



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1678-9644

Dezembro, 2005

Documentos 176

Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado

Luís Fernando Stone

Santo Antônio de Goiás, GO
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rodovia GO 462 Km 12 Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533 2123
Fax: (62) 3533 2100
www.cnpaf.embrapa.br
sac@cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Carlos Agustin Rava*
Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*
Membro: *Pedro Marques da Silveira*

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*
Publicação *on line*: *Marcos Aurélio Gonçalves*
Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*
Capa: *Fernando B. P. Simon*

1ª edição

1ª impressão (2005): 500 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Arroz e Feijão

Stone, Luís Fernando.

Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado / Luís Fernando Stone. — Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2005.
48 p. — (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644 ; 176)

1. Arroz irrigado — Irrigação — Método. 2. Arroz irrigado — Requerimento de Água. I. Título. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 633.1887 (21. ed.)

© Embrapa 2005

Autores

Luís Fernando Stone

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e
Nutrição de Plantas

Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás-GO.
stone@cnpaf.embrapa.br

Apresentação

A quantidade de água disponível para irrigação está ficando cada vez mais escassa no mundo. As razões são diversas e específicas para cada localidade, mas incluem decréscimo dos recursos, como rebaixamento do lençol freático e assoreamento dos reservatórios, decréscimo da qualidade, como poluição química e salinização, e competição crescente de outros setores, tais como usuários urbanos e industriais. Em vista disso, como a demanda por alimentos é crescente, os produtores de arroz confrontam-se com três desafios: economizar água; aumentar a produtividade da água; e produzir mais arroz com menos água. Esses desafios não são iguais, embora se sobreponham. O primeiro implica reduzir a fração da água aplicada que não contribui para a formação da produtividade, isto é, as perdas por evaporação, fluxo lateral e percolação, e a quantidade usada quando do preparo do solo com água. O segundo implica aumentar o potencial e melhorar todos os fatores de produtividade. O terceiro é uma combinação dos dois primeiros.

A baixa eficiência do uso da água pela cultura do arroz, isto é, baixa quantidade de grãos produzidos em relação à quantidade de água aplicada na lavoura, ocorre quanto outros componentes do uso da água, além da evapotranspiração, são levados em conta. Os produtores gostariam de reduzir essas perdas desde que elas não estão sendo usadas para o desenvolvimento do arroz em suas lavouras. Isso é particularmente válido quando os produtores têm de despende consideráveis recursos, como custo de bombeamento ou de mão-de-obra, para irrigar a lavoura.

Recentemente, a expressão “técnicas de irrigação que economizem água” foi introduzida para denominar estratégias de irrigação que visam reduzir as taxas de fluxo lateral e percolação. Essas técnicas, entretanto, correm o risco de reduzir a produtividade devido a possíveis efeitos de estresse hídrico na cultura. Assim, as relações entre a aplicação de água e a produtividade do arroz necessitam ser estabelecidas para encontrar a quantidade de água aplicada que pode ser reduzida sem comprometer a produtividade e otimizar seu uso na produção do arroz.

Este documento pretende contribuir para esclarecer o assunto ao descrever os componentes do requerimento de água da cultura do arroz e os fatores que os afetam, e comparar métodos de irrigação quanto à eficiência do uso da água.

Beatriz da Silveira Pinheiro
Chefe-Geral da Embrapa Arroz e Feijão

Sumário

Introdução	9
Necessidade de Água	10
Evapotranspiração	11
Percolação e fluxo lateral	12
Saturação do perfil do solo e formação da lâmina de água	22
Vazão necessária	22
Comparação entre Métodos de Irrigação quanto à Eficiência do Uso da Água	24
Considerações Finais	38
Referências Bibliográficas	40

Eficiência do Uso da Água na Cultura do Arroz Irrigado

Introdução

A quantidade de água disponível para irrigação está ficando cada vez mais escassa no mundo. As razões são diversas e específicas para cada localidade, mas incluem decréscimo dos recursos, como rebaixamento do lençol freático e assoreamento dos reservatórios, decréscimo da qualidade, como poluição química e salinização, e competição crescente de outros setores, tais como usuários urbanos e industriais. Uma vez que a demanda por arroz é crescente devido ao contínuo aumento da população, é necessário produzir mais arroz com menos água, ou seja, aumentar a eficiência do uso da água pelo arroz (Tabbal et al., 2002).

Na agricultura, a eficiência pode ser definida como a razão entre saída de produto e entrada de insumo. De acordo com essa definição, a eficiência não precisa ser adimensional e menor que 1. A eficiência do uso da água (EUA) normalmente é definida como a relação entre a produção de biomassa ou produto comercial pela quantidade de água aplicada ou evapotranspirada. A produtividade do arroz por unidade de evapotranspiração situa-se ao redor de $1,1 \text{ kg m}^{-3}$, podendo ser tão alta quanto $1,6 \text{ kg m}^{-3}$, que é comparável com a de outros cereais. A freqüentemente citada baixa eficiência do uso da água pela cultura do arroz, isto é, baixa quantidade de grãos produzidos em relação à quantidade de água aplicada na lavoura, ocorre quando outros componentes do uso da água, além da evapotranspiração, são levados em conta (Tuong & Bhuiyan, 1999).

Assim, visto ser esse o problema, neste trabalho vamos discutir a eficiência do uso da água pelo arroz considerando-a como sendo a produtividade de grãos em relação à quantidade de água aplicada para a sua obtenção (Borrell et al., 1997). Essa relação também é chamada de produtividade da água (Bouman & Tuong, 2001) ou eficiência da irrigação (Nwadukwe & Chude, 1998). Com base nesse conceito, verifica-se que a Eficiência do Uso da Água (EUA) pode ser aumentada (1) pelo incremento da produtividade do arroz, conservando-se ou aumentando-se proporcionalmente menos a quantidade de água aplicada, ou (2) pela redução dessa quantidade, conservando-se ou reduzindo-se proporcionalmente menos a produtividade, ou, ainda, (3) pela combinação das duas alternativas. A primeira estratégia implica melhoramento agrônômico, a segunda implica reduzir a fração da água aplicada que não contribui para a formação da produtividade, enquanto a terceira combina os dois enfoques. Considerando a situação atual, escassez de água, conflitos no seu uso e a demanda crescente por alimentos, as estratégias (3) e (2), nessa ordem, devem ser priorizadas.

A eficiência do uso da água em nível de lavoura e a produtividade do arroz somente podem crescer concomitantemente pela melhoria de todos os fatores de produtividade, de acordo com a Lei do Ótimo de Liebscher, ou pelo aumento do potencial de produtividade. Isso requer um entendimento detalhado das interações entre água e dinâmica de nutrientes e entre água e plantas daninhas, insetos e doenças (Bouman & Tuong, 2001). A adoção de cultivares precoces, altamente produtivas, tem contribuído para aumentar em 2,5 a 3,5 vezes a produtividade da água na Ásia. O melhoramento de práticas culturais, como melhor manejo de nutrientes e de plantas daninhas, resultou em maiores produtividades do arroz, sem que a quantidade de água usada tenha aumentado (Tuong & Bhuiyan, 1999).

Este trabalho descreve os componentes do requerimento de água em sistemas de produção de arroz e identifica como importantes fontes de perda de água do sistema a usada quando do preparo do solo com água, o fluxo lateral e a percolação, discutindo também estratégias para aumentar a eficiência do uso da água em nível de lavoura.

Necessidade de Água

A quantidade de água realmente requerida pela cultura do arroz irrigado por inundação é aquela usada pelas plantas para crescer e transpirar. Entretanto,

uma certa quantidade adicional é perdida como evaporação da superfície solo-água, fluxo lateral e percolação e, eventualmente, por escoamento por cima das taipas. Essas perdas podem ser minimizadas pelo manejo cuidadoso da irrigação, mas não podem ser eliminadas e são, portanto, tratadas como requerimento. Além disso, na implantação da irrigação, deve-se considerar a quantidade de água necessária para saturar o solo e formar a lâmina de água e a utilizada quando do preparo do solo com água.

Evapotranspiração

A evapotranspiração é o movimento ascendente da água do solo para a atmosfera, através da transpiração da superfície das plantas e da evaporação da superfície solo-água. Esses dois componentes são, geralmente, estudados juntos devido à dificuldade experimental em determiná-los separadamente, porque somente o efeito combinado é importante no manejo da irrigação e, também, porque a radiação solar comanda os dois.

A evapotranspiração do arroz irrigado por inundação depende da demanda evaporativa da atmosfera e é independente da fase de desenvolvimento da cultura (Wickham & Sen, 1978). Assim, de acordo com esses autores, a taxa de evapotranspiração está relacionada com temperatura e umidade do ar, movimento do vento e intensidade e duração da luz solar, e não com número e tamanho das folhas. Valores típicos de evapotranspiração de arroz nos trópicos são 4 a 5 mm dia⁻¹, na estação chuvosa, e 6 a 7 mm dia⁻¹, na estação seca (Tabbal et al., 2002).

No início do ciclo da cultura, a evapotranspiração é, na sua maior parte, composta de evaporação da superfície da água, mas, à medida que a cultura cresce e sombreia a água, a evaporação decresce e aumenta a transpiração do dossel. A energia atmosférica comanda ambos os componentes da evapotranspiração. Assim, a relação evapotranspiração/evaporação da água é altamente estável e próxima de 1. Khandelwal (1991) verificou que, para uma evaporação semanal do tanque Classe A entre 25 e 31 mm, a evapotranspiração semanal do arroz em um lisímetro variou de 29 a 39 mm. O fato de a relação evapotranspiração/evaporação da água ser próxima de 1 significa que a evapotranspiração é limitada pela energia disponível e que, sob condições de campo, a evapotranspiração de um dossel, que é tridimensional, é praticamente igual à evaporação de uma superfície de água, que é plana. Em pequenas

lavouras irrigadas, a evapotranspiração pode ser maior, por causa da energia advectiva trazida até elas por ventos provenientes de áreas não-irrigadas.

Percolação e fluxo lateral

A percolação é o movimento vertical da água além da zona radicular, em direção ao lençol freático. O fluxo lateral é o movimento lateral da água subsuperficial. Na prática, os dois são difíceis de separar, devido aos fluxos de transição, que não podem ser classificados claramente como percolação ou fluxo lateral. O destino final da água percolada é o lençol freático, enquanto o da água proveniente do fluxo lateral é, geralmente, um dreno, riacho ou rio (Figura 1).

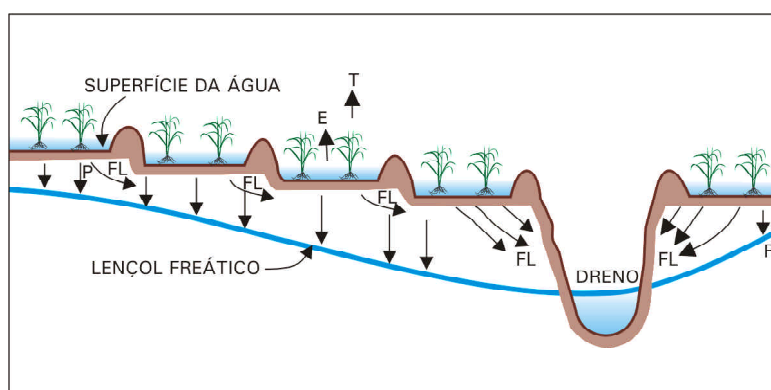


Fig. 1. Perfil de uma lavoura de arroz mostrando, de maneira esquemática, a evaporação (E), a transpiração (T), o fluxo lateral (FL) e a percolação da água (P).

Em áreas relativamente planas, com poucos drenos, ou onde o nível de água nos drenos está próximo da superfície do solo, o fluxo lateral é limitado ao movimento de água através dos tabuleiros de arroz, em resposta ao gradiente de carga hidráulica entre cada lado do tabuleiro.

Embora a taxa de fluxo lateral possa ser alta para um tabuleiro individual, as perdas por fluxo lateral da maioria dos tabuleiros são compensadas pelo fluxo lateral que vem dos tabuleiros mais altos. As perdas líquidas ocorrem somente para o último tabuleiro da lavoura, que está, geralmente, localizado ao longo de um dreno ou de uma área não-plantada, que age como dreno para o sistema inteiro.

De acordo com Johnson (1972), é possível estimar as perdas por fluxo lateral em dez a 40 litros por hora e por metro de perímetro. Wickham & Singh (1978) relataram que, no Sudeste da Ásia, essas perdas se situaram, em média, entre 15 e 20 L h⁻¹ m⁻¹. No Brasil, em Santa Catarina, Eberhardt (1993) mediu perdas por fluxo lateral da ordem de 19% do consumo total. Chakrabarti et al. (1991) relataram valor semelhante para lavouras da Índia, 17% a 19% do consumo total. As perdas por unidade de superfície dependem da relação existente entre a área da lavoura e o seu perímetro. Quanto maior for o perímetro em relação à área, maiores serão as perdas por fluxo lateral. Essa é a razão pela qual as lavouras pequenas apresentam essa perda em maior proporção que as áreas mais extensas. Em áreas com muitos drenos, a perda por fluxo lateral é maior que em áreas com pouca densidade de drenagem, pois o fluxo lateral é recolhido nos drenos.

Painuli (1992) observou que a influência dos drenos na percolação e no fluxo lateral é reduzida a partir de 10 m de distância. A 4 m do dreno, os valores de percolação e de fluxo lateral foram cerca de 2,6 e 5,1 vezes maiores que a 10 e 16 m do dreno, respectivamente. Segundo esse pesquisador, para maximizar a economia de água, as lavouras deveriam situar-se a 21 m dos drenos.

Em um tabuleiro de arroz, as perdas por percolação e fluxo lateral são, geralmente, governadas pela condutividade hidráulica do solo (Kalita et al., 1992). A habilidade de um solo em transmitir água está relacionada com sua estrutura, textura e interfaces entre horizontes, incluindo possíveis "hardpans". As perdas por percolação são quase iguais aos valores da condutividade hidráulica saturada. Essas perdas geralmente aumentam com o incremento da profundidade do lençol freático. Em muitos casos, a percolação aumenta o volume da água subterrânea em velocidade maior que aquela em que ela pode ser transmitida, causando elevação no nível do lençol freático. Quando o lençol freático fica próximo da zona radicular, há marcante decréscimo na percolação. Muitas vezes, a percolação produz um lençol freático artificial acima do verdadeiro. O fluxo lateral também aumenta com o incremento da profundidade do lençol freático, mas as perdas são relativamente menores, em comparação com as perdas por percolação. Ambas as perdas aumentam com o incremento da lâmina de água. O fluxo lateral através dos diques diminui quando as perdas de água por evaporação aumentam.

Bouman et al. (1994) verificaram que perdas por percolação, em lavouras com subsolo com condutividade hidráulica saturada relativamente lenta, K_0 subsolo <

100 a 20 mm dia⁻¹, eram limitadas pela soleira da camada arável pobremente permeável, K_o superfície < 100 a 20 mm dia⁻¹, ou pela baixa condutividade hidráulica do subsolo por si mesma. Nessas condições, as perdas por percolação variaram de 0 a 5 mm dia⁻¹ e de 10 a 15 mm dia⁻¹, respectivamente, e dificilmente foram afetadas pela profundidade do lençol freático, altura da lâmina de água e conteúdo de água subsuperficial. Em lavouras com permeabilidade do subsolo relativamente alta, K_o subsolo > 1.010 mm dia⁻¹, as perdas por percolação podem variar de 0 a 5 mm dia⁻¹, quando a soleira da camada arável é pobremente permeável, a 10 a 50 mm dia⁻¹ ou mais, para uma soleira relativamente permeável, K_o superfície > 100 a 20 mm dia⁻¹. Somente neste último caso, as taxas de percolação são grandemente afetadas pela altura da lâmina de água.

Segundo Tabbal et al. (2002), a profundidade do lençol freático, além de determinar fortemente o requerimento total de água, também afeta a magnitude das reduções de água e perdas de produtividade sob práticas de irrigação que economizem água, como manter o solo saturado ou praticar a inundação intermitente. Com lençóis freáticos superficiais, 10 a 20 cm abaixo da superfície, as taxas de percolação são baixas e o requerimento de água é pequeno, 600 a 700 mm. O potencial para economia de água será baixo, mas o risco de perda de produtividade também é baixo, uma vez que a cultura poderia extrair água do lençol freático para a transpiração. Com lençóis freáticos mais profundos, as taxas de percolação e os requerimentos de água são maiores, acima de 3.500 mm, e o potencial para economia de água e o risco de perdas de produtividade serão altos. Em áreas de arroz, a profundidade do lençol freático varia de 0,1 a mais de 2 m abaixo da superfície, dependendo da topografia, proximidade dos drenos, córregos e canais de irrigação e do uso da terra circunvizinha. As oportunidades e práticas ótimas de manejo da irrigação para economizar água são, portanto, muito específicas para cada local.

Tuong & Bhuiyan (1999) verificaram que, dependendo das condições físicas do solo, as perdas por fluxo lateral e percolação podem variar de 1 a > 20 mm dia⁻¹. Valores típicos para o arroz irrigado variam de 1 a 5 mm dia⁻¹, em solos muito argilosos, a 25 a 30 mm dia⁻¹, em solos arenosos e franco arenosos (Tabbal et al., 2002). Ilango et al. (1991) verificaram que, dependendo da época do ano, as perdas por percolação variaram de 30 a 38% do total de água aplicado à lavoura. Sachet (1977), no Rio Grande do Sul, também encontrou perdas por percolação da ordem de 30% do consumo total de água. Para Chakrabarti et al. (1991),

essas perdas foram iguais a 15%. De acordo com Bouman & Tuong (2001), as perdas por fluxo lateral e percolação dependem das propriedades hidráulicas do solo, cargas de pressão e comprimento e estado das taipas. Tem sido estimado que essas perdas, na Ásia, são responsáveis por cerca de 50 a 80% do total da água aplicada na lavoura e a maioria das estratégias de economizar água concentram-se na redução do fluxo lateral e da percolação. Segundo Wickham & Singh (1978), solos com condições favoráveis ao cultivo de arroz irrigado por inundação devem apresentar de 1 a 2 mm dia⁻¹ de perdas por percolação e fluxo lateral. Solos em que as perdas excedam a 10 mm dia⁻¹ têm sua aptidão para a produção de arroz questionada, especialmente na estação seca.

A percolação, em grande escala, diminui a temperatura da água e do solo, o que pode reduzir a produtividade do arroz. Esse problema é extremamente delicado, principalmente nas zonas temperadas e frias. A percolação excessiva também aumenta a lixiviação de nutrientes. O problema mais importante é o desperdício da água, sendo essencial que as perdas sejam diminuídas, a fim de se conseguir maior eficiência de irrigação (Tsutsui, 1973).

Existem muitos aspectos do solo que influenciam as taxas de percolação e o fluxo lateral. Eles incluem propriedades do solo, tais como textura, contração e fendimento, densidade do solo, mineralogia e matéria orgânica e fatores de manejo, como inundação, altura da lâmina de água, preparo do solo com água e período de irrigação. Embora haja considerável interação e sobreposição nos efeitos de muitos desses fatores, considerar-se-á cada um isoladamente.

Textura - A textura do solo tem grande influência na magnitude das perdas por percolação e fluxo lateral (Tabela 1). A percolação é o principal componente das perdas de água em solos arenosos, e o fluxo lateral domina em solos franco-argilosos e argilosos.

Contração e fendimento - Certos solos, ao secarem, apresentam fendimento e, quando são inundados, ocorrem altas taxas de percolação. Esse fendimento só é removido por meio do preparo do solo. Assim, fendas que se desenvolvem após a cultura ter sido plantada geralmente não desaparecem, porque as linhas de clivagem permanecem intactas.

A percolação pode ser reduzida por medidas que minimizem a formação de fendas no solo ou impeçam o fluxo de água através delas. Um exemplo é a

prática de preparo raso a seco do solo logo após a colheita da cultura anterior (Cabangon & Tuong, 2000). Esse preparo forma pequenos agregados no solo que bloqueiam e impedem o fluxo de água nas fendas e podem reduzir em 31 a 34% a necessidade de água quando do preparo do solo com água. A redução na percolação também aumenta a taxa de avanço da frente de água superficial, o que reduz o período de preparação do solo.

Tabela 1. Magnitude das perdas de água por percolação e fluxo lateral, conforme a textura do solo.

Textura do solo	Perda de água ¹ (mm dia ⁻¹)	
	Fonte: Kung et al. (1965)	Fonte: Nakagawa (1976)
Argilosa	13	10
Franco-argilosa	15	14
Franca	-	17
Franco-arenosa	-	23
Arenosa	27	27

¹Por percolação e fluxo lateral, incluindo a evapotranspiração.

Densidade do solo - O aumento da densidade do solo reduz as perdas por percolação. Pande (1976) verificou que um aumento na densidade de 1,46 para 1,68 Mg m⁻³ diminuiu a percolação de 110 para 14 mm dia⁻¹ e reduziu a condutividade hidráulica de 2,05 para 0,16 cm h⁻¹ em solos lateríticos franco-argilo-arenosos. O efeito é geralmente explicado pela redução do volume de macroporos. Dessa maneira, pode-se concluir que a compactação moderada do solo pode reduzir as perdas por percolação e fluxo lateral. De fato, Acharya & Sood (1992) verificaram, em solo franco-argilo-siltoso, que a compactação reduziu em 83% o volume de poros de transmissão, diminuindo as perdas por percolação em 30%.

Mineralogia - A percolação e o fluxo lateral são grandemente afetados pelo tipo de argila presente. Solos com argila caulinita, que se embebem relativamente pouco e, portanto, quase não mudam sua coesão interagregados após a inundação, são difíceis de dispersar inteiramente no preparo com água e permitem perdas por percolação e fluxo lateral mais altas que solos com argila montmorilonita. Quando úmida, essa argila exibe substancial embebição intercamadas, que tende a decrescer a coesão interagregados. Além disso, o tipo

e a concentração de íons na solução afetam a capacidade de as argilas montmoriloníticas serem dispersas, quando do preparo do solo com água. Argilas saturadas com íons monovalentes são de mais fácil dispersão do que as saturadas com íons bivalentes.

Matéria orgânica - A adição de matéria orgânica ao solo melhora a sua estrutura, aumentando a percolação (Wickham & Singh, 1978). Sanchez (1968) afirmou que solos com alto conteúdo de matéria orgânica são difíceis de serem dispersos quando do preparo com água e, portanto, podem ser esperadas mais altas taxas de percolação e fluxo lateral.

Inundação - A taxa de percolação diminui com a inundação devido às mudanças físicas e químicas que ocorrem no solo, tais como embebição, dispersão, desintegração dos agregados, redução da porosidade pela atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica, que reduz o efeito de ligação dos agregados e leva ao selamento do solo (Harris et al., 1966). Mikkelsen & Patrick, citados por Wickham & Singh (1978), também afirmaram que a estabilidade dos agregados é reduzida pela inundação, o que permite uma completa dispersão do solo quando do preparo com água, reduzindo as perdas por percolação e fluxo lateral. Entretanto, alguns dos agregados destruídos pelo preparo com água são regenerados por óxidos ativos e matéria orgânica, quando o solo seca. Em solos preparados a seco, Sanchez (1968) observou que a estrutura granular pode ser preservada, mesmo após vários meses de inundação.

Altura da lâmina de água - Johnson (1965) mostra resultados de experimentos nos quais as plantas submetidas à lâmina de água de 2,5 cm de altura produziram 5% mais que aquelas cuja altura da lâmina foi maior que 10 cm e afirma que a água profunda inibe o perfilhamento. Em experimento realizado no IRRI, foi observado que a lâmina de água de 2,5 cm de altura, comparada à de 10 cm, produziu igual produtividade e com maior eficiência de uso da água (IRRI, 1967). Na Índia, Pande & Mittra (1970) observaram que a produtividade do arroz irrigado por submersão foi significativamente maior que a do arroz sob saturação, mas não houve diferença significativa entre as lâminas de água de 5 e de 10 cm de altura. O aumento da produtividade nas condições de submersão esteve associado com o incremento do número de panículas por cova e do número de grãos por panícula. Ferguson (1970) verificou que as perdas por percolação foram maiores quando se aumentou a altura da lâmina de água. Stone et al. (1990) também observaram que as perdas por percolação e fluxo lateral

foram maiores nos tabuleiros onde a carga hidráulica foi maior e persistiu por mais tempo. Pande & Mittra, citados por Wickham & Singh (1978), relacionaram o consumo de água com a altura da lâmina (Tabela 2).

Tabela 2. Consumo de água pela cultura do arroz conforme a altura da lâmina de água.

Altura da lâmina de água (cm)	Consumo de água (mm dia ⁻¹)
0 (solo saturado)	7,5
5	15,5
10	18,8

Fonte: Adaptada de Pande & Mittra, citados por Wickham & Singh (1978).

Conforme foi visto, a submersão com lâmina de água baixa sempre traz resultados favoráveis em relação à produtividade e à quantidade de água despendida no cultivo do arroz. Segundo Tsutsui (1972), além da redução na percolação, a vantagem da lâmina baixa, cerca de 5 cm, em relação à de altura maior, é justificada pelas seguintes razões:

- 1) Em água rasa, a temperatura da água durante o dia é alta e, à noite, mais baixa que sob regime de água profunda. Essa diferença de temperatura provoca maior perfilhamento;
- 2) a água rasa é favorável à decomposição da matéria orgânica, o que proporciona melhor desenvolvimento do sistema radicular; e
- 3) teoricamente, a porcentagem média de evaporação é maior sob submersão profunda, devido ao maior armazenamento de energia térmica, resultando em maior evaporação durante a noite.

Entretanto, para se manter a água na altura de 5 cm, é necessário que haja perfeito nivelamento do solo. Outro problema com a lâmina de água baixa é a grande incidência de plantas daninhas. Em muitas áreas de cultivo de arroz, há diminuição no crescimento das plantas daninhas com utilização de lâmina de água mais profunda. Solo úmido mas não-inundado, temperaturas altas e iluminação adequada favorecem o crescimento das gramíneas. Além disso, a falta da lâmina de água dificulta a distribuição eficiente dos herbicidas granulares, e as altas temperaturas e a luz podem estimular a rápida decomposição do componente herbicida de alguns produtos químicos.

Segundo Tuong & Bhuiyan (1999), os produtores mantêm a água profunda para favorecer o avanço da água de um tabuleiro para o outro. Isso é agravado pela preferência do produtor em manter nas lavouras lâminas de água relativamente profundas para controlar as plantas daninhas e reduzir a frequência da irrigação.

Preparo do solo com água - Vários autores têm relatado que a destruição da estrutura do solo pelo preparo com água reduz a percolação (Kawasaki, 1975; Humphreys et al., 1992; Singh et al., 1993). Esse preparo resulta na destruição de 90 a 100% do volume de macroporos e restringe a porosidade apenas ao espaço ocupado pelo filme de água ao redor das partículas de argila. Essa prática aumenta a densidade do solo e diminui a condutividade hidráulica.

Pesquisadores do IRRI encontraram taxas médias de 2,0 e 5,7 mm dia⁻¹ para percolação mais fluxo lateral, para solos preparados com água e a seco, respectivamente (IRRI, 1973). Kawasaki (1975) relatou que, no Japão, as perdas por percolação em solos preparados com água foram iguais a um terço daquelas observadas em solos preparados a seco. Na Austrália, o preparo do solo com água, utilizando enxada rotativa, reduziu a percolação de 3.500 mm para 500 mm, durante a estação de crescimento do arroz (Humphreys et al., 1992). Na Índia, conforme Singh et al. (1993), esse preparo diminuiu a taxa de infiltração de água no solo em mais de 62%. No Brasil, em Santa Catarina, Eberhardt (1993) verificou que o consumo médio de água durante o ciclo do arroz, na parcela em que o solo foi preparado a seco, foi 22% superior ao consumo médio das parcelas em que o solo foi preparado com água. Entretanto, considerando o consumo médio total de água, incluindo o gasto de água para formar a lama, não houve diferença significativa entre os tratamentos de preparo do solo.

Perdas excessivas por percolação, entretanto, podem ocorrer em solos preparados com água através de pequenas áreas não preparadas, que podem ter sido deixadas não intencionalmente durante o processo de preparo, e através das áreas sob as taipas que permanecem não perturbadas e porosas (Tuong & Bhuiyan, 1999). Realmente, Walker (1999) verificou que, em locais onde o arroz é cultivado em lavouras com taipas permanentes e o solo é preparado com água, considerável quantidade de água é perdida através do fluxo lateral para dentro da taipa e dela verticalmente para o lençol freático (Figura 2). As perdas por fluxo lateral aumentam com o aumento da altura da lâmina de água, largura da taipa, espessura e profundidade do lençol freático. Essas perdas não ocorrem em sistemas onde as taipas são reformadas todos os anos.

Dependendo do solo, a degradação das suas condições físicas, ou seja, aumento da densidade e redução da porosidade e da condutividade hidráulica, causada pelo seu preparo com água, desfavorece as culturas em sucessão/rotação com o arroz.

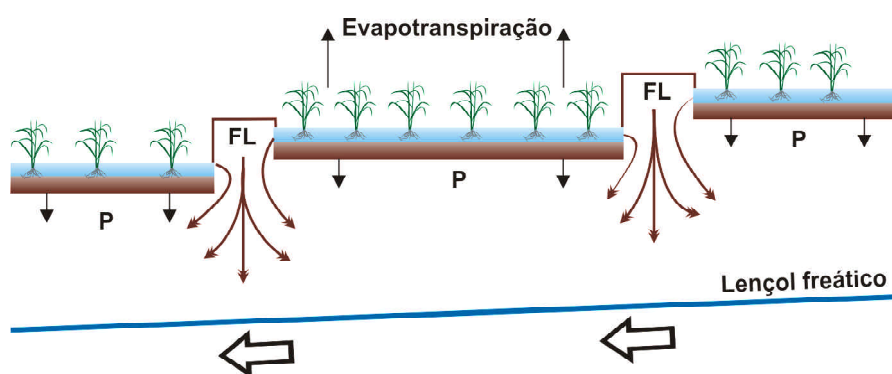


Fig. 2. Perfil de uma lavoura de arroz com taipas permanentes mostrando, de maneira esquemática, a evapotranspiração, a percolação (P) e o fluxo lateral (FL) para dentro das taipas e destas para o lençol freático, em solos preparados com água.

Período de irrigação – Tanto as perdas totais por percolação e fluxo lateral como por evapotranspiração são afetadas pelo período de irrigação. Amaral & Gomes (1983), em Pelotas, RS, verificaram que, para a cultivar Bluebelle, ciclo precoce, as maiores produtividades foram obtidas quando a irrigação foi iniciada aos 30 dias após a emergência do arroz. Para as cultivares de ciclo médio ou longo, esse prazo pode ser estendido para 40 dias (IRGA, 2001). Vahl et al. (1985) verificaram que a cultivar BR-IRGA 410 produziu cerca de 11% mais quando a irrigação foi iniciada aos 42 dias após a emergência, em comparação ao início aos 14 dias. Entretanto, quando a precipitação pluvial não for suficiente para manter o solo em condições adequadas de umidade, para viabilizar o processo de germinação e desenvolvimento das plântulas até o momento de aplicação da lâmina de água definitiva, deve-se irrigar com pequenas lâminas (banhos). Vale ressaltar que a antecipação do início da inundação encurta o ciclo do arroz, pelo fato de a inundação aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, proporcionando um melhor desenvolvimento destas. O ciclo da cultivar BR-IRGA 410, da emergência à floração, foi de 89 dias quando a irrigação iniciou aos 14 dias após a

emergência e de 101 dias, quando esta começou aos 42 dias após a emergência (Vahl et al., 1985). Assim, se por um lado há aumento no consumo de água ao se iniciar a irrigação mais cedo, o mesmo diminui pelo encurtamento do ciclo. Deve ser levado em conta que o teor de umidade do solo é um fator preponderante na determinação do início da irrigação.

No sistema pré-germinado, Vernetti Junior et al. (2002) não encontraram diferenças na produtividade do arroz mantido com uma lâmina permanente de água de cerca de 5 cm a partir da semeadura e do conduzido no sistema preconizado, semeadura feita sobre lâmina de água de 5 a 10 cm de altura, manutenção desta por três a cinco dias e posterior drenagem do tabuleiro para que a lavoura permaneça com nível mínimo de água (solo saturado), e reposição da lâmina após a aplicação do herbicida pós-plantio do arroz, feita geralmente entre 15 e 20 dias após a germinação. Marcolin & Macedo (2002), por sua vez, verificaram que a semeadura com lâmina de água de 7,5 cm e drenagem cinco dias após propiciou maior produtividade de arroz que a manutenção de lâmina de água desde a semeadura, devido à alta infestação de plantas daninhas e à baixa eficiência do herbicida nesta última condição. Entretanto, a drenagem após a semeadura pode onerar os custos de produção, provocar perdas de solo e nutrientes e causar danos aos mananciais de água à jusante das lavouras pela deposição de materiais sólidos.

Com relação à época de drenagem final, Reis (1990), em Lambari e Leopoldina, MG, comparando os efeitos da drenagem final na floração e 10, 20 e 30 dias após, sobre o comportamento das cultivares MG 1 e INCA, concluiu que em Lambari, onde o solo é de drenagem mais rápida, a água só deve ser retirada 20 dias após a floração, enquanto que em Leopoldina, onde o solo é de drenagem mais lenta, a água pode ser retirada mais cedo, próximo da floração. Amaral & Gomes (1983), em estudos conduzidos em Pelotas, RS, em solo argiloso, de difícil drenagem, com a cultivar Bluebelle, verificaram que a drenagem final da lavoura pode ser efetuada aos dez dias após a floração plena. Nessas mesmas condições de solo, para cultivares do tipo moderno, a supressão de água à lavoura deve ser feita aos 15 dias após a floração plena (IRGA, 2001).

Os diferentes resultados observados com relação à época de drenagem final da lavoura de arroz estão relacionados, possivelmente, com as cultivares estudadas e com a redução da umidade do solo após a drenagem.

Saturação do perfil do solo e formação da lâmina de água

A quantidade de água requerida para saturar o perfil do solo depende da porosidade, do grau de saturação do solo antes da irrigação e da profundidade a ser saturada. Quanto maiores forem a porosidade e a profundidade a ser saturada, e quanto menor o grau de saturação inicial do solo, maior será o volume de água necessário. A quantidade de água necessária para formar a lâmina depende, por sua vez, da altura desejada, do tempo gasto na sua formação, da velocidade de infiltração básica e da evapotranspiração durante o período de formação da lâmina. Quanto maiores forem esses parâmetros, maior será o volume de água necessário. No preparo do solo com água, o requerimento de água depende da duração do período de preparo e da evaporação do sistema solo-água, do fluxo lateral e da percolação durante este período.

Vazão necessária

No Rio Grande do Sul, no sistema de tabuleiros em contorno, para suprir a necessidade de água durante o ciclo para os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, é recomendada a utilização de vazões contínuas de 1,5 a 2,0 L s⁻¹ ha⁻¹, num período médio de irrigação de 80 a 100 dias (IRGA, 2001). Solos com textura franco-arenosa ou arenosos e com maior gradiente de declividade necessitam de vazões maiores. O consumo de água também aumenta em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Corrêa et al. (1997) fizeram uma revisão sobre o consumo de água nesse estado. Nos trabalhos revisados, o consumo de água foi estimado por balanço hídrico, não estando contempladas as perdas na condução da água nos canais nem a saída contínua para o dreno, ou seja, foi considerada a irrigação com lâmina de água estática. Nessas condições, o consumo de água variou de 1,15 a 1,76 L s⁻¹ ha⁻¹, ou de 0,77 a 1,02 L s⁻¹ ha⁻¹, quando foi considerada a precipitação pluvial. Ainda no RS, Machado et al. (2002), comparando, por dois anos, os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante de mudas verificaram que a variação no consumo de água entre eles foi pequena. Se a água utilizada para o preparo do solo (pré-germinado e transplante) ou para formação da lâmina (mix de pré-germinado) fosse oriunda da chuva, haveria nesses sistemas o decréscimo no consumo de 1.285 m³. Segundo Bouman & Tuong (2001), o requerimento de água para o preparo do solo na Ásia é teoricamente de 150 a 200 mm, mas pode ser tão alto quanto 650 a 900 mm, se a duração for longa, 24 a 48 dias.

No sistema de plantio com sementes pré-germinadas, mais comum em Santa Catarina, o período de irrigação é maior, iniciando-se no preparo do solo. Apesar disso, em geral ocorre menor consumo de água. Para o preparo do solo, aplica-se uma lâmina de água de 4 a 5 cm sobre a superfície, mais a lâmina necessária para saturar o solo. Normalmente, são necessários de 1.000 a 2.000 m³ ha⁻¹. Por ocasião da reposição de água, após a aplicação do herbicida pós-plantio do arroz, que deverá ser feita em um ou dois dias, é recomendável uma vazão mínima de 2 a 3 L s⁻¹ ha⁻¹, o que sugere um escalonamento na aplicação do herbicida, para evitar falta de água na reposição da lâmina. Para a manutenção da lâmina, vazões em torno de 1 L s⁻¹ ha⁻¹ são suficientes, tendo em vista a baixa percolação da água no solo, devido à formação da lama (IRGA, 2001).

Em Goianira, GO, Stone et al. (1990), em solo de textura argilo-arenosa, verificaram que, para a manutenção da inundação contínua ao longo do ciclo do arroz, foram necessários 7,4 L s⁻¹ ha⁻¹. Quando se combinou inundação intermitente na fase vegetativa com inundação contínua na fase reprodutiva, a vazão necessária foi reduzida para 4,9 L s⁻¹ ha⁻¹ e, com inundação intermitente durante todo o ciclo, para 2,1 L s⁻¹ ha⁻¹.

Nas várzeas do Estado do Tocantins, o consumo de água depende, principalmente, da altura do lençol freático que, por sua vez, depende do nível de água dos rios, o qual é afetado pelo regime de chuvas. Na época em que ocorrem menos precipitações pluviais, o requerimento de água é da ordem de 4,0 a 4,5 L s⁻¹ ha⁻¹ (Santos et al., 2002).

Na determinação da capacidade do canal principal, devem ser levadas em conta as perdas por condução que, em canais de terra não-revestidos, variam de 25% a 50% do total de água que passa pelo canal (Ipeas, 1973). Essas perdas são devidas à evaporação e à infiltração e dependem da área molhada do canal, do seu tempo de utilização e da velocidade de infiltração no solo (Corrêa et al., 1997).

É importante salientar que nem toda a água infiltrada constitui-se necessariamente em perda, já que uma parte dela poderá alimentar o lençol freático de áreas adjacentes irrigadas. As perdas tendem a ser menores em canais velhos, devido ao selamento dos poros. Os valores da velocidade de infiltração variam com o tempo, tendendo a um valor residual à medida que ocorre a

saturação do solo (Tabela 3). A manutenção do canal permanentemente com água durante o ciclo da cultura é uma prática recomendada, já que isso manteria a velocidade de infiltração igual ou muito próxima de seu valor residual (Corrêa et al., 1997).

Tabela 3. Velocidade de infiltração final de água em canais de terra não-revestidos.

<i>Solo</i>	<i>Velocidade de infiltração ($m^3 m^{-2} dia^{-1}$)</i>
Argiloso	0,08 a 0,25
Areno-argiloso	0,30 a 0,45
Arenoso	0,45 a 0,60
Com cascalho	0,90 a 1,80

Fonte: Adaptada de Bernardo (1982).

Comparação entre Métodos de Irrigação quanto à Eficiência do Uso da água

A inundação contínua pode ser feita com lâmina de água estática ou corrente. A água parada, continuamente, na lavoura, apesar de tornar-se estagnada, normalmente não é prejudicial às plantas de arroz. A eficiência da irrigação com água corrente é menor que a da irrigação com lâmina de água estática, se a água não for convenientemente utilizada. Existe o perigo de os nutrientes do solo serem carregados pela corrente de água. Não há diferença em evapotranspiração e percolação para qualquer um dos sistemas.

No Brasil, 76% das lavouras irrigadas estão localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2002), onde há predomínio de utilização de tabuleiros em contorno, que requerem menor sistematização do solo. Geralmente é feito apenas um aplainamento visando a eliminar as irregularidades excessivas do terreno. Nesse sistema de irrigação, a água é colocada no tabuleiro mais elevado. Após ter sua lâmina estabelecida, a água passa ao tabuleiro imediatamente inferior, e assim por diante, até o último, onde, então, a água excedente escoar para um dreno. Assim, tem-se um sistema contínuo de entrada e saída de água, o que caracteriza a irrigação com água corrente. Esse é o sistema mais praticado no mundo (Tuong & Bhuiyan, 1999). Em outras partes do país, onde se utilizam tabuleiros retangulares, com derivação da água e drenagem individuais, é mais utilizada a inundação com

lâmina de água estática. Neste último caso, ao contrário dos tabuleiros em contorno, pode ser utilizada a inundação intermitente, sistema em que a lâmina de água é repostada após um intervalo de tempo desde o seu desaparecimento no tabuleiro.

Segundo Corrêa et al. (1997), o sistema utilizado no RS caracteriza-se por elevado consumo de água e baixa eficiência. A principal razão da utilização da inundação contínua com água corrente é o controle da temperatura. Nos trópicos, a água corrente resulta na diminuição da temperatura do solo, o que pode ser considerado um benefício. Nas regiões quentes do Japão, por exemplo, a irrigação com água corrente é adotada para baixar a temperatura do solo e, assim, diminuir os danos causados pelas altas temperaturas. Entretanto, Mota et al. (1990) ressaltaram que, pelo fato de o clima do RS não ser tropical, pode-se utilizar a inundação contínua com lâmina de água estática, ou uma combinação desta com a inundação contínua com água corrente, de tal forma a compatibilizar uma redução no consumo com a manutenção da temperatura dentro de um intervalo aceitável.

Entretanto, no sistema mix de pré-germinado, que consiste em utilizar sementes pré-germinadas em área com vegetação dessecada e previamente inundada, a decomposição anaeróbica da palha presente na área pode provocar a formação de substâncias tóxicas, afetando o estabelecimento das plântulas. Para esse sistema, Pinto et al. (2003) verificaram que a manutenção de uma lâmina de água estagnada sobre o solo reduziu a produtividade de arroz em relação ao manejo da água com drenagem e com fluxo de superfície.

A inundação intermitente é praticada, principalmente, em áreas com suprimento limitado de água. Pode ser também uma boa opção para áreas servidas por bombeamento, mas não deve ser implantada sem um prévio estudo econômico. Produções satisfatórias de arroz são obtidas sob inundação intermitente, quando a umidade do solo é mantida perto da saturação, durante o período de não-submersão. Entretanto, no Brasil, este método foi pouco adotado porque requer:

- 1) completo sistema de irrigação e drenagem, envolvendo altos custos;
- 2) práticas de manejo de água desconhecidas por aqueles que normalmente utilizam inundação contínua; e
- 3) controle mais eficiente de plantas daninhas, pois algumas dessas plantas crescem mais facilmente sob este método de irrigação.

A maior contribuição da inundação intermitente para o uso econômico da água é a diminuição das perdas por escoamento superficial, pelo melhor aproveitamento da precipitação, e das perdas por percolação, que são maiores nas lavouras inundadas.

O sucesso da inundação intermitente, sob o ponto de vista da relação água-solo-planta, está condicionado à manutenção do teor adequado de água no solo durante o período de não-submergência. Vários estudos indicam que a produtividade do arroz decresce quando a umidade do solo é menor que 70 a 80% da saturação. Quando a umidade se torna inferior a 50% da “capacidade de campo”, a produtividade do arroz cai para a metade ou até um terço do obtido sob condições de saturação (Tsutsui, 1972). Wopereis et al. (1996) verificaram que a expansão foliar pára completamente quando o potencial matricial da água do solo situa-se entre -50 e -250 kPa, dependendo da idade da cultura e da estação de crescimento, a transpiração por unidade de área foliar declina abaixo de -100 kPa, e o enrolamento da folha e a senescência precoce começam abaixo de -200 kPa.

Os efeitos do estresse hídrico no arroz irrigado podem ocorrer quando o conteúdo da água do solo cai abaixo da saturação. O arroz tem vários mecanismos que são acionados em tais condições. Bouman & Tuong (2001) apresentam uma lista compilada de vários autores:

- 1) Inibição da produção de folhas e declínio da área foliar, levando ao retardamento do crescimento foliar e da interceptação da luz e reduzindo a fotossíntese do dossel. O estresse hídrico afeta tanto a divisão como a expansão celular, embora a primeira pareça ser menos sensível.
- 2) Fechamento do estômato, reduzindo a taxa de transpiração e a fotossíntese. Entretanto o estômato foliar não se fecha imediatamente com o estresse hídrico, e a cultura continua fotossintetizando por um certo período antes do seu fechamento. Os assimilados não são usados para o crescimento ou expansão celular (ver item 1), mas são armazenados nas folhas, colmos e raízes. Quando o estresse é aliviado, os assimilados podem tornar-se disponíveis e levar a um fluxo de crescimento foliar.
- 3) Enrolamento da folha, levando a uma redução na área foliar efetiva para a interceptação da luz. As folhas se desenrolam novamente quando o estresse é aliviado.

- 4) Aumento da senescência foliar, resultando na redução da fotossíntese do dossel.
- 5) Mudança na partição dos assimilados. As raízes crescem mais às expensas da parte aérea durante o desenvolvimento vegetativo, enquanto a partição dos assimilados entre os vários componentes da parte aérea não é afetada. Raízes mais profundas são efetivas na exploração da água armazenada nas camadas mais profundas do solo.
- 6) Redução na altura da planta, embora não seja provável que esta redução por si só resulte em redução na produtividade.
- 7) Atraso na floração. Estresse hídrico no desenvolvimento vegetativo pode atrasar a floração em 3 a 4 semanas em cultivares não sensíveis ao fotoperíodo. O atraso na floração é maior quanto mais cedo, na fase vegetativa, ocorrer o estresse hídrico.
- 8) Redução no perfilhamento e morte de perfilhos. Estresse hídrico antes e durante o perfilhamento reduz o número de perfilhos e de panículas. Se o estresse for aliviado a tempo, e o tamanho da fonte, isto é, as folhas e colmos fotossintetizantes, for suficientemente grande, a redução no número de perfilhos/panículas pode ser compensada pelo aumento no número de grãos por panícula e/ou pelo aumento da massa dos grãos.
- 9) Redução no número de espiguetas com estresse hídrico entre a diferenciação da panícula e a floração, resultando em decréscimo no número de grãos por panícula.
- 10) Aumento da esterilidade de espiguetas com estresse hídrico na floração e no início do enchimento dos grãos, resultando em decréscimo na porcentagem de espiguetas cheias e, portanto, decréscimo no número de grãos por panícula. Especialmente na antese, há um curto período de tempo quando a fertilidade das espiguetas é especialmente sensível ao estresse hídrico.
- 11) Decréscimo na massa de 1.000 grãos com estresse hídrico após a floração.

Os processos acima aparecem mais ou menos na ordem do desenvolvimento da cultura e/ou severidade do estresse hídrico, embora os de números 2 a 4 também ocorram no estágio reprodutivo. Alguns efeitos conduzem a processos irreversíveis de redução da produtividade, como os de números 4, 9 e 10, enquanto outros podem ser restaurados quando o estresse é aliviado, como o 2 e o 3, ou compensados por outros efeitos que ocorrem mais tarde na estação de crescimento, como o 1, 2 e 8. Finalmente, o estresse hídrico pode também afetar a eficiência do uso de nutrientes pela cultura, uma vez que o fluxo de água é o meio essencial de transporte de nutrientes. Como a produtividade é finalmente

afetada pelo estresse hídrico depende da época, severidade ou duração e frequência de sua ocorrência.

A subirrigação pela elevação do nível do lençol freático vem sendo usada no Brasil, em várzeas não-sistematizadas. O solo, normalmente, permanece saturado durante grande parte do ciclo da cultura. Neste método, embora o requerimento de água seja menor que no de inundação contínua, as plantas daninhas são um grande problema. Segundo Barbosa Filho et al. (1983), a subirrigação pode minimizar os problemas de toxicidade de ferro, pois a absorção deste elemento pelas plantas é menor com saturação que com inundação contínua (Alva, 1981; Verma & Tripathi, 1981; Stone et al., 1990).

Os métodos de irrigação para a cultura do arroz têm sido comparados por vários pesquisadores. A irrigação por inundação contínua normalmente propicia maior produtividade (Wells & Shockley, 1978; Navarez et al., 1979; Sharma & Rajat, 1979; Iruthayaraj, 1981; Sahrawat, 1981), devido à eliminação do estresse hídrico, melhor controle de plantas daninhas, aumento na disponibilidade de certos nutrientes e expressão diferencial das doenças; não obstante, produtividades similares têm sido observadas com inundação contínua e intermitente (Subramanian et al., 1978; Sandhu et al., 1980; Jha et al., 1981). A inundação contínua também propicia melhor controle da temperatura do solo e maior facilidade no manejo da água (Tsutsui, 1972) em comparação com a inundação intermitente. Esta, por sua vez, exige menor volume de água (Subramanian et al., 1978; Sandhu et al., 1980). Com relação à manutenção do solo saturado, diversos pesquisadores têm verificado menor produtividade do arroz nessa condição, comparada com a inundação contínua (Jha et al., 1978; Moraes, 1980; Alva, 1981; Panda et al., 1981). Entretanto, em estudos mais recentes, outros pesquisadores (Borrell et al., 1997; Nwadukwe & Chude, 1998; Tuong & Bhuiyan, 1999; Bouman & Tuong, 2001; Tabbal et al., 2002) não observaram diminuições significativas na produtividade em relação à inundação contínua, com considerável economia de água, no caso da saturação.

Realmente, numerosos estudos têm demonstrado que reduzir a altura da lâmina de água, manter o solo saturado ou inundação intermitente pode economizar 30 a 75% da água de irrigação, sem diminuições substanciais na produtividade, em comparação com a inundação contínua. Essas técnicas são mais efetivas em solos mais arenosos, em que as perdas por fluxo lateral e percolação são mais responsivas a mudanças na altura da lâmina de água (Tuong & Bhuiyan, 1999).

De acordo com Bouman & Tuong (2001), a quantidade de água aplicada pode ser reduzida pela substituição da inundação contínua pela manutenção do solo saturado ou pela inundação intermitente. Entretanto a produtividade do arroz irrigado é reduzida quando o conteúdo de água do solo cai abaixo da saturação. A água economizada sob condições de saturação foi, em média, no centro-norte da Índia e nas Filipinas, de 23% ($\pm 14\%$), com reduções na produtividade de somente 6% ($\pm 6\%$). As produtividades foram reduzidas em 10 a 40% quando se permitiu que os potenciais de água do solo na zona radicular atingissem -10 a -30 kPa. A magnitude da redução na produtividade depende mais da severidade do estresse hídrico e da sua frequência que do estágio em que ela ocorre. Em solos argilosos, a irrigação intermitente pode levar ao fendimento do solo, aumentando as perdas de água e o seu requerimento e diminuindo a produtividade da água. A produtividade da água em arroz com inundação contínua é de 0,2 a 0,4 kg m⁻³ na Índia e 0,3 a 1,1 kg m⁻³ nas Filipinas. Ela depende da perda de água do solo como fluxo lateral e percolação, do potencial de produtividade como determinado pela cultivar e clima, e de outros fatores da produção tais como nutrientes, defensivos, entre outros. Práticas de economia de água aumentam a produtividade da água até um máximo de cerca de 1,9 kg m⁻³, mas diminuem a produtividade e, portanto, não conduzem à produção de mais arroz com menos água, considerando uma única lavoura.

Nwadukwe & Chude (1998) obtiveram, na Nigéria, maior produtividade e maior eficiência da irrigação com um esquema de irrigação que mantinha a umidade do solo na saturação, 0 a -5 kPa, do que na "capacidade de campo", -8 a -10 kPa, ou com o solo submerso, 2,5 cm de lâmina. Somente 47% e 40% da água usada para manter a submersão foi usada para manter a saturação e a capacidade de campo, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito do esquema de irrigação na produtividade do arroz, eficiência da irrigação e economia de água.

<i>Esquema de irrigação</i>	<i>Produtividade (kg ha⁻¹)</i>	<i>Eficiência da irrigação (kg ha⁻¹ mm⁻¹)</i>	<i>Economia de água (%)</i>
Submersão	4.250	2,1	-
Saturação	5.825	5,7	53
Capacidade de campo	3.350	4,0	60

Fonte: Adaptada de Nwadukwe & Chude (1998).

Segundo Borrell et al. (1997), nas condições da Austrália, não é necessário inundar a lavoura para obter altas produtividade e qualidade dos grãos. Comparada com a inundação contínua, a saturação do solo economizou 32% de água (Tabela 5). Há maiores problemas com plantas daninhas, mas elas podem ser controladas. A seleção do sistema de irrigação em condições de escassez de

Tabela 5. Água aplicada, produtividade e eficiência do uso da água para produção de grãos (EUA), em duas estações de cultivo e cinco sistemas de irrigação¹.

<i>Esquema de irrigação</i>	<i>Água aplicada (mm)</i>	<i>Produtividade (kg ha⁻¹)</i>	<i>EUA (kg ha⁻¹ mm⁻¹)</i>
Estação seca			
Inundação contínua	1.351a	8.750a	6,5
Inundação a partir do estádio de 3ª folha	1.320a	8.220a	6,3
Inundação a partir da diferenciação da panícula	1.170b	7.890a	6,7
Saturação	904c	7.340a	8,2
Inundação intermitente	764d	5.070b	6,6
Média	1.102	7.460	6,9
Estação chuvosa			
Inundação contínua	1.286a	6.120a	4,8
Inundação a partir do estádio de 3ª folha	1.228b	4.560b	3,7
Inundação a partir da diferenciação da panícula	1.075c	4.210bc	3,9
Saturação	833d	4.020bc	4,8
Inundação intermitente	873d	3.630c	4,1
Média	1.059	4.510	4,3

¹Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna e estação de cultivo, não diferem significativamente (P < 0,05).

Fonte: Adaptada de Borrell et al. (1997).

água não deve basear-se somente no critério de eficiência do uso da água, mas também no uso total da água. A saturação obedece aos dois critérios. Com menos percolação, houve o abaixamento do lençol freático que, nas condições estudadas, era muito superficial, permitindo o cultivo de culturas de sequeiro.

Para Tabbal et al. (2002), a saturação do solo reduz substancialmente a quantidade de água aplicada, em comparação com a inundação contínua, sem decréscimo significativo na produtividade. Ela resultou em 5% de redução na produtividade, 35% de redução na água aplicada e 45% de aumento na produtividade da água. A irrigação intermitente pode reduzir a água aplicada, mas, na maioria das vezes, às expensas de perdas crescentes de produtividade. Medeiros (1995), entretanto, verificou que a inundação contínua, iniciada aos 18 ou 36 dias após a germinação, resultou, respectivamente, em produtividades cerca de 40% e 26% maiores que a manutenção do solo saturado durante todo o ciclo da cultura.

Os efeitos dos métodos de irrigação sobre a produtividade e seus componentes foram observados por Stone et al. (1990). O número de panículas por m² foi menor sob inundação contínua (Tabela 6). A presença de lâmina de água contínua durante a fase vegetativa inibiu o perfilhamento, o que concorda com Yamada (1964), Stone et al. (1979b) e Santos et al. (1999). Por outro lado, a retirada da água durante o período de perfilhamento pode trazer vantagens à produtividade, estimulando o sistema radicular a se aprofundar, em virtude da maior umidade nas camadas mais profundas do solo, aumentando o seu acesso aos elementos fertilizantes do solo, reduzindo o acamamento, pois o colmo fica com mais resistência e com menor crescimento, melhorando o perfilhamento e as condições de aeração do solo. Por sua vez, o número de grãos por panícula, obtido sob inundação contínua durante todo o ciclo, foi significativamente superior aos obtidos com inundação intermitente ou subirrigação, mas não diferiu do observado sob inundação contínua apenas na fase reprodutiva. A massa de 100 grãos também apresentou tendência a ser maior sob inundação contínua durante todo o ciclo, ou parte dele, apesar de diferir, significativamente, apenas em relação à subirrigação. Esses resultados evidenciam a importância da presença da lâmina de água na fase reprodutiva do arroz para a maximização destes componentes da produtividade, conforme foi verificado por Stone et al. (1979b). A produtividade de grãos verificada sob inundação intermitente na fase vegetativa, seguida de inundação contínua na fase reprodutiva, foi superior às obtidas com inundação intermitente ou subirrigação e não diferiu, significativamente, da obtida sob inundação contínua durante todo o ciclo. A lâmina de água intermitente durante a fase vegetativa, por

favorecer o perfilhamento, contribuiu para a obtenção de elevado número de panículas por m², e a lâmina de água contínua durante a fase reprodutiva contribuiu para a obtenção de maior número de grãos por panícula e massa dos grãos, explicando a maior produtividade observada neste tratamento. Panda et al. (1980) também obtiveram maiores produtividades quando combinaram saturação durante a fase vegetativa com inundação contínua durante a fase reprodutiva. Em situações em que a temperatura da água de irrigação do arroz frequentemente alcança valores acima de 35°C no período das 12:00 às 18:00 h, atingindo índices térmicos de até 52°C, como no Estado do Tocantins, a manutenção do solo saturado até a floração, com formação de lâmina de água logo após, minimizou o problema, propiciando maior produtividade de grãos. A manutenção do solo saturado durante todo o ciclo também aumentou a produtividade, mas reduziu a qualidade dos grãos (Santos et al., 2003). Santos et al. (1999), por sua vez, verificaram que a inundação contínua durante todo o ciclo aumentou a produtividade e melhorou a qualidade industrial dos grãos de arroz, em comparação à combinação de inundação intermitente na fase vegetativa e contínua nas fases reprodutiva e de maturação.

Tabela 6. Produtividade do arroz e seus componentes sob diferentes manejos de água¹.

<i>Manejo de água²</i>	<i>Panícula (nºm²)</i>	<i>Grão (nº panícula⁻¹)</i>	<i>Massa de 100 grãos (g)</i>	<i>Produtividade (kg ha⁻¹)</i>
M1	488,8c	82,9 ^a	2,75a	5.132ab
M2	543,1b	69,9bc	2,69ab	4.566bc
M3	550,8ab	76,8ab	2,75a	5.515a
M4	597,6a	62,0c	2,60b	3.989c

¹Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

²M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).

Vários autores têm verificado maior eficiência do uso da água com inundação intermitente em relação à contínua (Mishra et al., 1990; Wahab & Daniel, 1992; Mastan & Vijaykumar, 1993). A maior eficiência, contudo, está condicionada ao adequado intervalo de tempo entre o desaparecimento da lâmina de água do tabuleiro e a sua reposição. Mastan & Vijaykumar (1993), ao reporem a lâmina de água após dois dias do seu desaparecimento, obtiveram produtividades semelhantes às obtidas com inundação contínua, com economia de água da ordem de 39%. Entretanto, a reposição da lâmina após cinco dias provocou queda de

38% na produtividade. Mishra et al. (1990) recomendaram, para solos com lençol freático superficial, a reposição da lâmina de água após três a cinco dias do seu desaparecimento e, para solos com lençol freático a uma profundidade média, após um a três dias. Por sua vez, Sachet (1981) observou, no RS, que a inundação contínua com lâmina de água estática propiciou produtividade semelhante à obtida com água corrente, com uma economia de água de 51%. Com relação à manutenção do solo saturado, a economia de água foi de 64%, mas a produtividade foi 11% menor. Medeiros et al. (1995), em Boa Vista (RR), comparando inundação contínua, inundação intermitente, saturação do solo e combinações desses sistemas de irrigação, verificaram que não houve diferenças significativas entre eles com relação à produtividade do arroz. O sistema mais eficiente, com menor custo de bombeamento, foi a inundação intermitente durante todo o ciclo do arroz, com umidade no solo equivalente a potenciais matriciais entre -20 e -40 kPa e turno médio de rega de quatro dias.

Stone et al. (1990) também observaram, em Goianira, GO, que o consumo de água foi maior sob inundação contínua, em que a carga hidráulica era maior e persistiu por mais tempo (Tabela 7). O tratamento em que ocorreu inundação contínua durante um período do ciclo da cultura apresentou o segundo maior consumo de água. O menor consumo foi verificado com inundação intermitente. O elevado consumo de água verificado sob inundação contínua foi devido às altas perdas por percolação e fluxo lateral, por causa do elevado teor de areia do solo, ao redor de 50%, resultando em baixa eficiência do uso da água. Combinando produtividade com eficiência do uso da água, o manejo M3 (inundação intermitente seguida de contínua) foi o mais adequado.

Tabela 7. Consumo de água, perdas por percolação e fluxo lateral, e eficiência do uso da água (EUA), em diferentes manejos de água¹.

<i>Manejo de Água²</i>	<i>Consumo de água (mm)</i>	<i>Consumo de água ($L\ s^{-1}\ ha^{-1}$)</i>	<i>Percolação e fluxo lateral ($mm\ dia^{-1}$)</i>	<i>EUA ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$)</i>
M1	7.954a	7,4a	58,3a	0,64
M2	2.325d	2,1d	13,0d	1,96
M3	5.314b	4,9b	37,2b	1,04
M4	3.846c	3,5c	25,4c	1,04

¹Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

²M1 = inundação contínua; M2 = inundação intermitente; M3 = inundação intermitente seguida de contínua; M4 = subirrigação.

Fonte: Adaptada de Stone et al. (1990).

O elevado consumo de água em solos com alto teor de areia também foi observado por Caixeta (1984), em experimento conduzido em Janaúba, MG, cujos dados são apresentados na Tabela 8. Verifica-se que, apesar da maior produtividade obtida com inundação contínua, o consumo de água foi extremamente elevado, o que inviabilizou este método de irrigação para as condições locais. Como resultado deste experimento, aliando produtividade com economia de água, foi adotado, para aquelas condições, o método de inundação intermitente com turno de rega de três dias.

Tabela 8. Comparação entre métodos de irrigação para a cultura do arroz, 1982/83, Janaúba, MG.

<i>Métodos de Irrigação</i>	<i>Tempo de Rega (dia)</i>	<i>Produtividade¹ (kg ha⁻¹)</i>	<i>Consumo de água (m³ ha⁻¹)</i>	<i>EUA (kg ha⁻¹ mm⁻¹)</i>
Sulco	3	4.777c	40.500	1,18
Sulco	6	4.252c	24.300	1,75
Inundação contínua	-	9.006 ^a	144.000	0,62
Inundação intermitente	3	6.144b	31.292	1,96
Inundação intermitente	6	4.930bc	19.257	2,56

¹Valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente, no nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptada de Caixeta (1984).

No transplântio, as plântulas crescem em pequenos canteiros por cerca de um mês antes do transplante. Durante esse período, em locais onde não há separação entre os canteiros e a área principal, os produtores continuam usando a água na lavoura para a preparação do solo, levando a maiores perdas por fluxo lateral, percolação e evaporação. No pré-germinado, a duração da preparação do solo não está amarrada com o cultivo das plântulas e pode ser encurtado grandemente, de 13 a 14 dias, resultando em economia de 150 a 300 m³ de água. Na semeadura em solo seco, podem ser economizados 500 mm de água em comparação com o transplântio (Tuong & Bhuiyan, 1999). Tabbal et al. (2002) chegaram a conclusões semelhantes e verificaram que o uso de semeadura direta de semente seca ou pré-germinada pode ser um meio de economizar água em locais onde o transplântio é utilizado e não há separação dos canteiros da área principal. O uso do pré-germinado economizou de 11 a 18% de água em relação ao transplântio, produzindo de 3 a 17% mais, e aumentando a produtividade da água em 25 a 48%. Com decréscimo

da água aplicada, o pré-germinado pode extrair mais água do perfil do solo devido ao desenvolvimento melhor e mais profundo do sistema radicular, comparado com o transplantio.

A semeadura de semente seca elimina a necessidade de água para o preparo do solo. Não precisa esperar os reservatórios e canais encherem, como no transplantio e pré-germinado, e pode ser estabelecido no início das chuvas, que podem suportar a germinação e o crescimento inicial. Entretanto, como o solo não é preparado com água, as taxas de percolação podem ser mais altas, dependendo da permeabilidade da superfície e do subsolo e da profundidade do lençol freático (Tabbal et al., 2002). Segundo Walker (1999), no caso da semeadura em solo preparado a seco, as perdas são relativas ao movimento da água através das fendas profundas e semipermanentes e a natureza mais permeável dos solos relativamente bem estruturados e não-preparados com água.

Uma alternativa para aumentar a eficiência do uso da água pelo arroz é irrigá-lo por aspersão, o que minimiza as perdas por percolação e fluxo lateral e, quando o cultivo é realizado na estação chuvosa, reduz o requerimento de irrigação pelo melhor aproveitamento da precipitação pluvial. No arroz irrigado por inundação pode ocorrer escoamento quando o tabuleiro está cheio de água. Além disso, na irrigação por aspersão não se perde área com canais e drenos e é mais fácil conduzir as culturas em sucessão/rotação com o arroz. Entretanto, ao compararem, por dois anos, inundação contínua com irrigação por aspersão, mantendo o potencial matricial da água do solo acima de -30 kPa, Westcott & Vines (1986) verificaram que as produtividades obtidas com aspersão corresponderam a 62 a 75% das obtidas com inundação, devido principalmente à redução do número de grãos por panícula. Resultado semelhante foi obtido por McCauley (1990) que, ao comparar inundação contínua com irrigação por aspersão, para repor 100% da evapotranspiração máxima da cultura, verificou que a produtividade do arroz sob aspersão foi 80% inferior à obtida com inundação contínua.

Um aspecto importante a ser considerado na irrigação por aspersão é o intervalo entre as irrigações. Existem trabalhos estabelecendo a frequência de irrigação com base no consumo de uma determinada fração da água disponível do solo (AD). Giudice et al. (1974) verificaram que o arroz deve ser irrigado quando forem consumidos 40% da AD na camada de 0 a 20 cm de

profundidade. Coelho et al. (1977), ao irrigarem o arroz quando eram consumidos 30, 50 ou 70% da AD, observaram que a maior produtividade foi obtida quando a irrigação foi feita para repor 30% da AD. Entretanto, como a curva de retenção de água tem formas distintas para os diferentes solos, uma dada porcentagem de AD pode corresponder a diferentes potenciais de água do solo. Conseqüentemente, os resultados expressos em porcentagem de água disponível só podem ser considerados em solos com características semelhantes. Se, por outro lado, forem expressos em potencial de água do solo, podem ser mais facilmente aplicados em outro tipo de solo. Isso ocorre porque, em solos não-salinos, o potencial matricial é o fator da água do solo que mais influencia o crescimento das plantas. Westcott & Vines (1986), estudando a irrigação por aspersão para o arroz, mantiveram o potencial de água do solo acima de -30 kPa. Stone et al. (1986), em trabalho conduzido em Goiânia, GO, concluíram que, aliando-se produtividade e economicidade, a irrigação do arroz por aspersão deve ser conduzida de maneira que o potencial de água do solo, medido a 15 cm de profundidade, se mantenha acima de -25 kPa. Para o solo da área experimental, irrigar a este potencial correspondeu a irrigar quando tiverem sido consumidos aproximadamente 35% da água disponível.

É difícil quantificar com exatidão o volume total de água necessário para irrigação quando se utiliza irrigação suplementar, uma vez que esse volume depende da quantidade e distribuição das chuvas. A necessidade total de água para o cultivo do arroz de terras altas varia em torno de 600 a 700 mm. Stone et al. (1979a) mediram um consumo total de 600 mm para as cultivares IAC 47 e CICA 4, em Goiânia, GO. No mesmo local, Steinmetz (1986) observou consumo total de 676 mm para a cultivar IAC 47, com consumo médio diário de 5,3 mm. Em Uberaba, MG, a mesma cultivar consumiu 715 mm (Manzan, 1984), com consumo médio diário entre 5 e 6 mm. A cultivar Maravilha, primeira cultivar lançada para as condições denominadas favorecidas, requer cerca de 800 mm durante o ciclo, quando cultivada no espaçamento de 20 cm entre linhas (Embrapa, 1997). Considerando apenas a irrigação suplementar, as lâminas de água aplicadas podem variar de 524 mm, segundo verificaram Toeschler & Köpp (2002), no RS, a valores inferiores a 200 mm por ciclo, nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, dependendo do regime de chuvas. Crusciol et al. (2003), em Selvíria, MS, aplicando lâminas suplementares de irrigação variando de 37,4 a 318,3 mm, em ano de menor ocorrência de veranicos, e de 100,0 a 381,7 mm, em

ano de maior ocorrência, não obtiveram diferenças na produtividade do arroz, a qual, entretanto, foi maior em comparação à obtida quando não foi aplicada a irrigação suplementar.

O requerimento de água do arroz irrigado por aspersão pode ser estimado a partir de tanques evaporimétricos, com base na relação existente entre a evaporação da água medida no tanque USWB Classe A (ECA) e a evapotranspiração da cultura (ET_c). A relação é obtida utilizando-se o coeficiente do tanque (K_p) e o coeficiente da cultura (K_c), de modo que:

$$ET_c = ECA.K_p.K_c$$

Com os dados de evaporação do tanque de um local (média de vários anos) e com os coeficientes, pode-se estimar a demanda de água de maneira mais precisa que a simples medição do consumo de água em um local e num dado ano. Doorenbos & Kassam (1979) apresentam valores de K_p considerando o clima e o meio circundante ao tanque. Steinmetz (1986) determinou os valores de K_c para diferentes estádios da cultura do arroz (Tabela 9).

Tabela 9. Coeficiente da cultura para diferentes estádios da planta do arroz de terras altas.

Estádio da planta	Idade da planta (dia)	Coeficiente de cultura
Plântula 8-18	0,70	
Vegetativo	18-40	0,90
Final do vegetativo-reprodutivo	40-110	1,24
Enchimento dos grãos	110-130	0,90

Fonte: Steinmetz (1986).

O manejo da cultura e do solo alteram os valores do coeficiente de cultura. Verifica-se, na Tabela 10, que o valor máximo de K_c para o arroz semeado a 0,20 m entre linhas (Stone & Silva, 1999) é maior que o obtido por Steinmetz (1986) para o arroz semeado a 0,50 m entre linhas. Da mesma forma, os valores de K_c para o arroz cultivado em solo preparado convencionalmente são maiores que os do arroz sob plantio direto.

A simulação da semeadura do arroz de terras altas no início de novembro (Stone & Silveira, 2004), utilizando os coeficientes de cultura (Tabela 10) para o arroz semeado a 0,20 m entre linhas, sob preparo convencional do solo e sob plantio direto, mostrou que a evapotranspiração sob plantio direto é cerca de 15% menor que no preparo convencional do solo (Tabela 11). Isso faz com que ocorra substancial redução na necessidade de irrigação suplementar.

Tabela 10. Coeficientes de cultura referentes ao arroz de terras altas semeado no espaçamento de 0,20 m entrelinhas.

<i>Estádio da planta</i>	<i>Duração (dia)</i>	<i>Coeficiente de cultura</i>	
		<i>PC¹</i>	<i>PD²</i>
Emergência – início do perfilhamento	20	0,58	0,18
Início do perfilhamento – diferenciação da panícula	45	0,72	0,67
Diferenciação da panícula – grão pastoso	55	1,34	1,28
Grão pastoso – maturação	15	0,67	0,53

¹Preparo convencional do solo; ²Plantio direto.

Fonte: ¹Adaptada de Stone & Silva (1999); ² Adaptada de Stone & Silveira (2004).

Tabela 11. Estimativa da evapotranspiração e da necessidade de irrigação suplementar na cultura do arroz de terras altas, sob preparo convencional do solo e plantio direto.

<i>Município</i>	<i>Evapotranspiração (mm ciclo⁻¹)</i>		<i>Lâmina de irrigação suplementar (mm ciclo⁻¹)</i>	
	<i>PC¹</i>	<i>PD²</i>	<i>PC¹</i>	<i>PD²</i>
Guaíra, SP	629	530	106	70
Unaí, MG	565	482	194	167
Vicentinópolis, GO	578	495	71	46
Primavera do Leste, MT	487	417	73	45

¹Preparo convencional do solo; ²Plantio direto.

Fonte: Stone & Silveira (2004).

Considerações Finais

Devido à combinação da demanda crescente por alimentos com o aumento da escassez de água, os produtores de arroz confrontam-se com três desafios: (1) economizar água; (2) aumentar a produtividade da água e (3) produzir mais arroz

com menos água. Esses três desafios não são iguais, embora se sobreponham. O primeiro desafio implica reduzir a fração da água aplicada que não contribui para a formação da produtividade, isto é, as perdas por evaporação, fluxo lateral e percolação, e a quantidade usada quando do preparo do solo com água. O segundo implica aumentar o potencial e melhorar todos os fatores de produtividade. O terceiro é uma combinação dos dois primeiros.

Recentemente, a expressão “técnicas de irrigação que economizem água” foi introduzida para denominar estratégias de irrigação que visam a reduzir as taxas de fluxo lateral e percolação pela: (1) redução da altura da lâmina de água; (2) manutenção do solo saturado; ou (3) prática da inundação intermitente. Essas técnicas, entretanto, correm o risco de reduzir a produtividade devido a possíveis efeitos de estresse hídrico na cultura. Portanto, as relações entre a aplicação de água e a produtividade do arroz necessitam ser estabelecidas para encontrar o quanto de água aplicada pode ser reduzido sem comprometer a produtividade e otimizar a água escassa na produção do arroz (Bouman & Tuong, 2001). Por conta de menores quantidades e aplicações mais frequentes de irrigação, mais supervisão e trabalho são requeridos quando são utilizadas essas técnicas do que no sistema tradicional de inundação contínua. As técnicas requerem melhor nivelamento do solo e melhor controle de plantas daninhas (Tuong & Bhuiyan, 1999).

Segundo Bouman & Tuong (2001), as técnicas de irrigação que economizam água têm o seguinte potencial:

- 1) Podem reduzir substancialmente a quantidade de água aplicada em nível de lavoura. Entretanto, em solos argilosos existe risco de aplicação de uma quantidade extra de água não pretendida, porque as taxas de percolação podem aumentar com a secagem do solo ou por causa do desenvolvimento de fendas que permitem um rápido fluxo de água.
- 2) Aumentam a produtividade da água em nível de lavoura. Em solos argilosos, entretanto, a produtividade da água pode decrescer quando a quantidade de água aplicada aumenta não intencionalmente (ver ponto 1). Nestes solos, a produtividade pode ser severamente reduzida, porque as raízes podem ser prejudicadas fisicamente ou ter seu crescimento impedido à medida que o solo seca abaixo da saturação.
- 3) Mantêm ou diminuem a produtividade da terra, comparadas com a inundação contínua e, portanto, não produzem mais arroz com menos água em nível de lavoura.

A opção mais promissora para economizar água sem decrescer muito a produtividade da terra é manter o solo saturado durante todo o ciclo do arroz ou parte dele (fase vegetativa). A aspersão, em determinadas condições, pode também substituir a inundação contínua, com economia substancial de água, sem grandes perdas de produtividade do arroz.

A adoção de técnicas de economia de água em nível de lavoura terá consequências para a hidrologia e para o uso da água em nível de maior escala espacial. Primeiro, a água economizada em uma lavoura nem sempre significa que a água é economizada em todo o sistema de irrigação. A água perdida em lavouras individuais por fluxo lateral e percolação entrará no sistema de fluxo superficial através de córregos e drenos e no sistema subsuperficial através do lençol freático. Ambos os sistemas podem ser explorados a jusante pelo re-uso da água. Em tal caso, a água economizada a montante em uma lavoura não conduz à economia de água no sistema como um todo. Em segundo lugar, práticas de economia de água em nível de lavoura podem afetar a profundidade do lençol freático. O lençol freático pode ser superficial em grandes áreas irrigadas de arroz devido à percolação contínua das lavouras. Lençol freático superficial reduz as taxas de percolação. Isso pode, então, aumentar as taxas de percolação, compensando os ganhos em economia de água introduzidos pelas práticas de irrigação que economizem água. Mais estudos são necessários na relação entre o nível de lavoura e o sistema hidrológico para predizer os efeitos em larga escala e em longo tempo da introdução de técnicas de irrigação para economizar água (Tabbal et al., 2002). Corroborando esse ponto de vista, Tuong & Bhuiyan (1999) relatam que alguns autores argumentam que a redução do fluxo lateral e da percolação pode não conduzir ao aumento da produtividade da água no nível da bacia hidrográfica. Os produtores, entretanto, gostariam de reduzir estas quantidades desde que elas não estejam sendo usadas para o desenvolvimento do arroz em suas lavouras. Isso é particularmente válido quando os produtores têm de despendar consideráveis recursos, como custo de bombeamento ou de mão-de-obra, para irrigar a lavoura.

Referências Bibliográficas

ACHARYA, C. L.; SOOD, M. C. Effect of tillage methods on soil properties and water expense of rice on an acidic Alfisol. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 40, n. 3, p. 409-414, 1992.

- ALVA, A. K. Changing concepts in paddy field water management. **Transactions of the Indian Society of Desert Technology and University Centre of Desert Studies**, New Delhi, v. 6, n. 2, p. 5-8, 1981.
- AMARAL, A. dos S.; GOMES, A. da S. **Arroz: época de irrigação e de drenagem final da lavoura**. Pelotas: EMBRAPA-UEPAE Pelotas, 1983. 17 p. (EMBRAPA-UEPAE Pelotas. Documentos, 7).
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo de água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 8, p. 903-910, ago. 1983.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463 p.
- BORRELL, A.; GARSIDE, A.; FUKAI, S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 231-248, June 1997.
- BOUMAN, B. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 11-30, July 2001.
- BOUMAN, B. A. M.; WOPEREIS, M. C. S.; KROPFF, M. J.; BERGE, H. F. M. ten; TUONG, T. P. Water use efficiency of flooded rice fields. II. Percolation and seepage losses. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 291-304, Dec. 1994.
- CABANGON, R. J.; TUONG, T. P. Management of cracked soils for water saving during land preparation for rice cultivation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1/2, p. 105-116, July 2000.
- CAIXETA, T. J. **Manejo de água na cultura do arroz**. Viçosa, MG: EPAMIG, 1984. 26 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.064/8). Relatório final.
- CHAKRABARTI, A. K.; DE, P.; BISWAS, R. K. Effect of mechanical barrier on lateral seepage loss in rice fields. **Environment and Ecology**, Calcutta, v. 9, n. 1, p. 290-291, 1991.
- COELHO, M. B.; BERNARDO, S.; BRANDÃO, S. S.; CONDÉ, A. R. Efeito da água disponível no solo e de níveis de nitrogênio sobre duas variedades de arroz. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 24, n. 135, p. 461-483, set./out. 1977.
- CORRÊA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R. A.; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. S. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p. 3-8, jul./ago. 1997.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 647-654, jul./ago. 2003.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO. Riego & Drenaje, 33).

EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1993, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p.173-176.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Manejo da cultivar Maravilha**. Goiânia, 1997. 38 p. (EMBRAPA-CNPAF. Informe Técnico, 1).

FERGUSON, J. A. The effect of flood depth on rice yield and water balance. **Arkansas Farm Research**, Fayetteville, v. 19, n. 3, p. 4, 1970.

GIUDICE, R. M. del; BRANDÃO, S. S.; GALVÃO, J. D.; GOMES, R. J. Irrigação do arroz por aspersão: profundidade de rega e limites d'água disponível. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 18, n. 5, p. 103-123, set. 1974.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 18, p. 107-169, 1966.

HUMPHREYS, L.; MUIRHEAD, W. A.; FAWCETT, B.; TOWNSEND, J. Minimizing deep percolation from rice. **Farmer's Newsletter**, Washington, v. 140, p. 41-43, 1992.

ILANGO VAN, M.; KULANDAIVELU, R.; PANCHANATHAN, R. M. Climate and soil based crop water requirement for rice. **Madras Agricultural Journal**, Madras, v. 78, n. 9-12, p. 358-361, 1991.

IPEAS. **Arroz irrigado RS-SC**. Pelotas, 1973. 112 p. (IPEAS. Circular, 63).

IRGA. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Porto Alegre, 2001. 128 p.

IRRI. **Annual report for 1967**. Los Baños, 1967. 308 p.

IRRI. **Annual report for 1972**. Los Baños, 1973. 246 p.

IRUTHAYARAJ, M. R. Study on effect of water management practices and nitrogen levels on weed growth in two swamp rice varieties. **Agricultural Science Digest**, Haryana, v. 1, n. 1, p. 39-42, 1981.

JHA, K. P.; CHANDRA, D.; CHALLAIAH, D. Irrigation requirement of high-yielding rice varieties grown on soils having shallow water-table. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 51, n. 10, p. 732-737, 1981.

JHA, K. P.; MAHAPATRA, I. C.; DASTANE, N. G. Effect of moisture regimes, nutrient sprays on the grain yield and uptake of potassium and silicon in rice. **Riso**, Milano, v. 27, n. 3, p. 217-229, set. 1978.

JOHNSON, L. As necessidades de água na lavoura de arroz. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 269, p. 18-20, out. 1972.

JOHNSON, L. M. More farm power for more days of farm production per year. In: NATIONAL CONVENTION OF PUMP IRRIGATORS, 1., 1965, Manila, Philippines. **Paper presented**. Manila: [s.n.], 1965. 18 p.

KALITA, P. K.; KANWAR, R. S.; RAHMAN, M. A. Modeling percolation losses from a ponded field under variable water-table conditions. **Water Resources Bulletin**, Minneapolis, v. 28, n. 6, p. 1023-1036, 1992.

KAWASAKI, T. Physical properties of soil, and water requirement in paddy field after direct drilling on ponding on upland conditions: fundamental studies on establishing rational management system of direct drilling of aquatic rice on dried conditions. **Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering**, Tokyo, v. 59, p. 10-15, 1975.

KHANDELWAL, M. K. Meteorological aspects of wet season rice cultivation in Sunderbans region, India. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 16, n. 1, p. 25-26, Feb. 1991.

KUNG, P.; ATTHAYODHIN, C.; KRUTHABANDHU, S. Determining water requirement of rice by field measurement in Thailand. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 14, n. 4, p. 5-18, 1965.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 14, n. 12, p. 1-79, 2002.

MACHADO, S. L. O.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E.; VILLA, S. C. C.; MARZARI, V.; OLIVEIRA, A. P. B. B.; MONTI, M. B. Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 336-339. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

MANZAN, R. J. Irrigação por aspersão na cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 114, p. 38-40, jun. 1984.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Preparo do solo e altura da lâmina de água no estabelecimento inicial das plantas no sistema de cultivo de arroz pré-germinado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis.

Anais... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 392-393. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

MASTAN, S. C.; VIJAYKUMAR, B. Water management in transplanted wetland rice. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 18, n. 3, p. 38-39, Sept. 1993.

McCAULEY, G. N. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 4, p. 677-683, July/Aug. 1990.

MEDEIROS, R. D. de. **Efeitos do manejo de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1995. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo, Piracicaba.

MEDEIROS, R. D. de; HOLANDA, J. S. de; COSTA, M. de C. Manejo de água em arroz irrigado no Estado de Roraima. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 48, n. 420, p. 12-14, mar./abr. 1995.

MISHRA, H. S.; RATHORE, T. R.; PANT, R. C. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution, irrigation requirement and yield of rice in mollisols of the Tarai Region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 231-241, 1990.

MORAES, H. N. de. **Perfil de extração, uso consuntivo de água e características agronômicas do arroz (*Oryza sativa* L.) em solos mineral e orgânico usando cinco níveis de lençol freático**. 1980. 102 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOTA, F. S. da; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 43, n. 392, p. 3-6, set./out. 1990.

NAKAGAWA, S. Water requirements and their determination. In: SYMPOSIUM ON WATER MANAGEMENT IN RICE FIELD, 1975, Ibaraki. **Proceedings...** Ibaraki: Tropical Agriculture Research Center, 1976. p. 193-208.

NAVAREZ, D. C.; ROA, L. L.; MOODY, K. Weed control in wet-seeded rice grown under different moisture regimes. **Philippine Journal of Weed Science**, Manila, v. 6, p. 23-31, 1979.

NWADUKWE, P. O.; CHUDE, V. O. Manipulation of the irrigation schedule of rice (*Oryza sativa* L.) as a means of maximizing water use efficiency and irrigation efficiency in the semi-arid tropics. **Journal of Arid Environments**, London, v. 40, p. 331-339, 1998.

PAINULI, D. K. Effect of drain and soil beneath bund on water loss from rice field. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 40, n. 2, p. 353-355, 1992.

PANDA, S. C.; AUCHARYYA, N.; MISRA, B. Effect of irrigation schedules on the growth and yield of rice. **Food Farming and Agriculture**, Calcutta, v. 13, n. 9/10, p. 182-185, 1981.

PANDA, S. C.; DAS, K. C.; MISRA, B.; SAHU, S. K.; ROUT, D. Effect of depth of submergence at different growth stages of dwarf *Indica* rice on the growth, yield and nutrient uptake of crop and mineral contents of soil. I. Growth and yield of crop. **Oryza**, Cuttack, v. 17, n. 2, p. 85-91, 1980.

PANDE, H. K. Water management practices and rice cultivation in India. In: SYMPOSIUM ON WATER MANAGEMENT IN RICE FIELD, 1975, Ibaraki. **Proceedings...** Ibaraki: Tropical Agriculture Research Center, 1976. p. 231-248.

PANDE, H. K.; MITTRA, B. N. Response of lowland rice to varying levels of soil, water, and fertility management in different seasons. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 2, p. 197-200, Mar./Apr. 1970.

PINTO, E. G.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN, E. Rendimento do arroz e manejo da irrigação e da palha de azevém no sistema mix de pré-germinado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 227-231, mar./abr. 2003.

REIS, M. de S. **Efeitos da época de retirada da água sobre o rendimento de engenho e qualidade de grãos na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1990. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SACHET, Z. P. **Consumo de água de duas cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) em três tratamentos de irrigação**. 1977. 90 f. Tese (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SACHET, Z. P. Consumo de água na lavoura de arroz relacionado com a altura da lâmina líquida. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 34, n. 329, p. 24-29, jul./ago. 1981.

SAHRAWAT, K. L. Influence of water regime on growth yield, and nitrogen uptake of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 12, n. 9, p. 919-932, 1981.

SANCHEZ, P. A. **Rice performance under puddled and granulated soil cropping system in Southeast Asia**. 1968. 381 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Cornell University, Ithaca.

SANDHU, B. S.; KHERA, K. L.; PRIHAR, S. S.; BALDEV, S. Irrigation needs and yield of rice on a sandy-loam soil as affected by continuous and intermittent submergence. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 50, n. 6, p. 492-496, 1980.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 565-573, abr. 1999.

SANTOS, A. B. dos; PRABHU, A. S.; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; FONSECA, J. R.; BARRIGOSI, J. A. F.; SILVA, J. G. da; STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; RANGEL, P. H. N.; RABELO, R. R.; SILVA, S. C. da; COBUCCI, T.; CUTRIM, V. dos A. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas para o Estado do Tocantins. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 12 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 57).

SANTOS, A. B. dos; SILVA, S. C. da; ZIMMERMANN, F. J. P. Efeitos do manejo da irrigação na temperatura da água e no comportamento do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 181-183.

SHARMA, S. K.; RAJAT, D. Effect of water regimes, levels of nitrogen and methods of nitrogen application on grain yield, protein percentage and nitrogen uptake in rice. **Riso**, Milano, v. 28, n. 1, p. 45-52, mar. 1979.

SINGH, A. K.; SRIVASTAVA, L. K.; JAGGI, I. K.; DAS, R. O. Water percolation dynamics as influenced by submergence levels and depth of puddling in rice fields. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 213-217, 1993.

STEINMETZ, S. **Estudos agrometeorológicos na cultura do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 11 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.002/8). Relatório final.

STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 28).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Arroz irrigado por aspersão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 70-76, 2004.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. **Tensão da água do solo e produtividade do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 6 p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 19).

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 323-337, mar. 1990.

STONE, L. F.; OLIVEIRA, A. B. de; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 3, p.295-301, jul. 1979a.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; OLIVEIRA, A. B. de; AQUINO, A. R. L. de. Efeitos da supressão de água em diferentes fases de crescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, n. 2, p. 105-109, abr. 1979b.

SUBRAMANIAN, S.; SUNDARSINGH S. D.; RAMASWAMI, K. P. Crop sequence studies under different irrigation regimes and manuring for Vaigai Periyar Command area. **Madras Agricultural Journal**, Madras, v. 65, n. 9, p. 567-571, 1978.

TABBAL, D. F.; BOUMAN, B. A. M.; BHUIYAN, S. I.; SIBAYAN, E. B.; SATTAR, M. A. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 93-112, July 2002.

TOESCHER, C. F.; KÖPP, L. M. Produtividade do arroz sob irrigação por aspersão, em Uruguaiana-RS. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 405-406. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

TSUTSUI, H. Manejo da água para produção de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 25, n. 269, p. 36-41, out. 1972.

TSUTSUI, H. Manejo da água para produção de arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 26, n. 271, p. 10-15, jan./fev. 1973.

TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 117-122, Mar. 1999.

VAHL, L. C.; TURATTI, A. L.; GOMES, A da S. Épocas de início e término da inundação do solo para a cultivar de arroz BR-IRGA 410. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14, 1985, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 286-293.

VERMA, T. S.; TRIPATHI, B. R. Effect of soil moisture and lime on the growth and iron and manganese nutrition of rice in an acid soil. **Oryza**, Cuttack, v. 18, n. 3, p. 119-122, 1981.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; PETRINI, J. A.; ELY, M. F. Manejo de água no sistema de cultivo de arroz pré-germinado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 373-375. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

WAHAB, K.; DANIEL, K. V. Water management in rice (*Oryza sativa*) under limited water supply. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 37, n. 1, p. 166-167, 1992.

WALKER, S. H. Causes of high water losses from irrigated rice fields: field measurements and results from analogue and digital models. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 123-127, Mar. 1999.

WELLS, B. R.; SHOCKLEY, P. A. Response of rice to varying flood regimes on a silt loam soil. **Riso**, Milano, v. 27, n. 2, p. 81-87, giug. 1978.

WESTCOTT, M. P.; VINES, K. W. A comparison of sprinkler and flood irrigation for rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 637-640, July/Aug. 1986.

WICKHAM, T. H.; SEN, C. N. Water management for lowland rice: water requirements and yield response. In: IRRI. **Soils and rice**. Los Baños, 1978. p. 649-669.

WICKHAM, T. H.; SINGH, V. P. Water movement through wet soils. In: IRRI. **Soils and rice**. Los Baños, 1978. p. 337-358.

WOPEREIS, M. C. S.; KROPFF, M. J.; MALIGAYA, A. R.; TUONG, T. P. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 46, n. 1/3, p. 21-39, Jun. 1996.

YAMADA, N. Some problems in agronomy of irrigation and drainage. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, v. 14, n. 3, p. 13-30, 1964.