

DISPONIBILIDADE, EFICIÊNCIA E RACIONALIDADE NA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

*Genesio Mario da Rosa
Mirta Teresinha Petry
Reimar Carlesso*

A água existente na superfície terrestre é estimada em 1.400 milhões de quilômetros cúbicos, dos quais cerca de 97% são águas salgadas. Dos 3% restantes, em torno de $\frac{3}{4}$ correspondem à água congelada nos pólos e apenas uma pequena parcela está disponível para o consumo humano e de outras espécies animais e vegetais. A sua quantidade na natureza é invariavelmente a mesma, o que significa que os dinossauros já bebiam a mesma água atualmente usada para o consumo. Por sua vez, a distribuição de todas as formas de vida sobre a face da Terra é linearmente dependente do volume e distribuição dos recursos hídricos. E são justamente o seu excesso e, em especial, a sua escassez os principais fatores responsáveis pela falta de alimentos no mundo, gerando a fome e a degradação do solo pelo uso inadequado ou pela exploração de áreas impróprias ao cultivo. Assim, o manejo adequado da água assume papel fundamental para o incremento na produção de alimentos, além de contribuir para melhorar a eficiência do seu uso e direcioná-lo para sua maior prioridade: o interesse social.

Água, um recurso essencial

A água é um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico dos seres vivos, como meio de vida de inúmeras espécies vegetais e animais ou como fator de produção de vários bens de consumo, tanto final como intermediário. Aceitase, atualmente, que as formas de vida vegetal e animal somente evoluíram sobre a face da Terra à medida que desenvolveram mecanismos de adaptação e sobrevivência fora do ambiente aquático, principalmente para minimizar as perdas de água. Em igual escala, a ascensão e queda de várias civilizações ocorreu em função de conflitos da exploração que estas fizeram dos recursos hídricos e do solo.

O corpo humano pode ser considerado como um exemplo de utilização da água, apresentando, em média, 60% de água em sua composição física. Alguns órgãos vitais como o sangue e o cérebro contêm até 80% de água. Além de ser fundamental no metabolismo, ela é essencial para o transporte de solutos orgânicos, à regulação térmica e à renovação de tecidos e líquidos como o sangue e os sucos gástricos. O homem pode resistir sem alimentos por um período de, aproximadamente, um mês, mas não pode prescindir da água por mais de quarenta e oito horas.

Nos vegetais, a água é constituinte vital das células e fundamental para o crescimento dos tecidos. De acordo com Taiz & Zeiger, de todos os recursos que a planta necessita para o seu desenvolvimento, a água é o fator mais importante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produção.¹ Pois, tão tênue e delicado é o balanço entre o suprimento de água através das precipitações e as necessidades hídricas das culturas, que curtos períodos de deficiência hídrica podem reduzir significativamente a produtividade das culturas e períodos prolongados podem causar frustração total na produção das culturas.²

O ciclo da água na natureza é contínuo e sua quantidade é invariavelmente a mesma; o que muda de região para região é a intensidade dos processos físicos que governam o seu ciclo natural. Assim, a água que se encontra sobre a superfície do solo passa à atmosfera por meio da evaporação. O processo de evaporação da água de rios, de lagos, da superfície do solo ou da vegetação demanda um grande consumo de energia, a qual é fornecida principalmente pela radiação solar.³ Ao se elevar na atmosfera, o vapor de água encontra temperaturas sensivelmente mais baixas, perde calor e se condensa, retornando à superfície do solo na forma de gotas de chuva. Uma parte da água precipitada sobre a superfície terrestre é aproveitada pelos animais e vegetais; outra parte infiltra no solo, onde é armazenada ou perdida por percolação profunda, formando as águas subterrâneas.

¹ TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Redwood City, Califórnia: The Benjamim/Cummings Publishing Company, 1991.

² HILLEL, D. *Introduction to Soil Physics*. San Diego: Academic Press, 1982.

³ CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, F. L. *Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação*. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000.

Posteriormente, toda esta água retorna novamente à atmosfera, principalmente através da evaporação e transpiração das espécies vegetais.

Os vegetais funcionam como uma bomba hidráulica, regulando o fluxo de água e solutos ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. De fato, a água extraída pelo sistema radicular das plantas é transpirada pelas folhas em proporção à demanda evaporativa da atmosfera.⁴ As interações entre esses três componentes são recíprocas, o que torna o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação dos fatores inerentes aos três segmentos.⁵

O processo que envolve as perdas de água via transpiração das plantas e evaporação da superfície do solo depende das propriedades da planta, do solo e das condições meteorológicas. As condições atmosféricas determinam a demanda evapotranspiratória, isto é, a quantidade de água que deve ser extraída pelas plantas para manter a turgidez. A profundidade e densidade do sistema radicular, o ajustamento fisiológico das plantas submetidas a déficit hídrico, assim como as propriedades hidráulicas do solo em diferentes condições de umidade determinam a taxa atual de água que deve ser absorvida pelas plantas em resposta à demanda evaporativa da atmosfera.⁶ A demanda evaporativa da atmosfera é o fator que desencadeia o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, determinando a quantidade de água que as plantas necessitam absorver para realizar os processos fisiológicos ligados à germinação, crescimento, desenvolvimento e produção de grãos. Notadamente, a quantidade de água necessária para os cultivos depende da espécie vegetal, época de cultivo e região de ocorrência.

A capacidade de armazenamento de água no solo depende de sua textura, estrutura, distribuição e diâmetro médio dos poros. Assim, a retenção e armazenamento de água no solo resulta das forças atrativas que se estabelecem entre as fases líquida e sólida do solo, as quais possibilitam a retenção de água contra as forças da gravidade, evaporação, absorção pelas raízes e adsorção pelos colóides.⁷ O tipo de solo e a qualidade das partículas de argila são responsáveis pela maior capacidade de retenção de água em solos argilosos, em comparação com solos arenosos.⁸ Entretanto, uma maior capacidade de armazenamento pode não representar maior disponibilidade de água às plantas, em função da restrição ao desenvolvimento radicular e da redução abrupta na disponibilidade de água em situação de déficit hídrico.⁹

Em condições naturais de ecossistemas cultivados, o suprimento adequado de água às plantas depende da distribuição e quantidade das precipitações pluviais. Matzenauer & Fontana relacionaram o rendimento de grãos com a distribuição das preci-

⁴ RITCHIE, J. T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 58, p. 81-96, 1981a.

⁵ BERGAMASCHI, H., BERLATO, M., MATZENAUER, R. et al., *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre: UFRGS, 1992, p. 25-32.

⁶ HILLEL, D. Op. cit. AHUJA, L. R. & NIELSEN, D. R. Field soil-water relations. In: STEWART, B. A. & NIELSEN, D. R.; *Irrigation of agricultural crops*. Madison: American Society of Agronomy, p. 143-189, 1990.

⁷ REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1990. LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba, 1985.

⁸ KIEHL, E. J. *Manual de Edafologia*. São Paulo: Ceres, 1979.

DA SILVA, A. P. & KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 184, p. 323-329, 1996. SANTOS, R. F. & CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1999.

⁹ SANTOS, R. F. & CARLESSO, R. Op. cit.

pições pluviais em diferentes estádios da cultura do milho, para as condições da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O período em que as variáveis apresentaram melhor ajuste foi do início do pendoamento até 30 dias após o final do espigamento. Essa análise indica que o rendimento de grãos da cultura é linearmente dependente da quantidade de água disponível e que a distribuição da precipitação pluvial é mais importante que o total precipitado durante o ciclo de desenvolvimento.¹⁰

A análise da evolução da área plantada com soja no Rio Grande do Sul revela que houve um grande incremento na área colhida e no rendimento de grãos desta cultura, no período compreendido entre 1969/1977. O aumento no rendimento de grãos pode ser atribuído ao uso de cultivares mais produtivas, fertilizantes e corretivos de solo mas, principalmente, porque esta época coincidiu com uma série de anos com precipitações favoráveis durante a estação de crescimento.¹¹ Estudos mais recentes revelam que a magnitude das perdas no rendimento potencial da soja pode chegar a 30% no nordeste e 55% no sudoeste do Estado, independente do ciclo da cultivar e da época de semeadura. Tais estudos comprovam a importância do incremento da irrigação nos fatores de produção, com o objetivo principal de aumentar a produção de alimentos.¹²

Na figura 1 é apresentada uma análise comparativa da evolução da população mundial e das áreas irrigadas. Observa-se que a relação *per capita* tem-se mantido constante em 0,045 ha pessoa⁻¹, desde a década de 1960. A área irrigada em todo mundo até 1996 era da ordem de 263 milhões de hectares.¹³ Aproximadamente 15% da área cultivada em todo mundo é irrigada, contribuindo com 36% da produção.¹⁴ Segundo estimativas da FAO, do incremento esperado na produção de alimentos nas próximas décadas, nos países em desenvolvimento, aproximadamente 66% (2/3) são oriundos do aumento na produtividade, destacando a irrigação como fator mais importante,¹⁵ 20% (1/5) desse incremento viriam da expansão de fronteiras agrícolas e apenas 15% (1/8) seriam oriundos de um aumento na intensidade de cultivo.

Segundo Howell a irrigação será um elemento de fundamental importância para prover a produção de alimentos e fibras em escala suficiente para uma população mundial que cresce continuamente.¹⁶ Estima-se que a população mundial deva ser da ordem de 12 bilhões em 2050, o que significa um incremento anual de 80 a 85 milhões de pessoas aos atuais 7 bilhões registrados. É importante ressaltar que o maior crescimento demográfico é registrado nos países em desenvolvimento, a exemplo daqueles situados na América do Sul e Central, África e Ásia. Este crescimento demográfico demandará um incremento no consumo de produtos e serviços, além de aumentar a pressão de consumo sobre os recursos naturais solo, água e suprimento energético.

¹⁰MATZENAUER, R., FONTANA, D. C. Relação entre o rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. *CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Coleção de Trabalhos...* Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Belém, p. 3-6, 1987.

¹¹BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI *et al.* *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre: UFRGS, p. 11-24, 1992.

¹²CUNHA, R. G., HAAS, J. C., DALMAGO, G. A., PASINATO, A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.

¹³FAO. *FAOSTAT statistical database*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999.

¹⁴FAO. *World agriculture toward 2000: an FAO study*. London: Belhaven Press, 1988.

¹⁵RHOADES, J. D. Sustainability of irrigation: an overview of salinity problems and control strategies. CRWA 1997 ANNUAL CONFERENCE. "Footprints of Humanity: Reflections of Fifty Years of Water Resource Developments". Lethbridge, Alberta, Canada, 1997, p. 1-42.

¹⁶HOWELL, T. A. Irrigation role in enhancing water use efficiency. NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM. American Society of Agricultural Engineers, Phoenix, Arizona, 2000, p. 66-80.

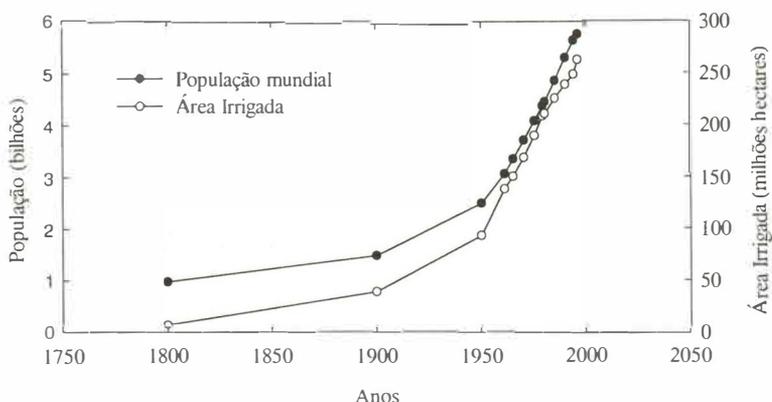


Figura 1

Evolução mundial da área irrigada e da população.

A irrigação e a eficiência de uso da água

Na ausência da irrigação, os componentes principais do balanço hídrico são a precipitação (positivo, porque representa a entrada) e a evapotranspiração (negativo, porque indica as saídas do sistema). Assim, o aspecto mais importante no manejo de uma área agrícola é a associação da época de plantio com o período de maior disponibilidade hídrica às plantas.¹⁷ A precipitação anual no Rio Grande do Sul, na média de 30 anos, é da ordem de 1.540 mm, variando de 1.235 mm em Santa Vitória do Palmar até 2.162 mm em São Francisco de Paula.¹⁸ Isto demonstra que a precipitação pluvial é maior na região Norte do Estado, com totais anuais superiores a 1.500 mm, enquanto a metade Sul apresenta precipitações inferiores a 1.500 mm anuais.

A análise da precipitação anual no Rio Grande do Sul, apresentada na figura 2, indica que a frequência de anos considerados secos está na ordem de 14%, enquanto que os anos chuvosos têm uma probabilidade de ocorrência de 10%. Entretanto, de acordo com as séries históricas disponíveis de observações meteorológicas, em regiões como a Campanha e a Fronteira Sudoeste, a frequência média de anos secos atinge 20%.¹⁹ Esses dados indicam que, a cada quatro safras normais na primavera-verão ocorre uma frustração de safra devido à deficiência hídrica. Considerando que a demanda evaporativa da atmosfera é muito alta nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (figura 2), determinada principalmente pela elevada disponibilidade de radiação solar e temperatura do ar, a chuva normal é, em geral, insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas.

¹⁷CARLESSO, R. Disponibilidade de água em solos arenosos. In: FRIES, M. R. *Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária*. Santa Maria: Pallotti, 1998, p. 21-47.

¹⁸BERLATO, M. A. Op. cit.

¹⁹BERLATO, M. A. Op. cit.

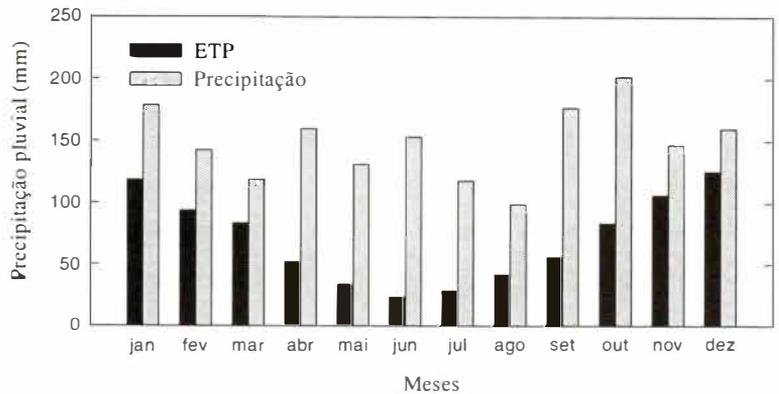


Figura 2

Valores médios mensais da evapotranspiração potencial (Penman) e precipitação pluvial para a região de Cruz Alta, RS, para o período 1988-1998.

Apesar das precipitações pluviais do Estado serem bem distribuídas nas quatro estações do ano (verão=24%, outono=25%, inverno=25% e primavera=26%), a alta demanda evaporativa da atmosfera nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, determinada especialmente pela maior intensidade da radiação solar e por temperaturas do ar mais elevadas, faz com que a precipitação pluvial normal no verão seja, em geral, insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas desta estação. Conforme se demonstra na figura 2, embora o montante das precipitações pluviais, nesse período, seja maior que a demanda evaporativa da atmosfera (ETP), estas são mal distribuídas e normalmente de alta intensidade, em curtos períodos de tempo, resultando em grandes perdas de água devido ao escoamento superficial.

Para minimizar os impactos dos períodos de deficiência hídrica na produção agrícola, pode-se proceder de duas maneiras: a primeira consiste no planejamento da agricultura não irrigada, orientando a época de semeadura conforme o regime pluviométrico de cada região. A segunda e mais eficiente é a incorporação da irrigação suplementar, baseada fundamentalmente no requerimento de água pelas culturas.²⁰ Na atualidade, existe um crescente interesse no controle da irrigação com base em dados climatológicos, pois esses são os principais responsáveis pelas oscilações e frustrações de safras agrícolas no Brasil. Assim, a decisão de quanto e quando irrigar está fundamentada na capacidade de armazenamento de água no solo, no tipo e estágio de desenvolvimento da cultura e nas perdas de água por evapotranspiração.²¹

Os dados da figura 3 indicam que enquanto a área irrigada manteve-se mais ou menos constante nas últimas quatro décadas, a lâmina de água aplicada decresceu de 650 em 1970 para 550

²⁰CARLESSO, R. Op. Cit.

²¹CARLESSO, R., PEITER, M. X., CHRISTOFARI, C. P., WOLSCHICK, D. & PETRY, M. T. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola* (no prelo).

²²JENSEN, M. E., RANGELEY, W. R. & DIELEMAN, P. J. Irrigation trends in world agriculture. In: STEWART, B. A. & NIELSEN, D. R. *Irrigation of agricultural crops*. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 31-67.

mm em 2000. Possivelmente isso esteja relacionado ao avanço no manejo dos sistemas de irrigação, refletindo-se em uma maior eficiência no uso dos recursos hídricos, do solo e da energia.²²

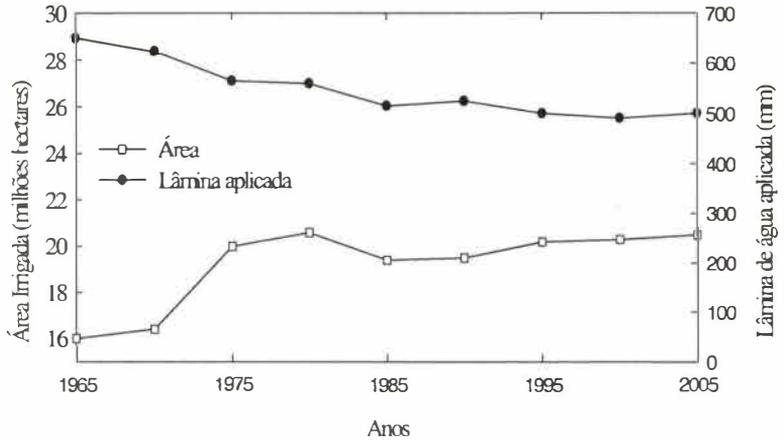


Figura 3
Relação entre área irrigada e lâmina de irrigação aplicada nos Estados Unidos da América desde 1960.

A eficiência de uso da água (EUA) é a razão entre a produção de massa seca por unidade de água consumida, servindo o genótipo da planta e a disponibilidade de radiação solar como fatores fundamentais para maximizar esta relação. Entretanto, a disponibilidade de água é o fator que, isoladamente, mais limita a produção. Wallace & Batchelor oferecem quatro importantes contribuições para melhorar a agricultura irrigada e não irrigada nos EUA: (i) *agronômica*: através do manejo da cultura visando melhor utilização da água das precipitações pluviais e redução das perdas por evaporação com a utilização de práticas conservacionistas (resíduo de culturas, plantio direto, espaçamento e população de plantas, etc); (ii) *distribuição da água*: maior uniformidade de aplicação e distribuição de água pelos sistemas de irrigação; (iii) manejo da irrigação com base na demanda de água pelas culturas e no balanço hídrico, e (iv) *institucionais*: incentivos governamentais ao uso da irrigação; difusão de tecnologias de utilização e manejo de sistemas irrigados.²³

²³WALLACE, J. S. & BATCHELOR, C. H. Managing water resources for crop production. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, v. 352, p. 937-947. 1997.

Pelo exposto pode-se inferir que a agricultura irrigada é um componente vital para aumentar a quantidade e a qualidade de alimentos e fibras produzidas para o consumo humano. O avanço nas áreas irrigadas tem contribuído enormemente nas discussões acerca da melhor eficiência no uso da água, tanto sob o ponto de vista agrônomo e da engenharia, como da preservação e conservação da água. E a melhor contribuição da irrigação na eficiência do seu uso é o aumento da produção por unidade de água

consumida, além de redirecionar a água para a sua maior prioridade, ou seja, o aspecto social, aqui contemplado na maior produção de alimentos.

A água e a produção agrícola

A produção agrícola depende de inúmeros fatores climáticos, a exemplo da temperatura e umidade do ar, que na maioria não são passíveis de controle. Dentre os fatores climáticos, um dos que mais limita a produção agrícola é a distribuição das precipitações pluviais. Segundo Lewes, a água, como elemento essencial à vida, é abundante sobre o globo terrestre porém, não sempre está disponível quando e onde é necessária.²⁴ Assim, a irrigação através da utilização da água de mananciais, represas e outras formas de captação se faz necessária para tornar a produção agrícola menos dependente das distribuições desuniformes das precipitações pluviais.

O uso da irrigação, como técnica de cultivo, ao contrário do que possa parecer, não é recente. Liebmann referido por Moraes *et al.* afirma que os primeiros documentos escritos da humanidade, obra dos Sumérios que os tornaram conhecidos por volta do ano 4000 a.C., continham instruções sobre a irrigação de áreas agrícolas em forma de terraços.²⁵ Como nas modernas regiões industrializadas, também nas civilizações antigas a preocupação com a água foi, desde os tempos primórdios, um fator econômico predominante. As primeiras leis da humanidade, fixadas por escrito, são códigos que regulam o uso da água. Para Daker, a origem da irrigação data de tempos remotos e sua história confunde-se, na maioria das vezes, com a história do desenvolvimento agrícola e da prosperidade econômica de um povo.²⁶

No Brasil, a agricultura começou a modernizar-se após a 2ª Guerra Mundial com a introdução da mecanização agrícola e uso de elementos químicos (fertilizantes, defensivos, etc.). Autores como Kageyama *et al.* definem modernização para designar o processo de transformação na base técnica da produção agropecuária no pós-guerra, a partir das importações de tratores e fertilizantes, com o objetivo de aumentar a produtividade.²⁷

Em tempos de economia globalizada, o uso de ferramentas que tornem a empresa rural competitiva é, antes de mais nada, uma necessidade. Dentre as ferramentas que estão à disposição dos empresários rurais, está a irrigação, tecnologia que possibilita a verticalização da produtividade, propiciando maior renda aos produtores, através da introdução de culturas de maior valor agregado.²⁸

Do ponto de vista técnico, a irrigação é uma atividade que tem por finalidade o suprimento de água às áreas agrícolas, o que pode ser feito por diferentes métodos de irrigação.²⁹ De acordo com Lewes, embora a água seja um elemento abundante, não

²⁴ LEWES, A. *Água para o mundo*. Rio de Janeiro: Record, 1965.

²⁵ MORAES, J. R. *et alii*. *Estudo da viabilidade da introdução da tecnologia de irrigação, no Rio Grande do Sul, para as culturas de soja, milho e feijão, e proposição de uma linha de crédito diferenciado de custeio*. Porto Alegre: FEE, 1980.

²⁶ DAKER, A. *A água na agricultura*. Rio de Janeiro: USAID (Programa de Publicações Didáticas: Irrigação e Drenagem. 3), 1970. 438p.

²⁷ KAGEYAMA, A. *et alii*. *O Novo Padrão Agrícola Brasileiro: do Complexo Rural ao Complexo Agroindustrial*. Campinas: Convênio IPEA/UNICAMP, 1987.

²⁸ COSTA, F. A. & CAVALCANTI, J. E. A. Perímetro irrigado como fator de desenvolvimento regional. *Revista de Economia Rural*, DER/UFV, Viçosa, n. 2, p. 15-21, 1988.

²⁹ COTRIM, C. E. *et al.* Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão. *Irrigação e tecnologia moderna - ITEM*, Brasília, n. 33, p. 21-27, 1988.

- ³⁰ LEWES, A. Op. cit.
- ³¹ VÉLES, E. P. & GARZA, A. M. *Respuesta de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo* – Um enfoque metodológico de investigación. Chapingo: Secretaria da Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1978. 149 p.
- ³² JENSEN, M. E. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph (MI): ASAE, 1981.
- ³³ VIETS, G. G. Fertilizers and efficient use of water. *Advances in Agronomy*, v. 14, p. 223-264-1072, 1962.
- ³⁴ HOWELL, T. A. & HILLER, E. A. Optimization of Water Use Efficiency under High Frequency Irrigation – I. Evapotranspiration and Yield Relationship. *Transactions of ASAE*, v. 18. n. 5, p. 879-887, 1975.
- ³⁵ VÉLES, E. P. & GARZA, A. M. Op. cit.
- ³⁶ HOFFMAN, J. G. *et al. Management of Farm Irrigation Systems*. St. Joseph, USA: Technical Publications, 1990.
- ³⁷ IRGA. Arroz irrigado: recomendações técnicas de pesquisa para o sul do Brasil. REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, XXII, Itajaí, SC. 1997.
- ³⁸ CARLESSO, R., ROSA, G. M., PETRY, M. T. & ZIMMERMANN, F. L. Irrigação da cultura do milho visando a produção de grãos e silagem de qualidade. In: RESTLE, J. *Eficiência na produção de bovinos de corte*. Santa Maria, 2000. p. 147-184.
- ³⁹ ROSA, G. M. *Viabilidade econômica da implantação de sistemas de irrigação no Planalto Médio do Rio Grande do Sul*. Santa Maria, RS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. (Dissertação de Mestrado).

apresenta distribuição uniforme. Desta forma, cultivar o solo com garantia de colheita passa pela necessidade de controlar o uso da água no meio rural. O primeiro passo é conhecer o ciclo da água que, para o autor, é um circuito fechado.³⁰ O seu conhecimento é essencial para evitar desperdícios durante a condução e aplicação. Isso torna-se evidente quando a média de eficiência total do uso da água, no México, é da ordem de 40%, provocado pela condução e aplicação ineficientes da água na áreas irrigadas.³¹

Jensen conceitua como perda de água de irrigação a diferença entre a água aplicada na irrigação e/ou precipitação e a água evapotranspirada pela cultura durante um determinado período.³² Entretanto, Viets sugere a razão entre a produção final e a evapotranspiração da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento para avaliar a eficiência do uso da água.³³ Este parâmetro é também utilizado por Howell & Hiller que sugerem a otimização do sistema através da maximização da eficiência do uso da água ao longo do ciclo de desenvolvimento de uma cultura.³⁴ Véles & Garza afirmam que existe grande potencial para o aumento da produtividade, melhorando o controle de distribuição da água no solo e pelo aumento nas áreas irrigadas, devido ao menor desperdício de água durante a condução e aplicação.³⁵

Muitos países utilizam a irrigação, entre eles, o Egito com 100% da agricultura irrigada, o Japão com aproximadamente 63% e a China com 48%.³⁶ No Brasil, o uso da irrigação na produção de grãos ainda é reduzido. A cultura do arroz tem especial atenção, principalmente no Rio Grande do Sul, com um total de 970.000 hectares irrigados por inundações.³⁷

Nos últimos anos tem sido observado um significativo aumento na área irrigada por aspersão no Rio Grande do Sul. Estima-se que, atualmente, a área irrigada pelo sistema pivô central seja superior a 18.000 hectares, distribuídos em aproximadamente 250 equipamentos nas diferentes regiões do Estado.³⁸ A irrigação é uma tecnologia que possibilita maior agregação de valor ao produto gerado, proporcionando maior renda aos produtores,³⁹ e o interesse pela sua adoção, no Brasil, emerge nas mais variadas condições de clima, solo, culturas e situação sócio-econômica do produtor.

A implantação de um sistema de irrigação por aspersão, de maneira geral, e o sistema pivô central em particular, apresenta inúmeras vantagens em relação a outros sistemas, como as seguintes: (i) dispensa a sistematização da superfície do solo; (ii) permite a aplicação de agroquímicos, principalmente fertilizantes e defensivos agrícolas em qualquer fase de desenvolvimento das culturas; (iii) possibilita a operação em períodos noturnos; (iv) adapta-se a todos os tipos de solo e de culturas; (v) apresenta simples e rápida implantação do projeto e (vi) possibilita um fácil controle da quantidade de água aplicada em cada irrigação.⁴⁰

Resposta das culturas à irrigação

A resposta das culturas em relação à água aplicada depende de diversos fatores, entre eles pode-se citar quantidade e frequência de irrigação, método de aplicação de água, condições de clima, estágio de desenvolvimento e manejo das culturas. Existem vários trabalhos relacionando a resposta das culturas ao decréscimo de umidade ou à quantidade de água no solo.⁴¹ Quanto aos efeitos da lâmina de irrigação sobre a produção, considerando os aspectos econômicos, destacam-se, dentre outros, os trabalhos realizados por Frizzone, Aguiar e Peiter.⁴²

Quando uma pequena quantidade de água é aplicada, esta é quase totalmente utilizada pela cultura e, para maiores quantidades, os acréscimos na produção são progressivamente menores, indicando redução na eficiência de uso de água próximo à condição de máxima produção.⁴³ A água aplicada, além do ponto de produção máxima, provoca redução da produção em consequência da diminuição da aeração do solo, da lixiviação de nutrientes e, provavelmente, do desenvolvimento de doenças associadas ao excesso de umidade.⁴⁴

A redução no rendimento das culturas, ocasionada por deficiência hídrica ou o aumento de rendimento proporcionado pela utilização da irrigação, são questões que afetam diretamente o retorno econômico de uma cultura. Assim, as variações econômicas de uma cultura estão ligadas à intensidade do déficit, da duração, da época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final. O conhecimento dos períodos críticos de desenvolvimento das culturas, bem como as suas respostas às disponibilidades hídricas no solo, possibilitam a adoção de práticas que visam à otimização do uso da água na agricultura.

Necessidade de irrigação na região do planalto sul-rio-grandense

Trabalho desenvolvido para as culturas do milho, feijão safrinha, feijão safra e soja, a partir de dados de clima coletados na região de Cruz Alta, Rio Grande do Sul, encontrou o número médio de irrigações e as lâminas necessárias para essas culturas. Consideraram-se diferentes épocas de semeadura, dentro dos períodos recomendados pela pesquisa, para as culturas citadas, para o período de 1988 à 1998.⁴⁵

O número de irrigações aplicadas na cultura do milho + feijão safrinha (média de dez anos), para quatro épocas de semeadura (segunda quinzena de agosto à primeira quinzena de outubro) para a região de Cruz Alta, é apresentado na figura 4. Observou-se que, em todos os anos, foi necessário o uso da irrigação. Na safra 1995/96 houve maior necessidade, causada pela forte ex-

⁴⁰ AZEVEDO, J. A. de *Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado*. Brasília: EMBRAPA-DID, 1983. 53p.

⁴¹ STEWART, J. I. & HAGAN, R. N. Functions to predict effects of crop water deficits. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, New York, v. 44, p. 412-39, 1973.

MARTIN, D. L.; WATTS, D. G. & GILLEY, J. R. Model and production function for irrigation management. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, New York, v. 112, p. 149-164, 1984.

ENGLISH, M. J.; JAMES, L. & CHEN, C. Deficit irrigation. II: Observations in Colombia Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, New York, v. 3, p. 413-26, 1990.

CARLESSO, R. Absorção da água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ciência Rural*, v. 25, n.1, p. 183-188, 1995.

CARLESSO, R., et al. Op. cit. (no prelo).

⁴² FRIZZONE, J. A. *Função de resposta do feijoeiro (Phaseolus vulgaris, L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação*. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1986. (Tese de Doutorado).

AGUIAR, J. V. Produção de caupi irrigado em Bragança, Pará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, 30(3):239-52, jul/set, 1992.

PEITER, M. X. *Estudo do manejo da irrigação via modelo de simulação*. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. (Tese de Doutorado).

⁴³ PAZ, V. P. S. *Condições ótimas de operação de sistemas de irrigação por aspersão*. Piracicaba. Escola Superior

de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1995. (Tese de Doutorado).

CARLESSO, R., PEITER, M. X., PETRY, M. T. & WOLSCHICK, D. Resposta do sorgo granífero a déficits hídricos aplicados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 211-215, 1997.

⁴⁴ STEGMAN, E. C.; MUSICK, J. T. & STEWART, J. I. Irrigation water management. In: JENSEN, M. E. *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph, USA: ASAE, 1980.

⁴⁵ ROSA, G. M. Op. cit.

pressão do fenômeno Lã Nina. Nesse ano, o número médio de irrigações no cultivo do milho + feijão safrinha, aplicadas nas quatro épocas de semeadura, foi de 55 irrigações. O ano de 1997 (safra 97/98) foi o que apresentou a menor necessidade de aplicação de irrigação.

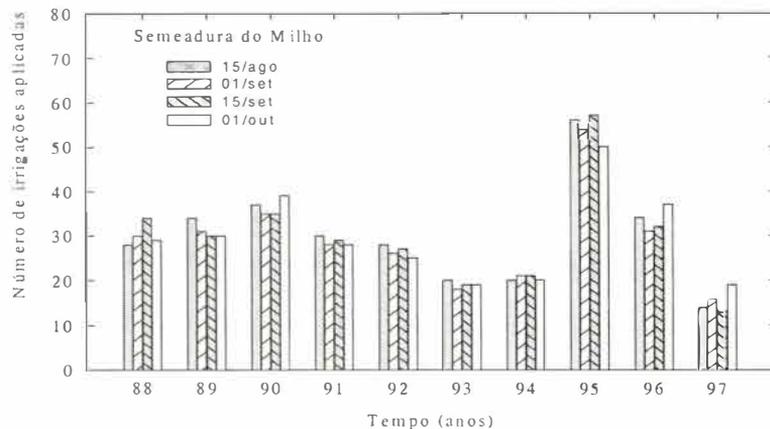


Figura 4

Número de irrigações aplicadas nas culturas do milho + feijão safrinha, no período preferencial de cultivo, média de dez anos, para a região de Cruz Alta, RS. Fonte: CARLESSO *et al.*, 2000.

O número de irrigações aplicadas, média de dez anos, na cultura da soja, considerando quatro épocas de semeadura (primeira quinzena de outubro a segunda quinzena de novembro) pode ser visualizado na figura 5. Observou-se maior número de irrigações (76) no ano de 1990 (safra 90/91) e menor número de irrigações (22), para semeadura da soja realizada na segunda quinzena de novembro, no ano de 1991 (safra 91/92), e um número médio de 47 irrigações para a cultura da soja, na média de dez anos.

O feijão cultivado na safra apresentou menor número de irrigações quando comparado com milho e soja, em média, 17 irrigações dentro do período recomendado para cultivo (média de dez anos). A cultura do milho necessitou maior número de irrigações, quando a semeadura foi atrasada da segunda quinzena de agosto para a primeira quinzena de outubro, reduzindo o número de irrigações a partir deste ponto. O retardamento da semeadura do milho entre a segunda quinzena de agosto e a primeira quinzena de outubro ocasionou aumento no número de irrigações. Comparando-se o número de irrigações aplicadas no cultivo do milho com o número de irrigações aplicadas no cultivo duplo do milho + feijão safrinha, observou-se um aumento médio de 4,9 irrigações entre um cultivo simples de milho e o milho + feijão safrinha. Isso demonstra que o cultivo duplo do milho + feijão na

safrá é uma alternativa técnica e economicamente viável em relação aos cultivos isolados de milho, feijão e soja. A soja apresentou maior número médio de irrigações (43) em comparação com o cultivo do milho, feijão e milho + feijão. Observou-se ainda redução no número de irrigações com o atraso na época de semeadura da soja, primeira quinzena de outubro a segunda quinzena de novembro.

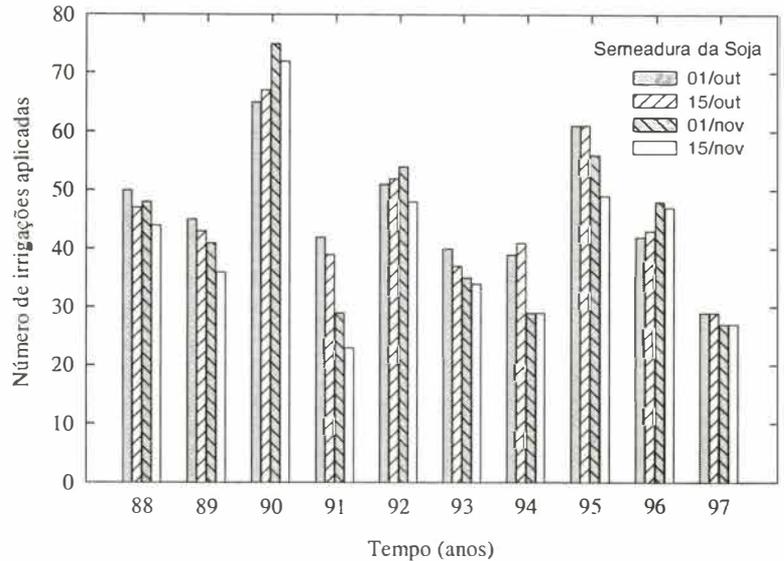


Figura 5

Número de irrigações aplicadas na cultura da soja no período preferencial de cultivo, média de dez anos, para a região de Cruz Alta, RS. Fonte: CARLESSO *et al.*, 2000.

Lâmina média de irrigação aplicada nas culturas

Um dos principais motivos das frustrações de safrá é a deficiência hídrica causada por precipitações pluviárias insuficientes ou mal distribuídas durante o ciclo das culturas. Uma das alternativas disponíveis e economicamente viável para eliminar essa situação é o uso da irrigação.

Para o manejo racional da irrigação, o dimensionamento do sistema de irrigação deve ser elaborado com o conhecimento prévio das seguintes variáveis: (i) caracterização física do solo com avaliação da capacidade de infiltração de água, densidade, capacidade de retenção, limite superior e inferior de disponibilidade de água às plantas, fertilidade, textura, profundidade, etc., (ii) caracterização das plantas através de dados sobre a variedade e/ou culturas, profundidade do sistema radicular, fenologia, susceptibilidade ao déficit hídrico, períodos críticos, rendimento de grãos,

⁴⁶CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, F. L. Op. cit.

altura de plantas, etc., e; (iii) condições climáticas do local, com dados de temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, radiação solar, pressão, etc.⁴⁶

O estabelecimento do momento de irrigar requer a consideração de algumas variáveis como: fatores climáticos, estágio de desenvolvimento da cultura e capacidade de armazenamento de água no solo. Com a finalidade de determinar o momento e a quantidade certa a irrigar, o método mais indicado é o balanço hídrico, que consiste em determinar a disponibilidade de água no solo para as plantas.

Na figura 6 é apresentada a lâmina média de irrigação aplicada nas culturas do milho, milho + feijão safrinha, feijão safrinha e soja. Observou-se que a lâmina mínima aplicada foi de 95 mm, para a cultura do feijão cultivado na safrinha (média de dez anos).

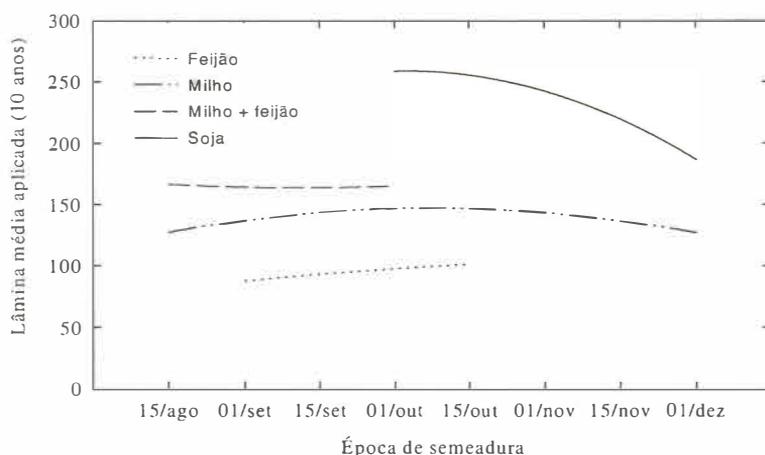


Figura 6

Lâmina média aplicada nas culturas do milho, milho + feijão safrinha, feijão safrinha e soja nos períodos preferenciais de cultivo, média de dez anos, para a região de Cruz Alta, RS. Fonte: CARLESSO *et al.*, 2000.

Para a cultura do milho foi necessária a aplicação de uma lâmina de irrigação (média de dez anos) de 139 mm, para o milho + feijão safrinha de 165 mm e para a cultura do feijão cultivado na safra 94 mm. Reichardt afirma que a cultura do milho necessita de aproximadamente 500 a 800 milímetros de água para completar seu ciclo. Isso significa que esta cultura, na média dos dez anos, apresentou um déficit médio de água, via precipitação pluviométrica, de aproximadamente 20%. O feijoeiro, segundo o mesmo autor, necessita de 300 a 500 mm para completar seu ciclo; sendo assim, a cultura do feijão cultivado na safra teve um déficit médio de água via precipitação pluviométrica de cerca de 23,5%.⁴⁷

⁴⁷REICHARDT, K. Op. cit.

Os resultados apresentados indicam claramente que, para a região do Planalto do Rio Grande do Sul, para as culturas do milho, feijão e soja, a irrigação se fez necessária em todos os anos. Desta forma, o ponto crucial para o produtor irrigante passa a ser quando e quanto irrigar, ou seja, o manejo da irrigação. É importante ressaltar que a precipitação média anual da região de Cruz Alta é de 1.788 mm, volume de água suficiente para a produção agrícola para qualquer época de cultivo. Entretanto, a grande variabilidade da precipitação pluvial é o que determina a necessidade de suplementação de água através da irrigação.

Considerando o estudo desenvolvido por Rosa, verifica-se que as culturas do milho, feijão e soja apresentaram um déficit médio de água, via precipitação pluvial de 20%, 23% e 38%, respectivamente.⁴⁸ A lâmina média anual que deverá ser suplementada via irrigação é de 222 mm para a cultura da soja, 161 mm para o cultivo duplo de milho+feijão, 138 mm para o milho e de 94 mm para o feijão safrinha. O correto estabelecimento do momento de irrigar possibilita, além de evitar prejuízos por déficit hídrico, economia no tocante a gastos energéticos, mão-de-obra na aplicação, uso racional do recurso água, que em determinadas épocas torna-se escasso.

⁴⁸ ROSA, G. M. Op. cit.

Frequência, controle e eficiência da irrigação

A frequência de irrigações ou turno de irrigação é o intervalo de tempo entre aplicações sucessivas da irrigação em uma mesma posição. A irrigação deve ser realizada para manter as condições ideais de umidade próximas do potencial para as plantas de modo a evitar que a deficiência de água em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura venha afetar a sua produtividade. Normalmente para efeito de cálculo do turno de irrigação se utilizam valores médios e não máximos da evapotranspiração da cultura. Desta forma, quanto maior a evapotranspiração menor o turno e, conseqüentemente, maior será o custo da irrigação. Entretanto, a evapotranspiração máxima somente ocorre em determinados estádios de desenvolvimento da cultura e sob elevada demanda evaporativa da atmosfera.⁴⁹

Os principais fatores que afetam a disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, a necessidade de irrigações mais frequentes, podem ser causados pela planta (distribuição do sistema radicular próximo à superfície do solo e maior crescimento vegetativo das plantas), pelo solo (solos superficiais, drenagem e infiltração deficientes, baixa fertilidade natural e problemas de salinidade) pelo clima (elevada demanda evaporativa da atmosfera) e pelo manejo (semeadura coincidindo com a estação com menor probabilidade de ocorrência de precipitações). Quando esses fatores forem total ou parcialmente controlados ou, ainda, adequadamente manejados o turno de irrigação tende a aumentar.⁵⁰

⁴⁹ CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, F. L. Op. cit.

⁵⁰ HAGAN, R. M. Irrigation of Agricultural Lands. In: *Efficient water use in crop production*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1967.

Os métodos mais utilizados para a determinação do momento de acionar o sistema de irrigação em uma determinada área podem ser baseados em características da planta, do solo ou do clima. A planta apresenta alguns sintomas característicos quando submetida a situações de disponibilidade hídrica inferiores às ideais. A maioria das gramíneas reage a períodos de deficiência com o enrolamento das folhas, menor alongação das folhas e entrenós.⁵¹ Outras culturas podem apresentar mudança na pigmentação das folhas, epinastia, ângulo de inserção das folhas, etc. No entanto, quando a planta exterioriza a maioria dessas características o efeito da deficiência da água no solo já causou uma redução significativa no potencial produtivo da cultura.⁵²

⁵¹SANTOS, R. F. & CARLESSO, R. Op. cit.

⁵²CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, F. L. Op. cit.

A *eficiência da irrigação* ou *eficiência do uso da água* pode ser definida, em termos econômicos, como o retorno em produtividade com a adoção da irrigação. A eficiência do uso da água, em termos fisiológicos, representa a quantidade de massa seca produzida por unidade de volume de água absorvida pelas plantas. Como em algumas regiões a transpiração representa mais de 99% da água absorvida pelas plantas tem-se utilizado o termo *razão de transpiração* no lugar de eficiência do uso da água. Desta forma a razão de transpiração representa a relação entre a quantidade de água transpirada pela quantidade de massa seca produzida. Esta razão pode ser elevada, podendo até atingir valores de 500 a 1.000 em estações secas associadas com elevada demanda evaporativa da atmosfera.

Em alguns perímetros irrigados, nos quais existe um esquema prefixado de distribuição parcelar de água, muitos irrigantes utilizam toda a água distribuída para a parcela independente da necessidade de irrigação, pois o custo da água é calculado pela área irrigada e não pelo volume utilizado. Nestes casos a eficiência da irrigação está normalmente entre 30 e 50%. Entretanto, em sistemas com manejo adequado da água de irrigação a eficiência pode ser superior a 85-90%.

Considerações finais

A produção de alimentos em nível mundial tem necessidade de expandir-se verticalmente, aumentando a produtividade. Assim, a alternativa existente para alcançar este incremento produtivo, passa obrigatoriamente pelo aumento da disponibilidade de água aos sistemas agrícolas. Porém, esta água somente trará benefícios ao sistema produtivo, sem causar danos ao meio ambiente, se for utilizada de forma racional e eficiente.

A eficiência do uso da água também pode ser bastante melhorada, no aspecto agrônomo, através do manejo da cultura visando uma melhor utilização das precipitações pluviais. Notadamente, a grande contribuição da irrigação na preservação dos

Genésio Mario da Rosa é engenheiro agrônomo, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul.

Mirta Teresinha Petry é engenheira agrônoma, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFSM.

Reimar Carlesso é engenheiro agrônomo, Ph. D e professor do Departamento de Engenharia Rural da UFSM.

recursos hídricos é o próprio avanço nos sistemas de manejo da água e do solo, além de contribuir para uma discussão global acerca da recuperação de áreas degradadas pela ação do homem mediante o uso racional da água.

É fundamental observar que o excesso e principalmente a escassez do recurso água são os principais fatores responsáveis pela carência de alimentos em algumas regiões do mundo, especialmente nos países subdesenvolvidos, gerando a fome de vários povos e a degradação do solo pelo uso intensivo. Assim, uma melhor eficiência do uso da água na produção mundial de alimentos assume papel primordial na ótica social, direcionando assim, a água para cumprir sua maior prioridade, ou seja, a manutenção da vida na Terra.