

# COMUNICADO TÉCNICO

## RECURSOS HÍDRICOS, AGRICULTURA IRRIGADA E MEIO AMBIENTE

Vital Pedro da Silva Paz<sup>1</sup>, Reges Eduardo Franco Teodoro<sup>2</sup> & Fernando Campos Mendonça<sup>3</sup>

### RESUMO

Reconhece-se cada vez mais a crescente falta de água para irrigação e outros usos. Também, está-se consciente de que, por sua irregular disponibilidade, a qual varia marcadamente ao longo do ano, de ano a ano e de região a região, o uso da água de forma contínua e indefinida, torna-se impossível. Portanto, uma das metas estratégicas para a preservação da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos consiste em se estabelecer critérios de uso adequado em todas as atividades produtivas, razão pela qual este trabalho aborda a escassez de água, a agricultura irrigada e o meio ambiente, com base em informações e estudos que possam contribuir para o direcionamento de uma agricultura planejada, conservando e otimizando os recursos naturais. Os modelos tecnológicos propostos devem considerar um rigoroso equilíbrio entre produção agrícola e preservação dos recursos naturais. O desenvolvimento atual da irrigação depende de procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, melhorar a eficiência de aplicação, proporcionar ganhos de produtividade baseados na resposta da cultura à aplicação de água e outros insumos, sem que comprometa a disponibilidade e a qualidade do recurso.

**Palavras-chave:** irrigação, recursos naturais, uso eficiente da água

### WATER RESOURCES, IRRIGATED AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT

### ABSTRACT

There is a growing concern all over the world over the increasing lack of water resources for irrigation and other uses. The irregular availability of water, both in time and space, also greatly affects its use on a continuous basis. One of the strategies for preserving the quantity and quality of water resources consists in establishing criteria for the appropriate use in all productive activities. The objective of this paper is to provide an in-depth analysis on the relationship among water scarcity, irrigated agriculture and the environment, at the same time contributing to studies that may lead to a planned agriculture, preserving and optimizing the natural resources. Modern technological models must consider a rigorous equilibrium involving agricultural production and preservation of natural resources. Today, the development of irrigation depends on technological and economic procedures for water use optimization, improving application efficiency and providing yield gains from crop response to water application and other productive resources, without, however, compromising availability and quality of resources.

**Key words:** irrigation, natural resources, water use efficiency

---

Recebido em 13/01/2000, Protocolo 006/00

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Bahia. Campus Cruz das Almas, CEP 44380 – 000, Cruz das Almas, BA. Fone: (0xx75) 721 1220, Fax: (0xx75) 721 2350. E-mail: vpspaz@ufba.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Titular, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. CEP 38400 - 902, Uberlândia, MG. Fone: (0xx34) 218 2526, Fax: (0xx34) 212 5566. E-mail: reges@umarama.ufu.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Substituto, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. CEP 38400 - 902, Uberlândia, MG. Fone: (0xx34) 218 2526, Fax: (0xx34) 212 5566. E-mail: fcmendon@ufu.br

## INTRODUÇÃO

No universo, a água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida; em excesso, ela causa inundações e calamidades ambientais e sua escassez provoca fome e miséria. O manejo adequado da água pode conduzir a excelentes resultados na produção de alimentos, porém seu mau uso provoca degeneração do meio físico natural.

As taxas de crescimento da produção agrícola mundial, superadas pelas dos incrementos populacionais nos últimos anos, vêm causando certa intranquilidade com relação à segurança alimentar. Ao lado da oferta de alimentos, estão a degradação dos solos, a baixa resposta positiva da produtividade ao uso de fertilizantes e defensivos e a escassez de água, principais entraves que inviabilizaram o aumento da produção agrícola compatível com a população (Christofidis, 1997). Segundo este autor, se o desequilíbrio persistir, poderá ocorrer uma situação de perda de controle que repercutirá sobre a estabilidade econômica, com sérias crises sociais de difícil solução.

A maioria dos países tem conhecimento dos próprios problemas de disponibilidade e uso dos recursos naturais; no entanto, há muitas dificuldades para a aplicação de tecnologias em grande escala, para resolver ou evitar problemas e para estabelecer programas de preservação desses recursos. Sabe-se que, na maioria dos países e dentro da comunidade tecnológica, as melhores práticas de irrigação são aquelas que buscam o uso mais eficiente da água, com base no uso consuntivo das culturas com programação da irrigação, evitando a salinização e a erosão dos solos. Não se sabe, porém, como estruturar e implementar procedimentos eficientes para implantar o conhecimento disponível entre os usuários da água e assegurar a aplicação contínua de práticas que conduzam a uma agricultura sustentável. A dificuldade decorre principalmente da habilidade, da experiência e do nível educacional do produtor (Alfaro & Marin, 1991).

Para uma produção sempre crescente de alimentos, a alternativa está na produção agrícola sob irrigação, que tem possibilitado um número maior de safras por ano, principalmente em países do hemisfério sul. Tendo em vista ser o setor agrícola o maior consumidor de água e como esta é o componente essencial e estratégico ao desenvolvimento da agricultura, o controle e a administração adequados e confiáveis possibilitarão o manejo justo e equilibrado, preservando a sua qualidade.

## A CRISE ALIMENTAR

A produção alimentar tem sido tema de estudos de diversas instituições internacionais. A FAO (Organização para a Alimentação e a Agricultura da ONU), as ONGs (Organizações não Governamentais) e as instituições oficiais de governos dos países e especialistas apresentam estimativas e previsões muito preocupantes.

A FAO, segundo Christofidis (1997) estimava que havia no mundo, em 1955, 840 milhões de famintos, ou seja, 14,5% dos 5,8 bilhões de habitantes, cujo agravante é a verificação de declínio dos níveis de estoque mundial de grãos.

A produção de cereal, a mais importante lavoura alimentícia, não acompanha o crescimento populacional: a produção cresce em cerca de 1% a.a. e a população em cerca de 1,7% a.a. Em 1977, os países da antiga União Soviética possuíam 123 milhões de hectares para cultivo de cereais, passando para 94 milhões em 1994. Japão, Taiwan e Coréia do Sul perderam, nos últimos anos, 40% de seus campos de cereais. O esgotamento de recursos naturais também tem reduzido as áreas produtivas nos Estados Unidos (Texas e Colorado), México, Espanha e América do Sul (Kennedy, 1993).

A desigualdade alimentar é marcante entre nações, indicando as que apresentam superávit de alimentos e aquelas deficitárias ao extremo. As nações desenvolvidas consomem 50% dos alimentos mundiais e correspondem a 25% da população do planeta. Atualmente, a Europa produz cerca de 30% mais de alimentos por habitante que em meados dos anos sessenta, e a África 27% menos que em 1967 (Hernández, 1996). Um outro fator a ser observado é o desperdício verificado em toda a linha de produção, armazenamento, transporte e consumo de alimentos.

Para melhor compreensão da crise alimentar e da necessidade de incremento na produção, deve-se levar em conta outros indicadores, como perdas, deterioração e desperdício, além dos excessos devidos às desigualdades de consumo per capita e do alto consumo de alimentos de origem animal pelas populações ricas, ou seja, de grãos, através da carne e derivados, que poderiam alimentar diretamente as populações pobres. O consumo médio de um canadense ou americano é superior ao consumo de oito haitianos, acima de três brasileiros e cerca de duas vezes e meia que a média mundial (Christofidis, 1997).

Segundo especialistas, a adoção de modernas tecnologias que permitem a melhoria da eficiência, a redução de perdas, a garantia de produção e ganho de produtividade com a irrigação, fertilizantes, defensivos e biotecnologia, não tem sido suficiente para minimizar a questão alimentar no mundo e, enquanto novas áreas de produção são incorporadas, milhares e milhares de hectares de terra são abandonados ou se tornam improdutivos, pelo uso inadequado e predatório dos recursos naturais.

## RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO

A água é um recurso natural indispensável à sobrevivência do homem e demais seres vivos do Planeta. É uma substância fundamental para os ecossistemas da natureza, solvente universal e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, e sua elevada tensão superficial possibilita a formação de franja capilar no solo, além de imprescindível às formações hídricas atmosféricas, influenciando o clima das regiões; no ser humano, é responsável por aproximadamente três quartos de sua constituição. Infelizmente, este recurso natural encontra-se cada vez mais limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando a sua qualidade e prejudicando os ecossistemas.

A carência de água pode ser, para muitos países, um dos fatores limitantes ao desenvolvimento, pois o modelo tecnológico até então elaborado com base na exploração indiscriminada dos recursos naturais, está esgotado.

Muitos países podem entrar em guerra por causa dos recursos hidráulicos, pois estudos indicam que o consumo mundial de água dobra a cada 20 anos. A água tem sido considerada, no final deste século, um recurso escasso e estratégico, por questão de segurança nacional e por seus valores social, econômico e ecológico (Maia Neto, 1997).

Atualmente, vários países enfrentam problemas com a falta de água, como Kuwait, Israel, Jordânia, Arábia Saudita, Líbia, Iraque, Bélgica, Argélia, Cabo Verde, Etiópia, Iraque, Hungria, México, Estados Unidos, França, Espanha e outros, ou seja, em 26 países do planeta a seca é crônica. No Brasil, a ocorrência mais freqüente de seca reside no Nordeste, enquanto problemas sérios de abastecimento em outras regiões já são identificados e conhecidos. Organismos internacionais alertam para o fato de que nos próximos 25 anos cerca de 2,8 bilhões de pessoas poderão viver em regiões com extrema falta de água, inclusive para o próprio consumo.

A idéia que a grande maioria das pessoas faz com relação à água, é a de que ela é infinitamente abundante e sua renovação natural; no entanto, ocupando 71% da superfície do planeta, 97% deste total se constituem águas salgadas, 2,07% são águas doces em geleiras e calotas polares (água em estado sólido) e apenas 0,63% restam de água doce não totalmente aproveitados por questões de inviabilidade técnica, econômica e financeira e de sustentabilidade ambiental (Maia Neto, 1997).

Em escala global, estima-se que 1,386 bilhões de km<sup>3</sup> de água estejam disponíveis, porém a parte de água doce econômica, de fácil aproveitamento para satisfazer as necessidades humanas, é de aproximadamente 14 mil km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Desde o início da humanidade a demanda de água é cada vez maior e as tendências das últimas décadas são de excepcional incremento, devido ao aumento populacional e à elevação do nível de vida. A população mundial alcançou 5 bilhões em 1998, quase o dobro de 1950 e, para o ano 2000, estima-se em 6 bilhões de pessoas.

Na escala mundial, a demanda hídrica estava estimada, em 1996, em 5.692 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (aproveitamento potencial viável estimado em 14 mil km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) contra uma oferta de 3.745 km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, a oferta hídrica mundial só atendia a cerca de 66% dos usos múltiplos. Mantendo-se as taxas de consumo e se considerando um crescimento populacional à razão geométrica de 1,6% a.a., o esgotamento da potencialidade de recursos hídricos pode ser referenciado por volta do ano 2053. Assim, as disponibilidades hídricas precisam ser ampliadas e, para tanto, são necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para exploração viável e racional da água (Maia Neto, 1997).

O continente da América Latina conta com abundantes recursos hídricos, porém existem consideráveis diferenças entre as distintas regiões nas quais os problemas de água se devem, sobretudo, ao baixo rendimento de utilização, gerenciamento, contaminação e degradação ambiental. A Argentina, o Peru e o Chile já enfrentam sérios problemas de disponibilidade e contaminação da água por efluentes agroindustriais que são descarregados em canais de irrigação (FAO, 1996b). A situação brasileira não é de tranquilidade, embora seja considerado um país privilegiado em recursos hídricos, enquanto conflitos de qualidade, quantidade e déficit de oferta já são realidade. Outra questão se refere ao desperdício de água, estimado em 40%,

por uso predatório e irracional, enquanto a escassez é cada vez mais grave na região Nordeste, onde a sobrevivência, a permanência da população e o desenvolvimento agrícola dependem essencialmente da oferta de água.

O Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta (Maia Neto, 1997). Apesar da situação aparentemente favorável observa-se, no Brasil, uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos (Figura 1). Quando se comparam essas situações com a abundância de água da Bacia Amazônica, que corresponde às regiões Norte e Centro-Oeste, contrapondo-se a problemas de escassez no Nordeste e conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste, a situação se agrava. Ao se considerar, em lugar de disponibilidade absoluta de recursos hídricos renováveis, aquela relativa à população dele dependente, o Brasil deixa de ser o primeiro e passa ao vigésimo terceiro no mundo (Projeto Água, 1998).

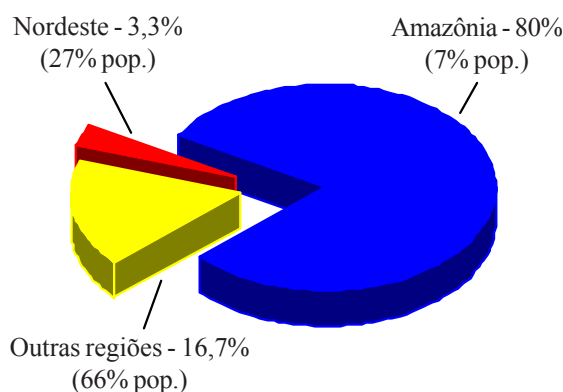


Figura 1. Recursos hídricos no Brasil. Fonte: Projeto Água (1998)

As águas subterrâneas oferecem um potencial em boa parte ainda não explorado. Ao contrário de outros países, que possuem informações e bancos de dados do potencial subterrâneo de água, no Brasil a matéria é tratada com meros palpites e avaliações grosseiras (CPRM, 1997). O Brasil tem o impressionante volume de 111 trilhões e 661 milhões de metros cúbicos de água em suas reservas subterrâneas, inclusive detendo o maior aquífero do mundo, o Botucatu ou Gigante do Mercosul. Muitas cidades já são abastecidas, em grande parte, por águas de poços profundos.

A questão crucial do uso da água subterrânea, inclusive para a agricultura, reside no elevado custo de exploração, além de exigir tecnologia avançada para investigação hidrogeológica (Maia Neto, 1997). Na região Nordeste, caracterizada por reduzidas precipitações, elevada evaporação e pouca disponibilidade de águas superficiais, as reservas hídricas subterrâneas constituem uma alternativa para abastecimento e produção agrícola irrigada. Estudos realizados por Costa & Costa (1997) sobre as disponibilidades hídricas subterrâneas da região indicam que os recursos subterrâneos, dentro da margem de segurança adotada para a sua exploração, contribuem apenas como complemento dos recursos hídricos superficiais para atendimento da demanda hídrica. Segundo o autor, exceções podem ser dirigidas aos estados de Maranhão e Piauí, cujas reservas atenderiam à demanda total e à Bahia, com

atendimento quase total, caso a distribuição dos aquíferos fosse homogênea, pois estes não ocorrem em mais que 40% da área do Estado.

## A AGRICULTURA IRRIGADA

Como já foi citado, o setor agrícola é o maior consumidor de água. A nível mundial, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (Christofidis, 1997). Sendo este, portanto, o elemento essencial ao desenvolvimento agrícola, sem o controle e a administração adequados e confiáveis, não será possível uma agricultura sustentável. No Brasil, quase metade da água consumida destina-se a agricultura irrigada (Cardoso et al., 1998).

Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, a nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no hemisfério Sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano.

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água. Avaliando-se a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar-se que, para produzir uma tonelada de grão, são utilizadas mil toneladas de água, sem se considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e o seu manejo inadequado; avaliações de projetos de irrigação em todo o mundo indicam que mais da metade da água derivada para irrigação se perde antes de alcançar a zona radicular dos cultivos.

A área irrigada no mundo, em 1990, representava aproximadamente 17% das terras sob cultivo permanente e temporário, permitindo a obtenção de cerca de 40% da produção agrícola total mundial. A superfície irrigada na América Latina é de quase 16 milhões de hectares, sendo que grande parte desta área corresponde ao México e o restante se distribui, em sua maior parte, entre Argentina, Brasil, Chile e Peru. Esta região apresenta um importante potencial de irrigação, em particular no Brasil. Da área irrigável adicional para os próximos 50 anos, estimada em mais de 150 milhões de hectares em nível mundial, 11,5% estão no Brasil, possibilitando uma média de incorporação anual de 260 mil hectares irrigados (FAO, 1996a). No caso do México, a agricultura irrigada responde por aproximadamente 50% da produção total.

O Brasil demonstra grande potencial, com cerca de 5% da área cultivada irrigada, respondendo por 16% da produção total e por 35% do valor dessa produção. Segundo Santos (1998) a atual situação das áreas sob irrigação nos diversos estados brasileiros e o indicador de área irrigada/plantada, ante o potencial de solos e água disponíveis, demonstram larga margem para ampliar os 2,68 milhões de hectares em 1997, para uma área estimada de 16 milhões de hectares para aproveitamento hidroagrícola, sem se considerar as várzeas com área adicional presumida de 33 milhões de hectares.

Considerando-se as diferenças socioeconômicas regionais, os recursos naturais e as condições edafoclimáticas, a distribuição das áreas irrigadas no Brasil ocorre de forma desigual, e daí os métodos e/ou sistemas de irrigação utilizados, os quais dependem, dentre outros fatores, do nível tecnológico compatível e acessível economicamente ao produtor.

Há que se considerar, ainda, a dimensão do território brasileiro, com suas adversidades mais distintas como clima, solo e recursos hídricos, levando ao desenvolvimento da agricultura irrigada segundo as capacidades regionais; é o caso, por exemplo, da cultura arrozeira irrigada na região Sul, grãos e cereais nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e, ultimamente, crescimento da fruticultura irrigada na região Nordeste.

A nível mundial, a expansão da área agrícola sem irrigação é restrita, pela dificuldade de se encontrar solos que não apresentem riscos ambientais e até mesmo pela inexistência de solos aptos. Para a agricultura irrigada, a expansão da área no mundo torna-se mais difícil devido às restrições de disponibilidade de recursos hídricos, às condições ambientais, às dificuldades econômicas e à degradação dos solos.

A incorporação e conseqüente expansão de áreas irrigadas devem estar associadas ao aumento dos níveis de produtividade atuais, porém atenção especial deve ser dada às práticas apropriadas de irrigação, sem que estas resultem em danos ao sistema solo-planta. No mundo, 10 milhões de hectares de áreas são abandonados anualmente por efeito da salinização e processos decorrentes. Aproximadamente 23% da área cultivada no planeta se constituem de solos salinos e 37% de solos sódicos (Szabolcs, 1989; citado por Aragões, 1998).

Segundo a FAO (1998) na América Latina mais de 3 milhões de quilômetros quadrados de terras agrícolas estão degradados e vastas superfícies de terras áridas correm riscos de desertificação. Na Argentina e no Chile, 35% da áreas irrigadas estão salinizadas e 30% das terras de regiões costeiras do Peru também apresentam este problema (Alfaro, 1990). No Brasil, principalmente no Nordeste, cerca de 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos estão com problemas de salinização (Bernardo, 1997).

São muitos os fatores que influem no perigo de degradação do solo como, por exemplo, a qualidade e a profundidade da capa freática, as características físicas do solo, as práticas impróprias de irrigação e a presença ou ausência de drenagem natural ou artificial. No mundo, cerca de 30 milhões de hectares estão gravemente afetados por sais e outros 80 milhões são identificados como moderadamente afetados (FAO, 1996b).

Mediante a melhoria das práticas de irrigação, construção de sistemas de drenagem no campo, lixiviação de sais em excesso e outras medidas, é possível se controlar o risco de degradação do solo e, igualmente importante, reduzir os efeitos sobre as plantas, obtendo-se aumentos significativos dos níveis de produtividade e preservando as condições ambientais. De acordo com Cardoso et al. (1998) o manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado.



## USO EFICIENTE E VALORIZAÇÃO DA ÁGUA

O conceito de uso eficiente da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade que se utiliza por unidade de qualquer atividade, e que favoreça a manutenção e a melhoria da qualidade da água. Este uso eficiente está relacionado a outros conceitos de manejo atual dos recursos ambientais, sendo básico para o desenvolvimento sustentável e assegurando que haja recursos suficientes para as gerações futuras.

O planejamento é indispensável no sentido de compatibilizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitorando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, melhorando os níveis de eficiência global de uso.

A importância do uso eficiente da água, obviamente, varia de região para região e de época para época; por exemplo, em regiões áridas e semi-áridas a necessidade de água é maior que em regiões úmidas; portanto, os custos, os benefícios e o uso propriamente dito da água, devem ser considerados; além disso, os fatores de ordem econômica e social também são importantes e, em muitos casos, a educação tem levado à conservação e ao melhor uso da água disponível.

A eficiência do uso da água de irrigação integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação nas parcelas irrigadas. Vários trabalhos apontam baixos valores de eficiência, indicando a necessidade de utilização de estratégias de manejo para estimativa da quantidade de água a ser aplicada e operação adequada de sistemas, proporcionando melhoria dos níveis de eficiência. Os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de eficiência do uso da água. Métodos pouco eficientes tornam-se incompatíveis com as políticas atuais de uso da água, principalmente em regiões de disponibilidades restritas como, por exemplo, a irrigação por sulcos, em que apenas uma parcela, da ordem de 45% da água derivada, é efetivamente utilizada pelos cultivos.

Estima-se que, em média, a eficiência de irrigação é de 37% a nível mundial. Muito do volume perdido torna-se severamente degradado em sua qualidade, ao arrastar sais, pesticidas e elementos tóxicos do solo, motivo pelo qual, além da dificuldade de recursos hídricos adicionais, em muitos casos tem-se o uso não eficiente como causa da redução da disponibilidade e da qualidade. Pequenos aumentos na eficiência produzem incrementos significativos na água disponível para outros fins, principalmente em situações de competição pelo uso da água; quanto maior a eficiência, menores os custos de bombeamento, condução e distribuição da água de irrigação.

Muitos dos fatores que afetam o uso da água são essencialmente econômicos e a maneira como eles se combinam, depende do preço relativo do recurso. Segundo a teoria econômica, a combinação ótima dos insumos, também conhecida como eficiência econômica, ocorre quando os preços marginais de cada um dos fatores são iguais, ou seja, se um dos insumos tem preço muito baixo ou nulo, este será utilizado tanto quanto se julgue necessário. Quando o preço de um

recurso como a água é muito baixo em relação aos outros, ele é utilizado sem se levar em conta a quantidade e a sua conservação. Com relação à água pode-se, portanto, inferir que: a) a atenção prestada ao eficiente uso da água é diretamente proporcional ao preço cobrado pelo recurso; b) quando o recurso é avaliado corretamente, considerando-se a sua contribuição à produtividade, existe um incentivo através de forças de oferta e demanda para utilizá-lo eficientemente, através da introdução e de mudanças tecnológicas; c) a quantidade e a qualidade da água estão estreitamente relacionadas às ações para o incremento da eficiência de seu uso, e d) no contexto de demanda de água, os princípios de eficiência e valor do recurso quando os fatores sociais são complexos, devem ser considerados com atenção.

O conceito econômico da água de irrigação segue os princípios da teoria da produção, em que a aplicação às culturas ocorre segundo os critérios de comportamento empresarial, buscando-se a maximização dos rendimentos ou benefícios; desde modo, a água é um fator de produção agrária ao qual estão associados diversos custos. Quando considerada um bem independente da terra, pode ser objeto de valorização diferente, cujo valor primário é definido pelo custo de obtenção. Outra forma de valorizar a água de irrigação, se dá em função de sua produtividade, ou seja, o preço máximo a que está disposto a pagar o empresário agrícola pela incorporação da água, depende do cultivo, de seu preço de venda e de sua produtividade; portanto, conhecendo o preço de oferta da água, o empresário programará os cultivos na propriedade, com o objetivo de maximizar o rendimento e determinará quais as culturas viáveis em caso de escassez de água. Como a cada nível de água aplicada corresponde um nível de produtividade, o produtor fixará a quantidade de água a aplicar, segundo um critério de racionalidade econômica.

As novas tecnologias de irrigação constituem uma importante estratégia para o uso eficiente da água, pois à medida que o preço de oferta aumenta, produz-se a necessidade de substituição dos sistemas tradicionais de irrigação por outros mais modernos, capazes de proporcionar maior eficiência. Como para cada tecnologia de irrigação a eficiência varia, existirá uma função de resposta diferente do cultivo à água aplicada, de tal maneira que o nível que maximiza o benefício se encontra no ponto em que o valor da produção obtida pelo aumento de uma unidade de água útil é igual ao preço desta. Este preço da água, obtido como custo marginal, é o preço máximo que se pode realizar na empresa agrícola sem que ocorram perdas. A eficácia do uso da água pode ser medida pelos benefícios econômicos líquidos, que se obtêm por cada unidade aplicada.

Outros fatores que influenciarão no preço da água e que, todavia, estão muito relacionados com as tecnologias de irrigação, são a qualidade dos solos e da água. De forma geral, a medida em que diminui a qualidade do solo, a retenção de água se torna menor, resultando em menor eficiência, requerendo maiores quantidades de água para a obtenção de igual nível de produção. Sugere-se, portanto, que para a maximização dos benefícios sejam utilizadas tecnologias modernas quando os preços da água e da produção são elevados e os solos de baixa

qualidade; assim, em terrenos planos, com solos pesados, água abundante e barata, é preferível manter as tecnologias tradicionais. Com novas tecnologias, também é possível o aumento de produtividade com água salina, resultado de sistemas mais eficientes para manutenção da umidade no solo e de processos de melhoria da qualidade da água.

## DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

O conceito de sustentabilidade ligado à preservação do meio ambiente é uma idéia recente, visto que nos países desenvolvidos o ambientalismo somente tomou corpo a partir da década de 50. Isto se deve ao fato de que, a partir desta época, ficaram evidentes os danos que o crescimento econômico e a industrialização causaram ao meio ambiente, fazendo prever as dificuldades de se manter o desenvolvimento de uma nação com o esgotamento de seus recursos naturais (Carvalho, 1994).

Devido ao progressivo esgotamento dos recursos naturais e aos efeitos visíveis da deterioração ambiental, o conceito de desenvolvimento sustentável refere-se à capacidade de se obter maiores níveis de bem-estar, sem comprometer a base que sustenta a população atual, mas satisfazendo a necessidade das gerações futuras (Valenzuela et al., 1994).

O ponto crítico da sustentabilidade não é se deve haver crescimento agrícola ou o quanto deve ele ser, mas como empreender este crescimento, de tal maneira que a base do recurso natural não seja degradada. Se se degrada a base dos recursos que sustentam o bem-estar humano e, sem conservação ou recuperação, a pobreza será inevitável (Vosti & Reardon, 1999).

Segundo Martinez-Austria (1991) o modelo tecnológico até agora elaborado com base na exploração dos recursos naturais, está esgotado. É necessário, portanto, uma mudança de enfoque sobre o uso indiscriminado do capital natural para a sua conservação e aproveitamento em equilíbrio com o meio ambiente.

No Brasil, a questão ambiental está tomando novos rumos, superando a fase heróica e resistente, na qual o ambientalismo e o desenvolvimento eram tidos como adversários. Neste sentido, com a introdução de novos conceitos de desenvolvimento sustentado iniciou-se um novo ciclo, baseado na elaboração e implementação de políticas ambientais, na busca da negociação e do entendimento entre a preservação do meio ambiente e os processos de produção. Os avanços podem ser notadamente verificados com o novo estatuto das águas (Lei Federal 9.433/97), Protocolo Verde (dispositivo institucional de introdução da variável ambiental como critério relevante nas decisões de política econômica e de financiamento de projetos) e outros dispositivos de dimensão ambiental inseridos nas decisões de políticas públicas. Medidas específicas de manejo racional de áreas irrigadas e cobrança pelo uso da água já estão estabelecidas em lei.

Desafortunadamente, o desenvolvimento econômico e social atual contrapõe-se à conservação do meio ambiente. O planejamento e as tomadas de decisões relativas ao desenvolvimento sustentado requerem o entendimento e a integração das considerações ambientais e dos fatores sociais

e econômicos. A situação atual revela uma crescente e precária utilização dos recursos naturais pelo homem, depreciando-os quantitativa e qualitativamente.

Diversas manifestações de deterioração ambiental conspiram contra a possibilidade de incrementar a produção alimentar e, sobretudo, assegurá-la às futuras gerações. É necessário que se revertam certas tendências, como processos de desertificação, que ameaçam 70% das áreas secas produtivas e devastação florestal, que têm convertido ecossistemas naturais em áreas de pecuária, inundação e salinização, erosão e perdas de solos e rebaixamento dos níveis freáticos subterrâneos, entre outros (FAO, 1996c). Uma avaliação mundial da degradação dos solos, devido à intervenção humana, realizada por Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)/Centro Internacional de Referencias y Datos de Suelos (ISRIC), tem revelado que 15% dos solos mundiais, ou seja, 1965 milhões de hectares, estão danificados. Entre os fatores mais frequentes tem-se a erosão pela água, seguida da erosão pelo vento, o empobrecimento de nutrientes, a salinização e a compactação. Segundo Warkentim (1991) a conexão entre agricultura irrigada, recursos hídricos e meio ambiente, pode ser verificada pela gravidade dos processos de infiltração abaixo do sistema radicular, como no caso de nitratos, pesticidas e outros elementos químicos tóxicos solúveis, que produzem, ao longo dos anos, a contaminação dos reservatórios de água subterrânea e a salinização gradual resultante do incremento de lâminas de irrigação onde não existe drenagem adequada.

Assegurar a produção de alimentos dentro dos limites da natureza significa utilizar os recursos de maneira eficiente, ou seja, converter os recursos limitados em produtos úteis, viáveis economicamente, porém diminuindo as repercussões sobre o meio ambiente durante a produção, manuseio e comercialização.

No que diz respeito à agricultura irrigada, principalmente nos países em desenvolvimento, a outorga e a cobrança pelo uso da água podem tornar-se instrumentos eficazes para a racionalização e conservação do recurso, além de incentivar a adoção de tecnologias de irrigação com maior eficiência produtiva.

É necessário reabilitar, conservar e vigiar os recursos naturais nas zonas produtoras de alimentos, nas áreas florestais e bacias adjacentes. Deve-se estabelecer normas para incentivos econômicos e sociais aos agricultores e outras pessoas do setor de alimentação, a fim de se reduzir a degradação e adotar práticas de gestão sustentável dos recursos.

## CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGRÍCOLA

A ciência e a tecnologia, nos últimos anos, tem-se caracterizado pela progressiva incorporação da questão ambiental, cuja situação responde a uma crescente preocupação com a acelerada deterioração da natureza e esgotamento dos recursos naturais, provocados pela expansão da atividade do homem, tanto em sua extensão como na intensidade.

O crescimento agrícola continua sendo prioridade dos formuladores de políticas na maioria dos países em desenvolvimento, pois incrementos rápidos da produção de alimentos são absolutamente necessários. Como a fronteira de

terras agrícolas em muitos países está diminuindo, altos rendimentos requerem a intensificação da agricultura, com tecnologias compatíveis com a conservação da base dos recursos naturais. Os problemas maiores têm sido com a degradação da terra e da água, diminuindo as colheitas e aumentando os custos dos alimentos (Vosti & Reardon, 1999). De acordo com Lopéz (1999) a pesquisa agrícola é imprescindível ao propósito de se gerar tecnologia que sirva de base para propor formas de aumentar a rentabilidade dos produtores e, ao mesmo tempo, proporcionar o uso racional, conservação e recuperação dos recursos naturais.

Nos últimos anos tem-se registrado uma revolução na ciência e na arte da irrigação; tem-se alcançado, também, alto conhecimento das relações interativas solos-cultivos-água, decorrentes do clima e dos métodos de aplicação de água. Esses avanços tecnológicos coincidem com uma série de inovações com recursos computacionais que permitiram a adoção de práticas mais eficazes de aplicação de água, adubos, controle de umidade no solo e estimativa da necessidade de água das culturas, a partir de complexos modelos agroclimatológicos.

As linhas de desenvolvimento tecnológico devem produzir o maior impacto possível mediante a melhoria na operação de sistemas, captação e condução de água e maior eficiência da irrigação. Uma das áreas mais promissoras para incrementar a eficiência do uso da água para irrigação é a aplicação de técnicas de otimização (Wu, 1972) levando-se em conta a resposta dos cultivos à quantidade de água aplicada (Frizzone, 1993). Mesmo em se tratando de água salina, estudos indicam que é possível obter-se benefícios conhecendo-se a função de resposta da cultura à salinidade (Dinar et. al., 1986).

O estudo e o monitoramento das condições de solo e clima durante o desenvolvimento da cultura, permitem proporcionar, com alta precisão, a quantidade requerida de água no momento oportuno, a partir de instrumentos de medida e controle instalados no campo e operados por modelos computacionais.

O prognóstico de períodos de seca, conhecendo-se a variação temporal e espacial das precipitações, é de suma importância, fornecendo subsídios ao planejamento da época de plantio e melhor adequação ao uso da irrigação (Sousa, 1999). Esses eventos de seca, custosos para a agricultura, devem ser previstos com máxima segurança, com o maior número de informações possíveis e, principalmente, confiáveis, para o local ou região de estudo. Para compensar, em parte, a variabilidade das precipitações e assegurar rendimentos satisfatórios, devem ser estudadas variedades geneticamente adaptadas às condições de clima e fertilidade do solo e, sobretudo, resistentes à deficiência de água.

Outras linhas de investigação importantes são a redução da evaporação de água em reservatórios e a diminuição das perdas por condução em canais de distribuição. Alguns métodos de redução da evaporação ainda apresentam restrições de funcionamento e requerem mais estudos, principalmente para grande corpos d'água. O desenvolvimento de algoritmos para otimização da operação de canais torna-se difícil, pela existência de diferentes cultivos com diferentes requerimentos de água.

A aplicação intermitente de água é uma técnica com potencial capaz de modificar as práticas atuais de irrigação por gravidade, incrementando a eficiência, diminuindo as perdas e aumentando a uniformidade de aplicação. Apesar dos avanços nos estudos

realizados por muitos pesquisadores, como Karmeli & Peri (1975), Bishop et al. (1981) e Samani et al. (1985) dentre outros, para modelar os processos de avanço e infiltração, uma das investigações promissoras é o desenvolvimento de dispositivos automáticos e de baixo custo para esse sistema.

Um estudo cujos resultados se mostram viáveis, é a irrigação com déficit. Em situações em que existe escassez de água, é possível elaborar-se um programa de irrigação tal, que uma parte da parcela seja completamente irrigada, e outra com déficit. Visto a nível de parcela, o sistema produzirá menos do que se fora irrigado por completo; no entanto, ante a escassez de água, a produção global pode ser aumentada. Com as investigações antecedentes (Stewart & Hagan, 1973; Stewart et al., 1974; Peri et al., 1979; English & Nuss, 1982) este conceito de irrigação deficitária pode estender-se ao estudo de operação de sistemas de irrigação, proporcionando bons níveis de eficiência de aplicação de água (Paz, 1995).

Muitas estratégias de otimização do uso da água e busca de melhor rentabilidade da agricultura devem integrar as tecnologias de irrigação com sistemas de alta eficiência e, principalmente, reduzido custo para o produtor.

Além de modernas práticas de irrigação, a eliminação da água em excesso da zona radicular da cultura e a lixiviação de sais, que se acumulam por concentrações sucessivas, são temas que preocupam os pesquisadores, pela magnitude dos efeitos sobre a rentabilidade das culturas e deterioração da qualidade dos solos.

Produzir tecnologia com estratégias, em que o objetivo seja melhorar a situação presente e proteger efetivamente os recursos naturais, não é uma forma muito comum de trabalho nas instituições de pesquisa; por conseguinte, sua estrutura operacional e administrativa não estaria adaptada ao enfoque específico de validação e correção de resultados, segundo novos conceitos e metodologias da pesquisa agrícola. O trabalho multi e interdisciplinar deve ser fomentado mediante estímulos ou incentivos, gerando união ou relações de trabalho concretas entre os diversos agentes institucionais de desenvolvimento tecnológico (Lopéz, 1999). É indispensável que a pesquisa seja um processo contínuo, visto que a tecnologia gerada necessita de ajustes pontuais, em que a presença de técnicos e especialistas é oportuna e deve estar integrada a um programa de capacitação em todos os níveis, abrangendo técnicos, administradores, tomadores de decisão, produtores, etc. Segundo a FAO (1996a) para se aumentar, de maneira significativa, a produtividade da agricultura irrigada, será necessário fazer-se um grande esforço para transferir os conhecimentos e tecnologias de cultivo irrigado aos agricultores, corrigindo as insuficiências que têm demonstrado até agora muitos serviços de extensão e difusão.

Em termos gerais, o maior problema enfrentado pela pesquisa nos últimos anos tem sido a instabilidade dos níveis de financiamento. Expressivos nos anos sessenta e setenta, os investimentos em pesquisa agrônômica foram moderados nos anos oitenta e assim, seguiram nos anos noventa, principalmente os investimentos públicos de países em desenvolvimento. Adquiriu importância, com repercussões consideráveis, a iniciativa privada nos setores de indústria química de fertilizantes, de indústria de máquinas e implementos, melhoria genética, elaboração de alimentos e fitossanidade etc.



As impressionantes contribuições anteriores da ciência e da tecnologia para atender às necessidades alimentares, foram possíveis graças aos investimentos em pesquisa agrônômica. Os progressos futuros só se realizarão com o aumento dos investimentos, para fazer frente a novos e mais amplos problemas. A pesquisa deve proporcionar tecnologias para manter o ritmo de progresso alcançado até hoje e elevar ainda mais a produção, porém dentro de um contexto de conservação dos recursos dos quais depende a agricultura, e da proteção do meio ambiente natural contra os possíveis efeitos nocivos da intensificação agrícola. É por isso que o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo é importante para o aumento da rentabilidade econômica do produtor e para a geração de novos postos de trabalho no setor agrícola (FAO, 1996b).

A medida em que os sistemas de produção se tornam mais complexos com a introdução de novas tecnologias, os conhecimentos e as informações ganham maior importância. Quem tem acesso à informação e pode entendê-la, tem a vantagem, em termos comparativos, para a seleção da tecnologia mais adequada e, com isto, a redução dos custos de produção. A informação é importante na gestão dos recursos limitados, além de acelerar a difusão, a transferência e o intercâmbio entre pesquisadores e usuários de sistemas tecnológicos.

## CONCLUSÕES

1. A sustentabilidade dos recursos de terra e água, responsáveis pela segurança alimentar, requer uma vigilância contínua, compatibilizando informações e procedimentos de controle da disponibilidade e qualidade desses recursos.
2. O êxito da agricultura sustentável está no desenvolvimento de metodologias e instrumentos tecnológicos apropriados a cada situação e região, prontamente acessíveis e possíveis de serem adotados pelo produtor e capazes de promover o aumento de produtividade com o mínimo risco ao meio ambiente.
3. O desenvolvimento da agricultura irrigada exige procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, para a melhoria de eficiência de aplicação e ganhos de produtividade baseados na resposta da cultura à aplicação de água e outros insumos sem, contudo, comprometer a disponibilidade e qualidade do recurso.
4. O aumento dos níveis de produtividade agrícola só será possível com maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento, proporcionando tecnologias de baixo custo para o produtor, acessíveis e adaptáveis a cada situação ou região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, J.F. Assessment of progress in the implementation of the Mar del Plata action plan and formulation of a strategy for the 1990s (Latin America and the Caribbean). California: United Nations Development Program, Food and Agricultural Organization, Department of Economic and Social Affairs, Department of Technical Cooperation. 1990. 90p.
- ALFARO, J.F.; MARIN, V. Uso de água y energia para riego en America Latina. [http://unesco.org.uy/phi/libros/uso\\_eficiente/alfaro.html](http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/alfaro.html). 1991.
- ARAGÜES, R. Calidad de agua para riego. In: IX Curso Internacional de Riego Localizado. Tenerife. 1998. 162p.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D. da.; Pruski, F.F. (Ed.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997. 252p.
- BISHOP, A.A.; WALKER, W.R.; ALLEN, N.L.; POLLE, G.J. Furrow advance rates under surge flow systems. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.107, n.1R3, p.257-64, 1981.
- CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. As águas da agricultura. *Agroanalysis*. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. 1998. p.27-28.
- CARVALHO, J.O. Projeto Áridas: uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o nordeste. Brasília. 1994. 353p.
- CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. [www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm](http://www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm). 1997. 14p.
- COSTA, W.D.; COSTA, W.D. Disponibilidades hídricas subterrâneas na Região Nordeste. *A Água em Revista*, Belo Horizonte, n.9, p.47-59, 1997.
- CPRM. Água subterrânea – fonte mal-explorada no conhecimento e na sua utilização. [www.cprm.gov.br/agua1001.htm](http://www.cprm.gov.br/agua1001.htm). 1997.
- DINAR, A.; LETEY, J.; VAUX JR., H.R. Optimal ratios of saline and nonsaline irrigation water for crop production. *Soil Science Society America*, v.50, p.440-443, 1986.
- ENGLISH, M.J.; NUSS, G.S. Designing for deficit irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.108, n.2, p.91-106. 1992.
- FAO. Situación de la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. [www.fao.org/efs/spanish/LAR96-4.htm](http://www.fao.org/efs/spanish/LAR96-4.htm). 1996a.
- FAO. Producción de alimentos: función decisiva del agua. [www.fao.org/wsf/final/volume2/t07sum-s.htm](http://www.fao.org/wsf/final/volume2/t07sum-s.htm). 1996b.
- FAO. La seguridad alimentaria y el medio ambiente. [www.fao.org/catweb/default32.htm](http://www.fao.org/catweb/default32.htm). 1996c.
- FAO. La conservación de las tierras en América Latina. [www.fao.org/ag.esp/revistas/spot4.htm](http://www.fao.org/ag.esp/revistas/spot4.htm). 1998.
- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ-Departamento de Engenharia Rural, 1993. 53p. Série Didática, 06
- HERNÁEZ, S. Comerse el mundo. [www.hachette.es/quo/96dic/natura/mundo.html](http://www.hachette.es/quo/96dic/natura/mundo.html). 1996
- KARMELI, D.; PERI, G. Pulse irrigation – design for operation sets. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.103, n.1R1, p.112-127. 1975.
- KENNEDY, P. Preparando para o Século XXI: Agricultura mundial e a resolução de biotecnologia. Rio de Janeiro: Editora Campus, 246p. 1993.
- LOPÉZ, J.K. El papel de la investigación agrícola en el combate a la pobreza y conservación de los recursos naturales. Elementos para su decisión. Rede Internacional de Metodologia de Investigación de Sistemas de Producción. [www.rimisp.cl/r/kondo.htm](http://www.rimisp.cl/r/kondo.htm). 1999.
- MAIA NETO, R.F. Água para o desenvolvimento sustentável. *A Água em Revista*, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.



- MARTINEZ-AUSTRIA, P. Uso eficiente del agua en riego. In: *Uso eficiente del agua*. [www.unesco.org/phi/libros/uso\\_eficiente/cap4.html](http://www.unesco.org/phi/libros/uso_eficiente/cap4.html). 1991.
- PAZ, V.P.S. Operação ótima de sistemas de irrigação por aspersão. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 96p. Tese Doutorado
- PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.I. Optimal irrigation depths – a method of analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.105, n.4, p.341-54. 1979.
- PROJETO ÁGUA. Ecosistemas aquáticos. [www2.rantac.com.br/cardeal/Projeto\\_Agua.htm](http://www2.rantac.com.br/cardeal/Projeto_Agua.htm). 1998.
- SAMANI, Z.A.; WALKER, W.R.; WILLARDSON, L.S.; POOLE, G.J. Infiltration under surge flow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.28, n.5, p.101-121. 1985.
- SANTOS, J.R. dos. Irrigar é preciso. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p.29-34, 1998.
- SOUSA, S.A.V. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 124p. Tese Doutorado
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.99, n.1R4, p.421-439, 1973.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M.; PRUIT, W.O. Functions to predict optimal irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.100, n.1R2, p.179-199, 1974.
- VALENZUELA, J.; TOMIC, T.; LOBO, A.G.; FAETH, P.; BENITO, C.; ALTIERI, M.A. *Agricultura sustentable*. Chile: Ed. Universidade Talca. 1994. 90p.
- VOSTI, S.A.; REARDON, T. Desarrollo agrícola, sustentabilidad y alivio de la pobreza: el triangulo critico. *Rede Internacional de Metodologia de Investigación de Sistemas de Producción*. [www.rimisp.cl/r/rearvos.htm](http://www.rimisp.cl/r/rearvos.htm). 1999.
- WARKENTIM, B.P. Protección de la calidad del agua subterránea através de un riego eficiente. In: *Uso eficiente del agua*. [www.unesco.org/phi/libros/uso\\_eficiente/warkentim](http://www.unesco.org/phi/libros/uso_eficiente/warkentim). 1991.
- WU I-PAI. Optimal irrigation quantity and frequency. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE, New York, v.98, n.1R1, p.117-133, 1972.