio e também do material drenado. Os sais tendem a se acumular no substrato, em particular no terço superior apical do recipiente, como resultado do movimento ascendente de água realizado para absorção seletiva de nutrientes pelas raízes. Todavia, INCROCCI et al. (2006) indicam que a alta salinidade na porção superior do substrato não causa estresse salino em plantas irrigadas por subirrigação, porque suas raízes crescem mais na região basal do recipiente de cultivo, onde os valores dos parâmetros determinados foram similares aos da irrigação por gotejamento.

Outra limitação do uso do princípio de capilaridade na produção agrícola intensiva é a falta de informações técnicas sobre a operação do manejo de irrigação (RIBEIRO et al., 2014). Existem poucos dados científicos que recomendem a altura do nível de saturação na bancada (FERRAREZI et al., 2016), assim como sobre o tempo de saturação ótimo para cada tipo de substrato (FERRAREZI et al., 2016). Como os substratos se caracterizam por alta porosidade e elevada aeração, a frequência de irrigação tradicionalmente utilizada é a diária. Entretanto, com o crescimento vegetal e o aumento de demanda hídrica, existe a necessidade de se adequar o turno de rega em cada estádio fenológico das culturas.

CLASSIFICAÇÃO E TIPOS DE EQUIPAMENTOS

Existem diferentes sistemas de subirrigação usados comercialmente e outros adaptados para objetivos específicos de produção. A escolha dos equipamentos mais adequados deve se basear nas condições locais de produção, no valor agregado da cultura explorada e nas condições de investimento do produtor (FERRAREZI et al., 2015b).

Os tipos de equipamentos utilizados na subirrigação podem variar desde estruturas simples e baratas, baseado no uso de pequenas piscinas infantis adaptadas para produção de espécies florestais latifoliadas em grandes recipientes, até sistemas pré-fabricados e automatizados, para a produção de mudas de plantas ornamentais com alto rendimento de produção.

FERRAREZI et al. (2015b) classificam os sistemas de subirrigação em seis tipos básicos: Mesas niveladas de encher e drenar (*Ebb-and-Flow*) ou mesas de subirrigação, Piso de inundação (*Flood-and-Floor*), Canais ou calhas rasas em desnível (*Trough Benches*), sistema de pavio (*Wick system*), Bandejas móveis (*Dutch trays*) e mantas capilares (*Capillary mat*). Além desses sistemas que permitem o desenvolvimento radicular em substratos é possível incluir ainda as calhas autocompensadas ou de pavio. Cada um desses tipos de sistemas de subirrigação será descritos e caracterizados a seguir.

- **Mesas de subirrigação:** Nessas mesas as plantas são cultivadas em recipientes, colocados sobre mesas fabricadas de plástico, devidamente niveladas e apoiadas em pés ou cavaletes (Figura 193).



Figura 193: Sistema de mesas capilares de subirrigação em flores.

A água entra no sistema, permanece por um determinado tempo na mesa e é drenada, por gravidade ou com ajuda de bombas. Esse sistema pode acomodar diferentes tamanhos de vasos, proporcionando aos produtores flexibilidade e versatilidade para produzir espécies distintas e em tamanho variados de recipientes.

- **Piso de inundação:** Esse sistema utiliza um princípio de funcionamento semelhante ao sistema de mesas, com a diferença que as plantas são colocadas no chão da estufa, numa superfície de concreto nivelada sem espaços para corredores ou passagens, de tal maneira que todos os espaços estão potencialmente disponíveis para a produção de plantas, permitindo a produção de diversos tipos de culturas em períodos curtos (Figura 194).



Figura 194: Sistema de subirrigação por piso de inundação.

Entretanto, as tarefas de produção nesse sistema são mais intensivas, exigindo esforço físico maior devido a necessidade de agachamento para realização dos tratos culturais. O investimento é menor do que o sistema de calhas, e pequenos reparos e manutenção são exigidos.

- **Canais ou calhas em desnível:** Nesse caso, as plantas cultivadas em vasos são colocadas em calhas inclinadas e encaixadas em orifícios fabricados na sua parte superior (Figura 195). A água é fornecida na parte mais alta e escoa, por gravidade para a parte mais baixa até uma tubulação ou depósito que a devolve para o tanque, onde será recirculada.



Figura 195: Aplicação de calhas em desnível de subirrigação na produção de orquídeas.

Os cultivos em calhas com o emprego de vasos, tubetes e outros recipientes vão necessitar do emprego de substratos para a sustentação do sistema radicular das plantas (Figura 196). Os substratos mais utilizados nesses casos são compostos por casca de pinus e fibra de coco, e outros substratos inertes como areia, argila expandida, pedras diversas (cascalho, areia, brita), vermiculita, lã de rocha e outros.



Figura 196: Cultivo hidropônico realizado em vasos com substrato (Fonte: ECOEFICIENTES, 2016).

Esse sistema é menos flexível para o espaçamento dos recipientes, pois o formato e tamanho das calhas são pré-determinados pelo fabricante do equipamento.

- **Calhas autocompensadas ou de pavio:** são calhas plásticas de perfil trapezoidal, que possuem um depósito intermediário na sua parte superior, por onde a solução nutritiva entra em contato com uma manta não tecida colocada na parte interna da calha (Figura 197). O substrato é colocado no interior da calha sobre a manta ou pavio, que após ser saturada, umedece o substrato por processo capilar e, consequentemente, as raízes da cultura (FERRAREZI e TESTEZLAF, 2016).



Figura 197: Detalhe do sistema de calha com pavio (manta): vazia sem substrato mostrando a manta capilar na base da calha (esquerda) e com cultivo de rúcula em substrato inerte (direita).

Como o reservatório com a solução é colocado em uma altura superior ao das calhas, esse sistema não precisa de energia elétrica, pois o depósito intermediário é reabastecido à medida que a cultura absorve a água disponível no substrato e o nível de solução no reservatório diminui.

- **Manta capilar:** Nesse sistema uma manta têxtil espessa (tipo feltro) é instalada sobre a superfície de uma bancada que é umedecida por tubos gotejadores instalados abaixo da manta ou por uma calha cheia de água alojada na sua extremidade. A ação capilar mantém a manta umedecida e os vasos com plantas absorverão a água pelas perfurações presentes na sua base (Figura 198). Uma desvantagem desse sistema pode ser a obstrução das mantas pela presença de algas.



Figura 198: Exemplo da aplicação de manta capilar no cultivo de plantas ornamentais.

- **Bandejas móveis:** são bandejas individualizadas mecanizáveis que permitem o cultivo em tubetes, onde a bandeja pode servir como meio de crescimento e de transporte entre a estufa e áreas de trabalho (Figura 199). Esse equipamento proporciona zero de percolação, porém apresenta atualmente pequena utilização.

O tamanho e quantidade de vasos/tubetes variam de acordo com a conformação da bandeja. Esse modelo de equipamento foi utilizado no Brasil por SALVADOR (2010) e BARRETO (2011), em sistemas de irrigação por capilaridade usando bandejas de resina acrílica e PVC para produção de porta-enxertos cítricos (BARRETO et al., 2015)..



Figura 199: Bandeja móvel para subirrigação.

UVA et al. (1998) caracterizaram a utilização da subirrigação em 26 estados nos Estados Unidos, por meio de uma pesquisa realizada em 50 estufas produtivas que utilizavam essa tecnologia comercialmente. Verificou-se que há predomínio da utilização do sistema de mesas de subirrigação, independentemente do tamanho da área de produção. Além disso, houve predominância entre os métodos de monitoramento e controle que utilizavam uma combinação entre sistemas computadorizados e manuais.

Os equipamentos baseados no princípio de encher e drenar são os mais utilizados na maioria dos sistemas produtivos e na pesquisa científica realizada no exterior, em razão da existência de empresas que comercializam equipamentos, facilidade de instalação e possibilidade de automação. Dessa forma, o desenvolvimento de equipamentos desse tipo para aplicações em múltiplas culturas é uma necessidade para as condições brasileiras, visando à utilização da subirrigação e o aproveitamento de seus benefícios pelos nossos produtores (RIBEIRO et al., 2016).

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO

Os sistemas de subirrigação podem ser utilizados na produção de mudas e também de plantas prontas para a comercialização, como por exemplo, espécies ornamentais (folhosas e flores), aromáticas, medicinais, florestais (nativas e exóticas, como eucalipto, pinus e teka), frutíferas (como citros, café e maracujá), entre outras espécies (FERRAREZI et al., 2015b).

A incorporação do uso da subirrigação no Brasil ainda depende do desenvolvimento de estudos que proporcionem informações técnicas sobre diferentes cultivos e a disponibilização de equipamentos fabricados no país, gerando assim oportunidades para produtores aumentar a qualidade de mudas e plantas de alto valor econômico e reduzir o impacto dos sistemas de produção sobre o meio ambiente.

SISTEMAS HIDROPÔNICOS

INTRODUÇÃO

A hidroponia é considerada um sistema de produção utilizado em cultivos protegidos que não tem o solo como meio de sustentação nutricional e física para as plantas. Toda água e nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal são aplicados diretamente no sistema radicular das plantas na forma de uma solução nutritiva balanceada (Figura 200).



Figura 200: Detalhe de calha com produção hidropônica.

A Figura 201 mostra esquematicamente a operação de um sistema convencional de hidroponia, onde as plantas são colocadas em canais, bandejas ou recipientes por onde circula uma solução nutritiva, bombeada de um reservatório. Após a solução circular no recipiente, ela retorna ao reservatório para ser novamente recirculada no sistema. Nesse sistema, a solução nutritiva percolada pode ser drenada e retornar ou não ao tanque de solução.

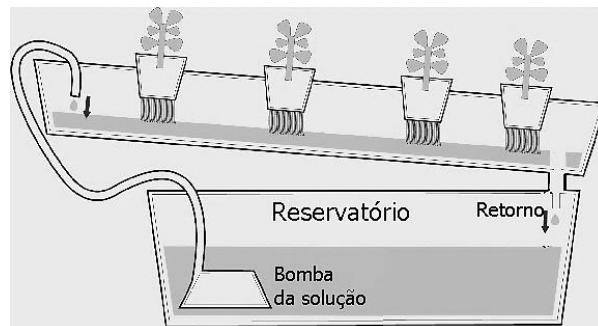


Figura 201: Esquema de operação de um sistema hidropônico.

Considerar a hidroponia como sistema de irrigação pode ser questionado pela inexistência de um meio de crescimento e de manutenção da umidade para a planta durante o seu crescimento. Entretanto, a solução nutritiva aplicada pelo sistema hidropônico é a única fonte de água e nutrientes para as plantas, tornando o seu funcionamento obrigatório para a sobrevivência da cultura. Portanto, nesse documento os sistemas hidropônicos serão considerados como uma forma de aplicação de água direta às raízes, procurando satisfazer as necessidades hídricas e nutricionais da planta, com o objetivo de atingir a produção desejada, classificando-os como sistemas de subirrigação. Dessa forma, serão aqui considerados como sistemas hidropônicos somente os cultivos realizados em raiz nua, e os cultivos em substratos serão classificados como sistemas de subirrigação. Diferenciando assim a presença ou não da ação da capilaridade no meio de crescimento.

CLASSIFICAÇÃO E TIPOS DE SISTEMAS

Segundo FURLANI et al. (1999), a hidroponia é utilizado geralmente para hortaliças frutíferas, flores e outras culturas que têm sistema radicular e parte aérea mais desenvolvida. Os sistemas hidropônicos, também chamados de cultivo em solução (raiz nua) podem ser classificados genericamente nos seguintes tipos:

- **Sistema NFT** (*Nutrient Film Technique*) ou Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes: Este sistema é composto basicamente de um tanque de solução nutritiva, de um sistema de bombeamento, dos canais de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque (Figura 201). A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoa por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes (Figura 202);



Figura 202: Sistema NFT na produção de alface (Fonte: LEME, 2016).

Segundo FURLANI et al. (1999), ocorreu nos últimos anos no Brasil um aumento de interesse pelo cultivo hidropônico predominando o sistema NFT. Entretanto, é grande o número de cultivos hidropônicos que não obtêm sucesso, principalmente em função do desconhecimento dos aspectos nutricionais das culturas que requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas.

- **Sistema DFT** (*Deep Film Technique*) ou de Leito Flutuante (*Floating Root System*): Neste tipo de sistema a solução nutritiva é colocada em uma mesa de cultivo com uma lâmina de 5 a 20 cm, onde as plantas são fixadas em um tampa superior, normalmente de isopor, permitindo que suas raízes fiquem submersas nessa solução (Figura 203).



Figura 203: Detalhe de um sistema DFT na produção de hortaliças (Fonte: TUDOHIDROPOONIA, 2016).

Como nesse tipo de sistema, as raízes das plantas permanecem submersas na solução nutritiva por todo o período de cultivo, é preciso garantir a oxigenação da solução, tanto no depósito principal quanto na caixa de cultivo. A manutenção do

nível adequado de oxigênio pode ser obtido pela instalação de um tubo “venturi” na linha de bombeamento da solução.

- **Sistema de Aeroponia (Root Mist Technique):** Esse sistema aplica a solução nutritiva por meio de nebulizadores ou sprays, criando uma névoa fina em uma câmera de crescimento onde as raízes estão suspensas (Figura 204). As aplicações da solução são feitas frequentemente em intervalos curtos de tempo para manter as raízes sempre úmidas. Como em todo sistema hidropônico a solução é bombeada controladamente a partir de um tanque, sendo que o volume da solução não utilizado retorna ao tanque para ser recirculada.

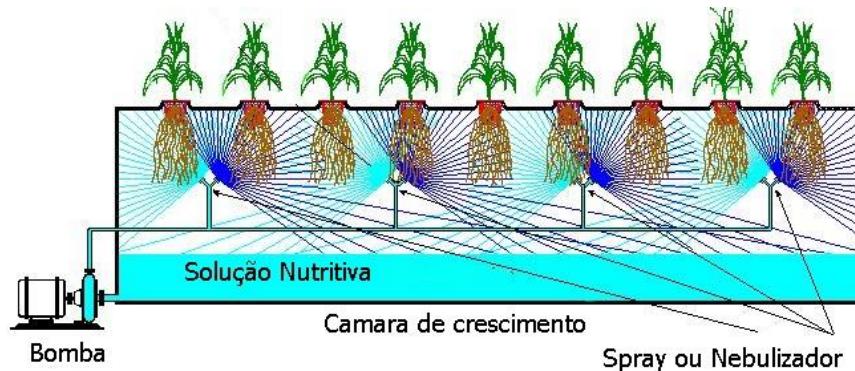


Figura 204: Esquema de um sistema de aeroponia (Fonte: Adaptado de WONG, 2016).

Segundo FURLANI et al. (1999), os sistemas hidropônicos apresentam uma série de vantagens no cultivo comercial de plantas:

- Melhor controle do crescimento vegetativo da cultura;
- Padronização da cultura e do ambiente radicular;
- Redução no uso de água;
- Eficiência do uso de fertilizantes;
- Maior produção, qualidade e precocidade;
- Maior ergonomia no trabalho manual;
- Maiores possibilidades de mecanização e automatização da cultura.

Entretanto, esse tipo de cultivo apresenta algumas limitações, como:

- O maior custo inicial para instalação;
- Exige equipamentos precisos e mais caros para aquisição, instalação e manutenção;
- Exige conhecimentos técnicos para formulação e manejo da solução;
- Produção altamente suscetível a quedas de energia e falhas de bombeamento;
- Maior facilidade de disseminação de patógenos pela solução nutritiva circulante.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO

Para o funcionamento adequado desses sistemas, é preciso ter um controle rigoroso da qualidade da solução nutritiva garantindo que ela mantém as características durante a sua circulação pelo sistema. Dessa forma, periodicamente deve ser feito um monitoramento de pH e de concentração de nutrientes pela condutividade elétrica da solução, para que as plantas se desenvolvam sem limitações nutricionais e sob as melhores condições possíveis.

Módulo III

APLICAÇÕES DA IRRIGAÇÃO

Roberto Testezlaf

Esse módulo apresenta duas aplicações de sistemas de irrigação, uma em ambiente protegido e outra na área de paisagismo. Pretende-se mostrar as adequações da técnica e dos sistemas a essas condições específicas, fornecendo detalhes do sistema de produção, operação dos equipamentos e informações básicas sobre projetos e minimização de impactos.



IRRIGAÇÃO EM AMBIENTES PROTEGIDOS

INTRODUÇÃO

A prática da agricultura em ambientes protegidos ou fechados se tornou uma alternativa de produção de fácil aceitação pelos agricultores, por demonstrar principalmente viabilidade econômica, garantia de colheita, produtos de boa qualidade, uso racional de pequenas áreas, colocação do produto em mercados próximos, entre outras vantagens. Segundo HOSSOKAWA (1997), o emprego de ambientes fechados no setor agrícola brasileiro não é recente, pois as primeiras instalações foram trazidas da Europa em fins do século XIX e início o século XX, para fins de pesquisa. Para o produtor brasileiro, o seu emprego comercial iniciou-se em meados de 1960.

Ambientes fechados podem ser definidos como qualquer estrutura que proporciona o controle climático parcial ou total na produção de flores, plantas, hortaliças permitindo o cultivo durante o ano todo. Estes ambientes podem ser classificados basicamente em dois tipos de sistemas. O primeiro, chamado de ambiente protegido, engloba as instalações que somente restringem a entrada de luz solar, como estufas, túneis e coberturas com sombrите, etc.. No segundo sistema, definido como ambiente controlado, as condições climáticas em seu interior (temperatura, umidade relativa, etc..) são controladas por equipamentos automatizados e sensores, oferecendo à planta condições ideais para desenvolvimento. É o caso das casas de vegetação (Figura 205).



Figura 205: Detalhe da produção de flores em ambiente controlado.

Apesar da falta de estatísticas oficiais sobre o cultivo em ambiente protegido no Brasil, é possível afirmar, que houve um aumento das demandas comerciais do setor nas últimas décadas, com crescimento significativo do uso dessa tecnologia, principalmente na produção de hortaliças e flores. MINAMI (1995) afirmou que esta prática atingia nesse ano uma área de 2.000 ha em todo país, havendo a expectativa que este número chegasse a 10.000 ha no ano 2.000, dos quais 6.000 ha localizados no Estado de São Paulo. O crescimento da indústria brasileira de estufas vem ocorrendo rapidamente com a introdução de técnicas simples de construção, coberturas plásticas e com o aumento de demanda do mercado por flores, folhagens, legumes e hortaliças.

Várias razões determinaram a expansão do cultivo em ambiente protegido nos últimos anos, como:

- Aumento da produção, da produtividade e da qualidade dos produtos agrícolas;
- Possibilidade de automação das atividades, visando padronização da produção e redução da mão-de-obra;

- Proteção das plantas contra os agentes meteorológicos (chuva, sol, granizo), permitindo a passagem da luz;
- Possibilidade do controle do microclima do ambiente de produção;
- Manejo da irrigação (frequência, quantidade de água aplicada) sem interferência das chuvas, com aplicação das técnicas de fertirrigação;
- Redução de infestação e manejo fitossanitário (pragas e doenças);
- Maior eficiência de aplicação e uso de água e nutrientes, visando economia de recursos e sustentabilidade ambiental (RODRIGUES, 2002).

As plantas cultivadas no interior de ambientes fechados estão em condições ideais para um melhor desenvolvimento e maior produção e, desta forma, a aplicação de água e fertilizantes, além de ter caráter obrigatório, é fator determinante para que o produtor obtenha sucesso em seu empreendimento. Portanto, os sistemas de irrigação empregados nesses ambientes precisam ser duráveis e confiáveis, exigindo a qualidade do seu projeto como também do manejo apropriado de irrigação.

O êxito na produção das plantas cultivadas em ambientes protegidos depende da qualidade das tecnologias empregadas e de suas operações, desta forma, a margem de lucro pode ser rapidamente perdida em situações de manejo realizadas incorretamente. A mão de obra utilizada em sistemas de irrigação com operação manual e a mortandade de plantas (por excesso ou falta de água) podem se transformar em um custo elevado para o agricultor.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM AMBIENTES PROTEGIDOS

O cultivo em ambientes fechados pode ser dividido em três categorias: cultivos em substratos, solos e em solução nutritiva (hidropônicos) na ausência de solos ou meio de crescimento. Vários tipos de culturas podem ser explorados em ambientes controlados utilizando estes três tipos de cultivo, como por exemplo: produção anual de flores e folhagens (paisagismo), produção de hortaliças, viveiros de mudas, e outras mais.

Os cultivos realizados em substrato se caracterizam por requerer a utilização de recipientes como: vasos, bandejas, sacolas plásticas, tubetes. É o caso da produção de flores, como, violeta, begônia, etc., que podem ser dispostas em mesas ou sobre o solo com algum tipo de manta impermeabilizante (Figura 206), e na produção de diferentes mudas, como: laranja, café, eucalipto, etc..



Figura 206: Exemplos de cultivos em ambientes protegidos realizados em substratos: crisântemo no solo (esquerda) e begônia em mesas (direita).

Outro tipo de cultivo em ambiente protegido é aquele realizado em solos, preferencialmente em canteiros, como flores: crisântemo, rosas, etc. e hortaliças de pequeno porte, como pepino, tomate, pimentão, berinjela, etc..



Figura 207: Exemplos de cultivo em ambiente protegido realizado diretamente no solo: melão (esquerda) e crisântemo (direita).

No cultivo em solução nutritiva, também conhecida como hidroponia, as plantas se desenvolvem em meio aquoso que contém todos os nutrientes essenciais ao crescimento da cultura explorada. Nesses sistemas, o fornecimento da solução nutritiva pode ser realizada de forma contínua ou intermitente, permitindo ou não o reaproveitamento da solução nutritiva com a sua recirculação (Figura 208).



Figura 208: Exemplos de cultivo em solução nutritiva: em meio líquido (esquerda) e em cascalho (direita).

Procurando atender a esta diversidade de cultivos, os tipos de sistemas de irrigação utilizados em ambientes protegidos podem variar muito, principalmente no que diz respeito ao sistema de distribuição de água, pressão de operação, eficiência de aplicação, possibilidade de automação e fertirrigação, requerimentos de manutenção e outras características.

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

Os sistemas de irrigação tradicionalmente utilizados em ambientes fechados são o gotejamento, a microaspersão, a aspersão fixa ou a manual. Adicionalmente, a subirrigação possui potencial significativo para ser empregado nessas condições. Existem ainda cultivos de hortaliças, como pimentão, em que os produtores fazem uso da irrigação por sulcos fechados.

No processo de escolha do sistema de irrigação para utilização nesse tipo de ambiente devem ser considerados os requerimentos de água de cada cultura. Se diferentes culturas forem rotacionadas dentro de um ambiente ou se múltiplas culturas forem exploradas simultaneamente, o sistema de irrigação deve ser projetado para atender as necessidades hídricas de cada variedade, ou mesmo atender as necessidades de uma cultura em diferentes estágios de desenvolvimento.

A seleção do método de irrigação depende, portanto, do tipo de cultivo, da fonte de água (quantidade e qualidade), disponibilidade de capital e rentabilidade desejada. Buscando

contribuir com o planejamento da escolha do sistema a ser utilizado, serão caracterizados os principais de sistemas de irrigação utilizados nesse tipo de cultivo.

Sistemas por aspersão

A forma mais simples e econômica de se irrigar uma cultura em ambiente fechado é utilizando aspersão manual com auxílio de mangueira. A Figura 209 mostra a aplicação desse tipo de irrigação sendo realizada em dois diferentes cultivos: na produção de porta-enxertos cítricos em tubetes com substrato e na produção de mudas de crisântemos em canteiros.



Figura 209: Irrigação por aspersão manual (“chuveiro”): porta-enxertos cítricos em tubetes com substrato (esquerda) e mudas de crisântemos em canteiros (direita).

O sistema manual utilizando tubos perfurados ou chuveiros apresentam requerimento intensivo de mão-de-obra e baixa uniformidade de aplicação, devido às variações na forma e no tempo de aplicação, sendo geralmente empregados em pequenas áreas. Como consequência, esses sistemas se caracterizam por perdas significativas de água e baixa eficiência de aplicação, apesar do baixo investimento inicial em equipamentos.

O uso da irrigação por aspersão em ambientes fechados também pode ser efetivado com o uso de miniaspersores rotativos. Geralmente, nesses sistemas as tubulações são suspensas para facilitar as atividades de tratos culturais no interior da estufa (Figura 210).



Figura 210: Uso de miniaspersores na produção de mudas de crisântemos.

Como a intensidade de precipitação de aspersores diminui com a distância a partir do emissor, é necessário haver superposição das áreas molhadas dos aspersores para se manter uma distribuição uniforme de água. Quando não se estão disponíveis os dados de uniformidade de distribuição a partir dos catálogos dos fabricantes, recomenda-se utilizar espaçamentos entre emissores iguais a 50% do seu diâmetro médio de alcance, permitindo que o jato de um aspersor atinja os emissores vizinhos. Por exemplo, se o diâmetro médio de um miniaspersor é em torno de 8 metros, o espaçamento entre emissores deve ser de aproximadamente 4 metros.

Sistemas de irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizada mais comumente utilizado em ambientes fechados são o gotejamento e a microaspersão. Por aplicar baixos volumes de água em pequenas áreas localizadas estes sistemas permitem aplicações precisas e bem controladas.

No gotejamento os emissores mais utilizados são os gotejadores integrados, tubos de emissão, microtubos capilares ou espaguete, podendo ainda ser utilizados outros tipos de emissores disponíveis no mercado.

Nos cultivos no solo ou em canteiros podem ser utilizadas uma ou mais linhas laterais de gotejamento por canteiro, permitindo que sejam criadas faixas molhadas que cubram toda a área do canteiro, evitando a aplicação excessiva de água e o escoamento superficial por ultrapassar a capacidade de infiltração do solo (Figura 211).



Figura 211: Aplicação de gotejamento com linhas simples de tubos de emissão de parede delgada na cultura do tomate.

As tubulações de gotejamento podem instaladas sobre o solo ou enterradas a uma profundidade que não deve ultrapassar a 10 cm em solos arenosos, em função do movimento capilar limitado destes solos. Da mesma forma, o espaçamento entre emissores não deve ultrapassar 20 cm nestes solos. Em solos argilosos, onde a movimentação lateral da água não é limitante, um espaçamento maior poderá ser utilizado. O espaçamento entre emissores pode variar de 10 a 60 cm, devendo haver sempre a preocupação de se ter o melhor espaçamento para proporcionar uma distribuição uniforme de água ao longo da linha de irrigação e que a vazão não seja excessiva e não cause escoamento superficial, lixiviação de nutrientes e a falta de aeração no solo.

No cultivo em vasos ou recipientes são utilizados tradicionalmente gotejadores com múltiplas saídas conectados ao recipiente por tubos capilares (Figura 212). As pressões de serviço requeridas por estes sistemas vão de 0,5 a 2 kgf cm⁻², determinando um baixo requerimento de potência de bombeamento.

Uma das opções mais utilizadas na irrigação de vasos e recipientes é o uso do microtubo capilar, conhecido popularmente por espaguete, inserido diretamente na tubulação sem o uso de gotejadores. O diâmetro interno dos tubos de espaguete é pequeno, variando de 0,5 a 1,5 mm, o que oferece uma área restrita de fluxo para o controle de vazão (Figura 213).



Figura 212: Exemplo de irrigação por gotejamento em vaso com emissores de múltiplas saídas: crisântemo (esquerda) e tomate cereja (direita).

Nesse tipo de sistema, uma ponta do tubo é inserida na tubulação ou linha de irrigação e a outra é colocada dentro do recipiente ou vaso, fixada sobre o substrato com o auxílio de um pequeno peso ou de uma estaca de plástico ou madeira. O agricultor deve cortar o tubo capilar no tamanho ou comprimento que permita o gotejamento. Esse procedimento pode determinar, muitas vezes, que comprimento seja escolhido de forma incorreta, ocorrendo um excesso ou falta de água na irrigação. Estes sistemas são projetados para aplicar água e produtos químicos diretamente sobre o substrato, eliminando assim a irrigação sobre áreas não produtivas e aumentando a eficiência aplicação.



Figura 213: Cultura de begônia irrigada por microtubos.

Outro sistema de irrigação localizada utilizada na produção em ambiente fechados é a microaspersão. Os microaspersores utilizados podem ser do tipo estacionário ou sprays ou rotativos. Uma das vantagens do spray é a possibilidade de se escolher uma variedade enorme de padrões de aplicação, permitindo assim projetar sistemas para áreas ou layouts irregulares. As pressões de operação destes emissores são menores que $2,5 \text{ kgf cm}^{-2}$, possuindo também baixos requerimentos de energia. Os microaspersores são geralmente instalados em tubulações fixas que podem ser montadas diretamente no chão ou suspensas na estrutura da estufa (Figura 214).



Figura 214: Estufa tipo túnel com sistema de microaspersão (Fonte: ANTUNES, 2006).

Entretanto, existem sistemas especificamente projetados onde os sprays são montados sobre estruturas que se movem lateralmente sobre os canteiros e ao longo da estufa (Figura 215). A lâmina de água a ser aplicada é controlada pelo ajuste da velocidade linear da estrutura. Para se evitar qualquer estrago ou prejuízo na cultura causado por gotas muito grandes, os sprays utilizados devem produzir tamanho pequeno de gotas.



Figura 215: Sistema de microaspersão móvel em cultivo no solo.

Outro tipo muito comum de sprays fixos são os nebulizadores, também conhecidos como *mist* ou *foggers*, utilizados intensamente em cultivos de propagação de mudas por enraizamento, estaqueamento ou na produção de alface (Figura 216). Esses sistemas mantém a umidade relativa da estufa próxima de 100%, permitindo ao mesmo tempo, a realização da irrigação e o resfriamento do ambiente e das plantas.



Figura 216: Sistema de nebulização em estufas

Sistemas de subirrigação ou por capilaridade

Apesar de ser uma técnica de uso incipiente no Brasil, a subirrigação tem potencial para o cultivo de flores, plantas e mudas em ambientes protegidos. Um dos sistemas de subirrigação que pode ser utilizado no cultivo em recipientes, bandejas, tubetes ou vasos, são as mesas de subirrigação, que possuem bordas elevadas que, no momento da aplicação de água, são cheias até um determinado nível, fazendo com que parte do substrato seja saturada e as plantas irrigadas por capilaridade.

Nesse sistema a solução nutritiva é aplicada diretamente na mesa, onde estão colocados os vasos, mantendo uma lâmina com altura suficiente para que a água atinja as raízes da planta. A água ascende no substrato pela ação da capilaridade. Para que esse sistema tenha boa eficiência é preciso utilizar um sistema de reaproveitamento e reciclagem da água. Entretanto, a adoção desse sistema pode significar um aumento nas atividades de manutenção em virtude da possibilidade de se ter um aumento de salinidade na água reaproveitada (presença de fertilizantes) e da presença de agentes patogênicos se a água não for desinfetada.



Figura 217: Exemplo de mesa de subirrigação utilizadas em flores e plantas ornamentais.

Outro sistema de subirrigação utilizado em estufas é a manta capilar associada ao umedecimento por linhas de gotejamento (Figura 218). Nesse sistema o gotejamento distribui a água sobre a manta capilar, criando um volume saturado, que fica contato com o fundo do recipiente e, através do movimento ascendente da água no substrato, as raízes da planta são umedecidas. O uso de fertirrigação é economicamente inviável neste tipo de irrigação em função de utilizar volumes elevados de água e requerer desta forma uma quantidade excessiva de fertilizantes. Além disso, a eficiência de aplicação química nunca é superior a eficiência de aplicação de água, a qual é relativamente baixa nestes sistemas.



Figura 218: Irrigação de vasos pelo sistema de manta capilar.

Sistemas hidropônicos

Outra técnica aplicada intensamente em ambiente protegido é o cultivo hidropônico, que já foi introduzido e descrito em outro capítulo desse documento.

Sistemas de irrigação por sulcos

A irrigação por sulcos é o sistema mais rudimentar utilizado em ambientes protegidos. Esse sistema consiste na abertura de sulcos entre canteiros ou linhas de cultivo, com a condução da água até as raízes das plantas sendo realizada pelo processo de infiltração que ocorre no fundo e nas laterais dos sulcos. Apesar de ter a vantagem do baixo custo de implantação e de não umedecer a parte aérea das plantas, requer quantidades elevadas de água devido a baixa eficiência de aplicação. Além disso, é difícil para o produtor conseguir uma distribuição uniforme de água nesse sistema, que pode provocar erosão do solo e lixiviação de nutrientes por escoamento superficial, exigindo um sistema de coleta da água escoada para evitar contaminações na propriedade por defensivos ou fertilizantes.

Comparação dos sistemas

A eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação utilizado em ambientes fechados depende da área útil de aplicação, da capacidade do substrato ou solo em armazenar a água na zona radicular das plantas, das perdas por evaporação e por deriva das gotas pelo vento. No caso das operações realizadas em ambientes fechados, o efeito do vento é irrelevante, mas as áreas da superfície dos vasos podem significar somente de 20% a 30% da área total de aplicação. Adicionalmente, a folhagem das plantas pode restringir a entrada de água nos recipientes, reduzindo a eficiência de aplicação do sistema. Um bom exemplo desse efeito pode ser observado na Figura 219, onde a irrigação por microaspersão é utilizada em cultivos em vasos. A água aplicada por cima da cultura não conseguirá atingir os vasos devido a interceptação das folhas, provocando perdas e baixa eficiência.



Figura 219: Exemplo da irrigação de cultivos em vasos por sprays

Um estudo realizado pela Universidade da Florida (NEAL et al., 1995) comparou experimentalmente a utilização dos métodos de irrigação por gotejamento, mantas capilares, aspersão e mesas de subirrigação no cultivo de plantas em vasos. A Figura 220 mostra os valores de eficiência de aplicação obtidos neste experimento.

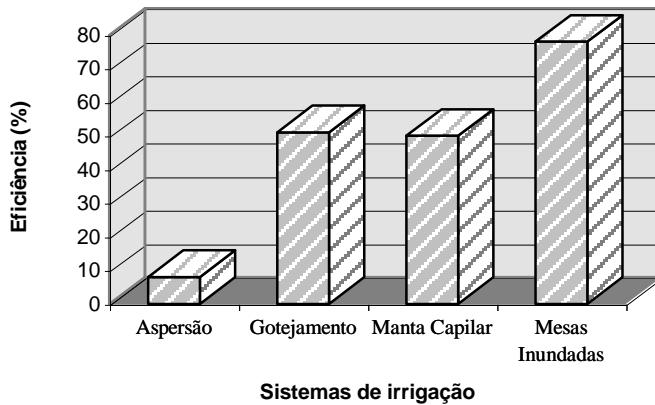


Figura 220: Eficiência de irrigação para sistemas de irrigação utilizados em cultivos em vasos (Fonte: NEAL et al., 1995).

A eficiência de aplicação de cada sistema foi calculada pelo quociente entre o volume de água retido nos recipientes e o volume de água aplicado. Um valor elevado da eficiência indica que pouca água foi desperdiçada, enquanto um baixo valor mostra que muita água foi perdida através da zona radicular ou entre recipientes, lavando e carregando os nutrientes para fora do sistema.

A baixa eficiência alcançada pela aspersão ocorreu devido ao espaçamento adotado entre os vasos, superposição de lâminas dos sprays, restrição da folhagem das plantas à penetração da água nos vasos, e a percolação da água através dos vasos. O sistema de mesas de subirrigação ou inundadas utilizou um sistema de coleta da água percolada de forma a permitir a sua utilização nas irrigações seguintes, apresentando assim uma eficiência de 78%. Tanto a irrigação por gotejamento como as mantas apresentaram um eficiência próxima de 50%, significando que 50% da água não estiveram disponíveis à planta.

Algumas destas ineficiências poderão ser reduzidas pela instalação de sistemas de coleta de águas escoadas ou percoladas no processo e, posteriormente, recirculando de volta ao sistema. Um dos problemas na adoção desta técnica de reaproveitamento de águas é que agentes patogênicos e/ou produtos químicos também recircularão pelo sistema podendo trazer prejuízos. Neste caso, o tratamento da água a ser reutilizada poderá ser uma solução.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

Apesar dos diversos tipos de equipamentos de distribuição de água disponíveis no mercado para ambiente protegido, sempre haverá um equipamento ótimo ou mais adequado para cada situação. Por exemplo, no cultivo em vasos, os sistemas de gotejamento e subirrigação apresentam excelentes resultados, enquanto que plantas cultivadas em canteiros poderão se beneficiar da irrigação por microaspersão, aspersão ou irrigação por gotejamento. Se o substrato for adequado para ocorrer ascensão capilar, permitindo que a água se movimente verticalmente no recipiente, sistemas que criam uma lâmina de água sobre a mesa poderão ser utilizados. Em estufas onde se faz a propagação de mudas por enraizamento ou estaqueamento, ou a produção de alface e outras culturas, o sistema de nebulização, que mantém a umidade relativa próxima de 100% tem obtido sucesso, permitindo o resfriamento evaporativo do ambiente e das culturas.

O sucesso da utilização da irrigação em ambientes fechados inicia-se no momento em que se planeja corretamente a adoção da técnica para cada caso de cultivo. Inúmeros fatores afetam a escolha do equipamento de irrigação para estufas, e dificilmente duas instalações são projetadas identicamente. De uma forma geral, os projetos são planejados

incorretamente e operam boa parte no tempo na experiência adquirida pelo operador que geralmente emprega o método de tentativas e erros. Alguns dos tópicos que devem ser avaliados no planejamento de um sistema de irrigação para ambiente protegido são discutidos a seguir.

Qualidade da Água

A água normalmente utilizada na irrigação de ambiente protegidos provém de lagos, lagoas, águas superficiais, açudes, poços, água tratada (serviços municipais), reservatórios abastecidos por poços ou água de chuva interceptada pela cobertura plástica das estufas, ou água reutilizada proveniente das perdas da irrigação.

Essas fontes de água devem ser analisadas criteriosamente para detectar a presença de elementos físicos e químicos, como sólidos em suspensão ou dissolvidos, como cálcio, magnésio e sódio, etc., que podem afetar a operação do sistema de distribuição de água e o desenvolvimento da cultura. A água pode também conter sementes microscópicas que podem passar pelo sistema de filtragem e causar problemas sérios com o crescimento de pragas ou ervas daninhas nos vasos ou recipientes. Águas de superfície, como as de lagos, represas, rios, riachos e canais contém geralmente quantidades significativas de matéria orgânica e silte. Outro problema que ocorre normalmente em propriedades que fazem uso de água de reservatórios em estufas é o rápido crescimento de algas devido ao clima tropical com temperaturas elevadas, a presença de luz e nutrientes na água, contribuindo para o entupimento de emissores (Figura 221).



Figura 221: Reservatório de uma propriedade com estufas com a presença de algas.

A partir do conhecimento da qualidade da água que será utilizada na irrigação é possível tratá-la corretamente para atender as necessidades dos sistemas e das culturas. A utilização de sistemas de filtragem é recomendada mesmo em fontes de água consideradas visualmente de boa qualidade, para se evitar o entupimento do sistema e dos emissores.



Figura 222: Sistema de filtros de areia utilizados em irrigação de estufas.

Encontra-se atualmente no mercado filtros de areia, de disco, de tela e outros, que possuem vantagens e desvantagens, variando a sua forma de retenção e o material retido, e também o método de limpeza dos equipamentos. Filtros de areia são imprescindíveis em locais onde a água não é proveniente de poços artesianos ou semiartesianos ou quando a água é armazenada em reservatórios descobertos que facilitam o desenvolvimento de algas. Para irrigação em estufas o mais recomendado é a utilização de sistemas de filtragem com a combinação de diferentes tipos de filtros, mas somente uma avaliação técnica criteriosa é que vai encontrar a opção correta de filtragem para os padrões de água de cada propriedade (TESTEZLAF et al., 2014).

Contaminação ambiental

Um dos problemas que pode ser gerado pelo planejamento inadequado do sistema de irrigação utilizado em ambientes protegidos é a contaminação do ambiente pela água de escoamento superficial ou percolação da produção em estufas. A Figura 223 apresenta a ocorrência do processo de escoamento superficial em uma propriedade que utiliza o sistema de irrigação por gotejamento em crisântemos cultivados em canteiros. Para se detectar esse impacto, avaliações temporárias devem ser realizadas utilizando análises laboratoriais de amostras coletadas das soluções lixiviadas e da água drenada de chuvas da área que devem ser comparadas com a lista dos produtos químicos utilizados na produção.



Figura 223: Exemplo de escoamento superficial ocorrendo no interior de ambiente protegido.

Uma das possíveis causas desse tipo de contaminação é o uso frequente da quimigação nesse tipo de cultivo (Figura 224), definida como o processo de injeção de produtos químicos através da água de irrigação. Esta técnica representa um risco elevado para as fontes de água, devido o seu alto potencial de contaminação no caso de uma parada inesperada do sistema ou de vazamentos, fazendo com que a solução química injetada no sistema retorne à fonte ou contamine o solo. Nesse caso, sistemas de prevenção de retorno de água devem ser utilizados no sistema de bombeamento, como por exemplo: válvulas de retenção, de forma a evitar qualquer possibilidade de contaminação.

A contaminação do lençol freático ocorre, principalmente, pela água percolada, e acontece, particularmente, quando a estufa está localizada sobre solos permeáveis. Nesse caso, a maior preocupação é com os riscos causados à saúde humana principalmente no que se refere a presença de pesticidas e nitratos na água potável. A contaminação do lençol freático por operação de estufas é inaceitável e para assegurar que não ocorra esse impacto, o solo onde estão instaladas as estufas deve ser impermeável (argilas homogêneas e compactadas) ou com solos com conteúdo médio de argila superior a 20%. A utilização de pisos de concreto ou qualquer outro material impermeável (Figura 225) é outra forma de

evitar a infiltração do excesso de água na estufa reduzindo as contaminações e que exige o dimensionamento de um sistema de coleta da solução para armazená-la em um reservatório específico.



Figura 224: Sistema de fertirrigação utilizando bomba injetora centrífuga (Fonte: ANTUNES, 2006).



Figura 225: Exemplo de utilização de mantas de impermeabilização no cultivo em vasos.

A água de drenagem deve ser armazenada em separado evitando a contaminação por combustíveis, fertilizantes e outros produtos químicos (pesticidas, fungicidas, etc.). A reciclagem do produto lixiviado e percolado do sistema pode ser uma alternativa tecnológica para a solução deste problema.

A redução efetiva do volume lixiviado pode ser atingida pelos seguintes procedimentos: aplicação da água de forma precisa e correta (duração e volume); escolha correta do substrato; aplicação dos fertilizantes em função da demanda da cultura e utilização de sistema de coleta da água e tratamento para reuso na produção.

IRRIGAÇÃO PARA PAISAGISMO

INTRODUÇÃO

Um setor que está exigindo cada vez mais a participação da irrigação no Brasil é o paisagismo de parques, jardins e áreas esportivas. Um dos objetivos do paisagismo é melhorar as condições de conforto ambiental das pessoas com a estruturação de espaços com plantas e recursos naturais visando a melhoria dos meios de lazer e de socialização. O projeto e a conservação de áreas verdes no espaço urbano vai sempre exigir a irrigação de forma complementar às chuvas, para garantir que esses objetivos sejam mantidos ao longo do tempo. (Figura 226).



Figura 226: Exemplo da irrigação de gramados: manual (esquerda) e por aspersão (direita).

Apesar da irrigação para áreas paisagísticas estar consolidada na cultura europeia e americana, o seu emprego ainda está se estruturando no país, com projetos concentrados na irrigação de área em empresas, campos de futebol e golfe, e residências em condomínio, não havendo nenhuma participação significativa de áreas públicas. Apesar da demanda crescente por esse tipo de equipamento, têm se verificado falta de informações técnicas a respeito desses materiais, o que proporciona sistemas mal dimensionados, gastos excessivos de água e mau desenvolvimento das plantas.

SISTEMAS: TIPOS E CARACTERÍSTICAS

Diferentemente de sistemas agrícolas, uma área de paisagismo é composta por uma variedade muito grande de plantas (forrações, árvores, arbustos, etc.). Em consequência disso, é praticamente impossível se medir e se estabelecer um critério de consumo de água para cada planta e selecionar emissores utilizados que atendam essa diversidade, para permitir uma adequação a cada tipo de porte de planta, sombreamento e espaçamento de plantio. Dessa forma, os projetos dessa área geralmente não trabalham com um único sistema de irrigação, mas sim um conjunto deles: aspersão, gotejamento e microaspersão.

A diversidade de plantas que devem ser atendidas com esse tipo de irrigação determina o uso de equipamentos específicos para cada aplicação, de forma a se adequar às suas necessidades e ao investimento pretendido pelo usuário. A Figura 227 apresenta um esquema de um sistema de irrigação típico para uma residência, onde se pode observar o uso de diferentes equipamentos, como aspersores, tubos de emissão e gotejadores, acionados por válvulas ligadas a controladores.

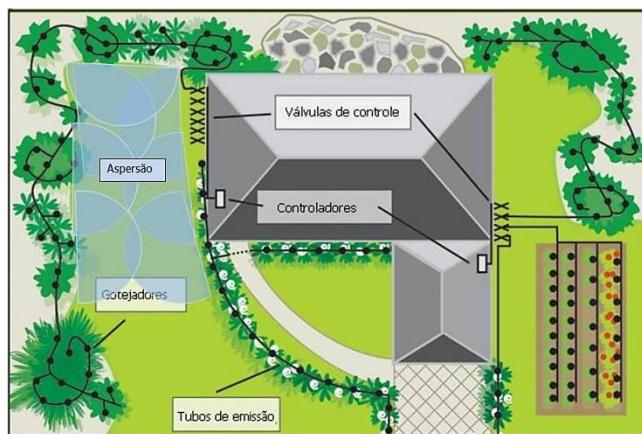


Figura 227: Esquema de um sistema de irrigação para o jardim de uma residência.

Irrigação por aspersão

Os aspersores mais utilizados nesse tipo de irrigação são os rotativos de impacto e de engrenagens e os fixos ou sprays (Figura 228).



Figura 228: Exemplo de aspersor escamoteável utilizado em paisagismo: rotativo (esquerda) e estacionário (direita).

Uma característica importante desses aspersores que diferenciam dos aspersores agrícolas é o emprego do mecanismo chamado de *pop-up* ou escamoteável. Esse mecanismo mantém o aspersor embutido ou escondido no interior do solo quando está desligado e somente aparece quando ligado ou pressurizado, evitando vandalismos e permitindo tratos culturais no jardim sem danos aos equipamentos e plantas e ainda melhorando a parte visual da área (Figura 229).



Figura 229: Detalhe da instalação de um aspersor escamoteável abaixo do nível da vegetação.

Os sprays utilizados no paisagismo podem emitir jatos simples ou duplos num padrão fixo, que pode ser circular ou em forma de arco. Os mais comuns são: 360, 180, 270 e 90°, existindo também os reguláveis, que proporcionam ângulos de molhamento de 0 a 360° (Figura 230). Devido às dimensões de raio irrigado (1,5 a 5,0m) e pressão de serviço (1,0 a 2,5 kgf cm⁻²), os “sprays” são mais utilizados para a irrigação de pequenas áreas verdes, possuindo alta taxa de aplicação, na faixa de 25 a 55 mm h⁻¹.



Figura 230: Detalhes de um spray escamoteável utilizado em paisagismo com diferentes padrões de distribuição de água.

Os aspersores rotativos de impactos empregados no paisagismo são basicamente os mesmos utilizados em sistemas de irrigação para áreas agrícolas, com a diferença principal de, geralmente, serem escamoteáveis e setoriais, para irrigar áreas irregulares (Figura 231). Trabalham numa faixa de pressão na ordem de 2,0 a 4,0 kgf cm⁻² e proporcionam um raio irrigado de 8,0 a 15,0 m, com taxas de aplicação na ordem de 7,5 a 15,0 mm/h.



Figura 231: Aspersor de impacto escamoteável utilizado em paisagismo.

Os aspersores que possuem mecanismos de rotação por engrenagem estão disponíveis na versão fixa ou escamoteável, e são utilizados para irrigar áreas mais extensas, com menor densidade de plantas, ou gramados. Em geral têm um bocal simples ou um jogo de bocais duplos que distribuem a água ao longo do raio do aspersor (Figura 232). Os modelos com círculo parcial têm um mecanismo de reversão que evita que o aspersor irrigue fora do seu arco padrão. Em geral, operam em pressões maiores que os “sprays” (2,0 a 5,0 kgf cm⁻²), proporcionando também maiores raios irrigados (12,0 a 24,0 m), com menores taxas de aplicação (10 a 20 mm h⁻¹).

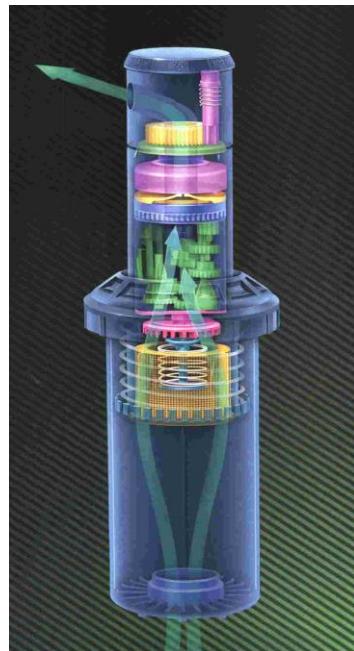


Figura 232: Esquema de um aspersor rotativo de engrenagem utilizado em paisagismo.

Irrigação localizada

Os emissores de irrigação localizada mais utilizados em paisagismo são gotejadores, tubos de emissão ou tubogotejadores e microaspersores (fixos, móveis, reguláveis, setoriais, etc.).

Segundo CLARK (1994), apesar do uso da irrigação localizada ter aumentado em projetos agrícolas, principalmente em frutíferas, hortaliças, flores, etc., o seu uso em projetos paisagísticos ainda é incipiente, existindo algumas limitações da utilização desses equipamentos, como:

- Em geral, utilizam-se estacas e emissores coloridos, para facilitar a sua visualização quando instalados nas lavouras, o que não é esteticamente viável para o uso em áreas de paisagismo;
- Os rolos de tubos de emissão, em geral, têm comprimentos muito longos (2 a 3 mil metros), dificultando ou inviabilizando o seu uso em pequenos projetos de paisagismo;
- A filtragem é necessária quando se utilizam gotejadores e microaspersores, o que é limitante em paisagismo.

Entretanto, levando-se em consideração essas limitações e a crescente competição pelo uso da água, algumas empresas têm desenvolvido emissores especiais para utilização em projetos de irrigação para paisagismo, como: microaspersores setoriais, gotejadores autocompensantes, isolados ou em tubos de emissão, filtros de tela ou disco menores para se colocar na linha de irrigação, etc.

Uma aplicação recente da irrigação por gotejamento na área de paisagismo é o desenvolvimento de projetos de jardins verticais ou muros verdes para áreas internas ou externas utilizando plantas vivas (Figura 233).



Figura 233: Exemplo de muro verde projetado para área interna irrigada por gotejamento (ARTMAISON, 2017).

Comparação dos sistemas

PITTS et al. (1995) avaliaram 37 sistemas no oeste dos Estados Unidos, e obteve um coeficiente de uniformidade de distribuição médio de 49%, bem abaixo dos menores coeficientes encontrados em sistemas agrícolas. Segundo esses autores, as causas principais desse desempenho foram:

- Falta de manutenção e mau funcionamento dos aspersores;
- Aspersores misturados, alterando-se o projeto original;
- Problemas de projeto, com variações de pressão excessivas e com sobreposições de aspersores insuficientes.

As consequências da baixa eficiência de aplicação de água encontrado em sistemas de irrigação para paisagismo é mais sério quando se sabe que, na maioria dos casos, a água utilizada nessa irrigação é oriunda principalmente do abastecimento urbano. Dessa forma, as perdas excessivas podem se tornar bastante onerosas, e, quando sua participação for significativa, pode comprometer o fornecimento de água das cidades.

No entanto, não existem legislações ambientais específicas no Brasil para esses sistemas e normas específicas para a avaliação dos equipamentos utilizados. As normas existentes são designadas para aspersores utilizados basicamente para fins agrícolas, com características de funcionamento bastante distintas dos aspersores utilizados em sistemas de irrigação para paisagismo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETOS

Para assegurar um adequado projeto de um sistema de irrigação para paisagismo são recomendadas algumas etapas de execução que até se obter a planta final, visando reduzir as chances de insucesso nos projetos.

Levantamento de informações do local

Uma adequada coleta de informações de campo é essencial para um dimensionamento eficiente de um sistema de irrigação para paisagismo. Informações como área total, existência ou não de planta de paisagismo, desniveis, fonte de água, fonte de energia, etc., são essenciais para o início de um projeto.

Em geral, o dimensionamento de um sistema de irrigação para paisagismo é feito baseado no projeto de paisagismo, para que seja possível o posicionamento correto de aspersores, válvulas e tubulações. A planta paisagística atualizada é fundamental para o início do dimensionamento do sistema. Quando a planta de paisagismo não é disponível, deve ser

feito um levantamento das espécies vegetais existentes na área a ser implantado o projeto, coletando informações a respeito de porte da planta, espaçamento, altura, densidade, etc.

Determinação das necessidades de irrigação

O clima local é um dos principais fatores que influenciam a quantidade de água que deve ser aplicada para manter um bom desenvolvimento das plantas. As necessidades das plantas incluem as perdas por evaporação do solo para a atmosfera e a transpiração das plantas, denominada evapotranspiração. Em geral, dados de Evapotranspiração Potencial, que constitui na taxa máxima de água utilizada pelas plantas num determinado clima, estão disponíveis em Instituições de Pesquisa ou Estações Meteorológicas, podendo também ser calculados a partir de valores de temperatura média e/ou radiação solar.

A determinação do consumo de água de plantas ornamentais não pode ser feita da maneira convencional, pelas seguintes razões: a) diferentemente de áreas agrícolas, uma área de paisagismo é composta por uma mistura de plantas, tornando-se praticamente impossível medir a evapotranspiração média para cada espécie individual; b) a densidade de plantas também varia numa área de paisagismo, sendo que cultivos mais densos têm uma demanda evapotranspirativa maior que plantas cultivadas mais espaçadas; c) muitas áreas de paisagismo apresentam diferenças de microclima, como: sombra, sol, frio, vento, etc., sendo que estas variações influenciam significativamente a evapotranspiração das plantas.

Escolha da fonte de água e energia

A fonte de água para alimentar o sistema de irrigação deve ser analisada antes do início do projeto. Com o auxílio de um manômetro e de um hidrômetro, devem ser definidas as condições de funcionamento do sistema hidráulico a ser utilizado diariamente.

Nos Estados Unidos, onde os sistemas de irrigação para paisagismo são largamente utilizados, é bastante comum o uso da pressão disponível no sistema de abastecimento para a pressurização dos sistemas, desde os pequenos até aqueles que irrigam extensas áreas verdes. Na maioria dos casos, torna-se necessária a utilização de reguladores de pressão, devido ao excesso de pressão verificado, que comprometeria o funcionamento dos sistemas.

No Brasil, isso já não acontece e dificilmente é possível se elaborar um projeto com o abastecimento feito com a pressão “de rua”, ou seja, sem a instalação de mecanismos pressurizadores. O mais comum é a utilização de bombas centrífugas para pressurizar os sistemas, sendo a vazão existente (pressão da rua) utilizada para o enchimento de caixas d’água ou para o abastecimento dos conjuntos motobomba.

Com a competição crescente pelo uso da água, as empresas tem buscado o desenvolvimento de equipamentos de “baixo volume”, ou seja, emissores que trabalham com baixas pressões e proporcionam baixas vazões, como microaspersores e gotejadores. Com esse tipo de equipamento, é possível o dimensionamento de sistemas sem o uso de bombeamento, utilizando-se somente a pressão do sistema.

Outra possibilidade é o uso de água residuária tratada, principalmente de origem doméstica. Vários municípios no Estado de São Paulo já possuem legislação obrigando condomínios a tratarem seu esgoto antes do lançamento em corpos d’água, havendo, assim, a possibilidade de reuso dessa água na irrigação paisagística.

Seleção de emissores e espaçamentos

Existe uma grande variabilidade de emissores que podem ser utilizados em um sistema de irrigação para paisagismo. Cada um deles tem uma faixa particular de aplicações

que o projetista deve estar familiarizado. Para uma adequada seleção dos equipamentos a serem utilizados num projeto, alguns fatores devem ser considerados:

- Tipo de emissor requerido pelo contratante;
- Tamanho e forma das áreas a serem irrigadas;
- Tipos de planta existentes;
- Pressão e vazão disponíveis;
- Condições climáticas locais, como vento, temperatura e precipitação;
- Tipo de solo;
- Compatibilidade entre os aspersores, para que possam ser agrupados.

O tamanho e forma das áreas a serem irrigadas em geral determinam o tipo de equipamento que deve ser utilizado, sendo necessário selecionar equipamentos que cubram a área irrigada adequadamente utilizando o menor número possível de unidades. Os tipos de plantas existentes na área também pode definir o tipo de emissor a ser utilizado. Árvores, arbustos, forrações, cerca-vivas, gramados requerem tipos diferentes de irrigação. Outro fator limitante é a pressão e vazão disponíveis, que podem restringir o uso de determinados tipos de aspersores. Condições climáticas também podem exigir o uso de aspersores especiais. Por exemplo, áreas com grande incidência de ventos demandam aspersores com ângulos mais fechados, que mantenham os jatos de água próximos à superfície das plantas.

A locação dos emissores é outro fator a ser considerado devido ao fato da maioria dos sistemas de irrigação para paisagismo ser enterrada, o que dificulta a solução dos problemas depois que o sistema entrar em funcionamento. A principal recomendação é o posicionamento dos pontos de aplicação de uma maneira tal que as áreas irrigadas tenham uma sobreposição adequada proporcionada pelos aspersores. Nunca se deve instalar aspersores com espaçamentos superiores às faixas recomendadas.

Setorização do sistema

O processo de setorização é a divisão da área irrigada em setores homogêneos, selecionados por critérios hidráulicos e paisagísticos. A definição do setor pode ser feita buscando minimizar a vazão requerida por setor ou por áreas paisagísticas homogêneas e garantir que toda a área vegetal esteja coberta com aspersores, gotejadores e microaspersores alocados adequadamente. Na setorização são utilizadas válvulas elétricas com solenoide, que recebem um sinal do controlador e abrem ou fecham, como se fossem registros, mas automáticos (Figura 234). Nessa etapa é preciso alocar as válvulas e as tubulações para o seu dimensionamento.



Figura 234: Esquema de válvula de controle elétrica acionada por solenoide (esquerda) e caixa de instalação das válvulas.

A escolha da vazão de cada setor irrigado vai depender da disponibilidade de água existente. Quando se utiliza motobomba, as limitações são a potência e as características de funcionamento desse conjunto.

Dimensionamento das tubulações

Um adequado projeto hidráulico pode reduzir consideravelmente os problemas ao longo da vida útil de um sistema de irrigação. Em geral, um projeto hidráulico mal dimensionado proporciona um baixo desempenho do sistema de irrigação, que pode significar a morte de plantas ou danos em aspersores e tubulações. Além desses problemas, deve ser analisado também o aspecto econômico dos projetos, pois da mesma forma que deve ser hidraulicamente correto, deve ser economicamente viável.

Pelo fato de os sistemas para paisagismo em geral se destinarem a áreas relativamente pequenas, o uso de conexões é muito maior quando comparado a sistemas de irrigação agrícolas. Além disso, as tubulações na grande maioria das vezes sofrem desvios, curvas, tendo em vista os obstáculos existentes numa área de construção civil, como tubulações de esgoto, pisos, fundações, fios, etc. Por essa razão, costuma-se utilizar tubulações de PVC soldável para a instalação dos setores irrigados, devido à facilidade e confiabilidade das conexões. As tubulações de PVC azul em geral são utilizadas para as linhas principais (adutoras).

O projetista deve utilizar princípios de hidráulica para o dimensionamento das tubulações e ter certeza de que as pressões e vazões estejam adequadas para uma correta operação do sistema.

Posicionamento do controlador e dimensionamento da fiação elétrica

Depois que a tubulação e demais componentes do sistema estiverem dimensionados, e toda a parte hidráulica do sistema estiver calculada, passa-se para o dimensionamento da parte elétrica, iniciando-se pela escolha do local de instalação do controlador. O controlador pode ser definido como um sistema microprocessado onde é programado o funcionamento da irrigação. Nesse equipamento é possível programar as válvulas com os seguintes procedimentos: horário do início da irrigação, tempo de irrigação de cada setor, frequência diária de irrigação e o número de dias da semana que o sistema irá operar (Figura 235).



Figura 235: Detalhes da instalação de um controlador de irrigação.

Em projetos de grandes áreas, onde vários controladores são necessários, a escolha do local deve levar em consideração alguns fatores. Primeiramente, para minimizar o comprimento da fiação elétrica, o controlador que serve determinado número de válvulas deve estar centralizado ou próximo à região de sua maior concentração. Outra recomendação

é que os controladores, quando conveniente, devem ser instalados em pares ou em conjunto, para diminuir o comprimento da linha de alimentação elétrica. Para controladores instalados em área externa, devem ter acondicionados em caixas ou cabines de proteção, de forma a não molhado pelos jatos dos aspersores.

Em geral, os sistemas de irrigação para paisagismo contêm sensores ligados ao controlador que determinam a interrupção da irrigação em condições de alta umidade. Estes sensores são reguláveis, sendo os mais utilizados os sensores de chuva (Figura 236) e os de umidade de solo.



Figura 236: Detalhe de um sensor de chuva comercial (Fonte: RAINBIRD, 2010).

Elaboração da planta do projeto

A planta final representa um diagrama de como o sistema deve parecer após a instalação. Deve ser elaborada da forma mais completa possível, respeitando-se algumas recomendações:

- Deve ser legível e de fácil utilização, com uma escala conveniente;
- Deve ter uma legenda detalhada que explique todos os símbolos utilizados no projeto;
- Deve mostrar as principais mudanças (diferenças) de nível;
- Deve conter todas as fontes de água e energia utilizadas.

Mesmo que seja planejado adequadamente e instalado corretamente, um sistema de irrigação para paisagismo pode apresentar baixas uniformidades de aplicação da água. Esse fato decorre de alguns fatores, como:

- Utilização de diferentes tipos de sistemas de irrigação;
- Utilização de diferentes tipos de emissores em um mesmo setor, com diferentes mecanismos de funcionamento e diferentes taxas de aplicação;
- Utilização de aspersores setoriais (que irrigam áreas diferentes)
- Espaçamentos irregulares, devido aos formatos das áreas irrigadas.
- Falta de um manejo adequado da irrigação.

IRRIGAÇÃO: QUALIDADE, PLANEJAMENTO E IMPACTOS

Roberto Testezlaf

No módulo IV serão enfatizadas as condições básicas requeridas para que a irrigação atinja a qualidade e os resultados esperados com o seu emprego na agricultura, mostrando o procedimento a ser dado no planejamento do seu uso, abordando os cuidados que se devem tomar para que a sua operação não afete significativamente a disponibilidade dos recursos naturais (hídricos e solos) existentes na propriedade e cause impactos ambientais adversos ao meio ambiente.



IRRIGAÇÃO: FATORES DE QUALIDADE

INTRODUÇÃO

O sucesso da produção irrigada é quase sempre medido pelo retorno financeiro obtido pelo agricultor que pague o investimento realizado. Esse resultado econômico depende principalmente da rentabilidade da produção, que está condicionada à produtividade alcançada e às regras do mercado (lei da oferta e da procura). Entretanto, atualmente, a atividade agrícola é avaliada também pela sustentabilidade que ela pode oferecer para garantir a segurança alimentar de uma população em crescimento. Dessa forma, a avaliação da qualidade do uso da irrigação na agricultura precisa estar baseada na garantia do respeito aos princípios da sustentabilidade que busca conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e, ainda, ao combate da pobreza e das desigualdades sociais. A IRRIGATION AUSTRALIA ASSOCIATION (2005) apresentou três condições básicas que precisam ser atendidas pela agricultura irrigada de forma a satisfazer os princípios norteadores de um modelo sustentável de uso das técnicas de irrigação:

- Assegurar a qualidade das águas superficiais, subterrâneas e água de drenagem, que abastecem os sistemas de irrigação e manter o consumo de água dentro de níveis sustentáveis;
- Usar, conservar e melhorar o solo, água e os outros recursos naturais (biota) nas áreas irrigadas e em outras associadas a ela, no presente e no futuro.
- Manter e otimizar os benefícios sociais e econômicos das comunidades urbana e rural relacionadas com a área irrigada, melhorando a qualidade de vida, no presente e no futuro.

Para que essas condições sejam alcançadas é preciso que os sistemas de irrigação sejam planejados e projetados corretamente, implantados de forma adequada e operados atendendo as necessidades da propriedade e do cultivo. Entretanto, essas características só estarão presentes na irrigação se as seguintes etapas técnicas de implantação forem atendidas com qualidade:

- **Planejamento:** O sistema de irrigação deve ser planejado e projetado de forma a atender às necessidades da cultura, às condições físicas e de infraestrutura da propriedade, ao nível socioeconômico do produtor e atender as legislações vigentes;
- **Projeto:** O sistema deve ser projetado a partir de equipamentos e acessórios selecionados que atendam normas de qualidade de fabricação e adaptados às condições brasileiras;
- **Instalação ou montagem:** A partir do projeto será preciso executar a montagem da motobomba, tubulações, válvulas, emissores e instalações elétricas, atendendo as especificações do fabricante e as normas de segurança da parte hidráulica e elétrica;
- **Operação:** A operação e a manutenção dos equipamentos devem atender as especificações de projeto e as técnicas de cultivo devem ser apropriadas à lavoura irrigada.
- **Manejo:** A aplicação da água da irrigação deve ser realizada racionalmente, atendendo as necessidades da cultura e as limitações do solo da propriedade;

A obtenção do nível de qualidade requerida em cada uma das etapas depende essencialmente da qualidade dos recursos humanos envolvidos. Inicia-se na formação técnica

adequada dos profissionais envolvidos no planejamento e projeto do sistema até no treinamento da mão de obra operacional que precisa ser conscientizada na aplicação e atendimento dos conceitos de sustentabilidade na atividade de produção irrigada. Cada uma das etapas citadas será discutida a seguir, buscando conceituar e caracterizar a atual situação do cenário brasileiro.

PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO

O planejamento de um sistema de irrigação pode ser definido como o levantamento de informações técnicas sobre a propriedade agrícola que ajudem a encontrar uma solução de irrigação mais adequada às necessidades da cultura a ser explorada com a utilização eficaz dos seus recursos naturais, econômicos e sociais.

Planejar um sistema de irrigação requer experiência profissional na aplicação de uma metodologia que diferencie as características de cada sistema de irrigação, e oriente o emprego correto dos recursos de cada propriedade agrícola. A Figura 237 exemplifica a falta de planejamento com a aplicação de uma lâmina excessiva de água por um sistema de pivô central, causando escoamento superficial e erosão em uma propriedade agrícola, o que poderia ser evitado com se as condições operacionais do equipamento estivessem adequados às características de infiltração do solo.



Figura 237: Curso de água de uma propriedade que utiliza irrigação.

O reconhecimento da importância da execução da etapa de planejamento na irrigação ainda está engatinhando no Brasil. Boa parte dos projetos é realizada com poucas informações e as que estão disponíveis não são confiáveis. GRAMOLELLI JUNIOR et al. (2004) realizaram um diagnóstico de áreas irrigadas na Bacia do Rio Jundiaí-Mirim/ SP, com a aplicação de um questionário a 100 agricultores irrigantes. Dos agricultores que responderam, 71% informaram que não possuíam projetos dos sistemas, enquanto 85% havia dimensionado somente o sistema de bombeamento, sendo que 11% não tinham dimensionado e 4% desconheciam o assunto. Os autores concluíram adicionalmente que, pelo tipo de cultura e, sobretudo pelo tamanho de área a ser irrigada, os conjuntos motobomba possuíam potências superiores ao requerido. Este estudo mostra que o valor total do investimento na irrigação pode se tornar prejuízo se o projeto do sistema não atender as demandas das culturas irrigadas e não respeitar as limitações impostas ao seu uso dentro da propriedade.

Atualmente no Brasil, os fabricantes de equipamentos de irrigação ou ainda a sua revenda ou representação comercial são responsáveis por, na maioria dos casos, planejar e projetar adequadamente o sistema de irrigação a ser implantado em uma propriedade agrícola. Essa condição gera, no mínimo, um conflito de interesses, pois aquele que vende o

equipamento é o que projeta o sistema. A alternativa mais correta seria a contratação de empresas de planejamento com engenheiros capacitados para o dimensionamento de sistemas otimizados com relação o uso de água e energia buscando a maximização do lucro para os produtores.

Para que a implantação da irrigação seja realizada com qualidade é preciso que os produtores agrícolas se conscientizem que todo sistema deve ser corretamente planejado para se ter um dimensionamento adequado e atingir o potencial de produzir pelo menor custo e atingir a maior lucratividade. Para melhor detalhar o seu conteúdo e permitir outras reflexões, o tema de planejamento da irrigação será abordado especificamente em um capítulo dentro desse módulo.

PROJETO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Projetar um sistema de irrigação consiste, basicamente, em selecionar tecnicamente componentes e acessórios compatíveis entre si e que, montados e operando conjuntamente, permitirão a aplicação de água sobre a cultura de forma racional e apropriada para um determinado local. O objetivo do projeto de engenharia é fazer com que o sistema projetado funcione corretamente e viabilize economicamente a atividade irrigada. Desta forma, a confecção do projeto mais adequado está condicionada a experiência do projetista, ou seja, este profissional deve se atualizar constantemente obtendo conhecimentos no campo, na indústria e nas universidades. Basicamente, pode-se afirmar que as principais etapas de um projeto de irrigação são:

- Cálculo da demanda de água da cultura;
- Localização e dimensionamento da rede de distribuição e estação de bombeamento;
- Seleção de componentes e acessórios: aspersores, emissores, válvulas, etc.
- Análise hidráulica e energética do sistema;
- Entrega da documentação do projeto: memorial de cálculo, memorial descritivo, manual de operação e manejo de água e desenhos e plantas explicativas para a montagem e instalação.

Uma das principais etapas da elaboração de um projeto é o selecionamento dos equipamentos e acessórios que constituirão o sistema de irrigação, que precisam atender níveis de qualidade para proporcionar o resultado esperado pelo produtor. Toda vez que se procura qualidade em um determinado produto, busca-se algumas características importantes, como: facilidade de manuseio, confiabilidade na operação, durabilidade ou uma vida útil longa, baixa manutenção, assistência técnica disponível regionalmente, etc. No caso de sistemas e equipamentos de irrigação a situação não é diferente, pois estas características também devem estar presentes para proporcionar ao agricultor irrigante condições de desenvolver com eficácia as suas atividades.

Uma das formas que o agricultor tem para garantir a qualidade do equipamento que será adquirido é verificar se o fabricante possui o seu sistema de produção em conformidade com Normas Técnicas. De uma maneira geral, os equipamentos fabricados no Brasil, devem ser projetados e dimensionados conforme normas técnicas descritas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2006), órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. Existem aprovadas atualmente no acervo de Normas Brasileiras (NBR), aproximadamente 40 Normas Técnicas relacionadas de alguma forma com irrigação. Na sua maioria são normas para tubulações, para emissores de irrigação, ensaios de equipamentos mecanizados e requisitos

para projetos e operação, utilizada para padronizar ensaios como durabilidade, verificação da resistência à pressão hidrostática, verificação do desempenho, análise qualitativa a resistência à radiação ultravioleta, determinação do envelhecimento térmico entre outras características importantes a serem observadas para atestar a qualidade e a durabilidade do produto a diversas condições de uso.

A Figura 238 ilustra, como exemplo, o processo de galvanização de tubos e acessórios de irrigação, que fornece aos equipamentos de aço proteção contra condições adversas de clima e de qualidade de água, característica que deve ser testada pela aplicação de Normas Técnicas.



Figura 238: Processo de zincação a quente com sistema vertical (Fonte: KREBSFER, 2016).

Buscando avaliar a situação tecnológica dos fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil, TESTEZLAF E VOLPI (2001) constataram a existência de 61 empresas. Nesse estudo, o nível de preocupação do setor com a área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), principalmente, com a realização de ensaios e o atendimento de Normas Técnicas foram avaliados, a partir de 16 empresas respondentes ao questionário enviado. Os resultados mostraram que 10 empresas (63%) possuíam área de pesquisa e desenvolvimento, enquanto que seis delas (37%) ou não tinham tal área ou não responderam a essa questão. Das empresas avaliadas, 12 (75%) realizavam algum tipo de teste ou ensaio em seus produtos e 56 % não possuíam certificado de conformidade para seus produtos, sendo que 13% das empresas optaram por outro tipo de conformidade. Os resultados encontrados naquele momento mostraram que indústria nacional fabricante de equipamentos de irrigação, que se caracteriza, na sua maioria, pela utilização de tecnologias importadas, necessitava ampliar o investimento no desenvolvimento e no ensaio de equipamentos, visando adequar o seu produto às condições brasileiras de produção agrícola.

Outra forma de avaliar a qualidade de um fabricante de equipamentos de irrigação é verificar o seu comprometimento no atendimento das legislações ambientais, tanto no processo de fabricação dentro de sua empresa como na implantação do sistema de irrigação. Esse tipo de comportamento pode ser exemplificado na Figura 239, onde um pivô central foi projetado e instalado próximo de uma fonte de água, possibilitando a sua contaminação com o uso da fertirrigação.

Pode se afirmar que as falhas mais comuns encontradas em sistemas de irrigação e que estão relacionadas com a má execução da etapa de projetos são:

- Motobombas mal dimensionadas, com potências incorretas (baixas ou altas) com baixa eficiência e alto consumo de energia;
- Equipamentos com baixa qualidade;
- Falta de preocupação com a qualidade de água (corrosão e abrasão);

- Projeto baseado na vontade do agricultor, sem planejamento e avaliação de alternativas.
- Impactos negativos do uso da irrigação



Figura 239: Pivô central instalado próximo a uma fonte de água com possibilidade de contaminação por fertirrigação (Fonte: NEMUS, 2012).

INSTALAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A qualidade da operação de um sistema de irrigação está diretamente ligada à etapa de instalação e montagem dos equipamentos em campo, que vai depender diretamente da experiência e a habilidade do técnico na leitura de plantas e aplicação de especificações do fabricante e das normas de instalação. A ocorrência de erros na instalação do sistema pode causar redução na vida útil dos equipamentos, aumento no custo de sua manutenção, adequações indesejáveis na operação e aumento nos custos de produção. Além da experiência do profissional que vai executar essa etapa, a montagem deve atender especificações do fabricante, critérios de segurança elétricos e hidráulicos, normas de montagem de sistemas de bombeamento, das tubulações, parte elétrica e de automação e controle (Figura 240).



Figura 240: Exemplo de um canteiro de obras para montagem do sistema de bombeamento (ANTUNES, 2006).

Os principais problemas encontrados na execução da etapa de instalação e montagem dos equipamentos estão relacionados, principalmente, a:

- Mão de obra sem treinamento adequado;
- Uso de ferramental não adequado na montagem;
- Pouca orientação fornecida pelas empresas fabricantes;
- Inexistência normas brasileiras que orientem a instalação de sistemas de irrigação;

Esses problemas acabam gerando sérios problemas nos sistemas de irrigação como, por exemplo:

- Problemas de ancoragem de bombas e tubulações (Figura 241);
- Instalações elétricas sem proteção;

- Entrada de sujeiras nas tubulações no momento da montagem;
- Instalação diferente do projeto (falta de planejamento).



Figura 241: Exemplo de instalação inadequada da ancoragem de uma válvula de retorno após a motobomba.

Dentro da fase de montagem e instalação está incluída a etapa de entrega técnica, onde a empresa responsável pela instalação deve garantir que as condições operacionais definidas no projeto estão atendidas. Nessa fase é essencial que ensaios de campo sejam realizados, estimando as pressões e vazões em diferentes pontos de funcionamento do sistema e garantindo que a sua correta operação (Figura 242).



Figura 242: Exemplo de ensaio de campo para estimativa da vazão de um aspersor.

OPERAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Entende-se como operação dos equipamentos ou sistema de irrigação, o conjunto de serviços e ações requeridas para a aplicação de água à cultura, destacando-se as seguintes operações:

- Funcionamento e manutenção do sistema motobomba;
- Armazenamento, manuseio e manutenção de tubulações utilizadas em linhas adutoras, de recalques e linhas laterais, assim como conexões e acessórios;
- Operação de sistemas de tratamento da água de irrigação, como filtros, para garantir a qualidade de água aplicada pelo sistema;
- Avaliação do funcionamento de emissores, aspersores, reguladores de pressão;
- Programação de controladores de irrigação e calibração de válvulas e acessórios;
- Manutenção de sistemas elétricos de alta e baixa tensão;
- Operação do sistema atendendo condições climáticas favoráveis à irrigação;

A operação adequada dos equipamentos é fundamental para que o agricultor atinja seus objetivos com a irrigação. Ela deve ser bem executada e planejada para reduzir os custos de manutenção, com possíveis trocas de peças, e evitar acidentes por falta de segurança. A

operação dos equipamentos deve atender as especificações de projeto e ser apropriada às técnicas de cultivo irrigado. Quanto mais sofisticado e tecnológico for um sistema, maior deve ser o cuidado e as preocupações com as questões de operação e de segurança pessoal.

Neste sentido, é importante destacar que a operação dos sistemas está intimamente ligada ao manejo de irrigação, sendo a qualidade da mão de obra utilizada na propriedade fator determinante para o sucesso da irrigação, exigindo treinamento constante de todos os profissionais envolvidos. Além dos aspectos citados anteriormente, é preciso salientar que a garantia de valores aceitáveis de eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação é função, não só do conhecimento das características hidráulicas dos sistemas, como vazão e pressão de projeto ao longo da vida útil dos equipamentos, como também da experiência do técnico em operar sistemas e utilizar técnicas corretas de cultivo voltadas para os princípios da agricultura irrigada.

Um exemplo da importância do manuseio correto dos equipamento de irrigação está mostrado na Figura 243, onde o armazenamento de tubos de PVC em uma propriedade agrícola é realizado em pilhas com altura fora do padrão, podendo levar ao esmagamento e quebras de tubos ou a fissuras superficiais que levarão a redução da vida útil.



Figura 243: Tubos de PVC armazenados em pilhas com altura excessiva.

Em uma pesquisa denominada “Caracterização de tecnologias de produção agrícola em propriedades rurais na área de concessão da CPFL / Piratininga” (ROSSI et al. 2003) foi verificado durante as visitas às propriedades que faziam uso da irrigação a condição precária das instalações elétricas e a falta de mínima manutenção, não sendo raros os casos de motores com partes internas e externas totalmente sujas e chaves sem dispositivos de proteção. Outro trabalho que confirma problemas nas atividades de manutenção de equipamentos foi realizado por GRAMOLELLI JR. et al. (2004), onde foi detectado que 50% dos agricultores disseram que não existia assistência técnica disponível na área e que somente 32% faziam manutenção preventiva e 18 % eventualmente.

Além do atendimento às normas de montagem, as empresas fabricantes precisam disponibilizar aos agricultores um corpo técnico qualificado e com profundo conhecimento das diversas situações ou ambientes em que a irrigação será utilizada para atender de forma mínima os critérios de qualidade. Um exemplo de inadequação de projeto de irrigação é apresentado na Figura 244, onde as linhas de derivação constituídas de tubos de PVC foram encurvadas para atender a conformidade do terreno, aumentando os esforços nas paredes da tubulação e reduzindo a sua vida útil.



Figura 244: Linhas de derivação de PVC dispostas encurvadas em um sistema de gotejamento.

Um tipo de atividade essencial dentro da etapa de operação do sistema de irrigação é manutenção dos equipamentos, ou seja, a realização de procedimentos para assegurar que o sistema não vai deixar de operar, garantindo o máximo tempo efetivo de trabalho e a eficiência nas atividades de produção. Com a prevenção de prováveis falhas ou quebras de equipamentos, a manutenção tem o objetivo de manter o sistema em condições de pleno funcionamento para garantir a realização da irrigação, qualidade final dos produtos e segurança dos operadores (UFFJ, 2017).

De modo geral, as atividades de manutenção na irrigação podem ser planejadas ou executadas respeitando as seguintes metodologias: manutenção corretiva, preventiva e a preditiva.

MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é a que mais ocorre na agricultura irrigada, referindo-se ao conserto do equipamento ou de partes dele quando acontece a sua quebra ou avaria, com a interrupção de sua operação. É a manutenção do tipo quebra/conserta e que, geralmente, vai exigir paradas obrigatórias do sistema, às vezes, em momentos críticos para a cultura, e com alto risco de levar a prejuízos da produção. A Figura 245 mostra um caso típico de vazão da conexão de tubos metálicos que precisa ser corrigida com ações de manutenção corretiva.



Figura 245: Vazamento em tubos metálicos de irrigação.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Visando prever a parada inesperada do sistema devido a quebras e avarias nos equipamentos, e diminuir o número e o custo de ações corretivas, realiza-se a manutenção preventiva, que se baseia em atender as recomendações do fabricante em termos de prazo de atividades e substituições e do estado de conservação dos equipamentos. A execução desse tipo de manutenção obedece a um programa previamente esquematizado que estabelece

paradas periódicas, para que sejam realizadas trocas de peças desgastadas por novas, assegurando assim o funcionamento perfeito do sistema por um período pré-determinado. A adoção da manutenção preventiva vai contribuir para reduzir o número e o custo de ações corretivas no sistema.

Exemplos de algumas atividades que podem ser realizadas em sistemas de irrigação com determinada periodicidade são: troca de anéis de vedação de tubulações e válvulas, após uma ou duas safras, inspecionar as conexões hidráulicas; inspecionar conexões elétricas e caixa de controle; avaliar o diferencial de pressão ao longo da rede hidráulica; avaliar a qualidade de água de irrigação; avaliar hidrômetro e vazão do sistema; inspecionar todos os componentes internos das válvulas; inspecionar gaxetas das conexões para vazamentos, etc.

MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é realizada a partir do monitoramento de parâmetros operacionais ou de desempenho (parâmetros de avaliação) que informem o desgaste ou dano dos equipamentos e cuja análise permitirá a sua modificação ou correção da operação. Esse tipo de manutenção busca predizer o tempo de vida útil dos acessórios e equipamentos e as condições para que este tempo de vida seja respeitado ou estendido.

Entretanto, para a adoção dessa metodologia de manutenção é necessário que o sistema de irrigação esteja instrumentado com, por exemplo, manômetros e hidrômetros (Figura 246), para permitir algum tipo de monitoramento mínimo ou medição da pressão e da vazão.



Figura 246: Exemplo de válvula volumétrica instalada em um sistema de irrigação localizada.

O monitoramento das condições operacionais pode ser executado com utilização de instrumentos adequados capazes de registrar acontecimentos, como:

- Variações de vazão e pressão em bocais;
- Variações de temperatura;
- Vibrações em acessórios e motobomba;
- Mudança no desempenho do sistema;

Outra forma de se monitorar o desempenho de um sistema de irrigação é avaliar a uniformidade de distribuição de água pelo sistema, utilizando ensaios normatizados de campo (Figura 247).



Figura 247: Exemplo de avaliação de campo sendo realizado em um pivô central.

Depois de detectado o problema através do monitoramento será preciso fazer um diagnóstico e análise da falha que aconteceu e buscar medidas que reduzam a sua ocorrência.

Salienta-se que as empresas responsáveis pelos projetos devem fornecer ao agricultor treinamento para a operação e manutenção dos equipamentos, e com adequada assistência técnica. O atendimento a essa condição possibilita maior durabilidade ao equipamento, mantendo as suas características hidráulicas de funcionamento e permitindo um maior tempo de retorno do investimento para o agricultor.

MANEJO RACIONAL DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Manejo racional da irrigação significa aplicar a água no momento correto e no volume necessário para a cultura, determinando, assim, a garantia de maior produtividade, aumento da eficiência e redução dos custos de operação do sistema. Para o agricultor, manejo significa saber a hora de ligar e desligar o sistema motobomba para atender as necessidades da cultura e as limitações do solo da propriedade.

O emprego da irrigação exigem conhecimentos específicos sobre questões fitossanitárias associadas à veiculação hídrica de doenças e também sobre demandas diferenciadas de água e de fertilizantes ao longo do ciclo da cultura. Adicionalmente, o pagamento pelo uso da água, que vai determinar mais um item de despesa para ao agricultor, exigirá um conhecimento ainda mais aprofundado das técnicas de manejo de irrigação.

A inadequação na distribuição da água por um sistema de irrigação pode determinar baixos valores de eficiência de irrigação e levar a efeitos desfavoráveis como:

- Baixa produção da cultura por unidade de área;
- Baixa produtividade por unidade de água aplicada;
- Diminuição da área total irrigada;
- Efeitos prejudiciais ao meio ambiente;
- Lucratividade menor com a agricultura irrigada.

Uma consequência quase cotidiana do manejo incorreto da irrigação são as aplicações excessivas de água, que acarretam desperdícios e perdas dos recursos hídricos da propriedade e da energia utilizada no bombeamento. Um exemplo das consequências do uso excessivo de água na irrigação encontra-se na cultura do tomate de mesa que é irrigado por sulcos (Figura 248). Nesse caso, a total falta de controle no manejo de irrigação determinou uma eficiência média de aplicação de água em torno de 32% (CAMPOS E TESTEZLAF, 2003), em uma propriedade produtora de tomate de mesa, causando impactos ambientais sérios, podendo inviabilizar o êxito da produção.



Figura 248: Irrigação por sulcos na cultura de tomate de mesa.

Existem diferentes métodos de manejo de irrigação que podem satisfazer diferentes níveis tecnológicos da agricultura irrigada. Todos eles devem atender as condições presentes na produção, como: cultura a ser irrigada; fase do crescimento vegetativo, variações climáticas ao longo do ciclo da cultura, características do solo da propriedade; características do sistema de irrigação, etc.

É possível ainda afirmar que a maioria dos produtores não faz uso de nenhuma técnica de manejo, aplicando a água baseada na sua experiência diária com o cultivo irrigado. Algumas ações veem sendo tomadas por empresas e universidades que desenvolveram programas computacionais de auxílio ao manejo da irrigação que permitem o acompanhamento das variações climáticas e respeitam as características da propriedade para quantificar a necessidade real de água para as culturas. Adicionalmente, redes meteorológicas vêm sendo implantadas em alguns estados e municípios, visando contribuir para a efetivação de procedimentos mais eficazes no controle da irrigação.

O conjunto dos fatores apresentados nesse capítulo determina a qualidade da irrigação e, consequentemente, o uso racional de água para produção sustentável de alimentos. É importante salientar que os fatores estão interligados de forma que se apenas um deles for mal conduzido pode comprometer toda a sustentabilidade do processo de produção.

PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

INTRODUÇÃO

O planejamento de um sistema de irrigação para uma propriedade agrícola pode ser definido como a concepção de um plano ou de um pré-projeto que vai possibilitar que a sua implantação atinja os objetivos esperados da técnica. Planejar um sistema de irrigação é uma ação necessária para se prever e organizar as atividades e processos que vão ocorrer no futuro, buscando aumentar a eficácia do projeto e diminuir os riscos do empreendimento. As condições de sua execução determinarão a qualidade da utilização dos recursos naturais e socioeconômicos envolvidos no processo de irrigar uma cultura.

A execução da etapa de planejamento é primordial e essencial para o sucesso de um sistema de irrigação. Planejar a irrigação requer o uso de experiência profissional e o emprego de metodologia multidisciplinar que auxilie a reconhecer as diferentes adaptações de cada sistema, orientando a utilização racional dos recursos econômicos, sociais e naturais e integrando as informações para buscar a melhor solução para uma dada propriedade.

KELLER E BLIESNER (1995) apresentaram uma proposta de planejamento preliminar, que foi adaptada e está apresentada no fluxograma da Figura 249.

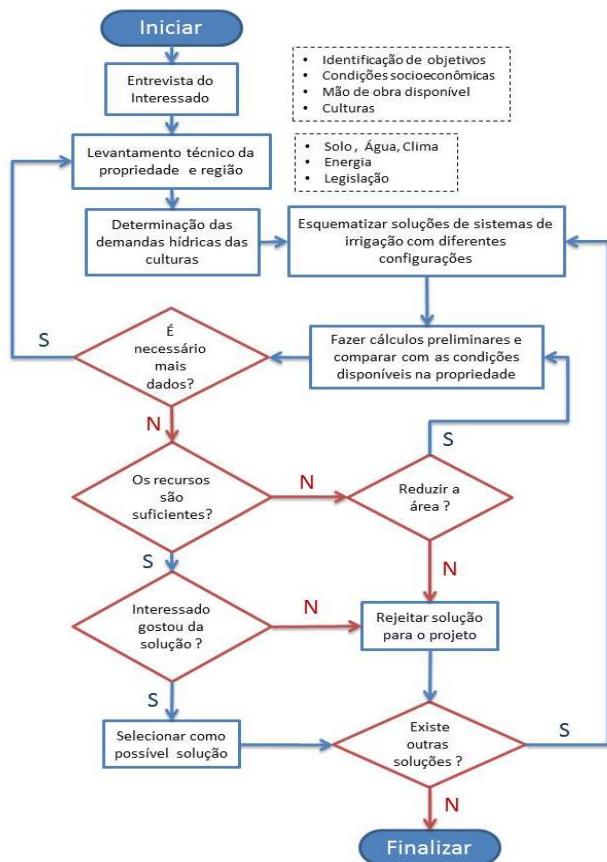


Figura 249: Fluxograma de decisões mostrando as etapas que constituem o planejamento preliminar de um sistema de irrigação (Adaptado de KELLER & BLIESNER, 1995).

Este esquema mostra as etapas necessárias para a implantação de um sistema de irrigação e que pode resultar em possíveis soluções de tipos de sistemas e de configurações de projeto. Com a aplicação dessa metodologia de planejamento é possível chegar às

melhores soluções, selecionar uma que atenda as necessidades do produtor e executar o seu projeto.

O planejamento de um projeto é assim um procedimento sistemático. Adaptando a metodologia para sistemas pressurizados proposta por KELLER E BLIESNER (1995) para uma aplicação mais geral é possível sugerir um planejamento que tenha as seguintes etapas:

1. Identificação dos objetivos e dos impactos do projeto.
2. Levantamento e caracterização da propriedade ou área a ser irrigada.
3. Pré-seleção dos tipos de sistemas mais promissores e adaptáveis às condições existentes.
4. Comparação técnico-econômica dos sistemas pré-escolhidos, analisando-se o potencial de cumprimento dos objetivos definidos inicialmente.
5. Decisão final do sistema a ser utilizado.

Estas etapas serão detalhadas a seguir, para oferecer um aprofundamento de informações que contribuam no processo de definição do uso da técnica de irrigação.

IDENTIFICAÇÃO DE OBJETIVOS E IMPACTOS DO PROJETO

No planejamento de sistemas de irrigação devem-se definir inicialmente os objetivos que se pretende atingir com a adoção da tecnologia e os possíveis impactos positivos ou negativos que podem ser gerados pelo uso da tecnologia.

Como toda adoção de tecnologia na agricultura, os principais objetivos a serem atingidos com a implantação de sistemas de irrigação são de ordem econômica, ou seja, viabilizar a atividade econômica exercida pelo proprietário seja pela garantia de produção como pelo aumento de lucratividade. Na análise de viabilidade econômica de projetos de irrigação são utilizados parâmetros econômicos tradicionais, como: relação benefício-custo ou taxa de retorno de investimento e outros.

Além dos custos fixos relacionados ao investimento inicial, dos quais está incluída a depreciação de toda a instalação mais juros sobre o investimento, existem também os custos variáveis, constituídos do custo operacional do sistema (energia elétrica ou combustível), custo de mão-de-obra (operação, reparos e manutenção do sistema), e, atualmente apareceu o custo da água, cujo pagamento já está legalizado em várias bacias hidrográficas no Brasil. Por outro lado, temos entre os principais benefícios da irrigação a garantia e aumento da receita (aumento da produtividade, aumento da qualidade do produto, aumento do número de safras, etc.).

Dentro dos impactos negativos, podem-se citar os ambientais como a primeira preocupação que o projetista deve ter. No Estado de São Paulo, já não é possível, a não ser de forma clandestina, instalar um sistema de irrigação com recursos de agências de financiamento sem apresentar uma análise mais aprofundada dos impactos do uso da tecnologia dentro de uma bacia hidrográfica e com a apresentação da autorização para uso da água (outorga). Desta forma é necessário identificar, e, se possível, quantificar as mudanças ambientais ou impactos decorrentes do uso da técnica. Alguns dos principais impactos decorrentes do uso da irrigação são:

- Alteração de regimes hídricos (água superficial e subterrânea) pelo uso excessivo desses recursos.
- Potencial para causar erosão na área, principalmente em áreas declivosas e solos com baixa capacidade de infiltrar a água aplicada.
- Potencial para contaminação do solo e da água, pelo uso de tratamentos químicos, como adubação, controle de pragas e insetos, etc.

- Construções e transformações na área irrigada como sistematização do solo (nívelamento), instalação das partes do sistema de irrigação (bombas, canais, tubulações), perfuração de poços, cercas, acumulação de águas superficiais, etc..
- Possibilidade de modificações das condições de flora e fauna.

Entretanto, outras mudanças podem ocorrer e que devem ser tratadas como impactos positivos da irrigação, dentre as quais é possível citar:

- Impactos sociais, com a criação ou aumento da oferta de empregos diretos e indiretos;
- Produção local ou regional de alimentos, aumentando a disponibilidade e reduzindo os custos para o consumidor final;
- Aumento no consumo de equipamentos e insumos agrícolas produzidos na região;
- Criação de outras atividades econômicas para o produtor, como oportunidades de lazer (pesca, canoagem), agroturismo, etc..

Pela importância que o tema de impactos do uso da tecnologia de irrigação representa para o desenvolvimento da agricultura, este assunto será tratado no próximo capítulo deste livro.

LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

O planejamento bem realizado de um sistema de irrigação exige o levantamento das condições da propriedade ou da área a ser irrigada. A falta de informações ou a caracterização incorreta de determinados parâmetros pode levar ao insucesso da empreitada com sérios prejuízos ao usuário da irrigação. Não é objetivo desse documento apresentar ou recomendar as metodologias utilizadas para esta caracterização, mas será ressaltado os parâmetros que precisam ser conhecidos para permitir que o projeto tenha o embasamento técnico necessário. Dentre eles pode-se citar:

- **Topografia:** planta planialtimétrica recente da propriedade com curvas de nível, declividade média, dimensões da área, locação correta de estradas, carreadores, linha de alta tensão, árvores, ou outros obstáculos, presença de nível freático, local do ponto de captação ou de recalque da água, perigo de inundaçāo, etc..
- **Culturas:** variedades escolhidas, práticas culturais que serão adotadas, potencial de ocorrência de doenças e pragas, suscetibilidade a mudanças de tratos culturais, dimensões máximas atingidas pela planta durante o seu ciclo, duração do ciclo de produção, requerimentos de água das culturas a serem exploradas, etc..
- **Solo:** classificação do solo, determinação da classe granulométrica (textura), análise química do solo em profundidade, caracterização estrutural, determinação das características infiltração e de retenção ou armazenamento de água, presença de camadas de impedimento, potencial de erodibilidade, análise do potencial de salinização, homogeneidade dos solos presentes na área (pode ocorrer mais de um tipo de solo), etc..
- **Água:** tipo de fonte (superficial, subterrânea), quantidade disponível (variação temporal), qualidade (salinidade, sedimentos, biológica), planejamento de uso em função da cultura a ser irrigada (calendário, vazão, duração), análise do ponto de captação, etc..
- **Clima:** Dados meteorológicos médios da região, como precipitação, temperatura, umidade, vento, radiação solar, ocorrência de geadas, etc..
- **Energia:** Fonte (elétrica, diesel, etc..) e potência disponível.

- **Institucional:** disponibilidade local de mão-de-obra, necessidade de técnicos especializados para reparos, manutenção e operação. Necessidade de treinamento. Disponibilidade de capital do agricultor ou do usuário (custo inicial aumenta com o aumento de sofisticação do sistema).
- **Disposições legais e políticas:** direito da água, incentivos governamentais, zoneamento rural, impostos, leis que obrigam a contenção de enxurradas ou água de drenagem, etc..

PRÉ-SELEÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

O principal critério que deve ser utilizado para pré-selecionar sistemas adaptáveis à área a ser irrigada é, a partir dos objetivos definidos e das condições da área conhecidas, escolher os sistemas de irrigação que potencialmente atendam estas condições. Esta etapa se torna mais fácil de ser realizada à medida que se ganha experiência com determinadas regiões e culturas. Entretanto, a experiência anterior com determinados sistemas ou localidades não pode induzir o projetista a olhar todas as situações de forma idêntica, ignorando condições diferenciadas que existem e eliminando a análise de alguma opção que pode ser interessante para o agricultor.

O projetista de irrigação deve comparar a utilização de diferentes sistemas sempre com parâmetros padronizados e que permitam ao agricultor reconhecer as vantagens e limitações dos sistemas. Tradicionalmente no Brasil, agricultores de algumas regiões se acostumarem a utilizar um sistema de irrigação específico para uma determinada cultura, independente de existir outros sistemas mais viáveis e que aplicam a água com maior uniformidade e eficiência e com menores riscos ambientais. É o caso da cultura do morango que, apesar de utilizar coberturas plásticas nos canteiros, é irrigada por aspersão convencional, gerando baixa eficiência e elevadas perdas com escoamento superficial (Figura 250). Nesse caso, o gotejamento aparentemente pode ser a melhor opção no lugar da aspersão, mas análises da capacidade de investimento do produtor pode indicar outra solução.



Figura 250: Exemplo de aplicação da irrigação por aspersão na cultura do morango.

A escolha dos sistemas exige um conhecimento aprofundado das adaptabilidades de cada método de irrigação às diferentes condições de solo, água, clima, cultura, impactos, operação e manejo, etc.. A Tabela 6 exemplifica alguns fatores que devem ser avaliados com limitantes para a seleção correta dos métodos de irrigação. O fato de cada método de irrigação englobar sistemas que empregam diferentes equipamentos pode contribuir para o uso incorreto dos fatores de seleção apresentado nessa tabela. Dessa forma, os dados e

informações fornecidos nessa tabela devem ser utilizados de forma relativa e para fins puramente comparativos e ilustrativos.

Tabela 6: Fatores que afetam a seleção de sistemas de irrigação em uma propriedade agrícola.

Fatores	Métodos de Irrigação			
	Aspersão	Localizada	Superfície	Subterrânea
1. Solo				
Infiltração	😊	😊	😢	😢
Declividade	😊	😢	😢	😊
2. Cultura				
Culturas anuais	😊	😢	😊	😊
Frutíferas	😊	😊	😊	😊
3. Clima				
Vento	😢	😊	😊	😊
4. Água				
Quantidade requerida	😢	😊	😢	😊
Qualidade requerida	😊	😢	😊	😢
Eficiência de aplicação	😊	😊	😢	😊
5. Custos				
Instalação	😊	😢	😊	😢
Operação	😊	😢	😊	😊
6. Mão-de-obra				
Manutenção	😊	😢	😊	😢
Treinamento	😊	😢	😊	😢
7. Sistema				
Potencial automação	😊	😊	😢	😊

Legenda: 😊 - Fator positivo 😐 - Fator neutro 😢 - Fator negativo

Um exemplo da possibilidade de aplicação de diferentes sistemas de irrigação em uma mesma cultura pode ser visto na Figura 251, onde é possível visualizar como ao longo do tempo e o desenvolvimento das técnicas de irrigação, a cultura do citros pode ser receber diferentes formas de aplicação de água.



Figura 251: Cultura de citros irrigada por diferentes sistemas de irrigação: (a) por carretel enrolador; (b) microaspersão; (c) gotejamento e (d) pivô central.

A Figura 251 mostra que tradicionalmente a irrigação na cultura de citros iniciou com sistemas de irrigação autopropelidos (A), como por exemplo: o carretel enrolador. Posteriormente, a aplicação de sistemas de irrigação localizada, microaspersão (B) e gotejamento (C), se mostrarem mais eficientes, tornando-se opções para os agricultores e atualmente está se buscando a possibilidade do uso do pivô central (D) nessa cultura. A seleção do sistema mais apropriado vai passar obrigatoriamente por uma comparação entre os sistemas possíveis.

COMPARAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DOS SISTEMAS PRÉ-ESCOLHIDOS

Para que os sistemas pré-selecionados para as condições da propriedade agrícola sejam comparados é necessário estimar alguns parâmetros técnicos e outros econômicos para viabilizar a escolha do sistema ideal. Desta forma, cada sistema deverá ter um anteprojeto que conste, preliminarmente, o dimensionamento hidráulico de suas partes, uma relação de materiais e com uma avaliação do custo de investimento, sendo, posteriormente realizada uma análise econômica de cada opção.

Após a execução dos anteprojetos, os sistemas devem ser comparados para se verificar qual apresenta a melhor configuração e que consegue atingir os objetivos traçados inicialmente no projeto pelo produtor.

SELEÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

O sistema selecionado deve ser o que melhor atende os objetivos do empreendimento e os interesses do produtor. Como na fase anterior de pré-selecionamento, as melhores opções de sistemas que atendem os objetivos técnicos e econômicos devem ser separadas, sendo que o sistema escolhido será, quase sempre, aquele que trará a maior lucratividade ou o melhor retorno econômico do investimento. Entretanto, poderão ocorrer casos onde a obrigatoriedade da irrigação aliada a necessidade de se reduzir a ocorrência de impactos negativos possam levar uma solução que não atenda plenamente aos objetivos econômicos.

A Figura 252 exemplifica o caso da cultura do tomate de mesa, que é irrigado tanto pelo sistema de gotejamento com de sulcos. Por questões econômicas e fitossanitárias, os produtores de tomate de mesa sempre optaram pela irrigação por sulcos, que é mais fácil de ser manejada e operada. Entretanto, as questões ambientais e trabalhistas estão modificando esse cenário e requerendo que o produtor opte pela irrigação por gotejamento, mais eficiente e com menor demanda de mão de obra para irrigação, mas com custo mais elevado.



Figura 252: Exemplo da cultura do tomate de mesa irrigado por gotejamento e sulcos.

O uso de metodologias de planejamento para a escolha e a implantação de sistemas de irrigação sempre será essencial para garantir o respeito ao uso racional dos recursos econômicos, sociais e naturais de cada propriedade.

IMPACTOS DO USO DAS TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista do emprego da tecnologia no aumento da produção de bens agrícolas, a técnica da irrigação começa a ocupar espaço significativo no processo produtivo da agricultura brasileira. Apesar dos benefícios conseguidos com o uso desta técnica, ela pode propiciar impactos negativos resultantes de sistemas inadequadamente planejados e projetados e pela execução incorreta do seu manejo e operação.

Existem vários exemplos no mundo de que, após os benefícios iniciais da irrigação, grandes áreas tem-se tornado impróprias para agricultura por impactos ambientais adversos ao solo, como salinização (Figura 253), à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública, a fauna, a flora e à segurança do agricultor irrigante. Estes impactos negativos ficam mais evidentes nos grandes projetos de irrigação, onde obras de barragem, unidades de bombeamento, canais, sistemas de drenagem, modificam o meio ambiente de forma significativa.



Figura 253: Exemplo de uma área agrícola salinizada pela ação da irrigação na Califórnia, EUA (Fonte: GEOTIMES, 2008).

As tecnologias utilizadas nos setores produtivos são, na sua maioria, geradas a partir de modelos de desenvolvimento econômico adotado pelos países. Durante a evolução da agricultura no Brasil, diferentes enfoques foram adotados. Atualmente, a agricultura mundial passa pelo conceito de agricultura sustentável, que determina uma integração de todos os fatores que interferem na produção. Neste contexto de sustentabilidade, o uso da tecnologia de irrigação deve visar sempre à preservação ambiental, a viabilidade econômica e a qualidade de vida, possibilitando o desenvolvimento econômico e social das regiões, compatibilizado com a conservação do meio ambiente.

Para que a aplicação das técnicas de irrigação seja a mais adequada possível, é necessário conhecer os conceitos e princípios básicos de cada método de irrigação utilizado no processo de produção irrigada, associando-os com a filosofia do modelo de desenvolvimento sustentável.

CAUSAS E EFEITOS

Os principais impactos gerados pela irrigação estão relacionados às perdas de água que ocorrem devido a sua aplicação inadequada. É possível afirmar que nenhum sistema de irrigação apresenta 100% de eficiência, ou seja, todo sistema de irrigação apresenta algum tipo de perda de água, definida como a fração de água aplicada que não ficará disponível para a planta. A Figura 254 apresenta um esquema ilustrativo da movimentação da água no

sistema solo-planta-atmosfera, onde estão salientadas as perdas que podem ocorrer durante um evento de irrigação.

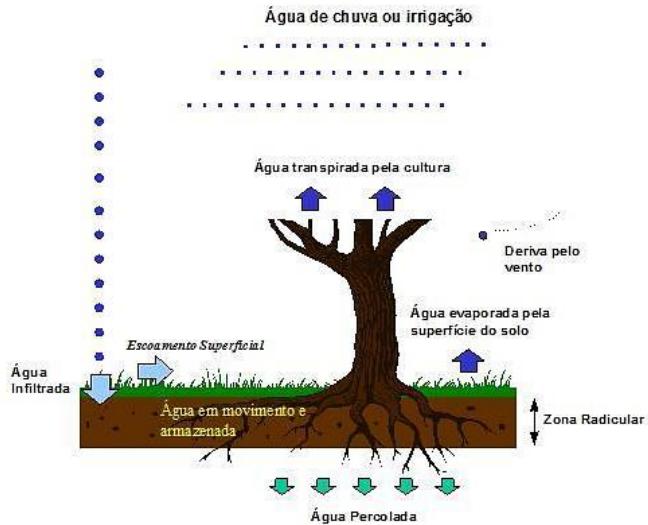


Figura 254: Esquema mostrando os tipos de perdas que podem ocorrer durante o evento da irrigação ou chuva.

Pela análise da Figura 254, podem-se classificar as perdas nos seguintes tipos:

- **Perdas por evaporação:** é o volume de água perdido por evaporação, ou seja, pela passagem da água do estado líquido para o de vapor. Essas perdas podem ocorrer durante a aplicação da água, no caso das irrigações por aspersão e de superfície e, também, após a irrigação, pela água que ficou interceptada na planta ou sobre o solo úmido. As perdas por evaporação praticamente não geram nenhum tipo de impacto indesejável.
- **Perdas por arraste ou deriva pelo vento:** é a parte da água aplicada pela irrigação que é transportada pela ação do vento para fora da área a ser irrigada. Essas perdas ocorrem, principalmente, nos sistemas de irrigação por aspersão e, com menor intensidade, na microaspersão. As perdas de água por deriva do vento podem causar contaminação de áreas adjacentes à irrigação se ela contiver algum tipo de agroquímicos ou fertilizantes.
- **Perdas por escoamento superficial:** são as perdas de água que ocorrem toda vez que a precipitação ou intensidade de aplicação do sistema de irrigação for superior a capacidade de infiltração do solo, fazendo que parte da água aplicada escoe superficialmente pelo solo. Essas perdas ocorrem frequentemente em sistemas de aspersão com taxas de precipitação muito elevadas e, menos frequente, nos sistemas de microaspersão e gotejamento. No caso da irrigação por superfície, as perdas por escoamento superficial estão relacionadas ao volume de água que, após a aplicação nos sulcos ou tabuleiros, não infiltra no solo e é conduzido para fora da área irrigada. Esse tipo de perda é responsável pela maioria dos impactos gerados pela irrigação.
- **Perdas por percolação profunda:** são representadas pelos volumes de água aplicados que infiltram no solo e ultrapassam o sistema radicular da planta sem a possibilidade de ser utilizada beneficiamente pela cultura irrigada. Essas perdas ocorrem principalmente quando a irrigação aplica volumes excessivos de água em solos de texturas média e arenosa, com baixa capacidade de retenção de água e alta permeabilidade. Esse tipo de perda vai causar perdas de nutrientes por lixiviação,

principalmente daqueles que apresentam maior mobilidade no solo, como o nitrogênio e o potássio, que irão contaminar o lençol freático ou outras fontes de água.

A maioria dos efeitos e impactos da irrigação está associada, principalmente, ao princípio de funcionamento do método de irrigação e que, portanto, deve ser considerada durante o seu planejamento.

IMPACTOS GERADOS PELA IRRIGAÇÃO

Diversas metodologias estão disponíveis para a avaliação de impacto ambiental causado pela adoção de processos tecnológicos em setores econômicos. SILVA et al. (1994), propuseram uma metodologia adaptada às condições da agricultura irrigada, que classifica o impacto ambiental como intrínsecos e extrínsecos às unidades agrícolas de produção irrigada. Os diferentes impactos negativos gerados pela irrigação são causados, na maioria dos casos, pelo dimensionamento inadequado do sistema de irrigação às necessidades da cultura e às condições da propriedade (solo, clima, topografia, etc..), pelo manejo de irrigação incorretamente conduzido e pela adoção de métodos de operação e de condução do cultivo não apropriados para a cultura irrigada. A Figura 255 apresenta uma classificação didática dos tipos de impactos negativos que podem ser gerados pela irrigação.

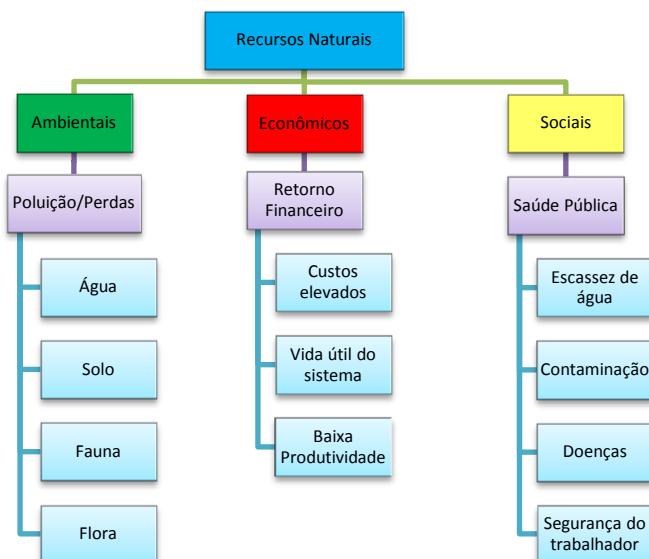


Figura 255: Classificação dos impactos negativos gerados pelo uso da irrigação.

A Figura 255 mostra que uso das técnicas de irrigação atua diretamente sobre os recursos naturais (água, solo, flora e fauna) e os impactos gerados terão consequências tanto ambientais, como para a atividade econômica e para as questões sociais (qualidade de vida) quando utilizados sem respeitar os princípios de sustentabilidade. Desta forma, os impactos negativos serão classificados nessas três categorias, apesar de ocorrer do inter-relacionamento entre elas.

IMPACTOS AMBIENTAIS

Por ter a água como principal insumo de produção, os sistemas de irrigação quando mal projetados e/ou operados determinam desperdícios significativos de recursos hídricos causando mudanças em todos os recursos naturais. A primeira consequência sobre os recursos hídricos é a sua escassez, já sentida atualmente em várias regiões no país. A

aplicação descontrolada irá proporcionar desperdícios não só de água como de produtos químicos que são aplicados via irrigação.

O consumo excessivo da disponibilidade hídrica de uma região pode causar sérios conflitos pelo uso dos recursos hídricos. Dentre os vários exemplos no mundo, tem-se o caso da redução do tamanho do Lago Chade, na fronteira dos países Chade, Nigéria, Camarões e Níger (Figura 256). Várias causas estariam contribuindo com a diminuição da disponibilidade de água desse lago, desde o excesso de pastagens nas suas margens que teria resultado na desertificação, assim como, mudanças climáticas, e também parte relativo ao uso humano da água, com o represamento e a utilização pelos métodos de irrigação.

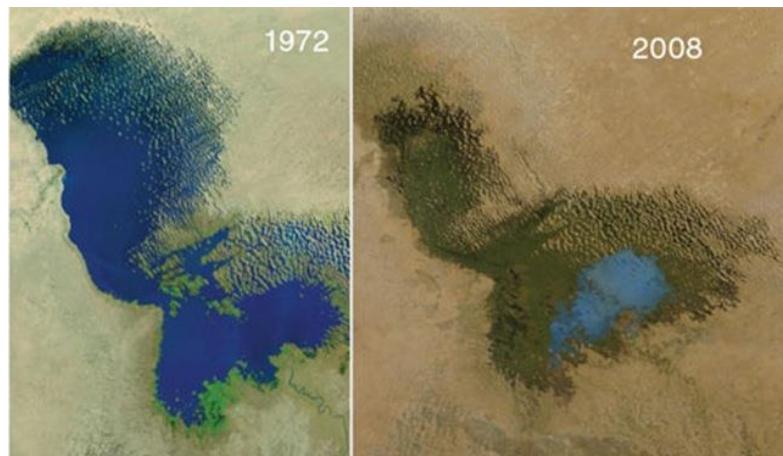


Figura 256: Fotografia aérea mostrando a redução da área e do volume de água do Lago Chade entre os anos de 1972 e 1980 (E-WATER, 2017).

Outro recurso natural afetado significativamente pelo emprego incorreto da irrigação é o solo. Recebendo diretamente a água para suprir as necessidades da cultura, o solo sofre o impacto de aplicações excessivas que pode provocar tanto a compactação como a desagregação de suas partículas. A aplicação de lâminas que ultrapassam a capacidade de infiltração do solo causa escoamento superficial, que irá transportar sedimentos (silte, argila, sedimentos, areia, etc.) e nutrientes, retirando a sua camada superficial e expondo horizontes mais profundos inférteis.

A Figura 257 mostra a aplicação excessiva de água na irrigação por sulcos na cultura do tomate que, após causar erosão na propriedade, retorna aos reservatórios e represas, gerando impactos tanto aos recursos hídricos da propriedade como ao próprio solo e contaminando os seus recursos hídricos.



Figura 257: Exemplo de aplicação excessiva de água na irrigação por sulcos na cultura do tomate.

Aplicações excessivas de água e a lixiviação resultante na irrigação podem causar contaminação de águas superficiais e subterrâneas. A Figura 258 mostra o resultado do processo de eutrofização em um reservatório de água pertencente a uma propriedade produtora de tomate de mesa, com o crescimento excessivo de plantas aquáticas e algas.



Figura 258: Reservatório de água para irrigação com crescimento excessivo de plantas aquáticas e algas devido à eutrofização.

Outro problema presente na irrigação por sulcos é causado pelo tipo de condução da água dentro da propriedade, que é realizada, geralmente, em canais de solo nu, que além de perdas de água por infiltração, geram processos erosivos com perdas significativas de solo no transporte da água (Figura 259).



Figura 259: Exemplo de canais de condução em irrigação por sulcos gerando erosão e perdas por infiltração.

Nos sistemas de irrigação por aspersão, o tamanho e velocidade das gotas lançados pelos aspersores podem ser responsáveis pela desagregação das partículas de solo e ao selamento superficial nos solos suscetíveis a esse processo. Adicionalmente, intensidades de precipitação dos aspersores superiores à capacidade de infiltração do solo, são responsáveis por escoamento superficial e pela erosão e, consequente, diminuição da produtividade das culturas irrigadas (Figura 260).



Figura 260: Irrigação por aspersão na cultura da beterraba: sem escoamento superficial, no início da aplicação (esquerda) e com escoamento entre canteiros durante a irrigação (direita).

Em função do tamanho das gotas lançadas com o emprego do canhão hidráulico, MERGULHÃO (1992) destaca as restrições quanto ao uso desses emissores. As gotas criadas por esses aspersores são maiores e a intensidade de aplicação mais elevada e, desta forma, maior será a desestruturação do solo e a possibilidade de escoamento superficial. Como consequência, pode ocorrer a impermeabilização da camada superficial, impossibilitando a circulação do ar e impedindo a infiltração da água no solo, que são essenciais para o desenvolvimento das culturas. Este é problema que pode ocorrer com os canhões existentes no balanço final do pivô central (Figura 261).



Figura 261: Pivô central apresentando escoamento superficial excessivo.

Outro exemplo da ocorrência de escoamento superficial é possível de ser encontrado em equipamentos de pivô central. Nesse sistema a precipitação dos emissores é mais na alta na parte externa do raio quando comparada ao centro do pivô, trazendo sérios problemas de infiltração e de escoamento de água na sua parte final, como pode ser visto na Figura 262.



Figura 262: Escoamento superficial em pivô central devido à alta precipitação instantânea (Fonte: AGRIMANAGERS, 2010).

Mesmo na irrigação localizada, a aplicação de uma lâmina excessiva de irrigação pode levar a lixiviação em solos permeáveis e, consequentemente, na contaminação de águas subterrâneas, provocando escoamento superficial em solos com baixa velocidade de infiltração e determinando a contaminação de água superficial, no caso da aplicação de produtos químicos via irrigação.

A dificuldade de se medir os impactos negativos gerados pela atividade agrícola irrigada e o desconhecimento de sua ocorrência, quase sempre, dificultam a determinação dos efeitos econômicos e ambientais deste tipo de ação. Os processos de lixiviação e de contaminação podem ser minimizados pelo dimensionamento correto do sistema de irrigação e pelo manejo bem realizado, pois assim a aplicação vai acontecer na quantidade requerida de água e de agroquímicos.

O manejo incorreto da irrigação pode levar a aplicações excessivas de água, que acarretarão desperdícios dos recursos hídricos da propriedade e da energia utilizada no bombeamento. Segundo dados fornecidos por LIMA et al. (2002), a Companhia Energética de Minas Gerais estimou que a adoção de manejos racionais de irrigação determinaria uma economia de 30% da energia consumida em projetos de irrigação. Deste total, 20% corresponderia a economia devida a aplicação desnecessária de água, e 10 % devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados.

A contaminação da água e do solo de propriedades agrícolas também pode trazer sérios prejuízos ao ecossistema e afetar a vida animal e vegetal da área, comprometendo, assim, a flora e a fauna característica da região. Outra alteração nos recursos naturais que pode trazer problemas para o ecossistema é a construção de barragens para armazenamento de água para uso na irrigação (Figura 263).



Figura 263: Vertedouro de barragem construída para atender demandas de irrigação.

Os reservatórios ou barragens construídos com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água na propriedade agrícola são estruturas que regularizam as vazões a jusante da propriedade, reduzindo a ocorrência de grandes variações do nível do curso de água, modificando as dimensões das áreas alagadas, e alterando a flora e a fauna desses locais. A mudança do regime de vazão do curso de água pode trazer mudanças nas matas ciliares, tanto de tamanho como em seletividade das espécies vegetais e animais que prevalecerão nesse novo ambiente. Adicionalmente, a vazão regulada da barragem determina um escoamento muito lento da água na sua superfície, determinando um ambiente propício para o aparecimento de insetos, como moscas e mosquitos, que pode se tornar vetores de doenças tropicais.

IMPACTOS ECONÔMICOS

Sistemas de irrigação incorretamente projetados e mal manejados podem tornar o sistema produtivo incapaz de criar um meio solo-água-nutrientes ótimo para a produção vegetal, resultando em baixas produtividades, pouca qualidade e altos custos por unidade produzida. Em geral, projetos bem dimensionados possuem altos custos de investimentos iniciais, mas baixos custos operacionais. A Figura 264 mostra um exemplo de um projeto de gotejamento subterrâneo na cultura do milho com espaçamentos incorretos entre linhas laterais, proporcionando linhas da cultura com falta de água e perda da produção.



Figura 264: Exemplo de espaçamentos incorretos de linhas laterais no gotejamento subterrâneo.

Outro fator que pode afetar o retorno econômico é a utilização de equipamentos e acessórios com baixa qualidade de fabricação, o que vai reduzir a sua vida útil. Como exemplo de problemas com equipamentos, pode-se citar: tubulações não adequadas às pressões presentes no sistema, material não resistente ao ataque de produtos químicos injetados no sistema (Figura 265), sistemas de irrigação localizada sem uma filtragem condizente com a qualidade de água disponível na propriedade, e outros acessórios que não são corretamente instalados e que podem resultar em danos no sistema.



Figura 265: Exemplo de tubulação com corrosão da parede devido à qualidade de água da irrigação.

IMPACTOS SOCIAIS

As consequências do uso incorreto da irrigação podem também proporcionar efeitos negativos importantes sobre a população em geral. O mais sério deles são os problemas de escassez de água em uma bacia hidrográfica, que podem gerar conflitos de ordem social.

A redução da disponibilidade dos recursos hídricos pela irrigação pode ocorrer tanto pelo seu uso indiscriminado, gerando escassez, como pela sua indisponibilidade de utilização devido à contaminação por agrotóxicos, fertilizantes, e outros produtos que podem ser transportados pela água de irrigação. A indisponibilidade dos recursos hídricos pela falta de qualidade ocorre, principalmente pela impossibilidade de tratamento para consumo humano.

Outro problema de saúde coletiva é o potencial que a água de irrigação possui de veicular doenças, como o cólera, e por produtos contaminados por vírus ou bactérias. O uso de águas de baixa qualidade química ou bacteriológica na irrigação pode induzir riscos de doenças à população. A Figura 266 exemplifica essa possibilidade, apresentando uma propriedade produtora de hortaliças que faz o uso da irrigação por aspersão a partir de um

reservatório localizado na cota inferior da propriedade, que é contaminada tanto pelo escoamento superficial excessivo oriundo da área irrigada, assim como, por infiltração de dejetos humanos e de animais.

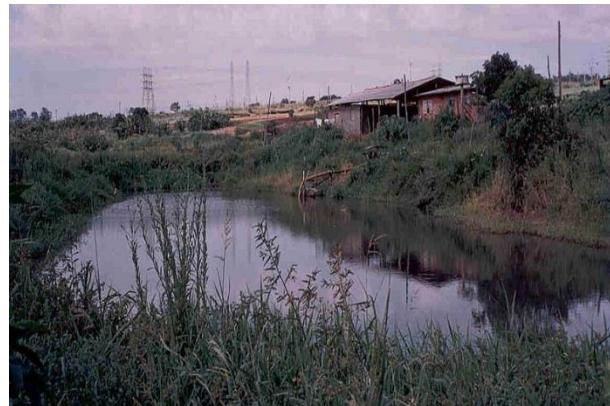


Figura 266: Reservatório de água para irrigação de hortaliças posicionado em cota inferior a casa da propriedade e da criação de animais.

Outro impacto social presente na atividade irrigada é a falta de segurança do trabalhador rural que opera ou que trabalha nessa atividade, gerando riscos de vida e de saúde. Um exemplo está associado aos sistemas elétricos que precisam estar corretamente dimensionados e protegidos para se evitar choques ou acidentes elétricos em um ambiente úmido como é o da agricultura irrigada (Figura 267).



Figura 267: Exemplo de um pivô central com cabeamento desprotegido.

Os cuidados com segurança devem ser constantes dentro da operação de sistemas de irrigação. O sistema de bombeamento e a conexão com motores devem ser corretamente projetados, montados, alinhados e protegidos para assegurar a segurança para os operadores ao longo da vida útil do sistema (Figura 268).



Figura 268: Motores elétricos com fiação expostas em uma motobomba.

Os sistemas de quimigação devem ser corretamente utilizados evitando o contato das pessoas com os produtos aplicados via água de irrigação. Outro problema sério, e que deve ser evitado, é a utilização de tubulações e acessórios que não atendam as especificações de pressão exigidas pelo dimensionamento correto de operação do sistema. O rompimento de tubulações por ação da pressão interna pode causar sérios acidentes à vida humana, além de colaborar no processo inicial de erosão na superfície do solo. Obviamente, o treinamento dos operadores da irrigação é condição básica inicial para se evitar acidentes e criar uma conscientização em prol da defesa da saúde e do bem estar do trabalhador rural.

SALINIDADE E IRRIGAÇÃO

Um dos impactos negativos que mais ocorrem em áreas irrigadas no mundo é a salinização do solo. O processo de salinização dos solos agrícolas, que é caracterizada pelo aumento dos sais na superfície do solo pode ter duas causas principais:

- Causas naturais ou salinização primária: ocasionada pela decomposição dos minerais primários, águas subterrâneas ricas em sais solúveis associados a uma drenagem deficiente, má permeabilidade do solo, etc.;
- Causas antrópicas ou salinização secundária: originada pelo manejo inadequado do solo e da água pela ação do homem (Figura 269).



Figura 269: Exemplo de salinização de solo agrícola (Fonte: SCIENCE ONLINE, 2014).

Apesar dos maiores problemas com salinização serem encontrados frequentemente nas regiões áridas e semiáridas, ela também pode ocorrer em regiões semiúmidas, em consequência da elevação do lençol freático, e também em áreas com cultivos irrigados intensivos como em ambientes protegidos. Os processos de salinização em ambiente protegido ocorrem devido ao uso intensivo da fertirrigação e a falta de técnicas de manejo e de avaliação que pode reduzir a produção das culturas (Figura 270).

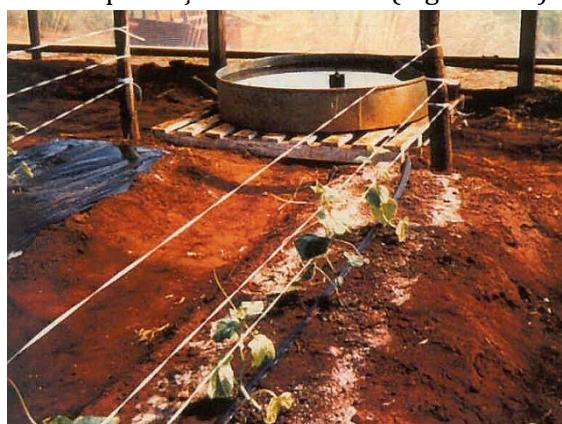


Figura 270: Processo de salinização em estufas com irrigação por gotejamento.

A presença excessiva de sais no solo pode comprometer a produção de uma cultura pela redução no potencial osmótico da solução do solo e a presença de íons tóxicos próximos à zona radicular da planta. Esses dois fatores levam à redução no crescimento das plantas, tanto na parte aérea, quanto no sistema radicular.

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E IRRIGAÇÃO

A irrigação é a atividade humana de maior demanda de água e seu uso compete com outros consumidores, não menos nobres, como: abastecimento público, diluição de dejetos, produção de energia, lazer, etc.. Uma das preocupações de todo projetista e agricultor irrigante deve ser sobre o conhecimento correto da demanda hídrica do projeto de irrigação e sobre a disponibilidade da bacia hidrográfica onde está localizada a propriedade. Considerando a questão dos impactos ambientais, a legislação é estabelecida com o objetivo de regulamentar o uso dos recursos hídricos pelos usuários e de estabelecer instrumentos de gerenciamento, como a outorga do uso da água, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos, e o licenciamento de empreendimentos de irrigação.

OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA

A água é um recurso que possui características específicas que a diferencia dos demais recursos naturais: é escassa, quanto à qualidade, quantidade e distribuição espacial; possui múltiplos usos; é vital para os seres vivos; possui mobilidade, sendo possível ser transportada; e é renovável, a partir do ciclo hidrológico, sendo que esta última característica, atualmente, tem sido mais relevante para o caráter da sustentabilidade, ou seja, a sua manutenção no local de uso ou de exploração (FAO, 1996).

Os princípios do desenvolvimento sustentável prevê que os recursos naturais renováveis sejam utilizados de tal forma que a disponibilidade não esteja limitada para as futuras gerações e, sem dúvida, dentre os recursos naturais renováveis, a água é o elemento de maior importância, uma vez que a vida animal e vegetal não se desenvolve sem a sua presença (SALATI et al., 2000)

Atualmente, as regiões com grandes concentrações populacionais evidenciam que a água é um recurso cada vez mais limitante, não apenas pela sua quantidade, mas principalmente pela sua qualidade. Este quadro tende a se agravar, considerando-se o crescimento populacional e a consequente disputa entre os usuários para fins doméstico, industrial e de irrigação.

Nesse sentido, a gestão dos recursos hídricos é uma necessidade premente, fazendo com que sejam urgentes as medidas que visem acomodar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água, em níveis sustentáveis. Uma dessas medidas é o estabelecimento de políticas que considerem a água como um bem escasso e com valor econômico, e não como uma dádiva infinita da natureza.

Com esse objetivo, a Lei nº 9.433, de 08/01/1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu como um de seus instrumentos a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, cabendo à ANA – Agência Nacional de Águas, criada pela Lei nº 9.984, de 17/07/2000, a competência para emitir outorgas de direito de usos das águas sob o domínio da União (CNRH- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002). Desta forma, somente o Poder Público, como outorgante, poderá facultar ao outorgado a possibilidade de interferências que alterem a quantidade ou qualidade das águas de um manancial.

Essa legislação define que os seguintes usos dependem de outorga de água para ser aproveitada:

- A derivação ou capacitação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamentos em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Uso de recursos hídricos com fins de aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou qualidade da água existente em um corpo d'água.

Por outro lado, estabelece que os usos que não dependem de outorga são:

- Uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- As derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes, tanto do ponto de vista de volume como de carga poluente;
- As acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

A outorga de uso dos recursos hídricos é um importante instrumento de gestão e planejamento, permitindo que o agricultor tenha o acesso às águas superficiais e subterrâneas de forma racional e dentro de parâmetros de qualidade desejáveis.

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

No Brasil, como em outros países, as águas públicas são consideradas bens inalienáveis. Outorga-se somente o direito de uso e a cobrança é feita apenas pelos serviços ligados ao seu fornecimento. Com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos, a água passou a ser caracterizada como bem econômico, sendo passível de cobrança, não o valor material do bem econômico, mas o direito à sua utilização (CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002).

Para POMPEU (2000), embora menos facilmente aceita, a fixação de preço para utilização da água deve ser adotada como meio para distribuir os custos de administração entre os usuários, a fim de proporcionar incentivos adequados ao seu uso eficiente e, consequentemente, como restrição ao mau uso.

No Estado de São Paulo, os estudos realizados para cobrança dos recursos hídricos fundamentam-se no princípio do usuário-pagador e poluidor-pagador, em que os custos de investimento são rateados entre os diversos setores usuários. Segundo GARRIDO (2000), a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos de gestão que, ao lado da outorga e de outros instrumentos, atua como um dos mais eficazes indutores do uso racional desse recurso e tem como objetivos:

- Contribuir para o gerenciamento da demanda, influenciando inclusive na decisão da localização espacial da atividade econômica;
- Redistribuir os custos sociais, à medida que impõe preços diferenciados para agentes usuários diferentes entre si;
- Melhorar a qualidade dos efluentes lançados nos corpos d'água, uma vez que também será aplicada à diluição e transporte dos rejeitos urbanos e industriais;
- Promover a formação de fundos para projetos, intervenções, obras e outros trabalhos do setor;

- Incorporar ao planejamento global, as dimensões social e ambiental.

KELMAN (2000) ressalta que a cobrança pelo uso dos recursos hídricos não é um novo tributo, destinado a reforçar o orçamento geral da União ou dos Estados. Ao contrário, visa “reconhecer a água como um bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor” (art. 19 da Lei nº 9.433/97) e, ainda somente a implementação do sistema de gestão irá garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Por considerar que projetos de irrigação podem causar modificações ambientais o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA, 2001) aprovou, em 30 de agosto de 2001, a Resolução de n. 284, que dispõe sobre as normas de licenciamento ambiental de empreendimentos de irrigação. Para efeito de aplicação desta Resolução, os empreendimentos de irrigação foram classificados em categorias, de acordo com a dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual e por método de irrigação empregado (Tabela 7).

Tabela 7: Classificação dos projetos de irrigação pelo método empregado e dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual (Fonte: CONAMA, 2001).

Método de Irrigação	Área Irrigada (AI), em ha/Categoria do projeto				
	AI<50	50<AI<100	100<AI<500	500<AI<1000	AI>1000
Aspersão	A	A	B	C	C
Localizado	A	A	A	B	C
Superfície	A	B	B	C	C

Como forma de incentivar a economia de água e energia, essa resolução determina que tenham prioridade de licenciamento os projetos que incorporem equipamentos e métodos de irrigação mais eficientes, permitindo a simplificação de processos de licenciamento dos empreendimentos de irrigação classificados dentro da Categoria A.

Para a operação definitiva, os projetos de irrigação devem obter três tipos de licenças ambientais, que serão expedidas pelo órgão ambiental responsável:

- **Licença Prévia (LP)**, concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade;
- **Licença de Instalação (LI)**, que autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados;
- **Licença de Operação (LO)**, que autoriza a operação, a execução da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

Essa resolução vem se incorporar à legislação brasileira relativa à conservação dos recursos hídricos, a qual pode ser considerada bastante avançada em relação a outros países da América Latina. Entretanto, o processo de adequação dos produtores a esta resolução deverá ser demorado e ocasionará uma reação natural, que, com certeza, poderão considerar uma medida contrária a seus próprios interesses, aumentando os custos e dificultando o acesso aos recursos naturais. Contudo, o processo de licenciamento ambiental é atualmente uma necessidade e uma ferramenta importante, que contribui para o uso racional dos recursos naturais e para o desenvolvimento sustentável (ZAFFARONI & TAVARES, 2002).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABAG – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGROBUSINESS. Agribusiness brasileiro: a história. São Paulo: Evoluir, 2002. 225 p.

ABIMAQ/CSEI. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – CÂMARA SETORIAL DE EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO. Atualização da área irrigada brasileira. Informe Interno. 2015. 2 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível na Internet: <http://www.abntdigital.com.br/normas_tecnicas.asp>. Acesso janeiro de 2006.

AGRIMANAGERS. Irrigação: Análises para Projeto e seus Benefícios. 2010. Disponível em <<https://agrimangers.wordpress.com/2010/09/16/irrigacao-analises-para-projeto-e-seus-beneficios/>> Acesso em novembro 2010

AGROPOLO – Implementos Agrícolas. Produtos. Disponível em <<http://www.agropolo.com.br/produtos.php>> Acesso em abril de 2010.

ALVES, D.G.; PINTO, M.F.; SALVADOR, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; ALMEIDA, C.D.G.C. de; BOTREL, T.A. Modelagem para o dimensionamento de um sistema de microirrigação utilizando microtubos ramificados. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 125-132, fev. 2012.

AMANCO. Irrigação. Disponível em <<http://amanco.com.br/produtos#categoria-irrigacao>> Acesso em abril de 2010.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS: “Agricultura irrigada; Estudo Técnico Preliminar”, Brasília, DF, 2004, 107p.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório de Conjunturas de Recursos Hídricos no Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/conjuntura.aspx>> Acesso em 10 janeiro, 2011.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014: relatório síntese / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016. 33 p.:

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Informações do setor elétrico – Gestão dos potenciais hidráulicos, 2001. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em: 13 dez. 2001

ANTUNES, J. A. Coletânea particular de fotos de irrigação. Caçador: Gotejar/Irrigabréas. 2006.

ARTMASION. Jardins Verticais. Disponível na Internet: <<https://www.artmaison.com.br/blog/jardins-verticais/>> Acesso em 16 de janeiro de 2017.

ASAE. Microirrigation for a changing world: Conserving Resource/ Preserving the Environment. Proceedings of the fifth International Microirrigation Congress. Orlando, Florida, 1986.

ASBRASIL S. A.. Perromatic. São Bernardo do Campo. 198-. 4 p. Catálogo Comercial.

AVELINO NETO, S. Tubo-gotejador: Uma alternativa tecnológica de baixo custo para a irrigação por gotejamento. 2000. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP,

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Anuário estatístico do crédito rural: 2000. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>> Acesso: 19 jul. 2001.

BARRETO, C. V. G.. Desenvolvimento de sistema de irrigação por capilaridade para produção de porta-enxertos de limão cravo na fase de tubetes. 2011. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

BARRETO, C. V. G.; FERRAREZI, R. S.; TESTEZLAF, R.; ARRUDA, F. B. Growth and physiological responses of Rangpur lime seedlings irrigated by a prototype subirrigation tray. HortScience, v.50, n.1, p.123-129, 2015.

BARRIGOSSI, J. A. F, LANNA, A. C. FERREIRA, E. Agrotóxicos no cultivo do arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo. EMBRAPA. Circular Técnica n. 67, 8p. 2004.

BATISTA, H. S. Características Hidráulicas de um tubo exsudante para irrigação localizada. 2001. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

BATTISTELLA. Ind. e Comércio Ltda. TurboMaq – A chuva no momento certo. Curitiba, 199-. 4 p. Catálogo Comercial.

BAUER IRRIGAÇÃO. Produtos. Disponível. 2010 <<http://www.bauer-br.com/pt>>. Acesso em fevereiro de 2010.

BEN-GAL, A.; NAFTALI, L.; SHANI, U... Subsurface drip irrigation in gravel-filled cavities. Vadose Zone Journal. 2004 3: 1407–1413.

BERNARDES, L. Papel do governo e da iniciativa privada no desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE POLÍTICAS DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Brasília, 1998. Anais... Brasília: MMA. 1998. 232p. p. 195-209.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

BRAGA JÚNIOR, Roberto Alves; RABELO, Giovanni Francisco. Eletricidade na Agropecuária: Qualidade e Conservação. Módulo II – Eletrificação Rural. UFLA/FAEPE: Lavras. 1997.158p.

CAFEPOINT. Gotejamento subterrâneo leva alta tecnologia e praticidade para o Cafeicultor. Disponível em <<http://www.cafepoint.com.br/>> Acesso em fevereiro 2016.

CAMPOS, M. A. de. Demanda hídrica na cultura do tomate de mesa irrigada por sulcos. 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

CAMPOS, M. A.; TESTEZLAF, R. Simulação da eficiência e da redução do consumo de água na produção do tomate de mesa sob irrigação por sulcos. Engenharia na Agricultura, Viçosa – MG, V.17 N.5, Setembro / Outubro 2009, pp. 375 – 382.

CARDOSO, J. L. Desenvolvimento agroindustrial, impactos ambientais e gestão de empresas agrícolas: uma análise regional. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 1996. 19 p. (Apresentado no “Congreso Internacional de Ciencias Sociales de America”, San Luis de Potosi, México, 2 a 6 jul. 1996).

CARDOSO, J. L. Política de financiamento rural: antecedentes e perspectivas. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2001. 12 p. Fórum de Debates, Módulo de Política Agrícola, da CIENTEC 2001 – Mostra de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, UNICAMP, Campinas, SP, 2001.

CARON, J.E., D.E. BEESON, AND R. BOUDREAU. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69:794–806. 2005.

CARVALHO JÚNIOR, A. C.; MARTINS, D. P.; MONNERAT, P. H.; BERNARDO, S. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro-amarelo. I. Produtividade e qualidade dos frutos. *Pesq. Agropec. Bras.* [online]. 2000, vol.35, n.6, pp. 1101-1108.

CEMIG- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Estudo de otimização energética. Belo Horizonte: CEMIG. 1993. 22p.

CHRISTIANSEN, E. J. Irrigation by sprinkling. Berkeley, University of California Experiment Station. Bulletin 670. 1942, 124p.

CHRISTOFIDIS, D. Situação das áreas irrigadas: Métodos e equipamentos de irrigação. In: CICLO DE PALESTRAS DA SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Brasília, 1997. Anais... Brasília: SRH 1997. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/>> Acesso em: 23 out. 2001.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia. Brasília, DF, n. 49. P. 8-13. 1º trim.2001.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: A Fronteira Hídrica na Produção de Alimentos. Revista Item Nº 54, 2º Trim. 2002, Brasília, ISSN 0101-115X.

CLARK, G. A. Microirrigation in the Landscape. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, Fact Sheet AE-254, July 1994, 2p.

CLARK, G.A., B. K. HARBAUGH, E C.D. STANLEY. Irrigation of container and field grown ornamentals: systems and management guidelines. University of Florida: Gainesville., IFAS Circular 808. 1994.

CLARK, G.A.; STANLEY, C. D.; SMAJSTRLA, A. Microirrigation on mulched bed systems: components, system capacities, and management. University of Florida. IFAS Bul. 245, março-1993.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que institui a PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/orgaos/index.htm>> Acesso em: 19 abr. 2002.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 que cria a ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em:<<http://www.cnrh-srh.gov.br/orgaos/index.htm>> Acesso em: 19 abr. 2002.

COLETTI, C. Impactos na disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras pelo uso da irrigação por sulcos na cultura do tomate. 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R. ; RIBEIRO, T. A. P. ; SOUZA, R. T. G. ; PEREIRA, D. A. Water quality index using multivariate factorial analysis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 517-522, 2010.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Pesquisa de Safras e Informações Geográficas da Agricultura Brasileira. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2>> Acesso em 30 de outubro de 2015.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 284 , de 30 de agosto de 2001 que dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação. Online. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 15 jul. 2002

CSU-EXTENSION. Colorado State University Extension. Subsurface Drip Irrigation (SDI) Disponível em <<http://extension.colostate.edu/topic-areas/agriculture/subsurface-drip-irrigation-sdi-4-716/>>. Acesso em abril de 2010.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Programa: Cadastro de Irrigantes – 2ª Etapa – Leste. São Paulo: DAEE. 1992. N.p. (Relatório Final).

DASBERG, S. & BRESLER, E. Drip irrigation manual. International Irrigation Information Center. Israel, 1985.

DAVIS, S. Proceedings 3rd. Annual Drip Irrigation Seminar. University of California. Agricultural Extension Service. San Diego County. Escondido Union High School. California, 1972.

DAVIS, S. & PUGH, W.J. Proceedings of the 2^o International Drip Irrigation Congress. San Diego. California, 1974.

DAVIS, S. Proceedings 4th . Annual Drip Irrigation Seminar. University of California. Agricultural Extension Service. San Diego County. Fallbrook, California, 1973.

DILLEHAY T. D.; ELING, JR, H. H.; ROSSEN, J. Preceramic irrigation canals in the Peruvian Andes. PNAS November 22, 2005 vol. 102 n. 47 pp 17241-17244

DOLE, J.M., J.C. COLE; S.L. VON BROEMBSEN. Growth of poinsettias, nutrient leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods. HortScience 29:858-864. 1994.

DRUMOND, L.C.D.; FERNANDES, A.L.T. Irrigação por aspersão em malha. Uberaba: Ed. Universidade de Uberaba, 2001. 84 p.

ECOEFICIENTES. Sistema de hidroponia. Disponível em <<http://www.ecoeficientes.com.br/o-que-e-hidroponia/sistema-de-hidroponia/>> Acesso em fevereiro de 2016.

EHMKE, T. 2014. Subsurface drip irrigation: Battling drought, water restrictions, and declining groundwater. Crops & Soils Magazine. Disponível em <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/cns/articles/47/4/4>> Acesso em fevereiro de 2016.

EPAMIG – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Hidroponia: Uma Técnica Alternativa de Cultivo. Disponível em http://www.epamig.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=63&Itemid=109. Acesso em 10 setembro, 2010.

E-WATER. Um outro olhar sobre a água. Disponível em <<http://www.ewater.ru/aralskoe-more-i-prichiny-ego-gibeli/>> Acesso em janeiro 2017.

FABRIMAR. Irrigação. Disponível em <<http://www.fabrimar.com.br/categoria?especiais=irrigacao>> Acesso em maio de 2010.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R.. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2002.

FERRAREZI, R. S.; FERREIRA FILHO, A. C.; TESTEZLAF, R. A retenção de umidade em substratos utilizados em subirrigação é influenciada pela altura de lâmina e tempo de permanência de água. *Horticultura Brasileira* (prelo) 2016.

FERRAREZI, R. S.; TESTEZLAF, R. Performance of wick irrigation system using self-compensating benches with substrates for lettuce production. *Journal of Plant Nutrition*, v.39, n.1, p.150-164, 2016.

FERRAREZI, R. S.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Monitoring and controlling ebb-and-flow subirrigation with soil moisture sensors. *HortScience*, v.50, n.3, p.447-453, 2015a.

FERRAREZI, R. S.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Plant growth response of subirrigated salvia 'Vista Red' to increasing water levels at two substrates. *Horticultura Brasileira*, v.34, n.2, p. 195-202, 2016.

FERRAREZI, R. S.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Subirrigation automated by capacitance sensors for salvia production. *Horticultura Brasileira*, v.32, n.3, p.314-320, 2014.

FERRAREZI, R. S.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Uso da subirrigação para imposição de estresse hídrico em sistema semi-contínuo para medição de CO₂. *Ornamental Horticulture*, v.21, n.2, p.235-242, 2015c.

FERRAREZI, R. S.; WEAVER, G. M.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Subirrigation: Historical overview, challenges, and future prospects. *HortTechnology*, v.25, n.3, p.262-276, 2015b.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Dicionário da língua portuguesa*. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010. 2222 p.

FLICKR. Aspersores em pastagem de alfafa. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/10362367@N05/876619448/in/photostream>> Acesso em outubro, 2010.

FOCKINK. Sistema de Irrigação. Disponível em <<http://www.fockink.ind.br/>> Acesso em maio de 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO 1996. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/w2612e/w2612e07a.htm#b>> Acesso em: 28 maio 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Food production: the critical role of water. In: WORLD FOOD SUMMIT. Roma, 1996. Anais... Roma:

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases (FAOSTAT), FAOSTAT Agriculture Data, 2000. Obtido via base de dados FAOSTAT. 1960-1999. Disponível em:<<http://www.fao.org>> Acesso em: 5 nov. 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of the World's Land and Water Resources for food and agriculture. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e00.htm>>. Acesso em 30 de outubro de 2015.

FRAGMAQ. O que é hidroponia e como ela funciona? Disponível em <<http://www.fragmaq.com.br/blog/hidroponia-funciona/>> Acesso fevereiro de 2016.

FRANÇA, F. M. C. Políticas e Estratégias para um novo modelo de irrigação. Documento Síntese. Fortaleza. Banco do Nordeste. 2001. 127p.

FRANÇA, F. M. C.. A importância do Agronegócio da Irrigação para o desenvolvimento do Nordeste. Série Políticas e estratégia para um novo modelo de irrigação. Fortaleza. Banco do Nordeste. 2001b. 113p.

FRIZZONE, J. A. Irrigação por aspersão: Uniformidade e Eficiência. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Engenharia Rural, Série Didática n.º 003, 1992, 53p.

FURLANI PR; SILVEIRA LCP; BOLONHESI D; FAQUIN V. 1999. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: IAC. 52p (Boletim Técnico 180).

GARRIDO, R.. Considerações sobre a formação de preços para a cobrança pelo uso da água no Brasil. In: THAME, Antonio Carlos de Mendes. A cobrança pelo uso da água. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, 2000. P. 57-91.

GEOFLOW. Agriculture Products. Disponível em <http://www.geoflow.com/products_ag.html> Acesso em abril 2011.

GEOTIMES. Salinity in the Landscape: A Growing Problem in Australia. 2008. Disponível em <http://www.geotimes.org/mar08/article.html?id=feature_salinity.html> Acesso em maio de 2012.

GOMES, A. W. A.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H. de. Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno. Eng. Agríc. [online]. 2010, vol.30, n.3, pp. 435-446.

GOMES, E. P. Viabilidade de Mudanças Tecnológicas na Irrigação da Tomaticultura de Mesa. 2005. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

GPID - GRUPO DE PRÁTICAS DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM - ESALQ/USP. Custos de implantação e operação da irrigação de pastagens. Disponível em <<https://gpidesalq.wordpress.com/2013/06/>> Acesso em janeiro de 2016.

GRAMOLELLI JUNIOR, F.; MATSURA, E. E.; WEILL, M. M. Diagnóstico del uso del agua en la irrigación de culturas de la cuenca de río Jundiaí-Mirim. In: VI Congreso Latino Americano y del Caribe, 2004, San José. VI Congreso Latino Americano Y del Caribe Ingeniería Agrícola. 2004. V. 1, p. 1-8.

HAMAN, D.Z., A.G. SMAJSTRLA, E F.S. ZAZUETA. 1986. Media filters for trickle irrigation in Florida. Extension fact sheet (AE-57), IFAS, University of Florida, Gainesville, FL. 32611.

HAMAN, D.Z., A.G. SMAJSTRLA, E F.S. ZAZUETA. 1987. Filters for trickle irrigation in Florida. Extension fact sheet (AE-61), IFAS, University of Florida, Gainesville, FL. 32611.

HART, W. E. Analytical design of sprinkler system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.9, v.1, p. 83-85, 1965.

HERNANDEZ, F. B. T. Área de hidráulica e irrigação – FEIS/UNESP. Disponível em <<http://www.agr.feis.unesp.br/irriga-l.php>>. Acesso janeiro de 2010.

HILLEL, D. Advances in Irrigation. Academic Press Inc., New York, 1982.

HILLS, D. J.; YITAYEW, M. Bubbler Irrigation. In: Developments in Agricultural Engineering. 2007. Vol. 13, pp. 553-573.

HOSSOKAWA, T. 1997. Estudo dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração potencial em casa de vegetação. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 94 p.

HÜBENER, R. The History of Sprinkler Irrigation - Part 3. Journal of Applied Irrigation Science (Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft), n.2, v. 31 pp. 207-230, 1996. (Article in German)

HUNTER INDUSTRIES. Inundadores. Disponível em <<http://www.hunterindustries.com/es/product/toberas/inundadores>> Acesso em janeiro de 2016

INCROCCI, L., MALORGIO, F., DELLA BARTOLA, A., AND PARDOSSI, A. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Horticulturae* 107(4), 365-372. 2006.

IFAS. Institute of Food and Agriculture Science. University of Florida. Disponível em <<http://nutrients.ifas.ufl.edu/Research-PotatoProd.shtm>> Acesso em maio de 2010.

IICA/MI – INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA/ MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil. Disponível em <<http://www.mi.gov.br/publicacoes-senir>> Acesso em 30 de outubro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário de 1995. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>> Acesso em outubro de 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-Rendimento Médio-Safra de 2001. Disponível em:<<http://www.ibge.net/home/estatistica/indicadores/agropecuaria>> Acesso em junho de 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário de 2006: Segunda Apuração Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=261914>> Acesso em outubro de 2015.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA/SP), Anuário. Estatísticas de Produção – Milho safrinha para os anos de 1998, 1999, 2000 e 2001 Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/fanuario.htm>> Acesso em maio de 2002.

IRRIGATION AUSTRALIA ASSOCIATION. Range of industry publications. Annual Report 2004-2005. Disponível em <<https://www.irrigationaustralia.com.au/publications/irrigation-futures>> Acesso maio de 2012.

IRRIGATION DIRECT. History of drip Irrigation. Disponível em <<http://www.irrigationdirect.com/expert-advice/drip-irrigation-tutorials/general-overview/history-of-drip-irrigation>> Acesso em janeiro de 2016.

IRRIGATION MUSEUM. Parasol Lawn Sprinkler. Disponível em <http://www.irrigationmuseum.org/photos/05ad_12.jpg> Acesso em outubro 2010a.

IRRIGATION MUSEUM. Impact Sprinkler Prototype. Disponível em <<http://www.irrigationmuseum.org/item1.aspx?id=155>>. Acesso em outubro 2010b.

IRRIMAGRAN – Sistemas de irrigação e máquinas agrícolas. Canhão hidráulico. Disponível em <<http://irrimagran.com.br>> Acesso em março 2010.

IRRITEC. Solução para irrigação. Disponível em <<http://www.irritec.com/pt-br/>> Acesso em agosto de 2013.

ISRAELAGRI. Israeli Agriculture International Portal. Unique Fertigation Products from ICL. Disponível em <<http://www.israelagri.com/?CategoryID=484&ArticleID=960>> Acesso em fevereiro de 2016.

JAIN – Irrigation Systems Ltd. Layout of Jain Sprinkler Irrigation System. Disponível em <<http://www.jains.com/irrigation>> Acesso em março de 2010.

JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. John Wiley & Sons. New York. 543 p. 1988.

JAMES, E.C.; M.W. VAN IERSEL. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience* 36:40-44. 2001.

JENSEN, M.E. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. 3^a Ed. St. Joseph (MI): ASAE. 1980, 829 p.

KANSAS STATE UNIVERSITY. Research and extension - SDI. Disponível em <<http://www.ksre.k-state.edu/sdi/>> Acesso em maio 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

KELMAN, J.. Outorga e cobrança de Recursos hídricos. In: THAME, A. C. de M.. A cobrança pelo uso da água. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, 2000. P. 93-113.

KHAN, A. S., NEIVA, A. C. G. R., SILVA, L. M. R. Projeto São José e o desenvolvimento rural no Estado do Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*: SOBER, v. 39, n. 3, jul./set. 2001, p. 143-171.

KIZER, M. Subsurface Drip Irrigation. Oklahoma State University Extension Irrigation. Disponível <<http://documentslide.com/documents/subsurface-drip-irrigation-sdi-michael-kizer-osu-extension-irrigation-specialist.html>> Acesso em junho de 2011

KREBSFER SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO. Disponível em <<http://www.krebs.com.br/irrigacao/>> Acesso em dezembro de 2016.

K-STATE. Kansas State University Research and Extension. Welcome to SDI in the Great Plains. Disponível em <<http://www.ksre.ksu.edu/sdi/>> Acesso em maio de 2010.

LAVIOLA, B.G., H.E.P. MARTINEZ; A.L. MAURI. Influence of the level of fertilization of the matrix plants in the formation of seedlings of coffee plants in hydroponic systems. *Ciência e Agrotecnologia* 31:1043-1047, 2007.

LEME, M. P. Alimentação inteligente – Hidropônicos ou orgânicos . Disponível em <<http://alimentacaointeligente.com.br/hidroponicos-ou-organicos/>>. Acesso em fevereiro de 2016.

LIMA, J. E. F. W., FERREIRA, R. S. A., CHRISTOFIDIS, D. 2002. Estudo do uso da água e energia elétrica para irrigação no Brasil. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-5.htm>> Acesso em dezembro 2010.

LINDSAY BRASIL. Soluções em Irrigação. Disponível em <<http://www.lindsaybrazil.com/irrigacao-2>> Acesso em outubro 2011.

MAHLEUR EXPERIMENTAL STATION. Best Management Practices - Cost and Benefits of Surge Irrigation. Disponível em < <http://www.cropinfo.net/BestPractices/bmp-SurgeIrrigation.php> > Acesso em: 13 dez. 2010

MALASSIS, L.. Economie agro-alimentaire: économie de la consommation et de la production agro-alimentaire. Paris: Cujas, 1979. 437 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W.L.C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. Brasília: Embrapa. 1998. 15p.

MERGULHÃO, M.C.R. 1992 Distribuição de gotas por tamanho em dois modelos de aspersores tipo canhão hidráulico na ausência de vento. 1992. 57 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1992.

MESQUITA, M. Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MILLION, J.B., J.E. BARRETT, T.A. NELL; D.G. CLARK. Inhibiting growth of flowering crops with ancyimidol and paclobutrazol in subirrigation water. HortScience 34:1103-1105. 1999.

MINAMI, K. Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995, p.133.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Plano de safra 1998/99. Brasília, 1998. 56 p. (Série Documento).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Síntese do Plano Agrícola e Pecuário 2002/2003. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em: 11 jul. 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano Agrícola e Pecuário 2015/2016. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/pap> > Acesso em: 30 de outubro 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional ano base 2000. Disponível em: <<http://mme.gov.br/sem/ben/bem.html>> Acesso em: 15 dez. 2001.

MIRANDA NETO, A. da C., MARCON, H.. O abastecimento público. In: THAME, Antonio Carlos de Mendes. A cobrança pelo uso da água. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, 2000. P. 183-186.

NAANDANJAIN. Irrigação por gotejamento. Disponível em <<http://www.naandanjain.com.br/index.php/pt/produtos/irrigacao-por-gotejamento/>> Acesso em junho 2011.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle Irrigation for Crop Production. 2. Ed. Amsterdam: Elsivier, 1986.

NEAL, C. A.; R. W. HENLEY; ZAZUETA, F.S.. 1995. Energy efficiency and water use of four greenhouse irrigation systems. Extension fact sheet (EES-118), IFAS, University of Florida, Gainesville, FL. 32611.

NELSON IRRIGATION. Irrigation. Disponível em <<http://www.nelsonirrigation.com/>> Acesso em maio de 2012.

NEMUS - Empowering Sustainability Disponível em <<http://www.nemus.pt/en/estudos/environmental-impact-study-of-the-ardila-irrigation-subsystem>> Acesso em maio de 2012.

NETAFIM. Blass sign agrément to produce first commercial dripper Disponível em <<http://www.netafimlegacy.com/timeline>> Acesso em janeiro de 2016.

NETAFIM. Produtos e Serviços; Disponível em <<https://www.netafim.com.br/irrigation-systems-products>> Acesso em janeiro de 2011.

NOVAES, W.. Os dramas da irrigação. Disponível em <<http://www.estado.estadao.com.br/editorias/00/09/08/aberto001.html>> Acesso em: 27 agosto 2001.

NÚCLEO DE ESTUDO EM FRUTICULTURA NO CERRADO. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Ciências Agrárias. Sistemas de Irrigação. Disponível em <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/irriga4.html>>. Acesso em janeiro de 2016.

OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo. Nobel. 277 p. 1986.

OLIVEIRA, A.; COELHO, E. F.. Irrigação e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.embrapa.br:8080/aplic/rumos.nsf/Noticias?OpenView>> Acesso em: 26 de jun. 2000.

PASCUAL B., MAROTO J.V., SANBAUTISTA, A., LOPEZ-GALARZA S., ALAGARDA Influence of watering on the yield and cracking of cherry, fresh-market and processing tomatoes. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 75: (2) 171-175, 2000.

PASSEROTTI, F. R. Irrigação Subterrânea por tubo exsudante no desenvolvimento da cultura do morangueiro. 2000. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

PETE MORTIMER. Agricultural Research Service - USDA Photos. Disponível em <<https://www.ars.usda.gov/oc/images/photos/k1097-13/>> Acesso em abril 2014.

PITTS, D.; PETERSON, K.; GILBERT, G.; FASTENAU, R. Mobile Lab for Evaluating Irrigation System Performance. ASAE PAPER n. 95-2370, 1995.

POMPEU, C. T. Fundamentos jurídicos do anteprojeto de lei da cobrança pelo uso das águas do domínio do Estado de São Paulo. In: THAME, Antonio Carlos de Mendes. A cobrança pelo uso da água. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, 2000. P. 41-53.

PORITEX Tubos de exsudação Disponível em <poritex.com>. Acesso em maio 2010.

PRONI – PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Relatório de Realização 1986-1988. Brasília. Ministério Extraordinário da Irrigação. 1989. 95 p.

PRONI. PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Tempo de irrigar: Manual do irrigante. São Paulo. Mater. 160 p. 1987.

PUIUPOL L.U., BEHBOUDIAN M.H., FISHER K.J. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation Hortscience 31: (6) 926-929, 1996.

QUEIROZ, S. de O. P.; TESTEZLAF, R.. Perigo de salinização em ambientes protegidos. ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna, ABID – Brasília, DF, v. 53, p. 38-39, 2002.

QUEIRÓZ, S. O. P.; TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.. Metodologia para avaliação da salinidade do solo em ambiente protegido. Irriga (UNESP. CD-ROM), v. 14, p. 383-397, 2009.

RAINBIRD SPRINKLERS SYSTEMS. Gear-Driven Rotors. Disponível em <<http://rainbird.com/golf/support/gearDrivenRotors.htm>>. Acesso em abril 2010.

RAINBIRD SPRINKLERS SYSTEMS. Aspersores de Impacto. Disponível em <<http://www.rainbird.com.br/agricultura.php?page=produtos&cat=aspersores-impacto>>. Acesso em janeiro 2015.

RAINBIRD SPRINKLERS SYSTEMS. Drip Irrigation/Xerigation. Disponível em <<http://www.rainbird.com/landscape/products/Drip-Irrigation.htm>>. Acesso em janeiro 2016.

REBOUÇAS, A. da C. Panorama da água doce no Brasil. In: REBOUÇAS, Aldo da C. (Org.). Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. 150 p

REBOUÇAS, A. da C., BRAGA JR.. G. TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paulo: Escrituras Editora. 3^a. Ed. 1999. 717 p.

REINDERS, F.B. Micro Irrigation: A World Overview. Proceedings of 6th International Micro Irrigation Congress, South Africa. 2000.

RESENDE, R. S.; CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, R. D.. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. Rev. bras. eng. agríc. ambient. 2001, vol.5, n.1, pp.156-160.

RIBEIRO, M. D.; FERRAREZI, R. S.; TESTEZLAF, R. Assessment of subirrigation performance in eucalyptus seedling production. *HortTechnology*, v.24, n.2, p.231-237, 2014.

RIBEIRO, M. D.; FERRAREZI, R. S.; TESTEZLAF, R. Equacionamento de parâmetros operacionais para o manejo de mesas de subirrigação. *Horticultura Brasileira*, no prelo, 2016.

RICHARDS, D.L.; REED, D.W.. New Guinea impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system. *HortScience* 39:280-286. 2004.

RIVULIS IRRIGATION. Produtos. Disponível em <<http://rivulis.com/produtos/?lang=pt-br>> Acesso em novembro 2015.

RODRIGUES, F.. Custos e Benefícios da Irrigação no Brasil. Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna. Brasília. ABID. Ed. No 41. Junho de 1990.

RODRIGUES, L.R.F., 2002. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Funep, Jaboticabal, SP.

ROSSETTI, L. A.. Segurança e o Zoneamento Agrícola no Brasil – Novos Rumos. In: I Seminário Brasileiro de Zoneamento Agrícola. São Paulo 2000. Anais... São Paulo: 2000. Disponível em:<<http://www.embrapa.br:8080/aplic/rumos.nsf/Noticias?OpenView>>, 26/06/2000.

ROSSI, L. A. ; TESTEZLAF, R. ; MATSURA, E. E. . Relatório Final do Projeto de Pesquisa: Caracterização de Tecnologias de Produção Agrícola em Propriedades Rurais na Área de Concessão da CPFL/PIRATINIGA. 2003. (Relatório de pesquisa)

ROUPHAEL, Y., M. CARDARELLI, E. REA, A. BATTISTELLI; G. COLLA. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agr. Water Mgt.* 82:99–117, 2006.

SALATI, E., LEMOS, H. M., SALATI, E.. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, Aldo da C., BRAGA, Benedito, TUNDISI, José Galizia (org.). Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação. São Paulo, 2000. P. 39-63.

SALVADOR, C. A. Sistema de irrigação por capilaridade para produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase sementeira. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

SANTENO – Soluções em Irrigação. Produtos para irrigação. Disponível em <<http://www.santeno.com.br/produtos/>> Acesso em maio 2015.

SCALOPPI, E.J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, C.R.M. Irrigação. (Série Engenharia Agrícola, 2). Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 311-470.

SCIENCE ONLINE. The soil pollution and the soil protection from pollution. 2014. Disponível em <<http://hebasoffar.blogspot.com.br/2014/06/the-soil-pollution-and-soil-protection.html>> Acesso em janeiro de 2017.

SENNINGER. Agricultural Irrigation. Disponível em <<http://www.senninger.com/>> Acesso em junho 2012.

SHEPERSKY, K. Landscape Drip Irrigation Design Manual. Rain Bird International, 1984

SILVA, E.R.; LEMOS FILHO, M. A. F.; ZANINI, J. R. A importância da qualidade da água. Revista Ciência & Prática. GTACC: Barretos, SP n. 32, p. 19-26. 2009

SILVA, S. M. . Características da evolução da eletrificação rural no Brasil. 1994. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Curso de Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrárias, Unesp: Botucatu..

SMAJSTRLA, A.G., D.S. HARRISON, W.J. BECKER, F.S. ZAZUETA, AND D.Z. HAMAN. 1985. Backflow Prevention Requirements for Florida Irrigation Systems IFAS Bulletin 217. Univ. of Fla. 13 p.

SOLOMON, K. H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measurements. Irrigation Science, New York, n.5, p. 161-172, 1984.

SOUSA, V.F., COELHO, E.F., DE SOUZA, V.A.B. Irrigation frequency in melon crop cultivated in sandy soil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 34: (4) 659-664, 1999.

SWCD-Soil Water Conservation District. Malheur Experiment Station. Oregon State University Disponível em <<http://www.cropinfo.net/bestpractices/bmpsurgereport.html>> Acesso em 2010.

SYSTEMAGOTAS. Irrigação. Disponível em <<http://www.systemgotas.com.br/>> Acesso setembro 2011.

TESISAT DUNYASI. Hidrosiklon filtre. Disponível em <http://tesisatdunyasi.com.tr/index.php?route=product/product&product_id=240> Acesso em janeiro de 2016.

TESSLER, M. H. I Curso Básico de Irrigação. Módulo III- Métodos de irrigação. Irrigação por gotejamento. PRONI- Programa Nacional de irrigação. UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola- Depto. de Água e Solo. Campinas, 1986.

TESSLER, M. H. I. S.D.I. Subsurface Drip Irrigation - Aplicação no cultivo de cana de açúcar NETAFIM. Apresentação Power Point. 1999.

TESTEZLAF, R.. Uso da irrigação em ambientes protegidos: cuidados e atenções. ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna, ABID, Brasília, DF, v. 53, p. 18-22, 2002.

TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P., MESQUITA, M. Filtros de areia na irrigação localizada. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2014. 56p.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.. Impactos do uso da tecnologia de irrigação na cultura do café. In: Curso de Cafeicultura Irrigada. Uberaba: UNIUBE, 2001.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.. Engenharia de irrigação: tubos e acessórios. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015. 153p.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L.. A importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio. AGROLÓGICA: FEAGRI/UNICAMP. 2002. 45p.

TESTEZLAF, R., VOLPI, A. P. Caracterização das empresas fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil. 2001. 55 f. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

TEXAS AGRILIFE EXTENSION. TEXAS A&M UNIVERSITY. School of Irrigation. Disponível em <<http://agrilifeextension.tamu.edu/solutions/school-of-irrigation/>> Acesso em abril 2012.

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

THREADGILL, E. D. Chemigation via sprinkler irrigation: currents status and future development. Applied Engineering in Agriculture, St. Joseph, v. 1, n. 1, p.16-23, 1985.

TIGRE. Irrigação. Tubos Fixos. Disponível em <<http://www.tigre.com.br/irrigacao/sistemas-fixos>> Acesso em outubro 2011.

TRADEINDIA - Metal Impact Sprinkler Disponível em <<http://jalpari.tradeindia.com/metal-impact-sprinkler.html>> Acesso em abril, 2010.

TUDOVIDROPOONIA. Floating: um tipo de hidroponia. Disponível em <<http://tudohidroponia.net/floating-um-tipo-de-hidroponia/>> Acesso em fevereiro de 2016.

UFJF - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Manutenção e engenharia de segurança. Disponível em <www.ufjf.br/seguranca/files/2013/12/MANUTENÇÃO.doc> Acesso em janeiro de 2017.

UNESP-FEIS – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de hidráulica e irrigação. Disponível em <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.php>> Acesso em março de 2010.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Statewide IPM Program. Disponível em <<http://ipm.ucanr.edu/PMG/menu.homegarden.html?row=45>> Acesso em setembro 2011.

UNIVERSITY OF FLORIDA - IFAS. Agriculture Solutions. Disponível em <<http://solutionsforyourlife.ufl.edu/agriculture/>> Acesso dezembro 2012.

USDA – UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. The Census of Agriculture: 2008 Farm and Ranch Irrigation Survey. Disponível em: http://www.agcensus.usda.gov/Surveys/Irrigation_Survey/index.asp. Acesso em 12 abril, 2010.

UVA, W.F.L., T.C. WEILER; R.A. MILLIGAN. A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations. HortScience 36:167-173. 1998.

UVA, W.F.L., T.C. WEILER; R.A. MILLIGAN. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation in greenhouse operations in the northeast and north central United States. HortScience 36: 167-173, 2001.

VALMONT – Valley irrigação. Sistemas Lineares. Disponível em <<http://www.valmont.com.br/sitenovo/SistemasLineares>> Acesso em janeiro 2016

VAN DER GAAG, D.J., A. KERSSIES; C. LANSER. Spread of phytophthora root and crown rot in saintpaulia, gerbera and spathiphyllum pot plants in ebb-and-flowsystems. Eur. J. Plant Pathol. 107:535-542. 2001.

VAN IERSEL, M.W., R.D. OETTING, D.B. HALL; J.G. KANG. Application technique and irrigation method affect imidacloprid control of silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettias. J. Econ. Entomol. 94:666-672. 2001.

VERMEREIN, L.; JOBLING, G. A. Irrigação Localizada. Tradução H.R. Gheyi et al. 1. Ed. Campina Grande: UFPB, 1997.184p. (Boletim FAO n.36: Irrigação e Drenagem.)

VIEIRA, D.B. As técnicas de irrigação. 1. Ed. São Paulo: Ed. Globo, 1989. 263p.

VIRGINIA STATE UNIVERSITY. Virginia Cooperative Extension. Agriculture. Disponível em <<http://ext.vt.edu/agriculture.html>> Acesso em maio de 2011.

WIKIPEDIA. Temas variados. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:P%C3%A1gina_principal> Acesso em maio de 2010.

WILEN, C.A., SCHUCH, U.K.; ELMORE, C.L.. Mulches and subirrigation control weeds in container production. Journal of Environmental Horticulture 17:174-179. 1999.

WONG, T. Types of hydroponic systems. Disponível em <<http://hydroponicsupplieswarehouse.com/types-of-hydroponic-systems/>>. Acesso fevereiro de 2016.

WORLDWATCH INSTITUTE. State of the World. 1996. Disponível em <<http://www.worldwatch.org/>> Acesso fevereiro de 2010.

ZAFFARONI, E.; TAVARES, V. E.. O licenciamento ambiental dos produtores de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, Brasil.. Online. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-8.htm>> Acesso em: 15 jul. 2002.

ZOTARELLI, L; RENS, L.; BARRETT, C; CANTLIFFE, D. J.; DUKES, M. D.; CLARK, M. LANDS, S. Subsurface Drip Irrigation (SDI) for Enhanced Water Distribution: SDI - Seepage Hybrid System. University of Florida: Gainesville, IFAS, Bulletin HS1217. 2013.

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/UNICAMP. Obteve o título de PhD 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 (Volcani Center), em Israel, e desenvolveu treinamento de Pós-Doutorado na University of Flórida, em 1995 e 1996. Tornou-se Professor Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp em 1999, onde se aposentou em maio de 2016. Nessa instituição de ensino foi 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. Atuou na área de pesquisas em temas relacionados à engenharia de irrigação (subirrigação, filtros, sensores, fertirrigação), manejo de irrigação e impactos ambientais da irrigação.

EDSON EIJI MATSURA

Possui graduação em Engenharia Agronômica 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.

FÁBIO PONCIANO DE DEUS

Formou-se em 2009 em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), obtendo em 2010, pela mesma instituição, o título de Mestre em Engenharia Agrícola (área de concentração em engenharia de água e solo - especialidade irrigação e drenagem). Em 2014 obteve o título de doutor em Engenharia Agrícola (Área de concentração em Engenharia de Água e Solo) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atuou profissionalmente como Engenheiro Hidráulico no Instituto do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA), foi professor substituto no Instituto Federal de Minas Gerais (Campus de Bambuí-MG), e professor contratado na Universidade Veiga de Almeida. Iniciou pós-doutorado na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-Campus Poços de Caldas) (incompleto), no programa de pós graduação em Ciência e Engenharia Ambiental, desenvolvendo projeto na área de recursos hídricos e hidráulica. Atualmente é professor efetivo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, na área de engenharia de água e solo, ministrando disciplinas na área de irrigação e drenagem no âmbito da graduação e da pós-graduação.

JOÃO LUIZ CARDOSO

Possui graduação em Agronomia (1968) e Mestrado em Ciências Sociais Rurais (1976) pela Universidade de São Paulo. Doutorou-se em Economia Rural pela "Université de Montpellier I", França (1980). Participou do "Curso Internacional sobre Administración Agropecuária", Israel (1989), realizando programa de Pós-Doutorado no "Institut National de la Recherche Agronomique", Grignon, França (1990). Desenvolveu atividades científicas na "Universidad Politécnica de Madrid", Espanha e "École des Hautes Études en Sciences Sociales", Paris, França (2002). Atuou como professor universitário, na Universidade Estadual Paulista (campus de Jaboticabal, a partir de 1973) e na Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas (a partir de 1987). Tornou-se Professor Titular da UNICAMP em 1999, aposentando-se em 2006 e atuando com Professor Colaborador até outubro de 2008, As linhas de pesquisa e ensino se relacionaram principalmente aos seguintes temas: Economia e Administração Rural, Segurança Alimentar ("Economia Agroalimentar"); e Política Agrícola (principalmente financiamento rural).

RHUANITO SORANZ FERRAREZI

Concluiu a graduação em Engenharia Agronômica na Universidade do Estado de Santa Catarina/UDESC em 2002. Obteve mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical no Instituto Agronômico de Campinas/IAC em 2006. Finalizou curso de licenciatura em Meio Ambiente no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza/CEETEPS em 2008. Obteve o título de doutor em Engenharia Agrícola na Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI da Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP em 2013, realizando doutorado-sanduíche na University of Georgia/UGA em 2010-2011. Tornou-se Professor Assistente da University of Florida/UF em 2017, onde é responsável pelo programa de Horticultura dos Citros, com ênfase em irrigação, nutrição e adubação de plantas e micronutrientes e sistemas de produção, atuando nos seguintes temas: fertirrigação, sensores capacitivos de umidade e condutividade elétrica, sistemas automatizados de baixo custo e código aberto para monitoramento e controle da irrigação e fertirrigação. Entusiasta da fisiologia vegetal, uso de lâmpadas de LED, aquaponia, hidroponia NFT, fertilidade do solo, plantio direto e manejo conservacionista do solo.