

OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

José Antônio Frizzone – ESALQ/USP. 2017

frizzone@usp.br

Departamento de Engenharia de Biosistemas

Notas de Aula da disciplina LEB 1571 - Irrigação

Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica – ESALQ/USP

Piracicaba – SP

INTRODUÇÃO

Existem, basicamente, quatro métodos de irrigação: (a) irrigação por aspersão – a aplicação da água ao solo resulta da subdivisão de um jato d'água lançado sob pressão no ar atmosférico, através de simples orifícios ou de bocais de aspersores; (b) microirrigação, ou irrigação localizada – a aplicação da água é feita por emissores que operam sob pressão e localizam o volume de água necessário nas áreas de interesse; (c) irrigação por superfície – utilizam a superfície do solo para conduzir a água que deve ser aplicada à área a ser irrigada; e (d) irrigação subterrânea – consiste na aplicação de água ao subsolo pela formação de um lençol freático de água artificial ou pelo controle de um natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente, capaz de proporcionar um fluxo satisfatório de água à zona radicular da cultura, satisfazendo as suas necessidades no processo de evapotranspiração. Como se observa, a irrigação por aspersão e a microirrigação são métodos pressurizados e a irrigação por superfície e a subterrânea são métodos não pressurizados.

A agricultura irrigada se desenvolve nas mais diferentes condições de meio físico, atendendo a uma grande variedade de culturas e de interesses sociais e econômicos, de forma que não é possível existir um único sistema de irrigação ideal, capaz de atender da melhor maneira a todas as condições e objetivos envolvidos. Em consequência, deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado a cada condição em particular, considerando-se os interesses envolvidos. O processo de seleção deve ser baseado em uma criteriosa análise das condições presentes, em função das exigências de cada sistema de irrigação.

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os principais métodos de irrigação, suas características, variações e aplicações visando os critérios básicos para seleção dos sistemas.

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

A irrigação por aspersão se desenvolveu, principalmente, após a segunda guerra mundial, com a produção de tubos de alumínio, leves, e sistemas de acoplamentos rápidos, facilitando o transporte manual, a operação e o manejo dos equipamentos no campo. Foram, também, desenvolvidos aspersores de diferentes tipos e tamanhos.

Os primeiros sistemas de aspersão introduzidos no mercado foram os portáteis, cujas tubulações eram deslocadas manualmente na área irrigada, com aspersores rotativos de impacto. Posteriormente, surgiram os sistemas com linhas laterais rolantes. Com o objetivo de economizar mão-de-obra e aumentar a eficiência de irrigação surgiram os sistemas fixos. Estes eram utilizados em culturas de alto valor econômico. Quando instalados em pomares de citros, geralmente consistiam de laterais de plástico, instaladas entre fileiras de árvores, usando-se aspersores pequenos e de baixa vazão.

Mais tarde foram desenvolvidos aspersores gigantes, montados sobre bases móveis, utilizados para facilitar a cobertura de grandes áreas, em particular aquelas que deveriam receber irrigação complementar. Outros equipamentos móveis, requerendo pouca de mão-de-

obra, foram desenvolvidos nas décadas de 60 e 70 e, ao mesmo tempo, vários níveis de automação foram introduzidos nos sistemas.

A forma mais simples de automação consistiu no uso de válvulas volumétricas, projetadas para permitir a passagem de um determinado volume de água, após o que se fechavam automaticamente. Nos níveis mais avançados, as válvulas operavam em uma determinada sequência. Mais sofisticado foi o uso de unidades de controle eletrônico no campo para abrir e fechar válvulas, de acordo com um esquema pré-estabelecido. Ainda, em sistemas mais avançados, vários campos podem ser irrigados ao se conectarem as unidades operacionais de irrigação a uma unidade de comando central, controlada por computador.

Muitos sistemas de aspersão utilizados no Brasil ainda são do tipo convencional portátil. Entretanto, em áreas maiores e com o objetivo de minimizar o emprego de mão-de-obra na irrigação, tem crescido a utilização de sistemas mecanizados, particularmente o pivô central, com níveis variados de automação.

Os sistemas de aspersão podem ser classificados em dois grupos principais: sistemas convencionais e sistemas mecanizados. Cada um pode ser subdividido em diferentes tipos, conforme apresentado a seguir.

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ASPERSÃO

Os sistemas de aspersão em geral são classificados em dois grupos principais: sistemas convencionais e sistemas mecanizados. Cada um pode ser subdividido em diferentes tipos, conforme se apresenta a seguir.

SISTEMAS CONVENCIONAIS

Os sistemas convencionais de irrigação por aspersão podem ser apresentados em diferentes tipos. De forma geral, são constituídos por linhas principal, secundárias e laterais e, sobre estas, são acoplados os aspersores. As linhas secundárias muitas vezes são dispensáveis. Dependendo da mobilidade das tubulações na área irrigada, esses sistemas podem ser subdivididos em:

Fixos permanentes – Figura 1 – apresentam as tubulações enterradas e apenas as hastes dos aspersores e dos registros permanecem à superfície do terreno. São sistemas de alto custo inicial, justificando-se apenas para irrigação de pequenas áreas, culturas de alto valor econômico, como flores e produção de sementes, e em locais onde a mão-de-obra é escassa e/ou cara. São sistemas bem adaptados a condições de solo arenoso, com baixa capacidade de retenção de água e climas com alta demanda evaporativa. São também usados para irrigação de jardins e gramados, utilizando-se aspersores escamoteáveis.



Figura 1 – Sistema de irrigação por aspersão convencional fixo permanente

Fixos temporários – Figura 2 - as linhas laterais, secundárias e principais permanecem fixas em suas respectivas posições durante a realização das irrigações, cobrindo toda a área. Diferem dos sistemas permanentes no aspecto de que apresentam as tubulações dispostas sobre a superfície do terreno, podendo ser removidas quando desejado.



Figura 2 – Sistema de irrigação por aspersão convencional fixo temporário

Semifixos – Figura 3 - as linhas secundárias e principais permanecem fixas, enterradas ou não. Apenas as laterais cobrem parte do campo deslocando-se nas diferentes posições da área irrigada. As tubulações são leves, dotadas de juntas ou conexões de acoplamento rápido. Os aspersores são conectados diretamente sobre os tubos da linha lateral ou sobre acessórios especiais acoplados nas extremidades dos tubos. As laterais podem operar com vários aspersores aplicando água ou com um único aspersor canhão. O deslocamento das laterais pode ser efetuado manualmente ou, para economizar tempo e mão-de-obra, principalmente em culturas de porte alto, as laterais podem ser montadas sobre pequenas rodas e o deslocamento efetuado por um trator. Na categoria de semifixos podem ser incluídos os sistemas que operam com linhas laterais constituídas por fitas flexíveis de polietileno, perfuradas a laser, que aspergem água em ângulos definidos para atingir as linhas de plantas (Figura 4). As fitas operam em baixa pressão (< 100 kPa) com vazão de 15 a 25 $L\ h^{-1}\ m^{-1}$ e são utilizadas para irrigar cultivos em linha como café, citros e mamão entre outras culturas.

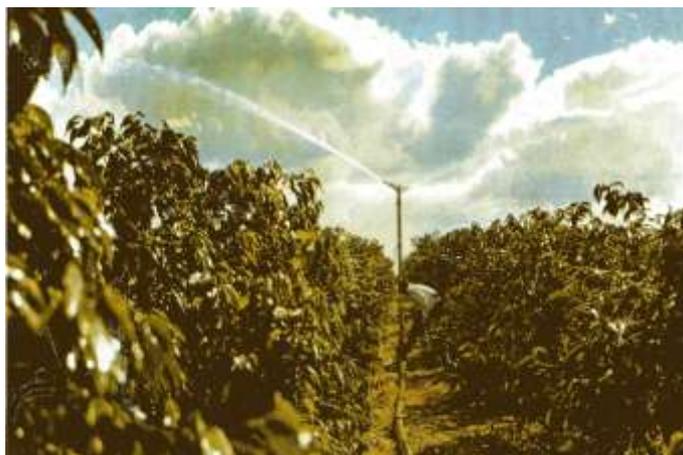


Figura 3 – Sistema de irrigação por aspersão convencional, semifixo



Figura 4 – Sistema de irrigação por aspersão com fitas de polietileno perfuradas a laser

Portáteis – todas as linhas que compõem o sistema são móveis, fabricadas de material leve como alumínio e PVC, e deslocam progressivamente na área irrigada. Até mesmo a unidade de bombeamento pode ser deslocada. São casos típicos em que se procura substituir o custo inicial de aquisição do equipamento por custo operacional, em função da maior quantidade de mão-de-obra requerida no deslocamento das tubulações. São normalmente projetados com até quatro linhas laterais operando simultaneamente. O sistema deve ser capaz de irrigar toda área em um tempo igual ou inferior ao turno de rega projetado. Em cada posição o sistema deverá operar por um tempo suficiente para aplicar a lâmina bruta de irrigação, o que dependerá da intensidade de aplicação de água dos aspersores. Para minimizar seu custo, o sistema é projetado para um tempo diário de operação de até 18 horas. Quanto mais contínuo for o tempo de operação menor será o custo por unidade de área.

SISTEMAS MECANIZADOS

A princípio, foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir o emprego da mão-de-obra na movimentação das canalizações, sendo o alto custo desta e a carência de pessoal habilitado os principais motivos do surgimento desses sistemas.

Os mecanismos utilizados para a movimentação dos equipamentos podem ser hidráulicos, como as turbinas e pistões hidráulicos, que utilizam como fonte de energia a própria pressão da água fornecida pela motobomba, ou então mecanismos elétricos. Até mesmo o trator agrícola é utilizado para mudanças de posição de operação.

São fabricados diversos tipos de sistemas mecanizados de irrigação por aspersão. Alguns deles são apresentados a seguir.

Linhas laterais autopropelidas - constituem os sistemas mecanizados em que a linha lateral, contendo os aspersores, é dotada de mecanismos propulsores que asseguram sua movimentação contínua ou intermitente na área irrigada. Os sistemas dotados de movimentação contínua podem ser classificados de acordo com a direção do deslocamento da seguinte forma:

(a) **sistema com deslocamento linear e movimentação contínua (sistema linear)** - Figura 5 - A linha lateral encontra-se suspensa, suportada por estruturas metálicas denominadas torres de sustentação, apresentando rodas pneumáticas em cada torre, responsáveis pelo deslocamento do sistema. A velocidade de deslocamento é variável em função da lâmina de água necessária à irrigação. Todas as torres devem se deslocar à mesma velocidade e o suprimento de água à linha de aspersores é realizada através de mangueiras flexíveis conectadas a hidrantes ou canais dispostos à margem da área irrigada ou, de preferência, na linha central desta.



Figura 5 – Sistema mecanizado de aspersão com deslocamento linear contínuo

(b) **sistema com deslocamento linear com movimentação intermitente (Lateral rolante ou rolão)** – Figura 6 – É constituído basicamente por uma linha lateral contendo os aspersores, operando como um eixo com rodas metálicas regularmente espaçadas. Na parte central dessa linha suportada por rodas, encontra-se a unidade propulsora, geralmente constituída por um motor a gasolina com potência entre 5 e 7 CV, um sistema redutor composto de engrenagens e um sistema de transmissão por correntes. Esta unidade transmite um movimento de rotação uniforme à tubulação, operando como um eixo fixo às rodas de sustentação, proporcionando o deslocamento do sistema. Os aspersores estão conectados a um sistema de haste especial, de forma a mantê-los sempre em posição horizontal. Uma mangueira flexível faz a conexão da extremidade da linha lateral a um hidrante. O sistema permanece estacionado durante irrigação. Terminada a aplicação de água, o sistema é automaticamente drenado, podendo ser deslocado para a próxima posição.



Figura 6 – Sistema mecanizado de aspersão com deslocamento linear intermitente

(c) **sistema com deslocamento radial (sistema pivô central)** – Apresenta movimento radial, resultante de tempos diferenciais de operação das sucessivas torres que compõem o sistema. A velocidade de deslocamento da última torre é que determina a grandeza da lâmina de água a ser aplicada. O suprimento de água à linha lateral, contendo os aspersores, é realizado através do ponto central da área circular irrigada, tornando o sistema muito apropriado à presença de um poço artesiano nesse local. Caso contrário, a água deve ser conduzida sob pressão através de uma tubulação adutora, até o ponto do pivô. O sistema pivô central pode ser fixo ou rebocável (Figura 7).

Os sistemas pivô central e linear podem ser equipados com diferentes tipos de emissores, por exemplo, emissores convencionais fixos ou oscilantes com placas estriadas simples, duplas

e triplas e com emissores tipo LEPA (*Low Energy Precision Application*) entre outros. Exemplos de alguns tipos de emissores são mostrados nas figuras 8. O sistema LEPA proporciona alta eficiência de aplicação de água e aplicação precisa com baixo consumo de energia. A sua utilização promove redução nas perdas de água por evaporação e deriva e reduz os custos de energia de bombeamento. Por outro lado aumenta o custo de investimento do sistema. O sistema LEPA faz aplicação localizada exige plantio circular.



Pivô central fixo



Pivô central rebocável

Figura 7 – Sistema mecanizado de aspersão com deslocamento radial (pivô central)



Placa estriada fixa



Placa estriada tripla oscilante



LEPA sobre a copa



LEPA sobre o solo

Figura 8 – Alguns tipos de emissores utilizados em sistemas linear e pivô central

Aspersores autopropelidos – Figura 9 - Este sistema irriga faixas longas, de largura variável, deslocando-se de forma contínua e linear no sentido do eixo da faixa. O aspersor funciona setorialmente, de maneira que o seu deslocamento se faz em solo seco. Em geral, o aspersor utilizado é do tipo canhão, com alcance superior a 30 m, pressão de operação superior a 300

kPa e o setor angular de cobertura superior a 180°. Atualmente, os equipamentos mais comuns no mercado são aparelhos tracionados por mangueira (Figura 9). Em uma extremidade, montado sobre um carrinho provido de rodas, é posicionado o aspersor. A mangueira flexível, resistente à pressão, tração e atrito com a superfície do solo, faz a conexão entre o aspersor e os hidrantes. A água sob pressão aciona o sistema de propulsão (turbina hidráulica), promovendo o enrolamento da mangueira em um tambor (diâmetro de aproximadamente 20 vezes o diâmetro do tubo). Os primeiros sistemas fabricados no Brasil eram tracionados a cabo. O aspersor autopropelido se aplica a cultura de diferentes portes, sendo muito utilizado para irrigação de cana-de-açúcar, milho e café.



Figura 9 – Aspersor canhão tracionado por carretel enrolador

Existem, também, os sistemas em que o aspersor canhão é substituído por longos braços tubulares, providos de aspersores regularmente espaçados, montados em uma estrutura metálica com rodas e mantidos por tirantes fixos na estrutura metálica central, com rodas para o deslocamento por tração (Figura 10). Estes sistemas são muitas vezes conhecidos como barra irrigadora. Os aspersores operam a pressões inferiores a 300 kPa. A barra irrigadora se adapta a um grande número de culturas de porte relativamente baixo, a terrenos razoavelmente planos e movimenta-se com velocidade variável em função da quantidade de água que se deseja aplicar.



Figura 10 – Barra irrigadora tracionada por carretel enrolador

Montagem direta – (Figura 11) - é um sistema frequentemente utilizado em áreas canavieiras para a distribuição de efluentes originários de destilarias de álcool (vinhaça) em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Caracteriza-se por apresentar uma unidade móvel de

bombeamento, acionada por um motor de combustão interna e um canhão hidráulico, que pode estar instalado na mesma unidade móvel, ou então, na extremidade de uma tubulação, geralmente de alumínio, com 60 a 90 m de comprimento. O suprimento de efluente ao sistema é feito através de canais estrategicamente localizados nas áreas de aplicação.



Figura 11 – Aspersor canhão montado sobre uma unidade móvel de bombeamento

ADAPTABILIDADE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

A irrigação por aspersão adapta-se a maioria dos cultivos e a quase todos os solos irrigáveis porque os aspersores tem uma ampla gama de características e de capacidades. Com os aspersores dispostos em espaçamentos apropriados nos sistemas estacionários, a água pode ser aplicada com qualquer intensidade, desde um mínimo de 3 mm h^{-1} , o que permite o uso da aspersão em solos de textura fina e com baixa taxa de infiltração. Os sistemas estacionários são adequados tanto para irrigações frequentes, diárias ou quase diárias, no caso de solo com muito baixa capacidade de armazenamento de água e cultivos com raízes pouco profundas, como a irrigações com grandes lâminas de água e baixa frequência. Os sistemas com laterais móveis de adaptam particularmente a irrigações de alta frequência, mas, quando a permeabilidade do solo e taxa de infiltração é baixa, provoca escoamento superficial.

A flexibilidade dos equipamentos de aspersão, inclusive para o controle da aplicação de água, faz que sua aplicabilidade seja quase universal para a maior parte das condições topográficas e climáticas. Entretanto, as altas temperaturas e grandes velocidades de vento, associadas à baixa umidade do ar, resultam perdas de água por evaporação e arraste pelo vento e problemas de toxicidade quanto a água contém elevadas concentrações de sais dissolvidos (PEREIRA, et al., 2010). Também interfere um pouco com os tratamentos fitossanitários, especialmente com pulverizações e polvilhamento, por lavar a parte aérea da cultura. Quanto ao tipo de cultura e sua altura, é necessário selecionar o tipo e a altura do aspersor mais conveniente.

A irrigação por aspersão dispensa a preparação da superfície do solo (nivelamento e sistematização) necessária à irrigação por superfície, adaptando-se bem a terrenos com declives mais acentuados e superfícies desuniformes. A aspersão é, geralmente, mais usada em terrenos de encosta, terraços e nos platôs mais elevados. Com mais facilidade, é possível projetar e operar um sistema de aspersão com a intensidade de aplicação de água adequada à capacidade de infiltração do solo e ao declive do terreno, reduzindo os riscos de escoamento e consequente erosão do solo, em geral mais elevados em irrigação por superfície.

Uma grande parte dos especialistas em irrigação é de opinião que a economia de água permitida pela irrigação por aspersão, relativamente aos sistemas de irrigação por superfície, é da ordem de 50 %. Outros especialistas, menos otimistas, referem-se apenas 15 % a 30 %. Em consequência disso, a eficiência de irrigação (relação entre a quantidade de água efetivamente

utilizada pela cultura e à quantidade total captada da fonte) é, no caso da aspersão, geralmente da ordem de 80 % a 90 %. Daí resulta que, com uma dada vazão, a aspersão permite irrigar uma área maior do que a possível por sistemas de irrigação por superfície.

Algumas limitações importantes ao uso da aspersão são: custos das instalações e de operação elevados, distribuição irregular da água por efeito do vento, favorece o desenvolvimento de algumas doenças das plantas, selamento da superfície de solos argilosos e impróprios para irrigação com águas salinas. Esses inconvenientes são verificados em muitos casos, entretanto, podem ser atenuados ou mesmo anulados, desde que os sistemas sejam convenientemente selecionados, projetadas e operados. Ventos fortes, com velocidades superiores a 4 ou 5 m s⁻¹, são muito limitantes à aspersão, provocando grandes distorções na distribuição de água, devendo-se evitar a irrigação nos horários que ocorrem. Também, a irrigação por aspersão é, em princípio, contraindicada no aproveitamento de águas com elevados teores salino, em virtude de poder originar queimaduras graves nas folhas e caules das plantas. Águas com concentração de cloreto de sódio superior a 0,3 % não devem ser utilizadas na aspersão (RAPOSO, 1979).

MICROIRRIGAÇÃO

A microirrigação compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em alta frequência e baixo volume, mantendo o solo, na zona radicular das plantas, com alto regime de umidade. Em cultivos perenes, a área máxima molhada não deve superar 60 % da área total cultivada, enquanto que a área mínima molhada deve ser aproximadamente 20% nas regiões de clima úmido e 30% nas de clima árido e semi-árido. A área de solo molhado exposta à atmosfera fica, assim, bastante reduzida, o que reduz a perda de água por evaporação direta do solo (LAMM; CAMP, 2007).

A principal diferença entre os sistemas de microirrigação e os outros sistemas de irrigação, é que nos primeiros o balanço entre evapotranspiração e água aplicada é mantido num período compreendido entre 24 e 72 horas. As baixas vazões aplicadas pelos sistemas de microirrigação, operando em alta frequência, requer atenção particular na estimativa da necessidade de água das culturas ou na medida do potencial de água na zona radicular.

Da mesma forma que os outros métodos de irrigação, a microirrigação não se ajusta a todos os objetivos e condições de solo, planta, clima, topografia e água. O seu maior potencial de uso ocorre quando (a) a água é cara e sua disponibilidade é limitada; (b) o solo é arenoso, pedregoso e a topografia irregular; (c) a cultura é de alto valor econômico, muito sensível a pequenas variações de umidade do solo e exige doses frequentes de fertilizantes, uma vez que o método facilita a fertirrigação.

O grande interesse pela microirrigação foi despertado principalmente pelos resultados de economia de água e energia que o sistema oferece, aliado ao grande potencial para oferecer condições ótimas de manejo para o desenvolvimento e produtividades das plantas. Atualmente a microirrigação tem se desenvolvido bastante graças, principalmente, ao elevado nível tecnológico dos materiais produzidos pelas indústrias (tubos, emissores, filtros, válvulas etc.) e pela possibilidade de introduzir um grande nível de automação nos sistemas de microirrigação, reduzindo o emprego de mão-de-obra.

Alguns dos objetivos técnicos e agrônômicos do uso dos sistemas de microirrigação são: (a) possibilidade de obtenção de elevados valores de conteúdo de água no solo, sem problemas de aeração do solo; (b) variações mínima do conteúdo de água no solo durante o ciclo da cultura; (c) fornecimento de água somente no volume de solo onde a absorção da água pelo sistema radicular das plantas é mais eficiente; (d) redução do problema de salinidade para as plantas pelo deslocamento dos sais para além do volume de solo ocupado pelas raízes, pela diminuição da concentração de sais por manter altos conteúdos de água no solo e por evitara queima de folhas devido a acumulação de sais em sua superfície através do contato com a

água de irrigação; (e) suprir diretamente a parte mais eficiente do sistema radicular com nutrientes; (f) economizar água pela redução da evaporação direta do solo, escoamento superficial e percolação profunda (BISCONER, 2011).

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO

Os sistemas de microirrigação podem ser classificados de acordo com um critério de vazão: sistemas de alta vazão (16 a 150 l/h) e de baixa vazão (inferior a 16 l/h). Como vazão limite aceita-se o valor de 16 l/h, conforme estabelecido pelas normas ISO. Trata-se de um valor arbitrário, mas que na prática serve para distinguir os sistemas de microirrigação. Os sistemas de alta vazão incluem os por microaspersão e por difusão, e os de baixa vazão, o gotejamento que pode ser do tipo superficial e subsuperficial. Denomina-se microaspersão quando se utilizam emissores que possuem elemento giratório para a distribuição da água e difusão quando os emissores não possuem elemento giratório. A distinção entre microaspersor e difusor não é relevante para efeitos hidráulicos. Às vezes emprega-se o termo miniaspersor para emissores com vazão superior a 150 l/h, porém sem atingir a vazão dos aspersores convencionais. O termo emissor é utilizado num sentido amplo, referindo-se aos microaspersores, difusores e aos diferentes tipos de gotejadores.

Microaspersão – Figura 12 - os emissores de água (microaspersores) possuem algum tipo de elemento giratório que distribui a água, acionado pela própria pressão desta, ou algum tipo de placa difusora fixa (difusores) para pulverizar e distribuir a água. Os sistemas de microaspersão surgiram como uma alternativa aos de gotejamento, com o objetivo de aumentar a área molhada por um emissor, o que é desejável para solos muito permeáveis. Em solos arenosos e na irrigação de cultivos arbóreos a utilização microaspersores é, em geral, mais vantajosa que a de gotejadores, além do que são menos susceptíveis à obstrução e menos exigentes em filtragem da água. Entretanto operam a pressões e vazões maiores (100 kPa a 250 kPa; 30 L h⁻¹ a 300 L h⁻¹) e, portanto, aumentam o consumo de energia em relação aos gotejadores. Nos sistemas que utilizam emissores autocompensados, tanto na microaspersão como no gotejamento, o consumo de energia é aumentado.



Figura 12 – Sistema de microaspersão utilizando difusor

Gotejamento – Figura 13 - com relação aos sistemas de baixa vazão, a terminologia atual é pouco clara e, por isso, muitos autores englobam as diferentes variações sob a denominação geral de irrigação por gotejamento, incluindo os sistemas que utilizam tubos gotejadores (com gotejadores integrados ou formados no tubo), microtubos, cintas de exudação e os gotejadores conectados sobre o tubo. Os gotejadores são dispositivos projetados para dissipar a energia de pressão da água e aplicar uniformemente pequenas vazões na forma de gotas

(geralmente inferior a 12 L h^{-1} por unidade ou, para linha emissora, com vazão não superior a 12 L h^{-1} por metro de linha lateral). Existem duas categorias gerais de linhas laterais de gotejamento: as fitas emisoras e os tubos emissores, ambos de polietileno. Fitas são tubos colapsáveis, de parede fina, com emissores tipo labirinto ou orifício, integrados à parede interna do tubo ou estampados internamente na costura do tubo e operam a baixa pressão. Já os tubos emissores são mais rígidos e mais caros do que as fitas, têm paredes mais espessas e os emissores podem ou não ser pré-instalados (EVANS; WU; SMAJSTRALA, 2007).



Figura 13 – Sistema de gotejamento

ADAPTABILIDADE DA MICROIRRIGAÇÃO

Devido à flexibilidade do método de microirrigação este oferece grande potencial para irrigação de precisão, com elevado nível de manejo. Pode adaptar-se a diversas condições de cultivo, clima, topografia e solos, permitindo a expansão da produção vegetal em áreas irrigadas com restrições de solo (solos arenosos com altas taxas de infiltração ou solos argilosos com baixas taxas de infiltração) e de água (qualidade e disponibilidade), onde não poderiam ser usados outros métodos de irrigação. Este método possui poucas restrições de uso na maioria das culturas agrícolas, embora seja mais apropriado para culturas de alto valor econômico, como em horticultura e fruticultura, em plantas ornamentais, cultivos perenes e cultivos em ambiente protegido (BISCONER, 2011; HOBBS, 2011).

As aplicações mais comuns da microirrigação consistem na irrigação de plantas frutíferas (maçã, pera, uvas de mesa e vinho, pêsego, damasco, ameixa, laranja, limão, pomelo, abacate, manga, cereja, mamão, figo, banana, coco etc); plantas hortícolas (tomate, pimenta, pimentão, couve-flor, berinjela, pepino, alface, melão, ervilha, aspargo, alcachofra, morango etc.); plantas ornamentais e flores (rosa, cravo, gladiólos, cactáceas etc.), cultura extensivas de campo (algodão, milho, feijão, trigo, alfafa, batata, café, cana-de-açúcar etc.). Os requisitos para projeto e manejo em áreas úmidas podem ser diferentes daqueles para zonas áridas e a tecnologia e as técnicas adequadas a uma área não são apropriadas para outra. Como todos os outros métodos de irrigação, a microirrigação não é o método mais adequado para todas as culturas, situações de terreno, objetivos do usuário e condições sociais e econômicas.

O uso da microirrigação vem aumentando rapidamente em todo o mundo, principalmente pela ocupação de áreas anteriormente irrigadas por sistemas de irrigação por superfície. Com o aumento da demanda produtiva, competitividade dos setores de produção, limitação de recursos hídricos e necessidade de minimizar os impactos ambientais da irrigação a tecnologia de microirrigação desempenha um papel importante na produção agrícola. Além de fornecer benefícios agrônômicos quanto à produção agrícola e à conservação de água, possibilita a incorporação de novas tecnologias, como o reuso de efluentes agrícolas e industriais.

Qualquer sistema de irrigação deve ser compatível com as operações culturais associadas a uma determinada cultura. A adoção da microirrigação pode exigir adaptações inovadoras de várias práticas culturais e até mesmo o desenvolvimento de novos equipamentos de cultivo e colheita. Por exemplo, as linhas laterais na superfície do solo podem dificultar as operações tradicionais de colheita, exigindo a remoção dos tubos antes da colheita ou o desenvolvimento de uma nova colhedora ou de novas técnicas de colheita. As linhas laterais podem ser enterradas, requerendo para tanto técnicas de cultivo mínimo e plantio direto.

Os sistemas de microirrigação, especialmente o gotejamento, exigem permanente necessidade de manutenção. Os orifícios, os emissores podem ser facilmente obstruídos por processos físicos, químicos e biológicos. A obstrução afeta negativamente a uniformidade de distribuição de água e pode anular os benefícios da microirrigação, constituindo a grande preocupação no manejo desses sistemas (NAKAYAMA; BUKS, 1991). Em situações onde não são adotadas medidas preventivas, a obstrução dos emissores é considerada como o mais sério problema em microirrigação, podendo comprometer todo o processo produtivo, por afetar a taxa de aplicação e a uniformidade de distribuição de água, aumentando os custos de manutenção, de reposição de peças, de recuperação e com inspeções.

Três alternativas têm sido apresentadas para minimizar o problema da obstrução dos emissores: (i) desenvolvimento de emissores menos sensíveis à obstrução; (ii) melhoria da qualidade da água utilizada na irrigação; (iii) adoção de medidas preventivas. A primeira é dependente da indústria, do processo de fabricação e da qualidade do produto. A segunda, embora muitas vezes utilizada, dependendo da sua complexidade pode inviabilizar o uso da microirrigação por representar alto custo para o tratamento da água. A terceira, a mais viável economicamente no campo e a mais utilizada, compreende a filtragem da água, tratamento químico, lavagem das linhas laterais e frequentes inspeções de campo.

IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Os sistemas de irrigação por superfície, ou irrigação por gravidade, têm como principal característica distribuir a água na área irrigada utilizando a superfície do solo para o escoamento gravitacional, permitindo um escoamento contínuo, sem causar erosão. Essa condição pode ser conseguida por sistematização do terreno ou por simples uniformização da superfície. Estes sistemas, em geral, são os de menor custo por unidade de área.

O termo “irrigação por superfície” se refere a um grande número de sistemas pelos quais a água é distribuída sobre o terreno por gravidade. A água é derivada à parcela na parte mais alta do terreno ou ao longo de um dos diques que a circunda, promovendo a irrigação ao escoar sobre a superfície. A taxa de escoamento depende, em grande parte, das diferenças quantitativas entre a vazão de entrada e a infiltração acumulada. Outros fatores que afetam o escoamento superficial estão associados à declividade da parcela e à rugosidade da superfície.

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

A irrigação por superfície tem sido utilizada em diferentes configurações. Os critérios para classificação diferem substancialmente, mas em geral englobam os seguintes sistemas:

Irrigação por sulcos – Consiste da inundação parcial e temporária, por condução da água na superfície do solo, através de pequenos canais ou sulcos, paralelos às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água infiltrada ao longo do sulco seja suficiente para armazenar no perfil de solo a quantidade de água necessária à irrigação da cultura. Existem diferentes tipos de sulcos, como por exemplo: retilíneos com gradiente (Figura 14), retilíneos em nível (Figura 15), em contorno (Figura 16), corrugações (Figura 17), em ziguezague, em dentes, etc. Em virtude de a condução de água ser feita por meio de sulcos, sem exigência de

tubulações e pressão, este sistema apresenta menor custo de implantação e operação do que os sistemas pressurizados (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).



Figura 14 – Sistema de irrigação por sulcos retilíneos com gradiente



Figura 15 – Sistema de irrigação por sulcos retilíneos em nível



Figura 16 – Sistema de irrigação por sulcos com gradiente em contorno

Na irrigação por sulcos, em relação aos demais sistemas de irrigação por superfície, a vazão aplicada por unidade de largura pode ser reduzida substancialmente e há maior tolerância às condições topográficas adversas. A menor área molhada possibilita a redução das perdas de água por evaporação em culturas com maior espaçamento. Por exemplo, em pomares, a irrigação por sulcos pode ser considerada como uma forma de irrigação localizada

(SCALOPPI, 1986), pois é possível molhar somente uma fração da superfície do terreno (30 a 80%). Por possibilitar a redução da área molhada, permite cultivar o solo e realizar colheitas logo após as irrigações. Este sistema de irrigação exige, em geral, mais mão-de-obra por unidade de área que os sistemas pressurizados e experiência profissional do irrigante para distribuir a água do canal secundário para os sulcos e controlar a vazão durante a irrigação. Por outro lado, a flexibilidade operacional desse sistema permite elevar a eficiência de irrigação, por possibilitar o ajuste da vazão aplicada às variações da taxa de infiltração do solo durante um evento de irrigação e entre irrigações. Os sistemas com derivação de água automatizada permitem a redução da mão-de-obra, melhoram a flexibilidade operacional e permitem a obtenção de maior eficiência de aplicação de água na parcela.



Figura 17 – Sistema de irrigação com sulcos em corrugação

O sistema de irrigação por sulcos adapta-se à maioria das culturas, principalmente às cultivadas em fileiras, tais como olerícolas, milho, feijão, algodão, batata, trigo, pomares etc. Os sulcos retilíneos apresentam melhor capacidade para o manejo da irrigação em relação aos demais sistemas de irrigação por superfície, possibilitando a obtenção de melhores índices de desempenho do sistema. Exigem, entretanto, terrenos bem sistematizados.

A irrigação por sulcos em solos salinos ou com água salina requer cuidados especiais, podendo resultar graves problemas quando o manejo não for apropriado (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2008). Os sais solúveis movimentam-se com a frente de molhamento concentrando-se nos pontos mais elevados da superfície do solo, prejudicando a germinação das sementes e as plantas sensíveis à salinidade. Técnicas de construção dos sulcos e de plantio podem minimizar o problema, como: construir sulcos com os bordos pouco inclinados e formando um pequeno dique no meio do canteiro, entre dois sulcos adjacentes, com plantio realizado na face lateral do sulco, próximo à água, pois o sal se concentrará no dique.

Irrigação por inundação – Consiste da inundação total por contenção da água na superfície do solo. A aplicação de água é feita por meio de bacias ou tabuleiros, que são áreas quase planas, de tamanho variado desde 1 m², usados na irrigação de vegetais ou frutíferas (Figura 18), até áreas maiores que 5 ha, usados na irrigação do arroz em solos planos e argilosos de formato retangular (Figura 19) ou em contorno (Figura 20). Estas áreas são margeadas por pequenos diques ou taipas para prevenir a perda de água. Exige sistematização mais rigorosa da área, construção de redes de canais para distribuição da água e um sistema de drenagem eficiente. Com manejo intermitente da lâmina d'água, adapta-se a diferentes culturas (PEREIRA, et al., 2010), como por exemplo, cebola, pomares, milho, pastagens, forrageiras etc. Utilizando-se inundação constante ou contínua, durante grande parte do ciclo da cultura, constitui-se no principal sistema para irrigação do arroz. Este sistema de irrigação não deve ser

utilizado em culturas sensíveis à saturação do solo na zona radicular, ou em solos que formam uma crosta dura na superfície quando saturados.

A água é derivada do canal para o tabuleiro através de comportas no talude do canal. É importante que a água cubra rapidamente o tabuleiro e, exceto para a cultura do arroz, o fornecimento de água é interrompido quando o volume necessário tenha sido aplicado. Particularmente, para a cultura do arroz, em que o período de inundação é necessariamente prolongado, deve-se manter uma lâmina de água sobre a superfície do solo.



Figura 18 – Irrigação por inundação temporária em ameixa



Figura 19 – Tabuleiro de formato retangular para irrigação por inundação do arroz



Figura 20 – Tabuleiro em contorno para a irrigação por inundação do arroz

Os tabuleiros podem ser retangulares ou em contorno. Geralmente, os tabuleiros em contorno são utilizados em terrenos com topografia mais desfavorável para evitar grande movimentação de terra com a sistematização do terreno, pois, neste caso, exige-se apenas a uniformização da superfície do terreno. Para se obter alta uniformidade e eficiência de irrigação o principal requisito é ter uma perfeita sistematização da superfície do terreno (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2008). Os tabuleiros retangulares são áreas planas, limitadas por diques retilíneos e exigem terrenos sistematizados, com pequena declividade. Em terrenos com declividade natural inferior a 2 % não exigem muita movimentação de terra no processo de sistematização, entretanto, em terrenos com declividade natural superior a 2 % a sistematização exige muita movimentação de terra ou, caso contrário, o tamanho dos tabuleiros torna-se muito pequeno.

Irrigação por faixas – Consiste da inundação total por condução da água na superfície do solo, por um tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação (PEREIRA, et al., 2010). As faixas podem ser construídas em nível ou com gradiente longitudinal, delimitadas por diques paralelos (Figura 21). A declividade transversal deve ser nula. As faixas em nível não possuem drenagem livre e são semelhantes aos tabuleiros de inundação, quando há necessidade de manter uma lâmina de água sobre a superfície do solo.



Figura 21 – Sistema de irrigação por faixas

As faixas com gradiente, geralmente possuem um declive na direção do escoamento entre 0,05 e 2%. O bom desempenho desse sistema depende, em grande parte, da qualidade da sistematização do terreno. Este sistema de irrigação se adapta melhor a culturas que cobrem totalmente a superfície do solo, como pastagens, alfafa, capineiras e algumas culturas em fileiras (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2008). Exige vazões relativamente grandes e adapta-se melhor em solos de textura média, podendo também ser utilizado em solos argilosos cultivados com culturas de sistema radicular pouco profundo. Como na irrigação por sulcos, a capacidade de infiltração do solo é fator muito importante na irrigação por faixas, mais do que na irrigação por inundação, determinando o tamanho das faixas.

ADAPTABILIDADE DA IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Os sistemas de irrigação por superfície podem ser muito eficientes em consumo de energia, pois não há necessidade de energia para distribuir a água na parcela irrigada. Alguma energia é necessária para a sistematização do terreno e para formação das parcelas de irrigação (sulcos, faixas, tabuleiros). Geralmente algum bombeamento também é necessário para elevar a água até algum ponto na área a ser irrigada. Os sistemas que reutilizam a água

escoada no final das parcelas requerem bombeamento. Quando se exige bombeamento, a economia de energia deve ser assegurada pelo aumento da eficiência de irrigação.

Alta eficiência de irrigação é possível com todos os sistemas de irrigação por superfície, particularmente com o sistema por inundação. Quando o sistema de irrigação por inundação é operado corretamente, a eficiência poderá atingir valores da ordem de 80-90% em solos com baixa taxa de infiltração. Eficiências de irrigação da ordem de 70 – 80% podem ser conseguidas para irrigação por faixas e sulcos (ROBBINS; VINCHESI, 2011). No Brasil, os projetos de irrigação por superfície geralmente operam com baixa eficiência de aplicação de água (da ordem de 30 a 60%) devido à falta de uma relação adequada entre comprimento da parcela, declividade da superfície do terreno, vazão derivada à parcela e tempo de aplicação. O tempo de aplicação depende das características de infiltração da água no solo que tem grande variação espacial e temporal (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2008).

A irrigação por superfície se adaptada a praticamente todas as culturas. Entretanto requer superfícies uniformes, com declives suaves e vazões disponíveis elevadas, na maioria dos casos superiores a 60 L s^{-1} , variando geralmente de 15 a 300 L s^{-1} , dependendo do sistema de irrigação e do tamanho das parcelas irrigadas simultaneamente. Assim, terrenos com grandes declividades limitam o uso desse método de irrigação. A baixa uniformidade da superfície do terreno também limita a irrigação por superfície que exige terrenos com superfície uniforme, sem elevações e depressões. Em geral, para se obter boa uniformidade de distribuição de água, a distância máxima que a água deve mover-se na área irrigada é limitada em cerca de 90 m para solos de textura arenosa e de 300 m para solos de textura muito fina. Os campos com encostas íngremes e topografia irregular aumentam o custo da sistematização do terreno, reduz o tamanho dos tabuleiros e o comprimento dos sulcos e das faixas. Cortes profundos realizados durante o processo de sistematização podem expor horizontes de solos não produtivos, requerendo manejo especial da fertilidade.

Solos com alta taxa de infiltração dificultam o uso de sistemas de irrigação por superfície por aumentar as perdas de água por percolação, a menos que as parcelas irrigadas sejam muito pequenas. Mas, quanto mais curtos forem os sulcos e as faixas, e menores os tabuleiros, mais caros serão os sistemas, em decorrência do aumento da mão-de-obra necessária ao manejo da irrigação, do maior número de canais necessários ao projeto, da maior perda de terreno com canais e da maior dificuldade de mecanização (PEREIRA, et al., 2010).

A Irrigação por inundação envolve menos mão-de-obra do que os demais sistemas de irrigação por superfície, principalmente se o sistema é automatizado. Já a irrigação por faixas e, em menor grau, a irrigação por sulcos, requer irrigantes qualificados para se obter alta eficiência. Quando se utilizam sifões, tubos janelados ou perfurados para distribuir água ao sulco, a obtenção de uma vazão desejada pode, inicialmente, apresentar alguma dificuldade que se minimiza com a experiência do irrigante.

Embora tanto a drenagem superficial quanto a subterrânea devam ser consideradas para todos os processos de irrigação, a drenagem é especialmente crítica em sistemas de irrigação de superfície. A remoção oportuna do excesso de água durante a estação de chuvas para prevenir ou reduzir os danos às culturas e/ou permitir a realização das práticas culturais pode ser um desafio em áreas com pouca ou nenhuma inclinação.

O sistema de irrigação por inundação é adequado para lixiviação de sais e, portanto, para recuperação do solo, pois a água pode ser mantida sobre o solo por longos períodos de tempo. Os sistemas de irrigação por faixas e por sulcos não apresentam bom desempenho para esta finalidade. Em condições normais de operação, as frações de lixiviação adequadas para o controle da salinidade podem ser obtidas para todos os sistemas de irrigação de superfície.

IRRIGAÇÃO SUBTERRÂNEA

A irrigação subterrânea, também chamada de subirrigação e drenagem controlada, é um método que consiste na aplicação de água diretamente na subsuperfície do solo, geralmente pela formação, manutenção e controle de um lençol de água artificial ou pelo controle de um natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente. Por ascensão capilar, o lençol d'água, usualmente mantido a uma profundidade de 0,30 a 0,80 m, propicia a umidade necessária às raízes das plantas (ROBBINS; VINCHESI, 2011)

Este método de irrigação só pode ser usado em condições muito especiais, sendo necessário que se atenda aos seguintes requisitos (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2008): (a) o terreno a ser irrigado deve ser plano e sua superfície uniforme; (b) deve haver uma camada permeável (areia, solo orgânico, ou solo argiloso estruturado) imediatamente abaixo da superfície do solo a fim de permitir rápido movimento lateral e vertical da água; (c) para reduzir as perdas de água por percolação, abaixo da camada permeável (aproximadamente a 1,5 m de profundidade) deve estar uma camada impermeável e o lençol de água natural; (d) deve haver um adequado suprimento de água livre de sais durante o período de irrigação e deve-se ter cuidado no manejo dessa água para evitar que o solo se torne salino; (e) o sistema de distribuição de água deve permitir que o nível do lençol d'água seja levantado e mantido a uma profundidade uniforme e que haja uma saída adequada da água de drenagem. Geralmente a água é introduzida no solo por canais (ou drenos) abertos. A profundidade do nível da água é controlada por meio de comportas. Nas regiões úmidas, por ocasião das chuvas, deve-se aproveitar para lavar o perfil do solo e renovar a água do lençol freático. Isto é feito abrindo-se as comportas na época das chuvas.

SELEÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Dentre os benefícios que a irrigação proporciona a agricultura, podem ser citados:

- permite maior eficiência no uso dos fertilizantes;
- maior garantia de produção, por reduzir a dependência das chuvas, e menor risco do investimento;
- possibilita o aumento da produtividade das culturas (em média, a produtividade nas áreas irrigadas é 2,5 a 3,0 vezes maior do que nas áreas não irrigadas);
- permite a programação da época de plantio, ou seja, elaboração de uma escala de colheita;
- possibilidade de alteração da época de colheita, resultando em melhores preços no mercado;
- permite mais de uma safra por ano de uma mesma cultura.
- melhora as condições econômicas das comunidades rurais; e
- aumenta a demanda de mão-de-obra e fixa o homem no campo.

A escolha correta do método de irrigação, isto é, se por superfície, aspersão ou microirrigação irá depender de características locais como o solo (capacidade de armazenamento de água, velocidade de infiltração, drenagem, topografia, presença de lençol freático, salinidade, etc.), o clima (ventos, umidade relativa do ar, temperatura, precipitação), a água (disponibilidade e qualidade), a cultura (grão, fruticultura, cafeicultura, forrageiras, etc.), dos fatores humanos (formação tecnológica, hábitos, preferências, etc.) bem como dos aspectos econômicos.

Como se depreende, não existe um sistema de irrigação considerado ideal, isto é, capaz de atender da melhor maneira possível a todas as condições do meio físico e a grande variedade de culturas e interesses econômicos e sociais. Deve-se selecionar o sistema mais adequado

para cada condição em particular. O processo de seleção baseia-se na análise criteriosa das condições existentes em função das características de cada sistema e da análise econômica de cada alternativa. Textos importantes que tratam do tema e abordam os mais diferentes aspectos da seleção de sistemas de irrigação foram publicados por [Robbins; Vinchesi \(2011\)](#); [Pereira et al. \(2010\)](#); [Bernardo; Soares; Mantovani \(2008\)](#); [Mantovani; Bernardo; Palaretti \(2009\)](#); [Solomon; El-Gindy; Ibatullin, \(2007\)](#); [Scaloppi \(1986\)](#); [Finkel; Nir \(1960\)](#). Com base nessas publicações são discutidos a seguir alguns critérios essenciais para serem analisados visando a seleção racional de sistemas de irrigação, já que se considera que esta fase é primordial para o sucesso da irrigação.

CRITÉRIOS BÁSICOS PARA SELEÇÃO DOS SISTEMAS

RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos podem ser de natureza superficial (rios, lagos, represas, etc.) ou subterrânea (aquíferos freáticos ou confinados). Os principais parâmetros relativos aos recursos hídricos e suas implicações na seleção de sistemas de irrigação são:

Potencial hídrico - Deve ser avaliado em função da vazão e do volume total disponível. A vazão disponível deve ser estimada utilizando-se critérios probabilísticos e o volume total em função da capacidade de armazenamento de água ou da necessidade de construção de reservatórios. A grandeza do potencial hídrico pode determinar a eficiência de irrigação necessária para que se possa irrigar toda a área. Necessitando-se de alta eficiência de irrigação, os sistemas por aspersão e microirrigação devem ser preferidos.

Localização da fonte d'água - A situação topográfica do recurso hídrico, em relação à área irrigada, tem grande influência no esquema de distribuição de água, no manejo e no custo do sistema de irrigação. Sempre que possível, a escolha do local de captação da água deve ser feita de forma a minimizar a altura de recalque e as distâncias de condução e distribuição, devendo-se preferir o fluxo por gravidade. A altura de recalque da água é um dos principais fatores relacionados ao consumo de energia; aumentando-se essa altura em relação à altura manométrica total, maiores deverão ser os níveis de eficiência dos sistemas de irrigação.

Qualidade da água - É determinada pela quantidade e natureza do material sólido em suspensão e em solução. A quantidade de sólidos em suspensão pode limitar os sistemas de microirrigação. Essa exigência é menor em sistemas por aspersão e pouco significativa nos sistemas por superfície. Por outro lado, os sistemas de microirrigação possibilitam o uso de águas com maiores níveis de salinidade. Alto regime de umidade no solo reduz a concentração de sais na zona radicular e os perigos da salinidade, melhora a capacidade de manejar solos salinos ou sódicos, e possibilita a utilização de águas mais salinas na irrigação. Por outro lado, a presença de material sólido em suspensão na água constitui um grave problema para a microirrigação porque aumenta o risco de obstrução de emissores. Para a remoção deste material é necessário utilizar um sistema eficiente de filtragem o que aumenta os custos do sistema. Problemas de obstrução de emissores relacionados com óxidos de ferro também são frequentes em sistemas de microirrigação. Eles são causados pela introdução de sais solúveis de ferro a partir da fonte de água no sistema microirrigação onde, por causa de certo número de fatores, os sais de ferro podem ser oxidados e precipitar causando obstrução de emissores.

Custo da água – Depende, primariamente, da disponibilidade, localização e qualidade da água. O maior custo da água exige maior eficiência de irrigação, o que pode ser mais facilmente obtido com sistemas de microirrigação e aspersão. Relativamente ao conceito, à gestão e à estrutura dos custos, convém distinguir entre os custos da água superficial e subterrânea. A água superficial tem sido considerada como um bem livre, cuja gestão é feita preferencialmente por entidades públicas, com custos de obtenção relativamente baixos,

fundamentalmente vinculados aos gastos de uma obra pública. Por outro lado, a água subterrânea tem tido um conceito de bem econômico e sua gestão tem sido feita principalmente por entidades privadas e seu custo é mais elevado, estando vinculado tanto aos investimentos quanto aos custos da energia e da mão-de-obra na gestão e distribuição.

CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS DO TERRENO

As condições topográficas do terreno afetam a seleção do sistema de irrigação, o dimensionamento, a operação e o manejo. Os principais elementos topográficos envolvidos na seleção do sistema são:

Dimensões e forma da área - Áreas superiores a aproximadamente 50 ha, com forma retangular, facilitam a utilização de qualquer sistema de irrigação. Entretanto, áreas pequenas e com fronteiras irregulares limitam o uso de alguns sistemas, como aspersão mecanizada e superfície. A aspersão convencional e a microirrigação são mais adaptáveis à estas condições.

Direção e gradiente de declive - Estes parâmetros definem a uniformidade topográfica. Todos os sistemas de irrigação adaptam-se a uma condição topográfica uniforme da superfície do terreno. Pequena uniformidade topográfica limita a utilização de sistemas de irrigação por superfície, entretanto os sistemas de aspersão e microirrigação toleram menor uniformidade topográfica. Evidentemente que a baixa uniformidade pode ser corrigida pelo processo de sistematização, contudo é necessário considerar os custos da operação além da possibilidade de comprometimento da qualidade do solo para a agricultura.

Acidentes topográficos - Os sistemas de irrigação por aspersão convencional e microirrigação toleram mais facilmente a presença de acidentes topográficos que possam ocorrer na área, como erosões em sulco ou voçorocas, afloramento de rochas, área alagadas, estradas, vias de acesso e linhas de transmissão de energia elétrica. Alguns equipamentos mecanizados de aspersão, como pivô central, lateral rolante e linear móvel não admitem a presença de obstáculo com altura superior a do vão livre em todo o seu percurso.

SOLO

Os fatores do solo mais importantes para a seleção de sistemas de irrigação são: capacidade de água disponível, capacidade de infiltração, aeração, salinidade, profundidade efetiva e variabilidade espacial.

Capacidade de água disponível - Todos os fatores que resultam em grande capacidade de água disponível do solo sem, contudo, restringir a aeração, tendem a favorecer o uso dos sistemas de irrigação por superfície, pelos quais é relativamente eficiente aplicar grandes volumes de água com baixa frequência. Reciprocamente, solos com baixa capacidade de água disponível requerem irrigações frequentes e com pequeno volume, o que pode ser mais bem atendido por sistemas de irrigação por aspersão e microirrigação. As propriedades do solo que afetam a capacidade de água disponível são:

(a) **Profundidade efetiva** – Solos pouco profundos sobre rochas, cascalho, camadas adensadas ou com lençol freático permanentemente alto, ou a presença de qualquer outra camada obstrutiva, têm uma pequena capacidade de água disponível. Estes solos não devem ser submetidos a operações de sistematização; mesmo pequenas profundidades de corte poderiam expor horizontes improdutivos, ou camadas compactadas, ou mesmo, o lençol freático. Nestes casos, a irrigação por sulcos e faixas de infiltração não são aconselháveis. Em condições de lençol freático elevado, a irrigação subterrânea deve ser considerada como uma das possibilidades viáveis. Apenas quando houver um sistema de drenagem subterrânea eficiente e a possibilidade de um controle rigoroso da quantidade de água aplicada é que a irrigação superficial pode ser aventada. Já a possibilidade de um controle efetivo da

quantidade de água aplicada torna os sistemas de irrigação por aspersão e microirrigação mais adequados aos solos rasos.

(b) **Textura** - Define-se a textura pela distribuição das partículas de solo por tamanho. O Solo é chamado arenoso quando tem maior porcentagem de partículas com diâmetros entre 0,02mm e 2,0mm; limoso (ou siltoso), maior porcentagem de partículas entre 0,02mm e 0,002mm; argiloso quando predominam partículas com diâmetros inferiores a 0,002mm.

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente estão relacionados com a textura do solo e constituem os principais fatores que afetam a disponibilidade de água. Tanto os solos arenosos quanto os muito argilosos têm um pequeno intervalo entre os limites superior e inferior de água disponível e, conseqüentemente, favorecem a utilização de sistemas de microirrigação e alguns sistemas de aspersão que possibilitam a aplicação frequente de água com baixo volume.

Como as perdas de água, nos sistemas por superfície, estão relacionadas à percolação observada durante a fase de avanço e ao escoamento no final da parcela durante a fase de reposição, não se deve esperar por níveis satisfatórios de eficiência dos sistemas por sulcos ou faixas de infiltração nesses tipos de solo. Particularmente, a irrigação por inundação deve ser utilizada, preferencialmente, em solos mais argilosos, com baixa capacidade de infiltração. Os solos de textura mediana, tendo amplo intervalo de água disponível, são os mais apropriados a todos os sistemas de irrigação. O ideal seria que esses solos apresentassem as seguintes proporções entre as frações constituintes: 25% de água, 25% de ar, 45% de partículas minerais e 5% de matéria orgânica.

(c) **Estrutura** - A estrutura é definida pelo arranjo das partículas do solo. Um solo com estrutura granular é o mais conveniente para a agricultura, pela maior capacidade de armazenar e disponibilizar água e nutrientes para as plantas. Os solos bem estruturados têm argila em quantidade suficiente para formar aglutinados e permitir a irrigação por qualquer sistema. Por outro lado, solos sem estruturação, não agregados, de grãos simples, como os arenosos, dificultam o uso de sistemas de irrigação por superfície.

(d) **Massa específica do solo** – Também chamada densidade global ou densidade aparente, é um atributo do solo de importância na irrigação, pois tem relação com a porosidade do solo e com a capacidade de armazenamento de água. Sendo função da textura e da estrutura, influencia a capacidade de água disponível e, por isso, tem implicação na seleção de sistemas de irrigação. Como a ordem de grandeza das diferenças entre massas específicas dos diferentes tipos de solo não são expressivas, esse fator, por si, raramente tem uma influência decisiva na escolha final de um sistema de irrigação.

Taxa de infiltração da água no solo - A taxa de infiltração é um fator básico de projeto para todos os métodos de irrigação. No caso de irrigação por sulcos e faixas, determina o comprimento ótimo da parcela para uma dada vazão de entrada e declividade do terreno. No caso de aspersão, a intensidade de aplicação de água determina o tamanho e a capacidade dos aspersores e o espaçamento entre eles. Em geral, baixas velocidades de infiltração de água no solo permitem maiores comprimentos das parcelas para irrigação por superfície, resultando sistemas mais econômicos e com maior flexibilidade para operações mecanizadas. Para terrenos em declive, a baixa velocidade de infiltração propicia o escoamento superficial, quando se utiliza irrigação por aspersão com intensidade de aplicação não compatível com a capacidade de infiltração, aumentando os riscos de erosão. Neste caso, a intensidade de aplicação de água dos aspersores não deve superar a velocidade de infiltração básica da água no solo. A aspersão convencional e a microaspersão permitem uma melhor compatibilização entre a intensidade de aplicação e a velocidade de infiltração. Já alguns sistemas de aspersão mecanizados, como o pivô central e o autopropelido, não permitem a mesma flexibilidade operacional e podem ser limitantes em solos com reduzida velocidade de infiltração.

Reciprocamente, velocidade de infiltração elevada, típica de solos arenosos, representa um grande inconveniente à implantação de sistemas. Nestes solos, as parcelas de irrigação têm pequeno comprimento, é facilitada a perda de água por percolação profunda, os custos da irrigação são mais elevados e as operações mecanizadas são dificultadas. Os sistemas de irrigação por aspersão e microirrigação devem ser preferidos. Como um critério geral, pode-se considerar que solos com velocidade de infiltração inferior a 10 mm/h são aptos aos sistemas por superfície; solos com velocidade de infiltração superior a 30 mm/h devem ser irrigados apenas por sistemas localizados ou aspersão. Entre esses dois limites, ambos os sistemas podem ser utilizados, porém outros critérios governam a seleção.

Alguns solos argilosos são suscetíveis à formação de crostas superficiais quando irrigados por aspersão, devido à desagregação causada pelo impacto das gotas no solo, efeito este que reduz a velocidade de infiltração, aumenta o deflúvio e afeta a germinação das sementes. Sob estas condições, a irrigação por aspersão deve ser evitada, ou utilizar aspersores com alto grau de pulverização. Esta alternativa pode não ser a mais indicada economicamente, pois facilita as perdas de água por evaporação e deriva. A irrigação por superfície pode também formar selamento da superfície de infiltração, por sedimentação de material em suspensão.

Aeração do solo - Havendo no solo a possibilidade de redução da porosidade livre de água, a níveis que poderiam prejudicar a aeração do ambiente radicular da cultura, os sistemas de irrigação por aspersão e, principalmente, os de microirrigação tornam-se vantajosos relativamente aos por superfície. A aplicação de água ao solo a uma intensidade inferior à velocidade de infiltração resulta em um menor teor de água no perfil e, por conseguinte, em uma maior aeração.

Variabilidade espacial - Onde o solo tem significativa variabilidade nas suas propriedades de retenção e infiltração de água ou em seu perfil, e essas diferenças se estendem em glebas relativamente grandes da área, os equipamentos de aspersão e microirrigação se adaptam melhor à irrigação, por serem suficientemente flexíveis para permitir o uso de diferentes emissores de água para atender às variabilidades da área. Sulcos e faixas não podem ser convenientemente dimensionados, com diferentes comprimentos nas diversas glebas, porque complicam a operação eficiente dos sistemas.

Se a variabilidade nas propriedades do solo ocorrer em áreas relativamente pequenas, dispersas no campo, tais como pequenas manchas argilosas em solos arenosos, a microirrigação constitui-se na melhor alternativa, pois é extremamente flexível para irrigar áreas pequenas e de forma irregular. O sistema de irrigação por aspersão convencional pode ser também uma alternativa para superar a variabilidade espacial das propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo na área irrigada. Por simples mudanças operacionais ou dimensionais, esse sistema pode se adaptar às variações nas características de retenção e movimentação de água na área irrigada, o que seria mais difícil de conseguir com irrigação por superfície e alguns sistemas de aspersão mecanizados, como o pivô central, deslocamento linear e autopropelido.

Salinidade do solo - Os solos salinos ocorrem comumente em regiões áridas e semi-áridas, onde a precipitação é menor que a demanda evaporativa da atmosfera. Esse desequilíbrio produz acúmulo de sais solúveis no solo, nocivos às plantas, ao longo do tempo, podendo tornar o solo estéril. O acúmulo de sal no solo pode se intensificar se houver irrigação com água salina, principalmente na ausência um eficiente sistema de drenagem subterrânea.

Pela análise química, pode-se avaliar a extensão dos problemas atuais e potenciais com salinidade do solo. Em locais cuja salinidade do solo constitui problema, a irrigação por sulcos e subterrânea deve ser evitada. Os sulcos possibilitam a formação de uma zona salina na distância intermediária entre eles, geralmente o local onde se desenvolvem as plantas. Se os sulcos forem construídos próximos, ou coincidindo com as linhas de plantio, a irrigação pode ser manejada para reduzir o efeito prejudicial do excesso de sais. A irrigação por faixas pode

ser utilizada com sucesso, pois permite a aplicação de uma lâmina de água adicional, em toda a área, para lixiviar os sais presentes na camada de solo explorada pelas raízes.

Os problemas relacionados à presença de sais solúveis no solo podem ser mais facilmente contornados com a utilização de regimes de irrigação mais frequentes e localizada, o que permite o deslocamento dos sais para fora da zona radicular e mantém o teor de água sempre elevado nesta região, o que reduz a concentração salina. Por isso, os sistemas de microirrigação reúnem as maiores vantagens em solos salinos. Os sistemas por aspersão, pelas suas características, propiciam a aplicação de lâminas adicionais de irrigação, em toda a área e facilitam naturalmente o arrastamento dos sais solúveis para as camadas de solo mais profundas onde devem ser retirados do terreno por um sistema de drenagem. Alguns sistemas, como o pivô central e o deslocamento linear possibilitam, ainda, regimes de irrigações frequentes. Acrescenta-se que um sistema de drenagem subterrânea é indispensável em qualquer solo salino.

CLIMA

Vento - A ocorrência de ventos fortes ou grandes variações de velocidade e direção constitui importante limitação à aspersão, pois diminui acentuadamente a uniformidade de distribuição de água por aspersores e microaspersores e pode reduzir a eficiência de aplicação. A uniformidade é mais prejudicada nos sistemas cujos aspersores operam estacionados, como na irrigação por aspersão convencional e rolamento lateral, ou nos sistemas que irrigam faixas relativamente grandes, como os aspersores autopropelidos.

Para diminuir o efeito do vento na uniformidade de distribuição de água pode-se utilizar quebra-ventos, reduzir a distância entre aspersores ou a largura da faixa irrigada, ou irrigar somente quando a velocidade do vento é pequena. Porém, essas práticas aumentam consideravelmente o custo da irrigação. Os sistemas pivô central e deslocamento linear, com aspersores pouco espaçados, apresentam um desempenho menos influenciado pelo vento. Os sistemas de irrigação por superfície, subterrânea e por gotejamento não são prejudicados pela ocorrência de ventos e devem ser preferidos nestas condições.

Temperatura e umidade relativa - Altas temperaturas e baixa umidade relativa têm efeito direto sobre as perdas de água por evaporação nos sistemas de aspersão. Estas perdas podem ser consideradas altas quando ultrapassam 15%. Alta temperatura e baixa umidade relativa também favorecem a perda de água pela planta, através da transpiração, requerendo a aplicação de lâminas de irrigação relativamente grandes. Deve-se considerar também a evaporação da água retida pela vegetação, quando se utilizam sistemas por aspersão, e perda direta do solo, na área não cultivada nas entrelinhas de plantio, principalmente em grandes espaçamentos. A caracterização desses processos como perda efetiva de água ainda é controversa, porém é pouco provável que essa água apresente à planta o mesmo benefício da água absorvida pelas raízes. O problema aumenta de importância ao se considerar irrigação por aspersão com alta frequência e alto grau de pulverização, em que grande parte da lâmina aplicada pode ser interceptada pelo dossel vegetativo e não atingir o solo. As perdas de água por evaporação em irrigação por sulcos e faixas são pequenas e desprezíveis para o sistema por gotejamento; já na irrigação por inundação e microaspersão podem ser significativas.

Precipitação - A importância da irrigação para a produção agrícola depende do regime de chuvas durante o período de desenvolvimento das culturas. Nas regiões onde é praticamente impossível obter alguma produção contando-se apenas com as chuvas, diz-se que a irrigação é obrigatória; sendo a irrigação necessária apenas para complementar ou suplementar a ação das chuvas, diz-se que a irrigação é suplementar. Quanto menor a quantidade de água necessária por irrigação, menos importante é essa prática para a atividade agrícola. O investimento de capital em irrigação deve ser compatível com a sua importância para a produção; assim, quando as chuvas contribuem com a maior parte da água necessária,

menores deverão ser os investimentos com irrigação, justificando-se os sistemas de irrigação por superfície, desde que não sejam necessários grandes investimentos em sistematização, e a aspersão com equipamentos portáteis.

Geadas - A irrigação muitas vezes é utilizada como uma técnica de proteção de plantas em regiões cujo de riscos de geadas é frequente durante a estação de crescimento das plantas. A irrigação por aspersão, desde que prudentemente utilizada, é um método efetivo para proteção das plantas contra geadas leves e intermitentes, especialmente em frutas e hortaliças. A razão de aplicação de água até a temperatura de -4°C não precisa ser superior a 2 mm h^{-1} . À medida que a temperatura torna-se mais baixa, e a velocidade do vento aumenta, a intensidade de aplicação de água deverá ser maior, podendo chegar a 15 ou 20 mm h^{-1} em condições de temperatura próximas de -9°C e vento de 12 km h^{-1} . Entre os sistemas de irrigação, somente a aspersão apresenta condições para proteção das plantas contra geadas menos severas. O inconveniente é que o sistema deve ser capaz de promover a aplicação de água simultaneamente a toda a área cultivada durante o período com temperatura inferior a 0°C e, para isso, o sistema deve ser dimensionado para esse fim.

CULTURA

Sistema de plantio - O sistema de irrigação por sulco adapta-se bem às culturas em linhas. Os sistemas de aspersão e gotejamento também são bem adaptados a esse sistema de cultivo. Quando o espaçamento entre linhas não comportar a confecção de sulcos, sem prejuízos à densidade de plantio, como se verifica nos cereais de pequeno porte (trigo, centeio, cevada) ou em algumas culturas olerícolas, pode-se adotar o sistema de irrigação por faixas, que também é bem adaptado às culturas semeadas a lanço.

A irrigação por aspersão, por sua característica de aplicação de água em área total, adapta-se muito bem às culturas que ocupam toda superfície do terreno. Para frutíferas, que ocupam parcialmente a superfície do terreno, a irrigação por aspersão apresenta menor eficiência de aplicação de água, podendo ser vantajosamente substituída pelos sistemas de microirrigação. Mesmo a irrigação por sulcos pode ser mais eficiente que a aspersão, pois permite a localização da aplicação na região de interesse.

Altura das plantas - As culturas de grande porte como milho, cana-de-açúcar e muitas culturas fibrosas requerem a colocação dos aspersores a uma altura compatível, aumentando o consumo de energia para proporcionar a aplicação de água acima da vegetação e reduzindo a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação. Nestas condições, o deslocamento das tubulações nas mudanças de posições de linhas laterais, nos sistemas de aspersão portáteis, é muito dificultado, a não ser que se construam carreadores para favorecer essa operação. Culturas com altura superior a 3 m limitam a utilização dos sistemas tipo pivô central e deslocamento linear; o sistema rolamento lateral adapta-se somente a culturas rasteiras. Exceto a aspersão, todos os outros sistemas de irrigação não apresentam nenhuma restrição quanto ao porte da cultura.

Profundidade do sistema radicular - As culturas com sistema radicular profundo são capazes de explorar maior volume de solo e, conseqüentemente, requerem irrigações menos frequentes e com maiores lâminas, comparativamente às culturas com raízes menos profundas. Culturas com sistema radicular profundo são mais eficientemente irrigadas por sistemas de irrigação por superfície; com raízes rasas, como por exemplo, a bananeira e cebola, requerem irrigações frequentes e leves, sendo, neste caso, mais eficientes os sistemas de irrigação por aspersão e microirrigação.

Estádios de crescimento - Muitas culturas requerem irrigações leves e frequentes durante a germinação e em períodos subsequentes, quando ainda jovens com sistema radicular raso. Nesta condição os sistemas de irrigação por aspersão são mais convenientes, porém devem

ser utilizados aspersores com baixa intensidade de aplicação e pequeno grau de pulverização para não facilitar a formação de crosta superficial e dificultar a germinação das sementes. Nos estádios de crescimento e maturação não há especial preferência por um sistema de irrigação e outros fatores podem determinar a escolha. Durante o período de colheita, algumas culturas não suportam molhamento da parte aérea, como por exemplo, o algodão, e isto limita o uso da aspersão.

Exigências agronômicas - As diferentes culturas têm maior ou menor grau de resistência às doenças. O tomateiro, por exemplo, é muito sensível, principalmente em regiões úmidas, exigindo tratamentos fitossanitários sistemáticos, o que desaconselha os sistemas de aspersão e credencia os sistemas por superfície e gotejamento. A aspersão tem também a desvantagem de lavar as folhas e, portanto, os defensivos aplicados por polvilhamento favorecendo a introdução e disseminação de agentes patogênicos. A irrigação por gotejamento, em muitos casos, não causa ou agrava a ocorrência de doenças de plantas.

A bananeira é sensível à podridão dos frutos quando irrigada por aspersão. A videira é muito sensível ao calor se as folhas forem molhadas; a pereira e a macieira podem sofrer queima das folhas se forem irrigadas por aspersão durante horários de sol quente, casos em que a irrigação noturna seria mais conveniente, ou utilizar irrigação por superfície ou microirrigação.

A redução temporária da aeração do solo pode ser prejudicial a algumas culturas muito sensíveis, como o fumo, o pimentão e os citros. Esse comportamento pode restringir a utilização de sistemas de irrigação por superfície e subsuperfície, em solos que apresentam elevada capacidade de retenção de água.

FATORES HUMANOS

Além das dificuldades envolvidas na análise dos diversos fatores apresentados anteriormente, com vistas à seleção de sistemas de irrigação, há que se considerarem os fatores comportamentais dos agricultores, não menos importantes, como hábitos, preferências, tradições e preconceitos. Esses fatores dificultam a introdução de inovações tecnológicas, persistindo a tendência de uso dos sistemas de irrigação já consagrados na região, caracterizando o alto grau de aversão ao risco por parte do irrigante.

Agricultores de melhor formação tecnológica são mais acessíveis a mudanças tecnológicas e, até mesmo, contribuem para o aprimoramento de sistemas de irrigação superando expectativas de desempenho. Ao contrário, quando o agricultor não consegue assimilar os princípios básicos da irrigação, os sistemas de elevado desenvolvimento tecnológico podem não corresponder aos seus anseios. Os sistemas de irrigação por superfície e por aspersão convencional têm sido utilizados com sucesso por muitos agricultores menos desenvolvidos, enquanto a microirrigação e aspersão mecanizada apresentam algumas particularidades operacionais que dificultam o uso racional e exigem maior treinamento dos agricultores.

ASPECTOS ECONÔMICOS

A análise econômica envolvendo diferentes sistemas de irrigação é muito complexa, uma vez que tem por base um grande número de fatores que variam constantemente. Ao mesmo tempo, constitui o critério mais adequado à seleção de sistemas de irrigação para uma determinada condição. A análise final, entretanto, deverá considerar uma simples comparação de custos entre cada sistema de irrigação e o valor da cultura irrigada.

Valor econômico das culturas - As culturas diferem em seu valor final de mercado, dependendo do tipo (pericível ou não), da variedade, da qualidade, da sazonalidade, da oferta e demanda do mercado e da comercialização. Esses complexos fatores são variáveis e de difícil previsão. Com relação à seleção de sistemas de irrigação, entretanto, pode-se dizer que somente quando alguns desses fatores de preço são favoráveis, um gasto relativamente maior com um sistema de irrigação pode ser justificado. Somente as culturas de alto valor econômico

podem justificar a utilização de sistemas de irrigação de mais alto custo. Em qualquer caso, se um sistema de irrigação por superfície, de baixo custo, for adequado à produção econômica da cultura, o uso de aspersão ou microirrigação pode não ser justificado.

Custos do projeto - Os custos medem o uso dos recursos. Existem muitas maneiras de classificar os custos, tendo cada uma sua utilidade. Um analista deve adotar a classificação que lhe parecer mais adequada. Para servir como orientação na identificação de custos, nesse texto eles são divididos em duas grandes categorias: (a) custos de investimento (capital) e, (b) custos anuais.

(a) **Custos de capital (investimentos)** - São aqueles investidos para materializar o projeto e correspondem a uma parcela de custos fixos. Eles são divididos em custos diretos e indiretos. As estimativas dos custos de capital baseiam-se, principalmente, em dados existentes. Uma das técnicas adotadas para estimar custos é através de curvas de custo em função da capacidade (por exemplo, barragens e reservatórios: custo em função do volume; canal: custo em função da vazão; estação de bombeamento: custo em função da potência). Outra técnica é a comparação com projetos executados e o emprego de simulação.

- **Custos diretos** - São os necessários para a formação física do projeto, isto é, para investimento parcelares (aquisição de equipamento de irrigação, bombas, motores, turbinas, tubulações, acessórios, drenagem, redes elétricas, transformadores, desmatamento, sistematização do terreno, quebra-ventos), construção de instalações e estruturas (estações de bombeamento, barragens, canais, tomadas d'água, estruturas de captação d'água, diques de proteção, estradas de acesso etc.). As estimativas de custos dos sistemas de distribuição de água podem ser expressas por unidade de área.

Alguns custos de capital em projetos de drenagem incluem despesas com a regularização de cursos d'água, regularização do terreno, escavação dos emissores, drenos principais e coletores, instalação dos drenos de campo e com aquisição de tubulações. O custo de um projeto de drenagem varia em função das diferenças na intensidade de drenagem exigida (espaçamento e profundidade dos drenos), disponibilidade de maquinaria especializada e materiais, escala do projeto, habilidade e custos da mão-de-obra etc.

- **Custos indiretos** - Correspondem aos custos de engenharia, de empreitada (pagamentos ao empreiteiro para construção do projeto), das reservas de contingência (para cobrir custos não previstos na execução do projeto) e aos juros pagos por empréstimos durante a construção do projeto. Os custos de engenharia estão relacionados ao reconhecimento preliminar de campo, aos estudos em escritório, aos serviços de consultoria contratados, ao detalhamento do projeto e sua supervisão e fiscalização, aos estudos necessários à avaliação, seleção, dimensionamento e operação do projeto.

- **Imprevistos** - as estimativas de custos de cada item de um projeto devem incluir os imprevistos, destinados a cobrir gastos em condições adversas e inesperadas. Os imprevistos devem ser incluídos em todas as estimativas de custos, em nível de pré-viabilidade e de viabilidade, sendo computados como percentagens dos investimentos a serem somados aos custos de cada componente do projeto. O custo de um componente após a soma dos imprevistos é chamado "custo de campo". Nas estimativas de custo, no nível de pré-viabilidade, devem ser somados cerca de 30% e cerca de 20% no nível de viabilidade.

(b) **Custos anuais** - São aqueles que ocorrerão ao longo da operação do projeto. Para fins de análise de investimento a depreciação é considerada apenas indiretamente, isto é, no cálculo do fluxo de caixa. Os custos anuais são subdivididos em:

- **Custos financeiros** - aqueles relativos ao investimento, empreitada ou mesmo aos custos anuais que são financiados e pagos durante a operação. Eles são divididos em pagamento do principal e juros.

- **Custos de operação, manutenção e reposição** - são aqueles necessários para o adequado funcionamento dos elementos que constituem o projeto. Tais custos incluem, normalmente, salários do pessoal de operação; custos de mão-de-obra e material necessários para a manutenção e reparos; supervisão; gastos com energia, inspeções e avaliações periódicas e despesas gerais. Os custos de operação referem-se aos custos necessários para estabelecer e cumprir a política operacional adotada (mão-de-obra, energia, assistência técnica, combustíveis, lubrificantes, etc.). Os de manutenção referem-se à conservação preventiva e os de reposição à substituição de elementos com avarias ou problemas operacionais. Esses custos agregam os custos administrativos da empresa responsável pela operação do projeto.

Os fatores que afetam os custos de operação e manutenção de sistemas de irrigação são numerosos e variáveis. Deve-se considerar o tamanho do projeto, os custos de mão-de-obra, o relevo e as condições dos solos que têm um papel importante no número e na complexidade das estruturas de controle, a estabilidade dos canais e estruturas, os problemas de sedimentação e as condições de acesso às estruturas do projeto, a distância de adução de água e o bombeamento.

A energia elétrica consumida é calculada em função do volume bombeado, da vazão de bombeamento, da carga dinâmica total e da eficiência global da bomba e do motor. Os custos da energia incluem, normalmente, uma parte relativa à demanda de potência e outra, ao consumo efetivo de energia. Entende-se por demanda, durante qualquer intervalo de tempo, a potência medida por aparelho integrador, correspondendo à média das potências solicitadas pelo consumidor, durante um intervalo de tempo, usualmente 15 minutos, registrado por medidores de demanda. A tarifa de demanda é o valor de 1 kW de potência demandada, que dá direito à sua utilização pelo período de 1 mês. O consumo efetivo de energia refere-se à quantidade de energia elétrica utilizada durante qualquer período de tempo, expressa em kWh. A tarifa de consumo é o valor de venda de 1 kWh de energia consumida.

Os custos de reposição referem-se à substituição de peças ou de todos os componentes principais que se desgastam durante a vida do projeto. Tais custos devem ser incluídos nas análises financeiras e econômicas. Exemplos de componentes para os quais são estimados são os seguintes: equipamentos hidro-mecânicos e elétricos, tubulações de recalque e demais tubulações pressurizadas, equipamentos de automação, acessórios dos sistemas de irrigação e drenagem e dos equipamentos de operação e manutenção. No planejamento, os custos de reposição de equipamentos podem ser calculados como custos anuais, considerando-se em torno de 30% dos custos totais de operação e manutenção.

- **Tributos e seguros** - constituem os custos que devem ser pagos ao poder público, no caso de taxas, e às empresas seguradoras públicas ou privadas no caso de seguros.

- **Externalidades** - existe outra categoria de custos induzidos pela existência de externalidades negativas sobre grupos sociais, meio ambiente ou outras atividades. Denomina-se externalidade os efeitos das atividades de produção e consumo que não se refletem diretamente no mercado. As externalidades podem surgir entre produtores, entre consumidores, ou entre consumidores e produtores. Existem externalidades negativas e positivas. São negativas quando a ação de uma das partes impõe custos sobre a outra. São positivas quando a ação de uma das partes beneficia a outra.

Por exemplo, uma externalidade negativa ocorre quando uma usina de açúcar e álcool despeja seus efluentes em um rio, de cuja água os usuários à jusante dependem para produção de alimentos, criação de peixes e outras atividades produtivas. Quanto mais efluentes forem despejados no rio, maiores são os problemas de contaminação e intoxicação de animais e plantas, diminuindo o retorno da atividade agropecuária. A externalidade negativa surge porque a usina não tem incentivo para responder pelos custos externos que está impondo aos outros produtores, quando toma a decisão de produção. Uma externalidade positiva poderia ocorrer quando um proprietário agrícola resolve adotar métodos eficientes de

controle de erosão do solo, impedindo o assoreamento do curso d'água do qual ele se beneficia. Todos os vizinhos se beneficiarão dessa atividade, embora a decisão do proprietário não tenha considerado tais benefícios.

Benefícios do projeto - Os benefícios de um projeto abrangem todos os aumentos ou ganhos identificáveis em ativos ou valores, seja em mercadoria, seja em serviços, seja em satisfação subjetiva, direta ou indireta, expressos em valores econômicos ou não. Os benefícios são usados para determinar o tamanho e o propósito de diferentes projetos, comparar méritos econômicos, fazer alocação de custos dos projetos e, em algumas situações, determinar a quantia de ressarcimento. A seguir apresenta-se uma classificação resumida para os benefícios de um projeto de irrigação:

(a) **Benefícios primários** - são aqueles que resultam de ligações físicas com o projeto.

- **Benefícios diretos** - são aqueles que resultam dos objetivos do projeto. Por exemplo, no caso de um projeto de irrigação, os benefícios diretos poderão ser o aumento da renda bruta nas parcelas.

- **Benefícios indiretos** - são aqueles provindos de ligações físicas ou tecnológicas dos resultados do projeto com o ambiente tendo caráter não intencional. Por exemplo, um projeto de irrigação que necessita da construção de um reservatório de regularização de vazões fluviais poderá ter como efeito não intencional o controle de enchentes.

(b) **Benefícios secundários** - são aqueles que ocorrem em função dos estímulos econômicos que o projeto acarreta.

- **Benefícios retrospectivos** - são aqueles que resultam de atividades que produzem insumos para o projeto. Por exemplo, um projeto de irrigação estimula a demanda por tubos, aspersores, bombas hidráulicas, instrumentos para controle da irrigação, fertilizantes, energia elétrica, etc. Isso pode estimular o desenvolvimento de outros projetos que visam a produção desses insumos.

- **Benefícios prospectivos** - resultam de atividades econômicas que utilizam a produção do projeto como insumo. Por exemplo, a produção agrícola de um projeto de irrigação pode estimular o aparecimento de projetos com o objetivo de processá-la. Também, um projeto de irrigação pode promover o aumento do nível de consumo e do nível de vida da população afetada por ele e esses efeitos positivos podem atingir outros setores da economia (indústria e serviços).

(c) **Benefícios do emprego de mão-de-obra** - relaciona-se aos empregos criados direta ou indiretamente pelo projeto e ocupados pela mão-de-obra ociosa sem o projeto.

Considerações sobre a estimativa de custos e benefícios - Os custos e os benefícios econômicos e/ou sociais de um projeto só podem ser definidos em relação aos efeitos que estes produzem nos objetivos fundamentais da economia. Portanto, antes de proceder à identificação dos custos e benefícios devem ser conhecidos os objetivos da política econômica nacional ou regional. Nesse contexto, define-se como benefício o aporte positivo devido à consecução de um ou vários objetivos (aumento do consumo, da produção, das divisas, do emprego etc.). Definem-se como custos aqueles benefícios sacrificados por não utilizar os recursos do projeto (terra, água, capital, mão-de-obra, divisas, etc.) para outros fins.

Tanto os custos como os benefícios de um projeto derivam das obras e atividades conduzidas ao longo da sua vida útil, isto é, no período de tempo em que o projeto serve a um determinado objetivo. Esse período pode variar em função da envergadura do projeto e de sua tecnologia, entre outras variáveis. Desde o início da identificação, seguida da formulação, execução e funcionamento de um projeto, necessitam-se de determinados insumos. Mesmo assim, a partir do momento de sua execução podem ser produzidos efeitos diretos ou

indiretos, por exemplo, sobre o nível de emprego e sobre o meio ambiente, que serão qualificados como benefícios ou custos segundo o critério adotado.

Os benefícios só podem ocorrer depois que o projeto tenha condições para dar início à distribuição de água. Tais benefícios representam o valor bruto da produção, a ser usado na avaliação dos planos alternativos. Em um projeto de irrigação e drenagem, o benefício primário direto é o acréscimo do lucro líquido anual pelo aumento da produtividade em função de possibilitar a incorporação de áreas anteriormente secas, alagadas ou salinizadas ao processo produtivo.

É necessário estabelecer um calendário das obras e atividades do projeto, para localizar os correspondentes custos e benefícios no tempo. Essa necessidade provém do seguinte fato: em geral os indivíduos não são indiferentes perante a alternativa de renunciar ao consumo no presente para possuir mais no futuro. Como consequência dessa atitude, é diferente o valor do incremento de consumo entre o primeiro ano e, por exemplo, vinte anos mais tarde. Portanto, o valor da produção agrícola não será o mesmo em períodos de tempo diferentes. Os responsáveis pela elaboração técnica do projeto devem fornecer aos avaliadores o calendário de necessidades de insumos e produção de produtos. Uma vez localizados no tempo os custos e os benefícios, procede-se a sua localização no espaço e nos grupos sociais afetados.

Se o projeto é de pequena dimensão, esse processo será realizado de forma mais simples. Mas, no caso de projetos de irrigação de grandes áreas, os futuros incrementos da produção e a demanda de insumos podem alterar os preços dos produtos e dos insumos agrícolas correspondentes. Esse efeito se traduzirá numa redução ou aumento de preços, respectivamente, não só para os agricultores da área irrigada como também para aqueles de outras regiões não favorecidas pelos citados incrementos da produção com irrigação.

Vê-se, portanto, que o impacto regional ou local de um projeto pode ser muito amplo e, sobretudo, afetar de forma oposta a diferentes grupos sociais. Também podem ocorrer efeitos negativos devido à implantação de um projeto. Por exemplo, os efeitos negativos sobre o ambiente podem se localizar em regiões diferentes daquelas que se beneficiaram do projeto.

Cada projeto apresenta características próprias, não só do ponto de vista técnico, mas também do social e econômico. Isso porque podem ser diferentes os objetivos perseguidos, os grupos de agricultores afetados, o tipo de financiamento e as condições sócio-estruturais das regiões etc. Tais fatos não permitem que se possa fazer uma lista geral de custos e benefícios válida para qualquer tipo de projeto. Os profissionais responsáveis pela avaliação devem identificá-los em cada caso concreto.

Do ponto de vista privado os custos e benefícios dos bens e serviços utilizados ou produzidos são avaliados pelos preços de mercado onde forem transacionados. Já sob o ponto de vista público o interesse se dirige ao valor social dos bens e serviços o qual nem sempre é refletido nas transações de mercado. Neste caso os preços de mercado poderão ser alterados de forma a virem refletir os preços de conta ou de contabilização desses valores sociais.

Embora os objetivos sejam os mesmos, na análise econômica sob o enfoque da empresa privada o interesse é apenas em bens e serviços cujo uso ou produção represente uma alteração da situação econômica do grupo privado. Já de um ponto de vista público o enfoque é uma alteração da situação social que possa ser quantificada direta ou indiretamente em termos econômicos.

Os projetos de desenvolvimento de recursos hídricos, principalmente públicos, tais como projetos de irrigação, podem destinar-se a vários usos além da irrigação, como geração de energia elétrica, controle de enchentes, abastecimento urbano e industrial e recreação. Nesses projetos para fins múltiplos, devem ser estimados os benefícios atribuíveis a cada uso; os custos, por sua vez, devem ser alocados a cada uso, de modo que, na formação do plano, deve-se maximizar o valor total dos benefícios líquidos resultantes.

Durante os primeiros anos de operação, os projetos de irrigação passam por um processo de maturação, definido como o tempo necessário para que o novo projeto atinja o nível de plena produção, conforme planejado. De um modo geral, esse nível é alcançado mais

rapidamente em projetos privados do que em projetos públicos, sobretudo quando estes são grandes e complexos.

Os projetos públicos levam mais tempo para alcançar a plena produção devido a sua maior complexidade, a duração do período de implantação e os problemas iniciais de assistência técnica. Em geral, considera-se um período de maturação de três a cinco anos. Para um período de 5 anos, por exemplo, admite-se produção nula nos dois primeiros anos, passando a 30% das metas no terceiro, a 60% no quarto e plena produção somente no quinto ano. Os investimentos ocorreriam nos quatro primeiros anos e os custos de produção, a partir do terceiro. Quando os solos são classificados de acordo com uma metodologia de classificação econômica das terras para irrigação, é preferível estimar os benefícios por classe de terra.

Os custos e os benefícios decorrentes de um projeto de irrigação e drenagem ocorrem em diferentes épocas ao longo de sua vida útil. A fase inicial do cálculo econômico consiste em avaliar os custos e receitas anuais para uma série de anos. Para isso, são realizados estudos ano a ano sobre os custos e os benefícios para situações correspondentes à presença e à ausência do projeto. A diferença entre tais situações fornece duas séries, isto é, uma que revela o incremento anual dos custos e, a outra, o incremento anual dos benefícios. A partir dessas séries são calculados índices de rentabilidade.

Em geral os maiores investimentos ocorrem na fase de implantação do projeto enquanto as receitas ocorrem depois que o projeto atinge seu potencial pleno. Economicamente, a época em que os recursos são aplicados ou recolhidos tem importância fundamental, pois uma determinada soma de capital no tempo presente vale mais do que a mesma quantidade dez anos após. Assim, para o cálculo dos índices de rentabilidade, os valores monetários que constituem as séries de incrementos de custos e benefícios devem ser transformados em valores correspondentes a um momento de referência. Para efetuar essa transformação é necessário adotar um determinado valor para a taxa de juros anual. O valor adotado influencia diretamente a estimativa da rentabilidade do projeto. No caso da drenagem, por exemplo, adotando-se valores mais altos, a preservação da área em seu estado natural tende a ficar mais atrativa do que a drenagem, pois o valor presente dos benefícios proporcionados pelo projeto tende a reduzir.

A escolha do valor para a taxa de juros para projetos de longa duração não é tarefa fácil, principalmente em países de grande instabilidade econômica. Na literatura especializada são sugeridos valores entre 8% e 15% ao ano.

O valor presente líquido do projeto pode ser definido como a diferença entre os benefícios e os custos (quando não há produção antes do projeto) ou a diferença entre os incrementos nos benefícios e nos custos (quando existe uma atividade produtiva mesmo sem o projeto), obtida através da transformação das séries de custos e benefícios correspondentes à vida útil econômica do projeto para um ano de referência.

A razão benefício/custo é outro índice de rentabilidade amplamente utilizado em análise de empreendimentos agrícolas públicos. Essa relação é definida como o quociente do valor atualizado dos benefícios (ou incrementos de benefícios) e dos custos e avalia quanto o projeto remunera por unidade de investimento. O desejável é que o valor calculado da razão B/C seja maior que a unidade. Se for inferior a um, significa que a taxa interna de retorno a ser obtida com o capital investido é menor que a taxa de juros utilizada. Se for igual a um, então a taxa de juros utilizada coincidirá com a taxa interna de retorno.

A avaliação completa dos benefícios do projeto deveria incluir todos os efeitos favoráveis, de âmbito restrito ou amplo, para onde quer e para quem quer que fossem dirigidos, dentro da área do projeto ou além dela, reconhecendo também as transferências, cancelamentos e deduções por conta de efeitos negativos em terceiros. Entretanto, isso não é factível, mesmo em termos não monetários, além de ser desnecessário porque a avaliação de projetos não é pesquisa e sim um apoio para os administradores, legisladores e pessoas interessadas na decisão de se realizar o projeto. O melhor a ser feito é uma avaliação dos efeitos mais importantes e prontamente identificáveis na área de influência do projeto, bem como de sua

importância para a nação, a bacia fluvial ou a região, o estado ou o município e para o próprio local de implantação.

O problema em se fazer uma avaliação de benefícios decorre do fato de que eles são apenas parcialmente suscetíveis de análises objetivas em termos de métodos estatísticos e econômicos. Por exemplo, é relativamente fácil falar de irrigação em termos econômicos, porque seus benefícios são medidos por produção e venda. Já no caso de salvamento de vidas pelo controle de enchentes, os benefícios não podem ser expressos em valores econômicos. As limitações legais e institucionais específicas também produzem métodos de cálculo e análise que nem sempre se ajustam a princípios rigorosos de lógica econômica.

Assim, apesar das variações nos métodos de análise de benefícios, há um consenso sobre o modo pelo qual os benefícios são usados no julgamento de projetos. Para que eles possam ser usados na análise de um projeto, devem ser reduzidos a um denominador monetário comum. Alguns benefícios não são suscetíveis de avaliação monetária (benefícios intangíveis), mas têm importância e devem ser considerados paralelamente aos benefícios tangíveis.

Para os projetos de irrigação e drenagem, existem duas formas aceitáveis para considerar os benefícios: (a) pelo aumento do valor bruto da produção (entre as situações sem projeto e com projeto), ou seja, a soma dos aumentos de produção por produto, multiplicados pelos respectivos preços ao produtor; (b) pelo aumento do benefício líquido parcelar (entre as situações sem e com projeto), isto é, o incremento do valor bruto da produção agrícola menos o aumento dos custos desta produção. Quando os benefícios são pela primeira forma, todos os custos parcelares de investimento de irrigação e produção agrícola têm que ser considerados na análise de custo.

A produção agrícola, multiplicada pelo preço pago ao produtor, resulta no benefício bruto da irrigação (receita bruta) utilizado na análise financeira. No caso da análise econômica são usados os preços sombra. Normalmente, no nível de viabilidade, são elaboradas contas culturais e orçamentos parcelares detalhados específicos para o projeto. No nível de pré-viabilidade, procura-se utilizar dados de projetos existentes, ou de bons estudos de viabilidade, referentes a projetos similares na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S.; SOARES, A.A; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

BISCONER, I. Microirrigation system fundamentals. In: STETSON, L.E.; MECHAM, B.Q. (Ed). **Irrigation**. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 11, p.387 – 452.

EVANS, R.G.; WU, I.P.; SMAJSTRALA, A.G. Microirrigation systems. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN. M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. Cap.17, p.632-683.

FINKEL, H.J.; NIR, D. Criteria of the choise of irrigation methods. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.3, n.1, p.92 – 96, 1960.

HOBBS, B. B. Agricultural applications of microirrigation. In: STETSON, L.E.; MECHAM, B.Q. (Ed). **Irrigation**. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 20, p.725 –766.

LAMM, F.R; CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation. In: LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; KAKAYAMA, F.S. **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Developments in Agricultural Engineering 13. Amsterdam: Elsevier, 2007. Cap.13, p.473- 551.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, Amsterdam, v.12, n.2, p.187-192, 1991.

PEREIRA, L.S.; VALERO, J.A.J.; BUENDÍA, M.R.P.; MARTÍN-BENITO, J.M.T. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.

RAPOSO, J.R. **A rega por aspersão**. Lisboa: Clássica Editora, 1980, 339p.

ROBBINS, J.W.D.; VINCHESI, B.E. Overview of irrigation systems. In: STETSON, L.E.; MECHAM, B.Q. (Ed). **Irrigation**. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 2, p.5 – 21.

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

SOLOMON, K.H.; EL-GINDY; IBATULLIN, S.R. Planning and System selection. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN. M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. (Ed.) **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. Cap.3, p.57 -107.