

33

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO



SECRETARIA DE
AGRICULTURA,
PECUÁRIA, PESCA
E ABASTECIMENTO

SUPERINTENDÊNCIA DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



33

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Dione Galvão da Silva

Bárbara dos Santos Esteves

Herval Martinho Ferreira Paes

Elias Fernandes de Sousa

PROGRAMA RIO RURAL
Secretaria de Estado de Agricultura e Pecuária
Superintendência de Desenvolvimento Sustentável

Alameda São Boaventura, 770 - Fonseca - 24120-191 - Niterói - RJ
Telefones : (21) 3607-6003 e (21) 3607-5398
E-mail: microbacias@agricultura.rj.gov.br

Governador do Estado do Rio de Janeiro
Sérgio Cabral

Secretário de Estado de Agricultura e Pecuária
Christino Áureo da Silva

Superintendente de
Desenvolvimento Sustentável
Nelson Teixeira Alves Filho

Silva, Dione Galvão da

Irrigação por aspersão/Dione Galvão da Silva, com a colaboração de Bárbara dos Santos Esteves... [et al.]. -- Niterói: Programa Rio Rural, 2012.

23 p.; 30cm. -- (Programa Rio Rural. Manual Técnico; 33)

Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura e Pecuária.

Projeto: Gerenciamento Integrado em Microbacias Hidrográficas do Norte-Noroeste Fluminense.

ISSN 1983-5671

1. Irrigação por aspersão. 2. Milho - Produção. I. Esteves, Bárbara dos Santos. II. Série. III. Título.

CDD 631.7

Sumário

1. Introdução.....	4
2. Sistema de aspersão convencional.....	5
3. Legislação para a agricultura irrigada.....	6
4. Componentes do sistema.....	6
5. Panorama da produção de milho.....	7
6. Influência da irrigação sobre a produtividade.....	10
7. Necessidade hídrica e manejo da irrigação.....	12
8. Exemplo de projeto de irrigação.....	17
9. Referências.....	22

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Dione Galvão da Silva¹

Bárbara dos Santos Esteves²

Herval Martinho Ferreira Paes³

Elias Fernandes de Sousa⁴

1. Introdução

O sistema de irrigação por aspersão é uma técnica que visa suprir a demanda hídrica da cultura pelo fracionamento de um jato de água em gotas lançadas sobre a superfície do terreno, simulando uma chuva intensa e uniforme. Dentre os métodos de aspersão podem ser citados: convencional, convencional/fixo, rama volante, autopropelido, sistema linear e pivô-central. A escolha destes métodos se dá pelas seguintes condições: tipo de cultura, rotação de culturas, topografia, vazão do sistema, intensidade dos ventos, disponibilidade e emprego de mão de obra especializada, dificuldade de assistência técnica, potencial para automação e capacidade de investimento, entre outras (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2006), a agricultura irrigada está implantada em apenas 6,3% dos estabelecimentos agrícolas brasileiros, sendo que 18% utilizam o pivô central e 35% outros métodos de aspersão. Por outro lado, os Estados Unidos apresentam 37% das áreas agrícolas irrigadas, sendo 50% por meio da aspersão, realizada principalmente por pivô central, segundo o Serviço Geológico dos Estados Unidos (U. S. GEOLOGICAL SURVEY'S, 2011).

Sabe-se que, independente do método, a irrigação surge para garantir a produção agrícola e evitar perda de produtividade, superando, assim, as estiagens e a baixa quantidade e distribuição de chuvas. E para garantia de lucratividade e eficiência do uso da água, a escolha do método deve ser verificada atentamente. Além disso, devem-se considerar as condições da propriedade, como clima, tipo de cultura, caracterização do solo e do terreno, suprimento de água e fatores sociais e econômicos, bem como aspectos legais.

¹ Doutoranda em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
E-mail: dione_galvao@yahoo.com.br

² Doutoranda em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
E-mail: barbarase@yahoo.com.br

³ Doutor em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
E-mail: hpaes@uenf.br

⁴ Professor Titular da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
E-mail: elias@uenf.br

2. Sistema de aspersão convencional

O conhecimento das vantagens e desvantagens da aspersão permite a utilização racional do sistema de irrigação escolhido e o conhecimento das suas características. Os sistemas de irrigação por aspersão apresentam as seguintes vantagens:

- Dispensam a sistematização do terreno, proporcionando economia nos custos de instalações e a utilização em diferentes topografias.
- Permitem flexibilidade na taxa de aplicação de água (precipitação), possibilitando adaptá-la à capacidade de infiltração característica de cada solo ou à fase de desenvolvimento da cultura.
- Possuem boa uniformidade de distribuição de água no terreno, o que aumenta a eficiência de aplicação.
- Apresentam menores perdas por evaporação e por infiltração quando comparados aos sistemas de irrigação por superfície, pois a água é transportada através de tubulações.
- Com o projeto e manejo adequados, reduzem-se os riscos da erosão causada pela aplicação excessiva de água, como ocorre nos casos de irrigação por superfície.
- Permitem melhor aproveitamento do terreno, dispensando a utilização de canais, sulcos ou o plantio em linhas.
- Possibilitam importante economia de mão de obra quando comparados aos métodos de irrigação por superfície. Essa economia torna-se mais evidente em sistemas fixos e mecanizados.
- Controle do microclima, protegendo a cultura contra geadas e, também, através de resfriamento evaporativo em dias mais quentes.
- Aplicação de agroquímicos via água, permitindo tratamentos fitossanitários e também a prática da fertirrigação.

Algumas desvantagens da aspersão são:

- Possui alto custo de investimento e operacional.
- Sua eficiência de aplicação é afetada pela presença do vento.
- Pode favorecer o aparecimento de algumas doenças nas plantas, principalmente fungos. Isso pode ocorrer principalmente quando a aspersão é feita sobre a folhagem das plantas.
- O uso de aspersores de grande alcance em solos argilosos, quando trabalhando com insuficiente pulverização (pressão inadequada), pode causar compactação das camadas superficiais do solo.

3. Legislação para a agricultura irrigada

Conforme Schmidt (2007), a agricultura irrigada pode promover os seguintes impactos: interferir, a montante, com as barragens, canais e linhas de transmissão; a jusante, pela qualidade e disponibilidade da água aos usuários, flora e fauna; contaminação pelo uso intensivo de agroquímicos; salinização; escoamento superficial e erosão, entre outros.

Nesse sentido, pelo reconhecimento dessas interferências ambientais, a agricultura irrigada deve ser licenciada, conforme o termo de outorga, cuja abrangência no Estado do Rio de Janeiro se encontra regulamentada pela Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 3239/99).

Os seguintes usos dos recursos hídricos são sujeitos à outorga:

- derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

As derivações, captações, lançamentos, acumulações de volumes de água considerados insignificantes são considerados independentes da outorga. E ainda, a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural ou urbano, não é considerada impacto significativo que necessite de autorização. Contudo, o uso insignificante não desobriga o respectivo usuário do atendimento de deliberações ou determinações do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA).

No caso de produtor rural, as derivações e captações para usos agropecuários com vazões de até 0,4 litro por segundo, com seus efluentes correspondentes, também são considerados insignificantes, bem como as extrações de água subterrânea inferiores ao volume diário equivalente a 5.000 litros e respectivos efluentes (Lei 4247/ 2003).

4. Componentes do sistema

Aspersores

Os aspersores podem ser considerados como o principal componente do sistema de irrigação, pois são os responsáveis pela distribuição da água na superfície do terreno, através de um ou mais bocais, sob forma de precipitação (Fig. 1).



Figura 1. Demonstrativo de alguns tipos de aspersores e seus respectivos nomes comerciais.
 Fonte: Irrigaplan (2011)

Na escolha do tipo de aspersor a ser utilizado no sistema de irrigação devem-se considerar alguns fatores, como cultura, tipo de solo, qualidade da água, manejo da irrigação, condições desejadas na aplicação da água (pressão, vazão, horários), mão de obra e viabilidade econômica, entre outros. Por outro lado, devem-se considerar as características do próprio aspersor, como eficiência de aplicação, coeficiente de uniformidade, intervalo de pressão e vazão com que trabalha, funcionamento em condições de vento, etc. Na seleção dos aspersores, devem-se utilizar, ainda, tabelas fornecidas pelos fabricantes. Essas tabelas fornecem as características e especificações de cada modelo de aspersor, como o diâmetro dos bocais (mm), a pressão de serviço (mca), a vazão ($m^3 h^{-1}$ ou $L h^{-1}$), o diâmetro de alcance (m) e a precipitação ($mm h^{-1}$), sendo esses valores de precipitação específicos para cada variação na disposição dos aspersores, ou seja, em função do espaçamento utilizado.

Outros critérios são a pressão de serviço, a vazão, o alcance do jato, o tamanho de gotas, o ângulo de lançamento do jato de água, etc. São conhecidos diversos tipos de aspersores, caracterizados pelos distintos princípios de movimento: torniquete, percussão (martelo), hélice, pêndulo e outros. Pode-se ainda classificá-los em rotativos e setoriais com um, dois ou mais bocais.

Acessórios

Para a montagem do sistema no campo são necessárias peças e acessórios, responsáveis pela acomodação da tubulação que conduz a água e sua elevação até os aspersores, em função das irregularidades do terreno. Os acessórios mais comuns para tubulações de PVC são apresentados na Figura 2.

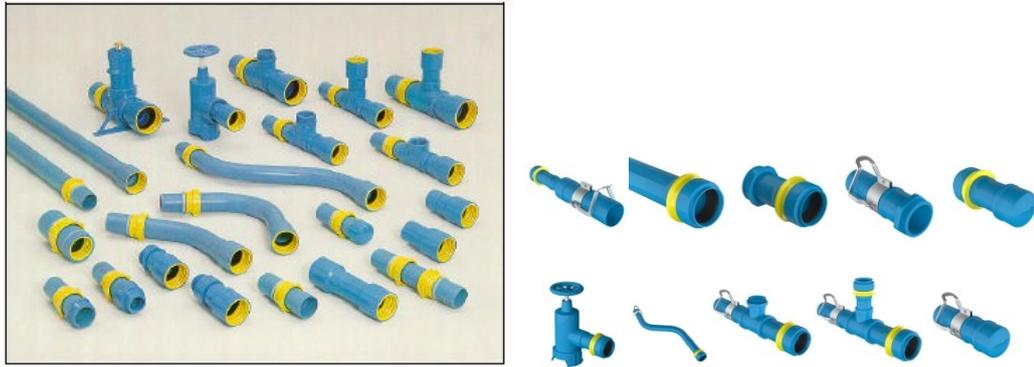


Figura 2. Acessórios para tubulações de PVC com engates rápidos rosqueáveis, alça e bolsa.

Fonte: Nibra Máquinas e Materiais Agrícolas (2011).

Podem-se destacar como principais acessórios: hidrantes, curvas (30°, 45°, 60° e 90°), tampão, tes, redução, cotovelo, válvula de derivação, válvula de retenção, tubo de subida, tripé, manômetro, cruzeta, niple, braçadeira, caps (ou tampão final), etc.

Tubulações

As tubulações são responsáveis pela condução da água desde a motobomba até os aspersores. Existem vários tipos de tubulações, feitas de diversos materiais, e podem ser divididas de acordo com a sua finalidade. As tubulações responsáveis pela condução da água até o sistema de irrigação podem ser chamadas de tubulações de recalque ou linha principal. As tubulações que conduzem a água da linha principal até os aspersores são chamadas de linhas secundárias ou linhas laterais. As tubulações para sistemas de aspersão podem ser feitas de PVC, aço zincado, alumínio (Fig. 3), cimento amianto, concreto e ferro fundido.



Figura 3. Tubos de PVC, aço zincado e alumínio.

Fonte: Asperbrás Tubos e Conexões (2011).

Essas tubulações, em geral, têm comprimento padrão de 6 metros, e o peso, a pressão de serviço e a espessura da parede variam de acordo com o diâmetro e o material de que são constituídos. Os acoplamentos das canalizações são do tipo ponta e bolsa e podem ser enquadrados em duas categorias: por vedação mecânica (soldável) ou por pressão da água no anel de borracha e por

engate rápido (Fig. 2 e 3). Esses acoplamentos, além de facilidade na operação, devem possibilitar alta flexibilidade no alinhamento da canalização, permitindo perfeito ajuste às condições topográficas e também possibilitando a drenagem rápida da água contida em seu interior quando estiver interrompido o funcionamento do sistema, facilitando as mudanças de posição.

Conjunto motobomba

O conjunto motobomba é responsável pela captação da água na fonte (sucção), impulsionando-a pelo sistema, sob pressão, até os aspersores. As fontes de energia que geralmente são utilizadas para o funcionamento dos sistemas de bombeamento são a energia elétrica ou os combustíveis inflamáveis. As bombas são responsáveis pela sucção e recalque da água, proporcionando aos aspersores a pressão de serviço ideal para o seu funcionamento. As bombas centrífugas de eixo horizontal predominam nesse tipo de sistema, podendo ser fixas (estacionárias) ou móveis, montadas em carretas ou acopladas a tratores. As bombas devem apresentar a combinação de rotação, potência e vazão na qual seu funcionamento apresente-se mais eficiente. A escolha do sistema motobomba correto é de fundamental importância para o funcionamento de todo o sistema de aspersão, devendo ser adequada às condições mais comuns de funcionamento.

Para exemplificar, de modo prático, o método de irrigação por aspersão é descrito a seguir para a cultura do milho.

5. Panorama da produção de milho

Região Norte e Noroeste Fluminense

A produtividade média do milho no Brasil está em torno de 4.000 kg.ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011). O rendimento de milho em grãos nas regiões Norte e Noroeste Fluminense se encontra abaixo da média (QUEIROZ et al., 2007). De acordo com o IBGE (2010), o município de São José de Ubá se destaca, com produtividade de 3.500 kg ha⁻¹, situando-se na terceira posição em valor de produção de milho nas regiões Norte e Noroeste Fluminense (Tabela 1).

Tabela 1. Produtividade, área plantada e valor da produção de milho nos municípios das regiões Norte e Noroeste Fluminense.

Município	Produtividade (kg.ha⁻¹)	Área plantada (ha)	Produção (mil reais)
Itaperuna	2.000	1.800	1.260
Bom Jesus do Itabapoana	2.000	1.000	1.000

Cambuci	2.000	560	560
Campos dos Goytacazes	1.500	558	167
Varre-Sai	2.100	520	546
São José de Ubá	3.500	400	700
Cardoso Moreira	1.698	368	156
Italva	2.281	320	438
Miracema	2.900	280	406
Natividade	2.397	234	292
São Fidélis	1.298	231	125
Santo Antônio de Pádua	2.198	202	222
Itaocara	2.000	200	200
Macaé	3.000	200	180
Porciúncula	2.500	180	189
São Francisco de Itabapoana	1.500	100	62
Quissamã	1.500	100	53
Aperibé	2.000	45	45
Laje do Muriaé	1.800	40	24
Carapebus	1.666	6	4

Fonte: Censo Agropecuário (2006).

Como demonstrado, o cultivo do milho é bastante difundido nas regiões Norte e Noroeste Fluminense, porém se deduz que não há investimento em tecnologia ou conhecimentos técnicos para que, na mesma área cultivada, obtenha-se maior valor de produção. Como exemplo, citando o município de São José de Ubá, que apresenta a maior produtividade, com o incremento na área plantada de 450%, ou seja, atingindo a mesma porção cultivada de 1.800 ha do município de Itaperuna, o valor de produção obtido seria de R\$3.150.000,00. Ou ainda, se os mesmos produtores de São José de Ubá atingissem a produtividade de 9.000 kg.ha⁻¹, o valor de produção poderia atingir a cifra de R\$1.800.000,00, em 400 ha de milho em grãos.

6. Influência da irrigação sobre a produtividade

Com relação ao aumento da produtividade do milho, devem-se adotar cultivares que apresentem alta eficiência no uso de nutrientes, com a possibilidade de aumento da densidade de plantio e que sejam responsivas à técnica da irrigação (CRUZ et al., 2010). Além disso, deve-se melhorar o planejamento da lavoura, uma vez que alguns agricultores, para compensar o investimento da irrigação, cultivam intensamente a área de produção e aplicam doses elevadas de fertilizantes, o que não aumenta a produtividade e coloca em risco o meio ambiente (PAVINATO et al., 2008).

Sabe-se que, com a irrigação, pode-se aumentar a produtividade do milho para 9.000 kg.ha⁻¹, aproximadamente (CRUZ et al., 2010), sem o aumento da área plantada. Além do aumento expressivo da produtividade, com o uso da irrigação, o agricultor pode adquirir os seguintes benefícios: produzir sob os veranicos ou em época com irregularidade de distribuição da chuva; produzir na entressafra; e melhorar a qualidade dos produtos comercializados, ou seja, aumentar o valor de produção.

O período de semeadura do milho nas regiões Norte e Noroeste Fluminense vai de setembro a novembro, uma vez que o pendoamento ocorrerá no período em que há distribuição regular de chuva. No entanto, o período após a polinização pode coincidir com altas temperaturas noturnas (acima de 24°C), o que propicia redução de produtividade (CRUZ et al., 2010). Muitos agricultores da região plantam milho no período de março a abril, obtendo o milho "safrinha". Contudo, com a técnica da irrigação, o agricultor pode adiar ainda mais o período de semeadura, ou seja, após o mês de abril. Entretanto, o agricultor deve atentar, principalmente, para as baixas temperaturas, de 19,5°C durante o dia e de 13,1°C durante a noite.

Existem 325 cultivares não transgênicas no mercado. No entanto, devem ser escolhidas aquelas que respondem às condições de manejo oferecidas, como, por exemplo, a irrigação. Nesse sentido, sabe-se que os híbridos simples, principalmente os de ciclo normal ou precoce, por exigirem melhores condições de cultivo, podem expressar maior produtividade e ser cultivados na "safrinha" ou recebendo suplemento por irrigação.

Cultivares de milho como a BRS 3101 podem ter a produtividade reduzida em 64% quando submetidas ao estresse hídrico no florescimento (de 1 a 2 dias), e outras, como a P 3041, podem reduzir em 48%. Pavinato et al. (2008), com o uso do híbrido Pioneer 30F44, obtiveram máxima produção de grãos (11.728 kg.ha⁻¹), com a máxima eficiência do uso de fertilizantes, através da aplicação de 158 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, sob sistema de aspersão, no Rio Grande do Sul.

Cardoso et al. (2004), no Piauí, testaram 43 cultivares de milho sob sistema de aspersão e verificaram que a utilização de plantas com menor porte permite maior adensamento, ou maior número de plantas.ha⁻¹. Observaram, ainda, que os híbridos obtiveram produtividade de grãos de 6.788 kg.ha⁻¹, superando em 23% a produtividade das variedades. Os grupos com maior adaptação ao sistema de aspersão foram os híbridos Pioneer 30 K 75; SHS 5050; BRS 2003; SHS 4050; Pioneer 30 F90; SHS 4080 e Agromen 3050.

Algumas variedades apresentaram produtividade semelhante aos híbridos, como a Sertanejo; CPATC-3; AL 34; Asa Branca e AL Bandeirante. Essas variedades podem ser alternativa para os agricultores familiares produzirem milho irrigado por aspersão.

7. Necessidade hídrica e manejo da irrigação

O milho apresenta consumo hídrico que varia de 380 a 500 mm, dependendo das condições climáticas (CRUZ et al., 2010). A exigência maior de água se dá no período de pendramento e enchimento dos grãos, ou seja, não pode faltar água nessas fases de desenvolvimento, pois há redução da produtividade.

Sobre o manejo da irrigação, enfatiza-se a importância do monitoramento da água aplicada ao milho, seja via clima, solo ou planta. Esse é o princípio essencial para o aumento da eficiência no uso da água e energia elétrica, controle fitossanitário e conservação do solo e da água.

Para a determinação da quantidade de água a ser aplicada por irrigação, utilizam-se as equações expressas como Lâmina de Irrigação Máxima (Equação 1) e Balanço Hídrico (Equação 2).

$$\text{Lâmina de Irrigação Máxima} = ((C_c - P_m)/100) \cdot D_s \cdot F \cdot Z \quad (1)$$

em que,

C_c - Capacidade de campo (% de peso)

P_m - Ponto de murcha (% de peso)

D_s - Densidade do solo (g.cm^{-3})

F - Fator de disponibilidade hídrica

Z - profundidade efetiva (mm); para o milho, varia de 30 a 60 cm.

Na equação em que se determina a lâmina de irrigação máxima, o termo capacidade de campo representa a máxima capacidade de retenção de água do solo e pode ser estimada por meio de teste em campo ou por meio de amostras indeformadas de solo, enquanto o ponto de murcha representa o momento em que a planta não consegue mais absorver água, e também pode ser estimado por amostras de solo, em laboratório. Assim, o intervalo entre a C_c e o P_m é o que realmente a planta possui de água disponível no solo.

Os tipos de solo, de modo geral, como aqueles que possuem textura grossa ou arenosa, apresentam menor capacidade de retenção ou menor capacidade de campo e, conseqüentemente, exigem irrigações mais frequentes para que não seja atingido o valor de umidade referente ao ponto de murcha permanente.

O fator de disponibilidade hídrica (F) indica o valor percentual entre a quantidade de água mínima para que a planta não sofra o déficit hídrico e o máximo conteúdo de água que o solo pode reter na profundidade estimada. Ou seja, o valor F representa o déficit hídrico tolerável (GOMES, 1994) e está localizado em um ponto acima do ponto de murcha permanente. Os valores de F para o milho são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do fator de disponibilidade do milho (F) em função da demanda evaporativa ou da evapotranspiração de referência (ETo).

Demanda evaporativa ou ETo (mm dia⁻¹)		Fator de disponibilidade (F)
Baixa	menor que 2,5	0,75
Moderada	2,5 – 5,0	0,6
Alta	5,0 – 7,5	0,5
Muito alta	maior que 7,5	0,4

Para a determinação da quantidade de água a ser aplicada por irrigação, pode ser utilizada a equação do balanço hídrico (Equação 2), conforme Garcia y Garcia et al. (2009), a qual é estimada a partir da evapotranspiração da cultura (Equação 3) e do turno de Rega (TR). O turno de rega é o intervalo de tempo, em dias, entre duas irrigações consecutivas.

$$IRN = ET_c \cdot TR - PE \quad (2)$$

$$ET_c = ETo \cdot Kc \quad (3)$$

em que:

IRN - Lâmina real necessária (mm)

ET - Evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹)

TR - Turno de rega, dias.

Pe - Precipitação efetiva (mm)

ETo - Evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹)

Kc - Coeficiente de cultura do milho

Para se calcular a quantidade total de água a ser aplicada por irrigação (ITN), é necessário estabelecer a eficiência de aplicação do sistema de irrigação (Ea), que pode variar de 70 a 80% para um sistema de aspersão convencional (Equação 4).

$$ITN = IRN/Ea \quad (4)$$

A evapotranspiração da cultura corresponde à quantidade de água que passa para a atmosfera em forma de vapor pela evaporação do solo e transpiração das plantas. Representa a necessidade hídrica da cultura, sendo, assim, influenciada basicamente pelo clima, tipo de cultura e estado de desenvolvimento.

A evapotranspiração de referência é a taxa de evapotranspiração de uma vegetação hipotética, como exemplo, gramas batatais, de crescimento ativo, de 12 cm de altura, que sombreia todo o terreno cultivado, com suprimento ótimo de água (GOMES, 1994). Pode ser determinada a partir de métodos indiretos, como o tanque Classe A e a equação da FAO (Penman-Monteith), que utiliza dados meteorológicos da região, como temperatura, umidade do ar e velocidade do vento, entre outros.

Os coeficientes de cultivo são valores adimensionais que assumem valores distintos em função do desenvolvimento da cultura (Fig. 4).

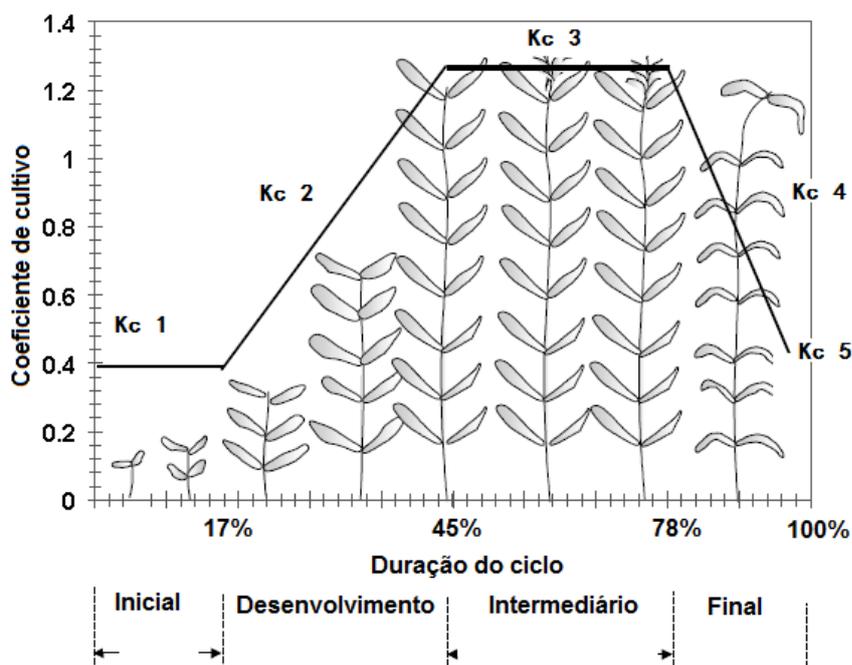


Figura 4. Coeficiente de cultivo (Kc) ao longo do desenvolvimento do milho.
Fonte: Allen et al. (1998), adaptado pelo autor.

O coeficiente de cultura é importante parâmetro para o manejo da irrigação e deve ser ajustado conforme as condições locais de cultivo. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) sugere alguns coeficientes (Tabela 3, proveniente da Fig. 4).

Tabela 3. Coeficientes de cultivo do milho para as fases inicial (Kc 1), desenvolvimento (Kc 2), intermediário (Kc 3), intermediária a final (Kc 4) e final (Kc 5).

Cultura	Estádios de desenvolvimento				
	Kc 1	Kc 2	Kc 3	Kc 4	Kc 5
Milho grãos	0,3	0,3 - 1,20	1,20	1,20 - 0,35	0,35
Milho verde	0,3	0,3 - 1,20	1,20	1,20 - 0,60	0,60

Fonte: Allen et al. (1998), adaptado pelo autor.

O dimensionamento das instalações do sistema de irrigação pode ser realizado com base no valor máximo de evapotranspiração da cultura. A precipitação efetiva, geralmente, não é considerada para os projetos de irrigação, entretanto, a fim de compensar esse parâmetro, adota-se o valor de 80% do valor da máxima demanda hídrica ou máximo valor da evapotranspiração da cultura.

Além das técnicas de manejo de irrigação citadas anteriormente, pode-se calcular a lâmina de irrigação através da determinação da umidade por meio de tensiômetro.

O tensiômetro é um tubo preenchido com água, fechado na sua extremidade inferior com uma placa porosa de cerâmica e com sua extremidade superior fechada hermeticamente (Fig. 5).

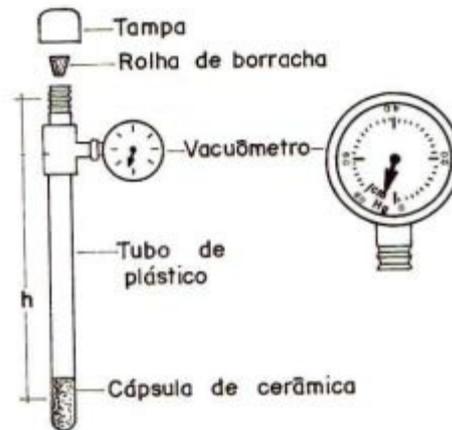


Figura 5. Tensiômetro.
Fonte: Silveira e Stone (1994).

Uma vez instalado no solo ligeiramente seco, a água contida em seu interior move-se através da placa porosa em direção ao solo, desenvolvendo-se um vácuo na extremidade superior, o qual pode ser medido por um manômetro. Se o solo for novamente umedecido por chuva ou irrigação, a água entrará no tensiômetro através da placa porosa, reduzindo o vácuo ou a tensão registrada pelo medidor. Essa tensão é medida em kPa, a qual é correlacionada com a curva de retenção de água do solo. A curva de retenção é um parâmetro importante que revela o conteúdo de água do solo para cada tensão estimada. Através do tensiômetro mede-se a tensão de água do solo que, conseqüentemente, é correlacionada com a umidade, o que possibilita o manejo da irrigação, conforme a Equação 5.

$$\text{IRN} = (C_c - U_{\text{atual}}) \cdot D_s \cdot Z \quad (5)$$

em que:

- C_c - Capacidade de campo (% de peso)
- U_{atual} - Umidade no momento da leitura (% de peso)
- D_s - Densidade do solo (g.cm^{-3})
- Z - profundidade efetiva (mm)

Exemplo de aplicação 1

Sabendo que o solo apresenta capacidade de campo em torno de 32% (peso), ponto de murcha de 20% (peso), densidade de solo de $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$, para uma profundidade efetiva de 300 mm, calcule a lâmina de irrigação para a cultura do milho para certa época do ano, cuja evapotranspiração de referência é em torno de $4,00 \text{ mm.dia}^{-1}$.

$Cc = 32\%$
 $Pm = 20\%$
 $Ds = 1,25 \text{ g.cm}^{-3}$
 $Z = 300 \text{ mm}$
 $F = 0,6$ para demanda evaporativa moderada (2,5 a 5,0 mm.dia⁻¹)
 Lâmina de Irrigação Máxima = $((32 - 20) / 100) \cdot 1,25 \cdot 0,6 \cdot 300$
Lâmina de Irrigação Máxima = 27 mm
 OBS: (1 mm = 1 L.m⁻²)

Exemplo de aplicação 2

Calcule a lâmina real necessária para determinado período crítico de desenvolvimento do milho verde, aos 85 dias após a emergência (fase intermediária). A precipitação efetiva foi nula e a evapotranspiração de referência média nesse período foi de 5,0 mm.dia⁻¹. Pressupor um turno de rega (TR) de 7 dias.

$ET_o = 5,0 \text{ mm.dia}^{-1}$
 $Kc = 1,2$ (K2 fase intermediária vide Figura 5 e Tabela 3)
 $ET_c = 5 \cdot 1,2 = 6,0 \text{ mm.dia}^{-1}$
IRN = $ET_c \cdot TR - P_e = 6,0 \cdot 7 - 0 = 42 \text{ mm}$

Exemplo de aplicação 3

Para o cultivo de milho em grãos, na profundidade de 30 cm, instalou-se um tensiômetro. Em determinado dia, a tensão registrada foi de 40 kPa (kilopascal); segundo a curva de retenção do solo, esta tensão equivale à umidade de 27%. Sabendo que a capacidade de campo do solo em questão é de 35% e a densidade de 1,2 g.cm⁻³, calcule a lâmina de irrigação necessária e a lâmina de irrigação total a ser aplicada, sabendo que a eficiência do sistema é de 75%.

$Cc = 35\%$ (peso)
 $U_{\text{atual}} = 27\%$ (peso)
 $Ds = 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$
 $Z = 300 \text{ mm}$
 $IRN = ((35-27)/100) \cdot 1,2 \cdot 300$
 $IRN = 28,8 \text{ mm}$
 $ITN = 28,8/0,75$
ITN = 38,4 mm

8. Exemplo de projeto de aspersão

Cultivo de Milho Verde

Como demonstrado anteriormente, o dimensionamento das instalações de um sistema de aspersão é realizado com a estimativa da máxima demanda hídrica da cultura, ou pela lâmina máxima de irrigação, esta última em função das características do solo e do fator de disponibilidade hídrico máximo. Geralmente, recomenda-se a utilização desses dados, caso contrário, pode-se calcular a lâmina real necessária em função dos dados de evapotranspiração de referência e coeficiente de cultura.

Outro termo imprescindível para o dimensionamento da irrigação é a determinação da frequência de irrigação ou turno de rega, a partir da relação entre a lâmina de irrigação máxima e o valor máximo de evapotranspiração da cultura. Ou pode ser utilizado um turno de rega fixo, que geralmente é acima de 3 dias.

Além disso, a determinação da velocidade de infiltração básica (Vib) da água no solo é outro termo de suma importância, pois está relacionada com a escolha do método de irrigação. A escolha correta do aspersor, já que a intensidade de precipitação, típica de cada um, deve ser menor ou igual à Vib.

A Vib é expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume de água por unidade de tempo por unidade de área (mm h^{-1} ; $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$) e pode ser determinada pelo teste de infiltração, como infiltrômetro de anel ou de sulco.

Na prática, caso se aplique água a uma taxa elevada em determinado solo com baixa capacidade de infiltração, ou seja, irrigando-se acima da Vib, poderá haver escoamento superficial daquela água aplicada na taxa excedente à sua capacidade de infiltração.

Exemplo de aplicação 4

Simularam-se as seguintes condições para o cultivo de milho em grão, no período de abril a julho, com ciclo de 100 dias. Na Tabela 4 encontram-se os valores de balanço hídrico durante o cultivo do milho.

Tabela 4. Simulação do balanço hídrico para o cultivo do milho.

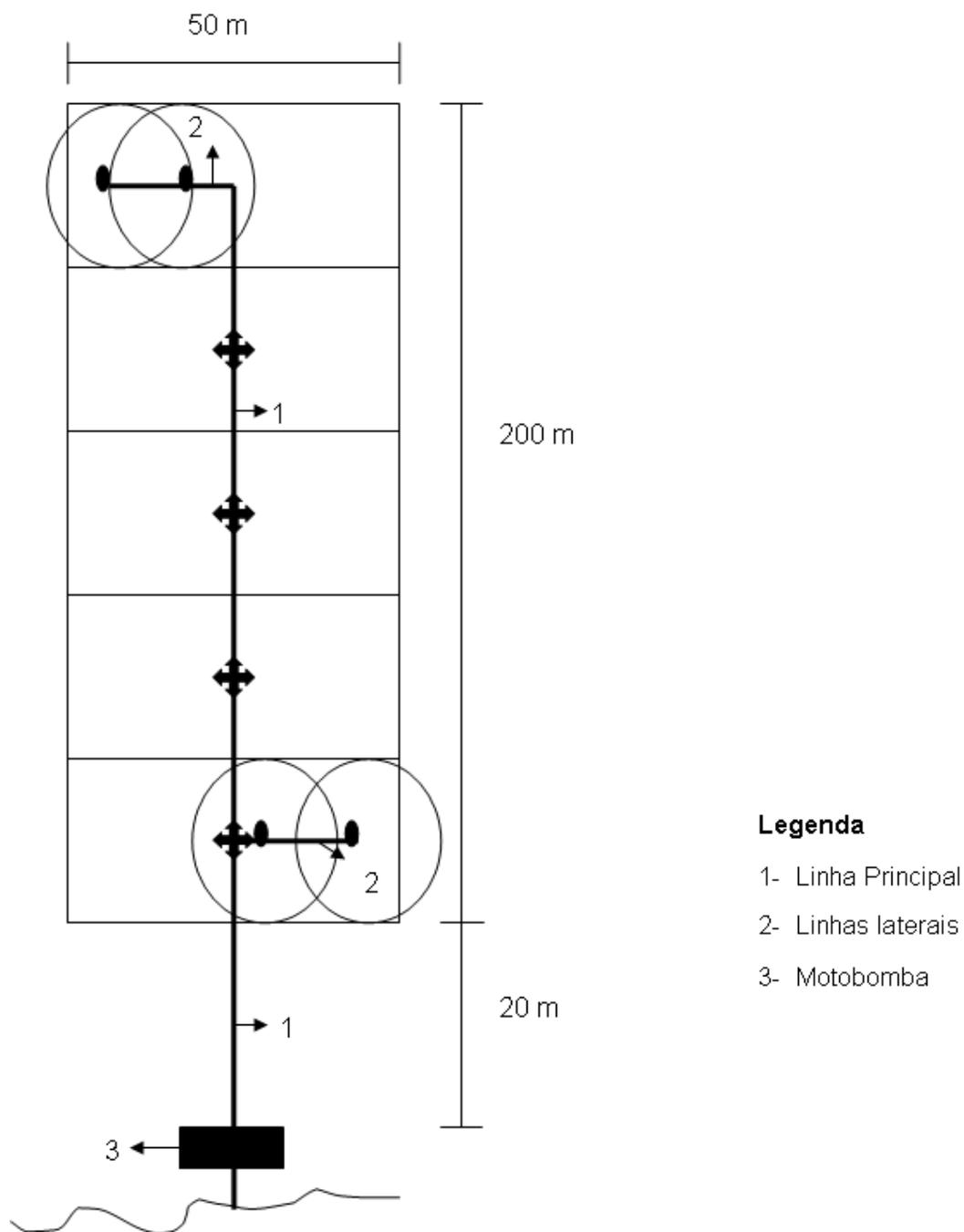
	Abril	Mai	Junho	Julho
ETo acumulado (mm)	150	160	140	55
ETo (mm.dia^{-1})	5,0	5,2	4,7	6,1
Kc médio	0,39	1,10	1,08	0,48
ET (mm)	58,5	176	151	26,4
ET (mm.dia^{-1})	1,95	5,72	5,08	2,93

Para facilitar o manejo de irrigação, adotou-se turno de rega fixo (TR) de 5 dias e, assim, determinou-se a lâmina máxima no projeto de 28,6 mm ($5,72 \text{ mm.dia}^{-1} \cdot 5 \text{ dias}$). Além disso, consideraram-se 2 áreas setoriais de irrigação por dia.

Consideraram-se as seguintes condições para o dimensionamento e detalhamento de custo de implantação de um sistema de aspersão convencional para o milho:

- Irrigação real necessária: $286 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$
- Evapotranspiração máxima da cultura: $5,72 \text{ mm dia}^{-1}$
- Turno de rega: 5 dias
- Vib do solo: $13,0 \text{ mm h}^{-1}$
- Área do terreno: 1ha (200 x 50 m)
- Fonte de água para abastecer o projeto: rio margeando um dos lados da menor dimensão do terreno
- Topografia da área do projeto:
 - menor dimensão do terreno: em nível
 - maior dimensão do terreno: desnível de 2 metros entre os dois extremos
- Distância do início da área do projeto à motobomba: 20 m
- Número de horas de trabalho disponíveis por dia: 8
- Eficiência de aplicação do sistema: 75%
- Rendimento do conjunto motobomba: 80%
- Altura de sucção: 4 m
- Desnível geométrico entre a motobomba e o início da área do projeto: 2 m
- Altura do aspersor: 2,0 m
- Dados técnicos do aspersor a ser utilizado: material plástico (círculo cheio)
- Intensidade de precipitação = $12,7 \text{ mm h}^{-1}$; Vazão = $2,75 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$; Diâmetro irrigado = 26 m; Pressão de serviço = 30 mca; Bocais (mm)= 2,4 x 6,2
- Distância entre aspersores = 12 m
- Distância entre linhas laterais = 18 m

Croqui



De acordo com essas informações, estimou-se que a altura manométrica da bomba seria de 44 mca, sendo a motobomba de 3 cv, modelo CAM W10 ou similar. Os demais materiais encontram-se especificados na Tabela 5.

Tabela 5. Estimativa de custo dos componentes do sistema de irrigação por aspersão.

Componentes	Qtd	R\$/unid*	Total
Sistema de bombeamento			
Motobomba Dancor CAM W10 3 CV trifásica	1	1.114,00	1.114,00
Tubo PVC engate rápido rosqueável 75 mm	1	16,90	16,90
Conjunto de sucção para a motobomba	1	110,00	110,00
Conjunto de saída da motobomba	1	172,00	172,00
Dispositivo de acionamento e proteção elétrica	1	230,00	230,00
Registro de gaveta	1	79,49	79,49
Subtotal 1(R\$)			1.722,39
Linhas laterais			
Tubo PVC engate rápido rosqueável 50 mm	12	14,15	169,80
Aspersores (2,75m ³ .h ⁻¹ 30 mca bocal 2,4X6,2)	4	14,80	59,20
Adaptador para aspersor	4	8,00	32,00
Redução 2" para 1"	4	5,30	21,20
Tubo de subida 1" **	4	3,13	12,52
TE rosca PVC 50/50 mm - TE LF 50	4	6,50	26,00
Tampão final (caps) PVC 50 mm	2	2,56	5,12
Subtotal 2 (R\$)			325,84
Linha principal			
Tubo PVC engate rápido rosqueável 50 mm	35	14,15	495,25
Cruzeta 50/50 mm - TE LF 50	2	54,62	109,24
Tampão final (caps) PVC 50 mm	1	2,56	2,56
Registro de gaveta 50 mm - 1.1/2"	1	79,49	79,49
Subtotal 3 (R\$)			686,54
Outros itens			
Mão de obra de instalação	2	60,00	120,00
Subtotal 4 (R\$)			120,00
Total Geral (1+2+3+4) (R\$)			2.854,77

* Custo obtido para o período de 2010 a 2011.

** Considerou-se que os tubos de subida foram sustentados por varas de bambu apoiados sob o solo, portanto não se orçou o custo de tripés.

O Programa de Geração de Emprego e Renda Rural - PROGER Rural, a partir de recursos do Fundo de Amparo ao Trabalhador, via Banco do Brasil, financia 100 % do custo de instalação de projetos de irrigação, sendo o investimento pago em até 8 anos, com carência de até 3 anos e taxa de juros de 6,25% ano.

Com base nessas informações, e considerando a produtividade de 6.000 kg.ha⁻¹, ao preço do milho de R\$ 0,50. kg⁻¹, realizou-se a avaliação do custo do sistema de irrigação, comprometendo apenas 8% da produção para pagamento do investimento e considerando duas colheitas por ano (a e b).

Tabela 6. Análise financeira de financiamento para a implantação de 1,0 ha de lavoura de milho.

Anos	Investimento	Juros (6,25% AA)	Débito total	Amortização (8% da receita)	Saldo devedor
1a	2.854,77	89,21	2.943,98	240,00	2.703,98
1b		84,50	2.788,48	240,00	2.548,48
2a		79,64	2.628,12	240,00	2.388,12
2b		74,63	2.462,75	240,00	2.222,75
3a		69,46	2.292,21	240,00	2.052,21
3b		64,13	2.116,34	240,00	1.876,34
4a		58,63	1.934,97	240,00	1.694,97
4b		52,96	1.747,93	240,00	1.507,93
5a		47,13	1.555,06	240,00	1.315,06
5b		41,10	1.356,16	240,00	1.116,16
6a		34,88	1.151,04	240,00	911,04
6b		28,47	939,51	240,00	699,51
7a		21,86	721,37	240,00	481,37
7b		15,04	496,41	240,00	256,41
8a		8,02	264,43	240,00	24,43
8b		0,76	25,19	25,19	0

Como se verifica, o investimento se paga no prazo máximo do financiamento (8 anos), com o comprometimento de apenas 8% da produção. Comprometendo 12% da produção, o investimento poderá ser pago até o 5º ano.

9. Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P. D.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p.

ASPERBRÁS TUBOS E CONEXÕES. **Tubulações**. Penápolis, 2011. <http://www.irrigale.com.br/motobomba.html>. Acesso 25/07/2011.

CARDOSO, M. J. et al. Comportamento de cultivares de milho no Estado do Piauí sob condições de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*), 1., 2004, Cuiabá, MT. **Resumos...** Sete Lagoas ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 2004: Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/handle/item/33049>>. Acesso em: 10 maio 2011.

CENSO AGROPECUÁRIO 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 maio 2010.

CENSO AGROPECUÁRIO 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos: quarto levantamento, janeiro 2011. Brasília, 2011. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_boletim_graos_4o_lev_safra_2010_2011..pdf>. Acesso em: 30 nov. 2011.

CRUZ, J. C; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção,1). Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm. Acesso em 17 maio 2010.

GARCIA Y GARCIA, A.; GUERRA, L. C.; HOOGENBOOM, G. Water use and water use efficiency of sweet corn under different weather conditions and soil moisture regimes. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 10, p. 1369-1376, 2009.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: Universitária, 1994. 344 p.

IRRIGAPLAN. **Aspersores**. Petrópolis: O Viajante-Theo Representações, 2011. Disponível em: <http://www.theo1500.com.br/irrigaplan.html>. Acesso em: 25 jul. 2011.

NIBRA MÁQUINAS E MATERIAIS AGRÍCOLAS. **Acessórios**. Joinville: Tigre Tubos e Conexões, 2011. <<http://www.nibra.com.br/irriga.htm>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 38, p. 358-364, mar-abr. 2008.

QUEIROZ, L. R.; COELHO, F. C.; BARROSO, D. G. Cultivo de milho no sistema de aléias com leguminosas perenes. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1303-1309, set./out. 2007.

SCHMIDT, W. **Agricultura irrigada e o licenciamento ambiental**. 2007. 126 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: Embrapa/SPI, 1994, 46 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 27).

U. S. GEOLOGICAL SURVEY'S. **Irrigation water use**. [S.l.]. Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/wuir.html>>. Acesso em: 17 maio 2010.