

VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO, SOB CONDIÇÕES DE RISCO, EM REGIÕES DE CLIMA SUBTROPICAL.

I. CULTURA DO MILHO¹

ALBERTO ELVINO FRANKE² e RAUL DORFMAN³

RESUMO - Este trabalho foi conduzido com a finalidade de estimar a viabilidade econômica, sob condições de risco, da irrigação por aspersão na cultura do milho (*Zea mays* L.) em regiões de clima subtropical. Na simulação das necessidades de irrigação, por meio de um modelo de balanço hídrico, usou-se uma série de 10 anos de dados meteorológicos diários das estações meteorológicas de Cruz Alta (28°38'21" S, 52°36'34" W) e Passo Fundo (28°15'39" S, 52°24'33" W), ambas no Rio Grande do Sul. As necessidades foram simuladas para a combinação entre: locais (regiões agroecológicas das Missões e Planalto Médio); épocas de semeadura (1º/set., 15/set., 1º/out., 15/out., 1º/nov., 15/nov., 1º/dez., 15/dez.); níveis de manejo da irrigação (para atingir 100, 90, 80, 70, 60% do potencial produtivo da cultura) e níveis de risco (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40%). Os resultados indicam que: a irrigação, na cultura do milho, apresenta viabilidade econômica numa ampla gama de combinações entre as variáveis estudadas.

Termos para indexação: *Zea mays*, avaliação econômica.

ECONOMIC FEASIBILITY OF IRRIGATION UNDER CONDITIONS OF RISK, IN THE SUBTROPICAL CLIMATE REGIONS.

I. MAIZE CROPS

ABSTRACT - This study was performed to estimate the economic feasibility, under conditions of risk, when spray irrigation is used on maize crops (*Zea mays* L.) in the subtropical climate regions. A series of 10 years of daily meteorological data from the meteorological stations of Cruz Alta and Passo Fundo, both in Rio Grande do Sul State was used to simulate irrigation needs using a water balance model. Needs were simulated for mutual combination of sites (agrieological regions of Missões and Planalto Médio); sowing seasons (Sep. 1st, Sep. 15th, Oct. 1st, Oct. 15th, Nov. 1st, Nov. 15th, Dec. 1st, Dec. 15th); irrigation management levels (for 100, 90, 80, 70 and 60 % of the potential crop yield) and levels of risk (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40%). The results indicate that irrigation, in maize, is economically feasible over broad range of combinations of the variables analyzed.

Index terms: *Zea mays*, economic evaluation.

¹ Aceito para publicação em 21 de maio de 1998.

Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

² Eng. Agr., Dr., Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. BR 280, Km 27, CEP 89245-000 Araquari, SC.

³ Eng. Agr., Dr., Prof. Titular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, CEP 91301-970 Porto Alegre, RS.

INTRODUÇÃO

A variabilidade temporal e espacial no rendimento das principais culturas agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul está associada, entre outros fatores, com a ocorrência de déficits hídricos pronunciados no solo. Estes déficits ocorrem durante os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, como consequência da aleatoriedade temporal e espacial da

precipitação. Como reflexos das oscilações na produtividade agrícola estão os aspectos econômicos, como: variações acentuadas nos preços de mercado, descapitalização dos produtores, gastos públicos com o seguro agrícola e êxodo rural.

Em virtude das freqüentes secas ocorridas no Rio Grande do Sul, principalmente nos anos agrícolas 1987/88, 1990/91 e 1996/97 a adoção da irrigação tem sido apontada e recomendada, pelos meios de comunicação e leigos.

Para responder à questão do risco envolvido e do nível de manejo para otimização dos benefícios econômicos da irrigação, deve-se fazer um balanço hídrico diário no qual se estime níveis de extração da capacidade de água disponível no solo e, em consequência, doses e turnos de irrigação. As diferentes frações de extração traduzem necessidades de irrigação diferenciadas com respectivos níveis de probabilidade, que por sua vez, representam respostas e custos de irrigação diferenciados.

Apesar de a chuva no Estado ser bem distribuída nas quatro estações do ano, a normal de verão é, em geral, insuficiente para atender às necessidades hídricas das culturas, principalmente no sul do Estado, determinando rendimentos inferiores aos que se conseguiria com suprimento adequado de água (Berlato, 1992).

A maior causa da variação dos rendimentos está associada ao número, distribuição temporal e magnitude das irrigações, bem como à quantidade e distribuição das chuvas (Musik & Dusek, 1971). Beltrame et al. (1979) afirmam que são importantes os estudos que visem definir as reais necessidades de irrigação para os diferentes climas e solos do Estado, mediante balanços hídricos e estudos de freqüência dos déficits. As necessidades de irrigação ficam melhor caracterizadas pela análise de freqüência, conhecendo-se, desta forma, valores das necessidades máximas que podem ser atingidas ou ultrapassadas com determinada freqüência.

FEPAGRO (1996), considerando que as chuvas no Estado não são suficientes para atender às demandas hídricas da cultura do milho, recomenda que se procure minimizar as perdas por meio do manejo da cultura (via antecipação da época de semeadura, uso de cultivares mais adaptadas, menor densidade de semeadura e controle das plantas daninhas) ou pela irrigação.

Matzenauer (1980) afirma que o conhecimento das necessidades hídricas durante o ciclo de desenvolvimento do milho e em cada subperíodo são instrumentos importantes no caso de necessidade de suplementação de água ou no planejamento de sistemas de irrigação, bem como em ajustamentos de épocas de semeadura em função das disponibilidades hídricas da região considerada, determinando, assim, maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviais.

O consumo de água de uma mesma cultivar varia em função dos genótipos (ciclo, área foliar, estatura e sistema radicular), do tipo de solo e das condições meteorológicas reinantes. Pesquisas feitas por Jensen (1973) e Doorenbos & Kassan (1979) demonstraram que a necessidade de água durante o ciclo do milho varia de 373 a 640 mm e 500 a 800 mm, respectivamente, considerando diversos locais e períodos. Matzenauer (1980) determinou que o milho consome 573 mm (ciclo de 124 dias nas condições da Depressão Central) para completar o ciclo. Reichardt (1987) cita que ótimas produtividades do milho variam entre 6 a 9 t ha⁻¹. Em condições de chuva natural, a produtividade oscila entre 2 a 4 t ha⁻¹. O consumo médio durante o ciclo seria de 8 mm dia⁻¹. Cardoso (1995) apresenta estimativas de consumo hídrico de 559,2 mm e 527,2 mm no ciclo, para épocas de semeadura em outubro e novembro, respectivamente.

A eficiência na alocação de recursos produtivos constitui um objetivo natural de todo indivíduo ou empresa que se envolve na produção de determinado bem a partir de um dado número de recursos. Contudo, há ineficiência, cuja causa essencial é o fator incerteza, que condiciona tomadas de decisão. Esta incerteza, por sua vez, é condicionada pelo volume de informações a que o indivíduo tem acesso durante o processo decisório (Arruda, 1982). Então, regulado pelo volume de informações disponíveis e, portanto, pelo grau de certeza sobre cada solução alternativa, o produtor pode optar.

Em todos os modelos de eficiência econômica, segundo Kindler (1988), o objetivo é minimização dos custos de produção ou maximização dos retornos econômicos líquidos através do tempo nos projetos de irrigação. A água nesses modelos é considerada análoga aos outros fatores de produção agrícola, como terra, sementes, fertilizantes, equipamen-

tos e máquinas, capital e mão-de-obra. Assim, reconhece-se que a água tem um valor (porém, como expressar e medir este valor é outra questão) e na análise de seu uso deve-se levar em conta todos os possíveis métodos de substituição e ajuste que deveriam ser apresentados quando a água se torna escassa e cara.

Como a incerteza é uma situação dada e comum na agricultura, a média dos valores observados geralmente não espelha a realidade. Os fenômenos ficam melhor caracterizados pela análise de frequências (Contini et al., 1984).

Markowitz (1952) e Shape (1978) definem risco como a distribuição de probabilidades dos futuros retornos do investimento. Para Marchetti (1995), risco é a variabilidade do retorno, ou instabilidade dos possíveis retornos de um investimento. O risco que se pode correr depende do valor econômico do cultivo. Segundo Grassi (1968), com a agricultura irrigada, na qual se realizam inversões consideráveis, deve-se trabalhar com uma probabilidade de 80%. Já Poirée & Ollier, citado por Silva (1976), sugerem que o melhor nível de risco a ser suportado pelo agricultor deve ser determinado experimentalmente, comprovando o valor da produção com as diversas quantidades de água calculadas em função das frequências de ocorrências.

A análise econômica verifica se os bens e serviços resultantes de um projeto em análise justificam os investimentos. Para fazer uma comparação entre alternativas, devem estar: em base comum de valores, tempo e certeza. Marchetti (1995) cita que, na avaliação de investimentos produtivos, a abordagem determinística toma por base informações tidas como certas. Em consequência, produz um único valor para as medidas de decisão e não inclui estimativa quantitativa do risco. A abordagem probabilística produz, como resultado, uma distribuição de probabilidades das medidas de mérito, quantificando o risco de todo investimento.

Bernuth (1983), pesquisando a quantidade de água aplicada num cultivo para maximização econômica em condições de restrição de água, encontrou que a quantidade é uma função quadrática da lâmina de água utilizada pela cultura. Constatou, também, que essa lâmina total média apresenta-se normalmente distribuída.

Num trabalho conduzido para avaliar a otimização econômica do sistema de irrigação por aspersão portátil de tubos de alumínio, Gohring & Wallender (1987) concluíram que o máximo lucro é obtido quando a aplicação da lâmina de água for 5 a 15 cm abaixo do valor necessário para a obtenção da máxima produtividade.

A atividade agrícola é afetada por um grande número de riscos e incertezas que têm origem nas oscilações ambientais. Além disso, existe o risco econômico ou de mercado, derivado de mudanças no preço dos produtos ou dos insumos e nas oportunidades de mercado. O nível de risco pode ser diminuído pela irrigação (Franke, 1990), planejamento agrícola (Matzenauer et al., 1989), diversificação e rotação de culturas (Silva & Dhein, 1994) ou melhorar o manejo das informações meteorológicas disponíveis.

O presente estudo teve como objetivos estabelecer os níveis de manejo da irrigação, nas regiões do Rio Grande do Sul, denominadas Planalto Médio e Missões, que tenham sustentabilidade econômica e estimar, mediante balanços hídricos diários, o risco envolvido no manejo da irrigação suplementar do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de abrangência deste estudo foram as regiões agroecológicas das Missões e Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul que são características do clima subtropical com exploração agrícola intensiva. Conforme Maluf & Matzenauer (1995), situando-se na faixa subtropical do Hemisfério Sul, onde recebe forte insolação e está sob ação de massas de ar úmidas (Polar, Tropical Atlântica e esporadicamente a Tropical Continental), provenientes das altas latitudes e do Atlântico Sul. Os fatores geográficos e climáticos associam-se para estabelecer uma distribuição pluviométrica quase homogênea e uniforme. Os valores médios de totais precipitados situam-se entre 1.500 a 2.000 mm anuais. O clima predominante nas duas regiões, segundo a classificação climática de Köppen, é Cfa.

As culturas principais da região, milho e soja, dependem das condições pluviométricas para atendimento de suas demandas hídricas, o que acarreta, com certa frequência, perdas de produtividade.

A classe de solo predominante é o Latossolo Roxo distrófico textura argilosa e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa nas Missões e Planalto Médio, respectivamente (Brasil, 1973). Apresentam relevo ondulado com substrato basalto.

Os dados meteorológicos básicos utilizados neste estudo foram extraídos dos registros diários do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Coletou-se, para cada uma das estações, os registros diários de uma série histórica de 10 anos consecutivos, correspondentes ao período de 1981 a 1990, inclusive.

As variáveis meteorológicas que tiveram seus dados coletados foram: precipitação, insolação, temperatura do ar, umidade relativa, evaporação (evaporímetro de Piche) e velocidade do vento.

As estações meteorológicas de Cruz Alta (Latitude 28°38'21" S, Longitude 53°36'34" W e altitude de 473 m) e de Passo Fundo (Latitude 28°15'39" S, Longitude 52°24'33" W e altitude de 678 m), ambas no Rio Grande do Sul forneceram os dados meteorológicos básicos em relação às condições agroecológicas das Missões e do Planalto Médio, respectivamente. Elas apresentam clima subtropical úmido (Cfa), com chuvas todos os meses, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, e do mês mais frio oscilando entre -3 e 18°C. A isoterma anual é inferior a 18°C (Brasil, 1973).

As necessidades de irrigação suplementar nas duas condições agroecológicas foram estimadas pelo balanço hídrico diário realizado por Franke (1996), em cinco níveis de manejo da irrigação (para atingir $p_1 = 100$, $p_2 = 90$, $p_3 = 80$, $p_4 = 70$ e $p_5 = 60\%$ do potencial produtivo da cultura), sete épocas de semeadura (15/set., 1º/out., 15/out., 1º/nov., 15/nov., 1º/dez. e 15/dez.) e nos nove níveis de risco (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40%).

As funções de resposta da cultura aos diferentes níveis de manejo da irrigação foram obtidos dos trabalhos de Hagan (1973), Millar (1984), Lamb (1991). Neste trabalho, em razão de uma série de estudos consultados na literatura, adotou-se como produtividade máxima (potencial), 10,0 t ha⁻¹.

Os valores de lâmina de irrigação suplementar (H) para cada limite inferior de disponibilidade (p_i) testados, época de semeadura e região, foram ajustados a uma distribuição de probabilidade teórica. No caso, foi testado o ajuste à distribuição normal, por "plotagem Q-Q". Após esse ajustamento, série (1981-1990), obteve-se a lâmina de irrigação suplementar, com probabilidades de 98, 95, 90, 85, 80, 75, 70, 65 e 60% de ocorrência. A estimativa do nível de risco (de lâmina de irrigação suplementar ser superada) foi obtida pela subtração da probabilidade de ocorrência de 100.

Os custos de produção sem o sistema de irrigação foram resultantes dos levantamentos dos custos de produção realizados pela FEPAGRO (1996). Os custos de irrigação que se encontram detalhados em Franke (1996), foram somados aos custos de produção para obtenção do custo total de produção. A produção de milho, estimada pela função de resposta, de cada nível de manejo da irrigação, foi multiplicada pelo preço mínimo, em US\$, para determinar os benefícios econômicos.

Adotou-se a irrigação por aspersão, sistema pivô central. Submeteu-se à ASBRASIL S.A., para orçamento, uma situação hipotética de projeto, mas que se espera representar situações possíveis de irrigação no Planalto e Missões. Esses valores estão apresentados em Franke (1996), num total de US\$ 2.698,93 ha⁻¹.

A escolha do método de irrigação por aspersão justifica-se pelo fato de a topografia e o tipo de solo da região de estudo não suportarem métodos de superfície. O sistema pivô central foi escolhido devido à cultura do milho ser de porte muito alto e, portanto, dificultar as trocas de posição num eventual sistema convencional, além de sua simplicidade de manejo.

O custo da água foi considerado como zero em função do atual estágio de gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Sul, visto que o modelo de análise é do ponto de vista privado. O custo efetivo ao usuário é zero, mas o custo social é o valor líquido da produção que teria sido produzida no uso alternativo.

Os retornos econômicos a serem otimizados, foram calculados pela seguinte expressão:

$$L_{jklz} = (RB_{jklz} - CF - CAE_{jklz} - CE_{jklz} - CMO_{jklz} - CCRM_{jklz} - Cc_{jklz}) \dots\dots\dots (1)$$

onde: L_{jklz} = receita líquida do milho na época de semeadura $j = 1, \dots, 7$, na região agroecológica $k = 1, 2$, com o nível de manejo da umidade $l = 1, \dots, 5$ e com probabilidade de ocorrência $z = 1, \dots, 9$;

$$RB_{jklz} = Y_{jklz} \cdot P \dots\dots\dots (2)$$

onde: RB_{jklz} = receita bruta (US\$ ha⁻¹); Y_{jklz} = produção física (t ha⁻¹); P = preço mínimo para o milho no ano agrícola 96/97 (US\$ 111,70 t⁻¹); CF = custo de formação da lavoura. Inclui todos os custos de preparo, semeadura, tratamentos culturais, defensivos, seguro agrícola, custo financeiro, assistência técnica e transporte em todas as épocas de semeadura, regiões agroecológicas níveis de manejo da umidade e níveis de probabilidade. Segundo FEPAGRO (1996), em relação ao milho irrigado é de US\$ 546,21 por ha.

$$CAE_{jklz} = \frac{C.J.H.ht}{Im.A.Vu} \dots\dots\dots(3)$$

onde: CAE_{jklz} = custo de amortização anual do equipamento (US\$ ha⁻¹); J = fator de recuperação do capital;

$$J = \frac{j(1+j)^{Ne}}{[(1+j)^{Ne} - 1]} \dots\dots\dots(4)$$

onde: j = taxa anual de juros (adotou-se 12% ao ano); Ne = número de anos do empréstimo (10 anos); C = valor de aquisição do equipamento (US\$). O custo de aquisição do equipamento pivô central que é de US\$ 2698,93 fornecido pela Asbrasil S.A.; H = lâmina de irrigação suplementar necessária, no ciclo (mm); Vu = vida útil do equipamento (21.000 h), ou seja 2.100 h ano⁻¹; A = área irrigada pelo equipamento (69,0 ha); Im = intensidade de precipitação do equipamento (mm h⁻¹), sendo igual a 8 mm dia⁻¹; ht = horas de trabalho do pivô por dia (21 h).

$$CE_{jklz} = (Eb.Tc) + (Dp.Td) + [Dp.Td.(12-x).y] \dots\dots\dots(5)$$

onde: CE_{jklz} = custo da energia elétrica (US\$ ha⁻¹). Os gastos com o consumo de energia elétrica e demanda de potência do sistema foram calculados segundo Brasil (1988); Eb_{jklz} = energia requerida pela unidade de bombeamento (kWh ha⁻¹), calculada conforme expressão abaixo:

$$Eb_{jklz} = \frac{10.H.Hm.g.\gamma_a}{3,6.10^6.\eta} \dots\dots\dots(6)$$

onde: Hm = altura manométrica total (m); γ_a = densidade da água (kg m⁻³); g = aceleração da gravidade (m s⁻²); η = eficiência global do conjunto motobomba = 0,616 segundo Batty & Keller (1980); Tc = tarifa de consumo da energia elétrica (US\$ kWh⁻¹), neste estudo = US\$ 0,04215 para consumo fora de pico; Td = tarifa de demanda de potência (US\$ kW⁻¹ = US\$ 4,49); x = número de meses que o sistema opera pelo menos uma vez (fato suficiente para o medidor registrar 100% da potência instalada, valor que é utilizado pela concessionária de energia como demanda faturável do mês); y = coeficiente aplicado à demanda faturável ($y = 0,1$ da maior demanda verificada por medição nos últimos 11 meses); Dp = demanda de potência (kW ha⁻¹) obtida da expressão:

$$Dp_{jklz} = \frac{Hm.Q.g.\gamma_a}{1000.A.\eta} \dots\dots\dots(7)$$

onde: Q = vazão do sistema (m³ s⁻¹);

$$CMO_{iklz} = \frac{1,9627.S.NH.Nh}{A} \dots\dots\dots(8)$$

onde: CMO_{jklz} = custo da mão de obra (US\$ ha⁻¹); NH = número de homens necessários para operar o sistema que segundo Azevedo et al. (1986) é de um homem; S = salário médio do trabalhador rural especializado mais 96,27% de encargos, segundo Rocha (1988), sendo adotado US\$ 1,24 por hora; Nh = n^o de horas do ciclo da cultura em que o equipamento trabalha.

$$CCRM_{jklz} = C.0,03 \dots\dots\dots(9)$$

onde: $CCRM_{jklz}$ = custo de manutenção, reparos e conservação (US\$ ha⁻¹). Neste estudo adotou-se 3% ao ano, do custo anual do equipamento.

$$Cc_{jklz} = (Y.ct) + (RB.fr) \dots\dots\dots(10)$$

onde: Cc_{jklz} = Custo da comercialização (US\$ t⁻¹); ct = custo do transporte da produção (US\$ t⁻¹), sendo igual a US\$ 4,46; fr = imposto funrural (2,5%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das lâminas de irrigação suplementar para os cinco níveis de manejo da irrigação testados neste estudo, em ambas as condições agroecológicas. Verifica-se, claramente, que as estimativas das necessidades de irrigação suplementar foram superiores nas Missões quando comparadas às do Planalto Médio. As necessidades maiores, na região das Missões, nas diversas combinações entre época de semeadura e nível de manejo da irrigação, devem-se à diferença de clima e diferenças nas características físico-hídricas do solo, visto que no solo Latossolo Roxo, que predomina nas Missões, a capacidade de armazenamento é menor.

Pela análise das Tabelas 2 e 3, verifica-se que a cultura do milho apresenta receitas líquidas negati-

vas (irrigação inviável economicamente) em relação aos níveis de manejo p_3 a p_5 , e em níveis de risco mais elevados, aos níveis p_4 e p_5 ou apenas p_5 . Essa constatação explica-se, em parte, pelo fato de a irrigação, nesses níveis de manejo, adicionar menos receitas que os aumentos dos custos decorrentes dela. Por exemplo, o nível de manejo da irrigação p_5 aumenta a produtividade esperada, quando comparada com lavoura sem irrigação ($4,5 \text{ t ha}^{-1}$), em apenas 33,33%, enquanto o custo total aumenta, devido à irrigação, na ordem de 45 a 60%. Quando o nível de manejo da irrigação passa a ser o p_4 ou p_3 , a proporção diminui (Franke, 1996).

Nas Tabelas citadas acima são apresentadas as estimativas dos retornos econômicos líquidos resultantes da adoção da irrigação por aspersão, sistema pivô central, na cultura de milho nas Missões e Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Verifica-se, para uma dada época de semeadura, que as receitas líquidas aumentam à medida que o nível de risco aumenta. O que se explica pelo fato de, à medida que aumenta o risco, para um dado nível de manejo da irrigação, as lâminas de irrigação suplementar necessárias diminuírem (Franke, 1996). Como a lâmina de irrigação diminui, os custos de irrigação diminuem, enquanto os demais custos e as receitas brutas não se alteram. O nível de produtividade mantém-se, com o aumento do risco, visto que espera-se uma maior contribuição da chuva na complementação da água consumida pela cultura.

Na cultura do milho, regiões agroecológicas do Planalto Médio e Missões, as receitas líquidas diminuem, chegando a ser negativas, à medida que o nível de manejo da irrigação passa de p_1 a p_5 . Tal fato é explicado pela diminuição desproporcional entre receitas brutas, decorrentes da diminuição da

produtividade esperada, e custos totais. Segundo a teoria econômica dos rendimentos marginais decrescentes, o ponto de máxima eficiência econômica não coincide com o de máxima eficiência técnica. Assim, não se esperava que as receitas líquidas estimadas fossem máximas no nível de manejo da irrigação que propicia a máxima resposta da cultura. Uma justificativa para tal observação talvez seja a pequena lâmina de irrigação suplementar necessária, que ocasionou uma baixa participação relativa dos custos variáveis, dependentes da necessidade de irrigação, nos custos totais. Em contrapartida, o custo anual do equipamento e, principalmente, o custo de formação da lavoura tiveram participação elevada nos custos totais, haja vista que o custo de formação da lavoura não se altera com a diminuição do nível de manejo da irrigação de p_1 a p_5 . Isso fez com que a diminuição nas receitas brutas não fosse acompanhada na mesma ou maior intensidade pelos custos totais. Esse comportamento repete-se em todas as combinações de época de semeadura, ambiente, nível de risco; porém, discorda dos estudos de Bernuth (1983) e Gohring & Wallender (1987).

A variação das receitas líquidas, como já comentado, acompanha as necessidades de irrigação. Quanto maiores estas, menores as receitas líquidas e vice-versa. Observa-se nas Tabelas 2 e 3 que, independentemente do nível de manejo e nível de risco, as receitas líquidas diminuem a partir da época de semeadura de 1ª de setembro até 15 de outubro, quando voltam a aumentar até semeadura em 15 de dezembro, atingindo seu valor máximo. Esses resultados concordam com as recomendações de Matzenauer et al. (1989), Berlato (1992), Cardoso (1995) e FEPAGRO (1996), que preconizam que a

TABELA 1. Valores mínimos e máximos nas estimativas da lâmina de irrigação suplementar média (H, mm) requerida pela cultura de milho, nas condições agroecológicas do Planalto Médio e Missões, RS, como função da época de semeadura, para os níveis de manejo da irrigação adotados, na série histórica de 1981-1990, adaptado de Franke (1996).

Região agroecológica	Nível de manejo da irrigação ¹				
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
Missões	246,6 - 323,6	223,0 - 301,6	161,6 - 247,0	149,4 - 243,1	114,2 - 203,3
Planalto Médio	205,6 - 261,7	181,5 - 236,1	117,5 - 160,9	103,5 - 151,4	58,10 - 104,6

¹ p_1 = 100% do potencial produtivo; p_2 = 90% do potencial produtivo; p_3 = 80% do potencial produtivo; p_4 = 70% do potencial produtivo; p_5 = 60% do potencial produtivo.

TABELA 2. Estimativas das receitas líquidas (US\$ ha⁻¹) provenientes da irrigação por aspersão, sistema pivô central, na cultura do milho, nas condições agroecológicas das Missões, RS, em função da época de semeadura, nível de manejo da irrigação e nível de risco.

Época de semeadura	Nível de manejo	Nível de risco (%)								
		2	5	10	15	20	25	30	35	40
1º/set.	p ₁	164,33	181,73	197,23	207,65	215,92	223,07	229,45	235,39	240,99
	p ₂	66,77	85,64	102,43	113,72	122,76	130,51	137,40	143,77	149,89
	p ₃	-9,25	14,87	36,23	50,61	62,07	71,88	80,76	88,94	96,69
	p ₄	-96,39	-71,58	-49,53	-34,63	-22,74	-12,58	-3,54	4,90	12,91
	p ₅	-120,70	-102,30	-86,02	-75,08	-66,38	-58,89	-52,17	-45,88	-40,03
15/set.	p ₁	141,68	158,82	173,98	184,23	192,41	199,39	205,67	211,53	217,04
	p ₂	39,90	59,71	77,28	89,08	98,56	106,65	113,89	120,61	127,07
	p ₃	-41,98	-15,54	8,06	24,00	36,57	47,42	57,16	66,20	74,73
	p ₄	-136,10	-110,17	-87,08	-71,58	-59,18	-48,58	-39,11	-30,32	-21,88
	p ₅	-210,10	-183,09	-159,06	-142,87	-130,00	-118,90	-109,00	-99,80	-91,10
1º/out.	p ₁	123,94	142,80	159,59	170,88	179,92	187,67	194,56	200,94	207,05
	p ₂	30,69	49,03	65,40	76,42	85,21	92,70	99,42	105,71	111,65
	p ₃	-43,62	-21,39	-1,67	11,59	22,19	31,23	39,41	46,91	54,06
	p ₄	-143,70	-122,05	-102,85	-89,84	-79,59	-70,72	-62,79	-55,47	-48,50
	p ₅	-208,20	-187,05	-168,19	-155,53	-145,50	-136,80	-129,00	-121,90	-115,00
15/out.	p ₁	110,93	130,48	147,79	159,51	168,81	176,73	183,88	190,51	196,89
	p ₂	21,56	41,88	59,88	72,03	81,67	90,03	97,44	104,33	110,87
	p ₃	-30,70	-11,49	5,65	17,19	26,41	34,25	41,31	47,85	54,06
	p ₄	-149,80	-124,98	-102,93	-88,12	-76,23	-66,15	-57,02	-48,58	-40,57
	p ₅	-211,20	-190,07	-171,38	-158,72	-148,60	-140,00	-132,30	-125,10	-118,30
1º/nov.	p ₁	189,22	195,68	201,45	205,33	208,43	211,10	213,51	215,66	217,73
	p ₂	48,34	65,31	80,38	90,46	98,56	105,53	111,73	117,50	122,93
	p ₃	-28,63	-8,30	9,70	21,84	31,49	39,84	47,25	54,14	60,69
	p ₄	-111,50	-91,48	-73,65	-61,67	-52,11	-43,93	-36,52	-29,72	-23,26
	p ₅	-206,40	-180,51	-157,42	-141,92	-129,50	-118,90	-109,50	-100,70	-92,22
15/nov.	p ₁	146,93	163,56	178,28	188,28	196,20	203,00	209,03	214,72	220,06
	p ₂	69,10	84,09	97,35	106,31	113,37	119,49	125,00	130,08	134,90
	p ₃	-0,72	15,21	29,42	38,98	46,65	53,19	59,05	64,48	69,65
	p ₄	-77,95	-62,28	-48,32	-38,85	-31,36	-24,98	-19,21	-13,87	-8,79
	p ₅	-181,20	-162,16	-145,19	-133,74	-124,60	-116,90	-109,80	-103,30	-97,13
1º/dez.	p ₁	185,95	198,61	209,89	217,47	223,50	228,67	233,32	237,63	241,76
	p ₂	99,93	112,16	123,02	130,25	136,11	141,10	145,58	149,72	153,59
	p ₃	46,30	58,97	70,25	77,83	83,86	89,02	93,68	97,98	102,12
	p ₄	-50,74	-37,56	-25,84	-17,92	-11,63	-6,21	-1,38	3,10	7,40
	p ₅	-115,50	-104,54	-94,81	-88,26	-83,09	-78,61	-74,65	-70,86	-67,42
15/dez.	p ₁	217,47	229,70	240,56	247,79	253,65	258,64	263,12	267,26	271,13
	p ₂	137,06	147,82	157,38	163,84	169,01	173,40	177,37	180,98	184,43
	p ₃	71,11	84,72	96,86	105,05	111,50	117,10	122,10	126,75	131,14
	p ₄	-22,83	-9,22	2,92	11,11	17,57	23,16	28,16	32,81	37,20
	p ₅	-112,40	-96,36	-82,14	-72,58	-64,92	-58,37	-52,52	-47,00	-41,84

TABELA 3. Estimativas das receitas líquidas (US\$ ha⁻¹) provenientes da irrigação por aspersão, sistema pivô central, na cultura do milho, nas condições agroecológicas do Planalto Médio, RS, em função da época de semeadura, nível de manejo da irrigação e nível de risco.

Época de semeadura	Nível de manejo	Nível de risco (%)								
		2	5	10	15	20	25	30	35	40
1 ^o /set.	p ₁	237,37	250,29	261,83	269,58	275,70	280,95	285,78	290,17	294,30
	p ₂	154,20	168,15	180,47	188,91	195,54	201,22	206,31	211,04	215,61
	p ₃	75,85	95,66	113,23	125,11	134,59	142,68	150,01	156,72	163,10
	p ₄	-27,65	-6,12	12,91	25,83	36,08	44,87	52,71	60,03	66,92
	p ₅	-94,20	-72,67	-53,55	-40,63	-30,38	-21,60	-13,67	-6,35	0,54
15/set.	p ₁	219,20	232,03	243,40	251,15	257,27	262,52	267,17	271,56	275,70
	p ₂	140,76	154,28	166,17	174,27	180,72	186,15	191,15	195,71	200,02
	p ₃	67,92	85,67	101,43	112,11	120,55	127,78	134,33	140,36	146,04
	p ₄	-44,45	-21,02	-0,26	13,78	24,89	34,45	43,06	50,98	58,56
	p ₅	-114,40	-90,67	-69,57	-55,36	-43,99	-34,34	-25,56	-17,55	-9,88
1 ^o /out.	p ₁	204,47	217,73	229,53	237,46	243,83	249,26	254,08	258,64	262,95
	p ₂	108,20	124,14	138,26	147,82	155,40	161,86	167,72	173,15	178,31
	p ₃	45,18	65,42	83,34	95,48	105,13	113,40	120,81	127,70	134,24
	p ₄	-28,69	-12,84	1,20	10,76	18,25	24,80	30,57	36,00	41,08
	p ₅	-118,80	-98,85	-81,20	-69,31	-59,75	-51,65	-44,33	-37,62	-31,16
15/out.	p ₁	199,30	211,79	222,99	230,48	236,42	241,59	246,16	250,46	254,51
	p ₂	99,76	115,70	129,82	139,38	147,05	153,51	159,36	164,79	169,96
	p ₃	38,29	58,62	76,62	88,77	98,41	106,77	114,17	121,07	127,61
	p ₄	-75,97	-52,11	-30,93	-16,63	-5,26	4,56	13,26	21,44	29,11
	p ₅	-169,30	-139,68	-113,24	-95,50	-81,28	-69,23	-58,29	-48,21	-38,65
1 ^o /nov.	p ₁	212,99	224,88	235,56	242,71	248,39	253,22	257,61	261,66	265,53
	p ₂	117,07	132,66	146,53	155,83	163,24	169,61	175,30	180,64	185,63
	p ₃	52,51	71,28	87,99	99,27	108,15	115,90	122,70	129,16	135,19
	p ₄	-35,41	-16,20	0,94	12,48	21,70	29,54	36,60	43,15	49,35
	p ₅	-147,10	-121,51	-98,77	-83,44	-71,29	-60,87	-51,48	-42,78	-34,51
15/nov.	p ₁	221,35	232,03	241,50	247,88	252,96	257,35	261,23	264,85	268,29
	p ₂	117,94	133,44	147,13	156,44	163,84	170,13	175,82	181,07	186,07
	p ₃	61,64	77,57	91,78	101,34	109,01	115,55	121,41	126,84	132,00
	p ₄	-31,96	-13,70	2,41	13,34	22,04	29,45	36,17	42,37	48,23
	p ₅	-86,19	-71,21	-57,94	-48,98	-41,92	-35,81	-30,29	-25,21	-20,39
1 ^o /dez.	p ₁	233,58	244,69	254,60	261,23	266,57	271,13	275,18	278,97	282,59
	p ₂	140,42	154,20	166,51	174,78	181,33	187,01	192,01	196,75	201,22
	p ₃	71,02	88,94	104,87	115,64	124,25	131,57	138,21	144,23	150,09
	p ₄	-0,09	15,07	28,59	37,72	44,95	51,24	56,75	62,01	66,92
	p ₅	-113,50	-92,48	-73,70	-61,13	-51,05	-42,44	-34,77	-27,54	-20,73
15/dez	p ₁	253,82	265,10	275,18	281,90	287,33	291,98	296,11	299,90	303,60
	p ₂	158,59	172,20	184,26	192,44	198,90	204,50	209,49	214,06	218,45
	p ₃	110,21	123,56	135,54	143,55	149,92	155,43	160,34	164,91	169,21
	p ₄	14,64	28,68	41,17	49,52	56,24	62,01	67,18	71,91	76,48
	p ₅	-64,40	-47,61	-32,71	-22,63	-14,70	-7,81	-1,70	4,07	9,41

semeadura em meados de outubro, tanto para a cultura do milho como da soja, apresentam os maiores riscos de frustração, visto que as necessidades hídricas são maiores e, conseqüentemente, os retornos econômicos esperados são menores, mesmo com irrigação.

Nas Tabelas 2 e 3, aparecem as receitas líquidas como função do nível de risco. A interpretação que pode ser dada é a seguinte: há probabilidade, por exemplo, em 2% dos casos, de as receitas líquidas serem inferiores aos valores esperados, desde que os outros fatores não sejam alterados. Ou seja, em 2% do tempo os custos totais serão superiores aos esperados, em virtude de as precipitações pluviométricas serem inferiores aos valores esperados ou de as demandas evaporativas da atmosfera serem maiores que as estimadas pelo modelo de balanço hídrico. Para um dado nível de risco, o nível de manejo da irrigação garante, no mínimo, a receita líquida estimada. Então, quando as demandas hídricas do cultivo forem menores ou as precipitações maiores que as esperadas, as receitas líquidas serão maiores, visto que os custos de irrigação diminuam.

Porém, quando ocorre frustração (os valores são superados) não se pode prever a magnitude da redução das receitas líquidas, que são uma função direta da magnitude da lâmina de irrigação suplementar estimada superada, mas com certeza, serão bem menores do que na agricultura de sequeiro, porque a irrigação garante, no mínimo, a receita líquida do nível de risco de 2%, porque esta é a máxima necessidade de irrigação estimada, para um dado nível de manejo da irrigação. O que é superado é a estimativa de custos da irrigação.

Caso um produtor privado optasse pelo investimento em sistema de irrigação nas condições agroecológicas do Planalto Médio ou Missões, deveria fazê-lo no nível de manejo da irrigação para 100% do potencial produtivo da cultura (p_1), com semeadura na primeira quinzena de dezembro, visto que os retornos econômicos estimados foram os mais altos, entre as combinações pesquisadas por este estudo. Tal resultado discorda de outros autores como Gohring & Wallander (1987) e da teoria econômica que afirma que o ponto de máxima eficiência econômica é atingido com menor quantidade de insumo do que o ponto de máxima eficiência técnica.

Entretanto, como neste estudo somente foram testadas as receitas líquidas para 100, 90, 80, 70 e 60% do potencial produtivo da cultura, o ponto de máxima eficiência econômica não foi detectado, e possivelmente esteja situado entre 90 e 100% do potencial produtivo da cultura.

Porém, a decisão não deve ser baseada unicamente na análise das receitas líquidas em função da época de semeadura. Devem ser incorporados à análise os aspectos da rotação de culturas, sucessão de culturas de inverno e de verão, possibilidade de uma segunda safra de milho, quando do plantio de cultivares precoces, e o cultivo do trigo ou proteção do solo durante o inverno.

Quando estiver numa situação de estrangulamento na oferta de energia elétrica ou conflito pelo uso da água, situações que se avizinham com a volta do crescimento da economia, o agricultor irrigante deve ser orientado a optar por um nível de manejo da irrigação abaixo do potencial e admitir uma maior probabilidade de falha no empreendimento, podendo com isto, manter um adequado nível de rentabilidade da atividade agrícola e, talvez, a sociedade maximizar os usos e benefícios dos recursos hídricos. Contudo, as receitas geradas por uma eventual disponibilidade limitada de água serão menores quanto mais reduzido for o nível de manejo da irrigação com vistas à economia de água, visando-se incorporar uma maior área irrigada. Deve-se, também, esperar um aumento nos custos da irrigação, no instante em que se configurar uso conflitivo da água, já que neste instante os recursos hídricos terão um custo para o tomador.

Ao comparar as receitas líquidas esperadas no Planalto Médio com as das Missões, na irrigação da cultura do milho, observa-se que no primeiro as receitas líquidas são maiores, em razão das menores necessidades de irrigação suplementar. Inclusive, dependendo da época de semeadura e nível de risco adotado, todos os níveis de manejo da irrigação são viáveis economicamente nas condições agroecológicas do Planalto Médio.

Também, deve-se atentar para o fato de as estimativas de receitas brutas terem sido feitas com preços mínimos de garantia. Nos anos de frustração de safra, devido à aleatoriedade da precipitação pluvial,

os preços praticados pelo mercado, principalmente do milho, são bem superiores. Assim, as receitas líquidas advindas com um projeto de irrigação serão bem superiores às estimadas neste estudo, podendo prever-se viabilidade econômica da irrigação em níveis inferiores de manejo da irrigação. Em contrapartida, nos anos de excesso de oferta, os projetos de irrigação não serão afetados quanto às expectativas de lucro.

CONCLUSÕES

1. A irrigação, na cultura do milho, apresenta viabilidade econômica numa ampla gama de combinações entre época de semeadura, nível de manejo da irrigação e nível de risco para ambas as condições edafoclimáticas estudadas.

2. À medida que aumenta o nível de risco, níveis de manejo da irrigação menos intensos começam a apresentar viabilidade econômica, na cultura do milho.

3. A performance econômica da agricultura irrigada é inversamente proporcional ao comportamento da lâmina de irrigação suplementar necessária; quanto maior esta, menores são as receitas líquidas.

4. Quando da escassez dos recursos hídricos, pode-se manter a rentabilidade da agricultura irrigada mediante adoção de menor intensidade no manejo da irrigação e aumento no nível de risco.

5. A cobrança pelo uso da água deverá afetar significativamente a performance econômica dos projetos de irrigação.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Z.J. *Eficiência econômica na alocação de recursos na agricultura: uma avaliação de dois métodos de estimativa do ponto ótimo, visando sua aplicação prática*. Campo Grande: Embrapa-CNPGC, 1982. 24p. (Embrapa-CNPGC. Circular técnica, 7).
- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A.F. *Aspectos sobre o manejo da aspersão para o Cerrado*. 2.ed. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1986. 52p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, 16).
- BATTY, J.C.; KELLER, J. *Energy requirements for irrigation*. In: PIMENTEL, D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.35-44.
- BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.; CAUDURO, F. *Probabilidade de ocorrência de déficits e excessos hídricos em solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1979. 79p.
- BERLATO, M.A. *As estiagens e seus impactos na produção agrícola do estado do Rio Grande do Sul*. In: MARCANTÔNIO, G. *Solos e irrigação*. Porto Alegre: UFRGS/FEDERACITE, 1992. p.92-94.
- BERNUTH, R.D. *Uniformity design criteria under limited water*. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, n.5, p.1418-1421, 1983.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul*. Recife: Ministério da Agricultura, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. *Tarifas horo-sazonais: manual de orientação ao consumidor*. Rio de Janeiro: CODI, 1988. 28p.
- CARDOSO, C.O. *Avaliação da demanda hídrica de algumas culturas sujeitas à alteração climática na bacia do Rio Uruguai*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1995. 174p. Dissertação de Mestrado.
- CONTINI, E.; ARAÚJO, J.D.; GARRIDO, W.E. *Instrumentos econômicos para a decisão agrícola*. In: CONTINI, E.; ARAÚJO, J.D.; OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E. *Planejamento da propriedade agrícola - modelos de decisão*. Brasília: Embrapa-DDT, 1984. p.7-22. (Embrapa-DEP. Documentos, 7).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979. 235p. (FAO. Irrigation and Drainage paper, 33).
- FEPAGRO. *Recomendações técnicas para a cultura do milho no RS*. Porto Alegre: FEPAGRO/FECOTRIGO, 1996. 121p. Programa multiinstitucional de Difusão de Tecnologia do Milho.
- FRANKE, A.E. *Avaliação econômica da irrigação, sob condições de risco, nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1996. 121p. Tese de Doutorado.
- FRANKE, A.E. *Balço hídrico na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) sob três níveis de manejo da irrigação*. Santa Maria: UFSM, 1990. 92p. Dissertação de Mestrado.
- GOHRING, T.R.; WALLENDER, W.W. *Economics of sprinkler irrigation systems*. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.30, n.4, p.1083-1089, 1987.
- GRASSI, C.J. *Estimacion de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fins de formulacion y diseno de proyectos*. Merida: CIDIAT, 1968. 96p.

- HAGAN, R.M. Water plant growth and crop irrigation requirements. In: FAO (Roma, Itália). **Irrigation, drainage and salinity**. Paris: FAO/UNESCO, 1973. p.206-253.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1973. 215p.
- KINDLER, J. Modeling derived demand for irrigation water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.13, p.403-410, 1988.
- LAMB, P.R. **Desenvolvimento e componentes do rendimento do milho irrigado a diferentes níveis de potencial de água no solo**. Santa Maria: UFSM, 1991. 84p. Dissertação de Mestrado.
- MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R. **Zoneamento agroclimático da cultura do milho por época de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 1995. 75p.
- MARCHETTI, V. **Risco e decisão em investimento produtivo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 95p.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **Journal of Finance**, v.7, n.1, p.77-91, Mar. 1952.
- MATZENAUER, R. **Evapotranspiração do milho (*Zea mays*, L.) e suas relações com fórmulas e parâmetros meteorológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1980. 128p. Dissertação de Mestrado.
- MATZENAUER, R.; PONS, A.L.; MALUF, J.R.T.; BUENO, A.C. Efeito da irrigação, adubação e densidade de plantas de milho. I. Rendimento de grãos e componentes do rendimento. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL do MILHO, 33., 1988, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre: IPAGRO/EMATER, 1989. p.91-100.
- MILLAR, A.A. **Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas**. Brasília: IICA, 1984. 57p.
- MUSIK, J.T.; DUSEK, D.A. Grain sorghum response to number, timing and size of irrigation in the Southern High Plains. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.14, n.3, p.401-404, 1971.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 178p.
- ROCHA, V. Quantificação dos custos e benefícios de projetos de irrigação. In: LANNA, A.E.; ROCHA, V. **Análise econômica e financeira de projetos de irrigação**. Brasília: ABEAS, 1988. p.57-104.
- SHAPE, W.F. **Investments**. Englenwood: Prentice-Hall, 1978. 125p.
- SILVA, A.T. da. **Estudo freqüencial das necessidades de irrigação em quatro localidades do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1976. 92p. Dissertação de Mestrado.
- SILVA, R.I. da; DHEIN, R.A. Viabilização sócio-econômica da rotação de culturas e da adubação verde na COTRIJUÍ. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1994. p.15-27.