

Demanda de irrigação suplementar e rendimento relativo de grãos de feijão no Rio Grande do Sul

Supplemental irrigation demand and relative yield of dry beans grains in the Rio Grande do Sul state

Carmen Ilse Pinheiro Jobim¹, José Antônio Louzada²

Resumo - O uso da irrigação em lavouras de feijão como estratégia de obtenção e manutenção de altos rendimentos vem sendo cada vez mais adotado no Planalto Médio do Rio Grande do Sul. A demanda de irrigação suplementar e o rendimento relativo de grãos para as condições reais de umidade do solo foram estimados para o período 1994-2004, através do modelo ISAREG. De acordo com os resultados, ocorrem deficiências hídricas na safra e na safrinha da lavoura de feijão do Planalto Médio. Os déficits hídricos observados provocam perdas no rendimento de feijão que podem variar de 4 a 39 % da produção anual de grãos de feijão. A irrigação suplementar da lavoura do feijão mostrou-se necessária em todos os anos do período avaliado

Palavras-chave: ISAREG, *Phaseolus vulgaris* L., déficit hídrico.

Abstract – Irrigated dry beans grains crop is a good strategy to obtain and ensure high yields, which has been adopted over so often in the State of Rio Grande do Sul. The objective of this work was to study the supplemental irrigation demand and relative yield of dry beans grains. The ISAREG model was used to simulate the crop net irrigation requirements and the yield reduction caused by water stress conditions occurrence for the time series 1985-2004. Results showed water deficits at the season and of season crop dry beans of the region. The observed water deficits led to yields losses of about 4 to 39 % of the annual productions beans. The supplemental irrigation of dry beans crop showed necessary in all years of the evaluated time serie.

Key words: ISAREG, *Phaseolus vulgaris* L., water stress

¹Eng^a Agr^a, Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Pesquisadora da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária FEPAGRO do Rio Grande do Sul.

²Eng^o Civil, Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Professor de hidráulica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Introdução

Segundo Berlatto (1992), em regiões semitemperadas, como é o caso do Rio Grande do Sul, onde a agricultura é dependente da aleatoriedade das chuvas, a prática da irrigação complementar representa a estratégia mais eficiente para a obtenção e manutenção de altos rendimentos na produção agrícola. O uso da irrigação em lavouras de feijão, visando minimizar os efeitos dos déficits hídricos, vem ocorrendo em algumas regiões produtoras tradicionais do Estado, como é o caso da Região Ecoclimática do Alto e Médio Vale do Uruguai. Por outro lado, a estabilidade de produção alcançada com a irrigação resultou na introdução da cultura em áreas da grande lavoura. Assim, nos últimos anos, o feijão vem sendo utilizado no planalto Médio do Rio Grande do Sul, com sucesso, como alternativa de rotação na produção de semente de milho híbrido, em sistema de plantio direto irrigado por pivô central.

Analisando a disponibilidade hídrica para o feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, no período 1988-1991, Matzenauer et al. (2002), verificaram que as deficiências hídricas no ciclo completo da cultura variaram de 38 a 97 mm, na média do período estudado, dependendo do local, da época de semeadura e da capacidade de armazenamento de água disponível adotada. No entanto, os autores verificaram que, em períodos quentes e secos, como no ano agrícola 1985/86, em condições de elevada demanda evaporativa da atmosfera, as deficiências hídricas no ciclo completo do feijoeiro ultrapassaram 300 mm em algumas localidades do Planalto Médio. De acordo com os autores, são frequentes déficits hídricos durante o ciclo do feijoeiro, sendo que os riscos de deficiência aumentam à medida que se atrasa a época de semeadura até o início de novembro, caracterizando-se, portanto, a época de setembro como a de menor risco à produção de feijão. Devido ao curto período de seu ciclo, pequenos períodos de seca podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. De acordo com esse ciclo, a cultura requer de 300 a 500 mm de água, dependendo do clima. Quando essas necessidades não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da fase fenológica em que o déficit hídrico acontece. Conforme Calvache & Reichardt (1996), quando a seca ocorre na fase vegetativa, o efeito sobre o crescimento é mínimo, enquanto que na fase pré-floração-enchimento de vagens, a planta é muito sensível à falta de água no solo. Acosta-Gallegos & Shibata (1989) encontraram

uma redução dos componentes da produção, número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso de 1.000 grãos, quando o feijão foi submetido a déficit hídrico, sendo que o número de legumes por planta foi o componente mais afetado. A redução da produção foi maior (42 a 50 %) quando o déficit foi aplicado na fase reprodutiva, comparada à vegetativa, tendo isso sido atribuído a decréscimos da área foliar e do número de legumes por planta. Magalhães & Millar (1978), estudando o efeito do déficit hídrico no período reprodutivo sobre a produção de feijão, nas condições de Petrolina-PE, em experimento realizado em campo, em 1977, testaram diferentes períodos de déficits contínuos, a partir de uma semana antes da floração. Encontraram decréscimos de 20% no rendimento, para períodos de 14 dias sem água. Para períodos superiores a 17 dias sem água, as reduções de rendimento encontradas pelos autores variaram entre 30 e 52%. Stone et al. (1988), trabalhando em cultivo protegido do feijão, em experimento realizado entre 1983 e 1985, testando diferentes níveis de irrigação associado a tensões matriciais do solo variando de 125 a 750 mb, medidas a 15 e 30cm de profundidade, encontraram uma redução de 20% da produtividade, com irrigação realizada à tensão de 250 mb. De acordo com os autores, as reduções aumentaram com o incremento da tensão até a tensão de 500 mb, a partir da qual as produções obtidas não se alteraram. Silveira et al. (1984) encontraram as maiores produções com a lâmina de água de 6 mm/dia (411 mm/ciclo) e a menor com 2 mm/dia (173 mm/ciclo). Doorenbos & Kassam (1980), analisando vários experimentos realizados no mundo, em feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit, na floração, reduz a produção em 55% e, durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

Para estudar a influência da seca na eficiência da utilização da água, Doorenbos & Kassam (1980), sugerem o uso do fator de resposta do rendimento expresso pela relação entre a razão da produção real e da produção máxima, com a razão da evapotranspiração real e da evapotranspiração máxima. Quando a evapotranspiração real é obtida em condições de solo sem déficit de água, pode-se dizer que é igual à evapotranspiração máxima e a produção real é considerada igual à produção máxima.

Os resultados obtidos por Santos & André (1992), que analisaram o consumo de água da cultura do feijoeiro em experimento conduzido de janeiro a abril de 1984, na ESALQ/USP, em solo classificado como Terra Roxa Estruturada, mostraram que o balanço hídrico associado à análise de crescimento foi eficiente para quantificar o uso da água nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Calvache et al. (1998), analisando o efeito da época do déficit hídrico no feijão entre julho e novembro de 1994, num estudo conduzido no Equador, em solo classificado como Typic Haplustoll, concluíram que o balanço hídrico permite calcular a evapotranspiração real em diferentes regimes de irrigação da cultura com boa precisão. Andrade et al. (2002), determinando o consumo relativo da água, e MEIRELES et al. (2003), avaliando o risco de queda da produtividade em feijão, fizeram suas avaliações através de modelos baseados no cálculo do balanço hídrico, ambas as análises realizadas nas condições da Embrapa Arroz e Feijão, em Goiás, em Latossolo Vermelho perférrico.

O modelo ISAREG, desenvolvido por Teixeira & Pereira (1992), avalia o efeito do déficit hídrico e as estratégias de irrigação através dos diferentes termos da equação do balanço hídrico, evapotranspiração real, drenagem e armazenamento de água do solo e do rendimento da cultura analisada. Adota o método proposto por Doorenbos & Pruitt (1980) e Doorenbos & Kassan (1980) e requer dados climáticos, edáficos e agrônômicos. Sua adoção é devida à simplicidade e suficiente acurácia na simulação e avaliação de projetos de irrigação. Tem sido satisfatoriamente aplicado em várias regiões (PAZ et al., 1996, na Espanha; TEIXEIRA et al., 1996, em Portugal; LIU et al., 1998, na China). Vem sendo utilizado para dimensionar e avaliar projetos de irrigação com déficits hídricos controlados em horticultura e cultivos de cereais na região do Mediterrâneo (RODRIGUES et al., 2003; ZAIRI et al., 2003; OWEIS et al., 2003), em pomares de citrus na Sicília (ALBA et al., 2003 e na Jordânia (SHATANAWI et al., 2003). Mais recentemente, o modelo foi operacionalizado para integrar-se ao Sistema de Informação Geográfica – GIS (FORTES et al., 2005), tendo sido, também, acoplado a modelo de planejamento de recursos hídricos (PROPAGAR), visando analisar a demanda por água da agricultura irrigada comparada às disponibilidades da bacia hidrográfica (VICTORIA et al., 2005). Conforme Jobim (2007), o desempenho do modelo permite seu

uso nas condições da região do Planalto Médio do Rio grande do Sul .

O objetivo deste trabalho foi quantificar a demanda de irrigação suplementar e o rendimento relativo de grãos ocorridos nas safras e safrinhas do feijoeiro, entre os anos 1985 e 2004, na região ecoclimática do Planalto Médio do Rio Grande do Sul

Material e Métodos

ISAREG é um modelo de simulação do balanço hídrico do solo desenvolvido por Teixeira & Pereira (1992), com o objetivo de planejamento de irrigação para uma dada combinação de clima-cultura-solo e para a avaliação de projetos de irrigação já estabelecidos. Na sua versão mais atual, o modelo ISAREG apresenta-se combinado com outros dois programas, o EVAP56, que calcula a evapotranspiração de referência (*ET_o*) usando o método de Penman-Monteith e o KCISA, para cômputo dos parâmetros da cultura requeridos pela metodologia FAO (ALLEN et al., 1998). As simulações podem ser realizadas para períodos diários, decendiais ou mensais. O modelo pode ser usado para diferentes alternativas, como programação da irrigação para obtenção do máximo rendimento, onde as simulações são desenvolvidas com valores de disponibilidade de água que evitem déficit hídrico pela cultura; simulação de programação de irrigação adotando limites de dotação hídrica baseados em déficits controlados e variadas lâminas de água; avaliação de programa de irrigação aplicado em datas específicas, isto é, quando a frequência e as lâminas são preestabelecidas ou conhecidas; estabelecimento do ponto ótimo de irrigação sob condições de suprimento hídrico limitado, com lâmina variável ou constante; cálculo do balanço hídrico sem irrigação; estimação do requerimento líquido de água para irrigação.

O modelo adota uma relação linear simplificada entre as perdas de rendimento relativo e os déficits de evapotranspiração sazonais relativos como proposto por Stewart et al. (1976) e alterado por Doorenbos & Kassan (1980), usando o fator de resposta do rendimento específico da cultura, K_y , selecionado pelo usuário. É aplicável em escala de campo e pode simular o desenvolvimento de uma cultura ou uma sucessão de até três culturas. Sua operação é comandada a partir de um menu principal que permite acesso a todos os arquivos requeridos. Os dados requeridos pelo modelo para computar o balanço hídrico do solo são

armazenados em vários arquivos comandados por um menu principal.

No modelo, cada déficit hídrico corresponde a um déficit na evapotranspiração relativa, definido a partir da razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração máxima $(1 - ETa / ETm)$. O correspondente déficit de rendimento relativo é, então: $(1 - Ya / Ym)$, em que Ya e Ym são os rendimentos da cultura obtidos quando a evapotranspiração é igual a ETa e ETm , respectivamente. Todos os valores de evapotranspiração são expressos em mm e acumulados ao longo do ciclo da cultura. Quando $ETa / ETm > 0,5$, foi empiricamente observado que os déficits relacionam-se linearmente por:

$$(1 - Ya / Ym) = Ky(1 - ETa / ETm)$$

em que: Ky é o fator de resposta do rendimento, tabulado para diversas culturas por Doorenbos & Kassan (1980). No caso de déficits hídricos maiores, o programa adota um modelo multifásico, também proposto por Stewart (1976), assumindo que os impactos no rendimento variam com a fase fenológica da cultura em que a evapotranspiração é reduzida e depende do grau de estresse anterior ocorrido na fase prévia. Várias alternativas de esquemas de irrigação com déficits podem ser comparadas, adotando essa função de redução do rendimento não apenas pela diferença no volume de água ou na eficiência do consumo, mas através da evapotranspiração relativa e dos déficits de rendimento relativo (perdas) estimados devido às deficiências hídricas.

Os parâmetros da cultura do feijão usados neste estudo, discriminados na Tabela 1, foram caracterização fenológica conforme Matzenauer et

o Rio Grande do Sul, através da equação de Penman-Monteith; fração 'p' de depleção da água disponível do solo, segundo Doorenbos & Kassan (1980) e fator de resposta de rendimento do feijoeiro (Ky) conforme Calvache et al. (1997).

A região ecoclimática do Planalto Médio, definida em Maluf & Caiaffo (2001), foi representada pela série de dados meteorológicos de Passo Fundo, RS, latitude 28° 15' S, longitude 52° 24' e altitude 687 m, extraída do banco de observações meteorológicas da Embrapa Trigo. Nas análises, foram utilizados os registros diários da radiação solar global em MJ m⁻² dia⁻¹, temperaturas máxima e mínima, em °C, umidade relativa média do ar, em %, velocidade do vento medida a 10 m de altura, em m s⁻¹, e chuva, em mm, ocorridos no período de 1985 a 2004. Os parâmetros edáficos adotados no modelo corresponderam ao solo da estação meteorológica da Embrapa Trigo, que pertence à unidade de mapeamento Passo Fundo, atualmente classificada como Latossolo Vermelho distrófico típico – LVd 3 (STRECK et al., 2002), relevo ondulado e substrato basalto. Os parâmetros, camadas e profundidade do solo foram delimitados em função da profundidade máxima dos tensiômetros, enquanto que a textura do solo avaliado foi definida por Câmara (2004). As condições do perfil e as características físicas do solo avaliado, necessárias para a simulação, foram definidas localmente por Cunha (2003) e constam na Tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros da cultura do feijão.

Estádio ¹	Data		Prof. efet. radicular (m)		Fração 'p'		Kc	Ky
	safrinha	safrinha	Safrinha	safrinha	safrinha	safrinha		
S	07/09	25/01	0,01	0,01	0,50	0,35	0,55	1,20
10E	17/09	04/02	0,10	0,10	0,50	0,35		
IF	19/10	08/03	0,20	0,20	0,40	0,35	1,20	0,92
IEG	04/11	24/03	0,25	0,25	0,35	0,40		
MF	26/12	15/04	0,25	0,25	0,35	0,50	0,92	
colheita	16/12	05/05	0,25	0,25	0,35	0,50		

¹S – semeadura; 10E – 10 dias após a emergência; IF – início do florescimento; IEG – início do enchimento de grão; MF – maturação fisiológica.

al. (2002); profundidade efetiva do sistema radicular, segundo PIRES et al (1991); coeficiente de cultura (Kc) estimado por Jobin e Matzenauer (2004), para

Tabela 2. Condições do perfil e características físicas do solo da estação meteorológica da Embrapa Trigo.

Parâmetro	
Camada	Horizonte A
Profundidade adotada (cm)	60
Textura ¹	29 % areia; 10 % silte; 61 % argila; 4 % MO
Umidade gravimétrica na Capacidade de Campo UG _{cc} (%) ²	0,27
Umidade gravimétrica no Ponto de Murcha Permanente UG _{pm} (%) ²	0,23
Densidade do solo d _s (g/cm ³) ²	1,35

Fonte: ¹Câmara (2004); ² curva de retenção da umidade do solo determinada por CUNHA (2003).

Foi simulado, através do modelo ISAREG, o balanço diário de água no sistema solo-planta-atmosfera, com a série histórica de 20 anos nos cultivos da safra e safrinha do feijão, para semeaduras na primeira quinzena de setembro e segunda quinzena de janeiro, respectivamente, nas condições atmosféricas ocorridas. As simulações foram realizadas para obter a lâmina líquida diária requerida de irrigação suplementar estimada (D_w), visando à obtenção do rendimento máximo sem restrição hídrica para a cultura e a redução percentual do rendimento (Q_y), na ausência da irrigação suplementar, com a qual é calculado o rendimento relativo percentual anual da cultura (Y_r), safra e safrinha, por:

$$Y_r = 1 - Q_y$$

A demanda de irrigação suplementar bruta, D_b , foi computada a partir da relação entre a demanda líquida, D_w , e a eficiência da irrigação do sistema, E_a , estimada em 80% conforme Zocoler et al. (2001). O rendimento obtido em condições reais de disponibilidade hídrica (Y_a) foi estimado, para safra e safrinha, a partir de:

$$Y_a = Y_m \times Y_r$$

em que: Y_m é o rendimento máximo obtido em condições de lavoura, estimado a partir da relação:

$$Y_m = Y_{mp} \times \text{correção de lavoura}$$

O valor de Y_{mp} representa o rendimento máximo potencial do feijão obtido em condições hídricas não limitantes, supondo que se satisfaçam as necessidades climáticas de cultivo e que seu

rendimento não seja afetado por ocorrência de pragas ou doenças. Assim, Y_{mp} foi estimado pelo método da Zona Agroecológica, conforme Doorenbos & Kassan, (1980) através dos seguintes passos:

- a) cálculo da produção bruta de matéria seca de um cultivo tipo (Y_o), em kg ha⁻¹ dia⁻¹ :

$$Y_o = F \cdot y_o + (1 - F)y_c$$

em que: F é a fração do tempo do dia em que o céu está nublado, obtido por :

$$F = \frac{(R_{se} - 0,5R_s)}{0,8R_{se}}$$

sendo R_{se} a recepção máxima de radiações ativas de onda curta em dias ensolarados, em cal cm⁻²dia⁻¹ (tabelada em Doorenbos & Kassan, 1980); R_s a radiação de onda curta percebida e medida, em cal cm⁻² dia⁻¹; Y_o é a taxa de produção bruta de matéria seca de um cultivo tipo numa dada localidade, em um dia completamente nublado, em kg ha⁻¹ dia⁻¹ (tabelada em DOORENBOS & KASSAN, 1980); Y_c é a taxa de produção bruta de matéria seca de um cultivo tipo em uma dada localidade, em um dia sem nuvens, em cal cm⁻² dia⁻¹ (tabelada em DOORENBOS & KASSAN, 1980);

- b) correção por espécie de cultivo e temperatura (tabelada em DOORENBOS & KASSAN, 1980);
c) correção do desenvolvimento do cultivo com o tempo e por superfície foliar (tabelada em DOORENBOS & KASSAN, 1980) e
d) correção pela produção líquida de matéria seca (tabelada em DOORENBOS & KASSAN, 1980).

A correção de lavoura corresponde ao ajuste do rendimento máximo potencial em função do rendimento médio obtido nas condições de lavoura da Fazenda Itaíba, estimado em 71 e 55%, para safra e safrinha, respectivamente, a partir dos rendimentos médios obtidos na propriedade. Esta correção fez-se necessária tendo em vista as perdas causadas pelas pragas e doenças, bem como aquelas provenientes da operação mecanizada da colheita, da secagem e do beneficiamento dos grãos, objetivando trazer os rendimentos para os patamares reais das lavoura empresarial tomada como modelo. O rendimento atribuído à irrigação ($Y_{irrigação}$) foi estimado, para cada conjunto anual de safra e safrinha, por:

$$Y_{irrigação} = Y_m - Y_a$$

Resultados e Discussão

Conforme os resultados da simulação realizada através do ISAREG, os somatórios anuais da lâmina diária líquida requerida de irrigação suplementar (D_w), para os períodos safra e safrinha, mostrados na Tabela 3, variaram entre 140 e 300 mm ano⁻¹, na safra, 130 a 270 mm ano⁻¹ na safrinha e 300 a 500 mm ano⁻¹ considerando as duas safras. Essas lâminas foram obtidas com base na capacidade de armazenamento definida pela curva característica determinada junto ao local de instalação dos tensiômetros (Estação Meteorológica da Embrapa Trigo), ou seja, a variabilidade espacial da relação umidade-potencial matricial não foi considerada. A Tabela 4 apresenta os dados da redução percentual do rendimento (Q_y), estimados pelo modelo através da razão entre os rendimentos da cultura obtidos na ausência da irrigação suplementar e os rendimentos máximos da cultura determinados sem restrição hídrica e os correspondentes déficits de rendimento relativo percentual anual da cultura (Y_r).

Tabela 3. Lâminas de irrigação suplementar anual líquida, em mm, (D_w) estimadas pelo modelo ISAREG, para o período 1985-2004, Passo Fundo, RS.

Ano	D_w (mm)		
	safra	safrinha	total
1985	308	170	478
1986	253	196	449
1987	212	228	439
1988	239	276	515
1989	234	176	410
1990	150	158	307
1991	247	243	489
1992	203	131	334
1993	214	170	384
1994	194	182	376
1995	271	208	479
1996	203	184	387
1997	141	267	408
1998	212	139	351
1999	224	195	419
2000	169	168	336
2001	252	171	424
2002	153	193	346
2003	185	173	358
2004	216	272	488

Os resultados indicam que as deficiências hídricas afetaram o rendimento em todos os anos avaliados, acarretando reduções que variaram entre 2 e 28% na safra e entre 1 a 15%, na safrinha, gerando perdas anuais variando entre 4 e 39% da produção de grãos.

Tabela 4. Redução percentual do rendimento (Q_y) e o rendimento relativo percentual (Y_r), para safra, safrinha e total, período 1985-2004, Passo Fundo, RS.

ano	safra		safrinha		total
	Q_y	Y_r	Q_y	Y_r	Q_y
1985	28,4	71,6	10,9	89,1	39,3
1986	17,5	82,5	12,6	87,4	30,1
1987	25,9	74,1	11,8	88,2	37,7
1988	19,6	80,4	5,3	94,7	24,9
1989	25	75	7,6	92,4	32,6
1990	15,4	84,6	3,7	96,3	19,1
1991	10,7	89,3	5,3	94,7	16
1992	15,7	84,3	4,5	95,5	20,2
1993	6,5	93,5	9,4	90,6	15,9
1994	21,5	78,5	8	92	29,5
1995	26,7	73,3	11,2	88,8	37,9
1996	21,1	78,9	15	85	36,1
1997	26	74	5,3	94,7	31,3
1998	24,4	75,6	1	99,9	25,4
1999	12,8	87,2	7,7	92,3	20,5
2000	22,1	77,9	5,7	94,3	27,8
2001	6,1	93,9	5,6	94,4	11,7
2002	2	98	1,6	98,4	3,6
2003	10,6	89,4	6,5	93,5	17,1
2004	19,6	80,4	3,5	96,5	23,1

Os valores estimados para o rendimento máximo potencial do feijão, em condições hídricas não limitantes (Y_{mp}), variaram de 3.121 a 3.564 kg ha⁻¹, para a safra, e de 2.623 a 2.868 kg ha⁻¹, para a safrinha. Os valores da safra estão nos mesmos patamares dos resultados da otimização do manejo da irrigação em feijoeiro realizada por Heinemann (2003), para as condições de Londrina, através do modelo CROPGRO, integrante do sistema DSSAT (TSUJI et al., 1994). No entanto, no Rio Grande do Sul, a cultura do feijão está submetida a uma maior pressão, pela ocorrência de doenças sistêmicas, principalmente antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc & Magn.) Scrib.) e crestamento bacteriano comum (*Xanthomonas axonopodis* pv *phaseoli*), devido à ocorrência de condições climáticas favoráveis tanto na primeira (setembro a outubro) quanto na segunda (janeiro a fevereiro) época de plantio (THEODORO, 2004). Conforme o autor, são relatadas perdas de rendimento causadas pelo crestamento bacteriano comum que

podem atingir níveis de 45%. Os rendimentos máximos, em Kg ha⁻¹, estimados pela correção para condições de lavoura, estão apresentados na Tabela 5. Conforme os resultados encontrados, as produtividades variaram de 2.216 a 2.531 kg ha⁻¹, para a safra, e de 1.443 a 1.583 kg ha⁻¹, para a safrinha. Considerando o acumulado das colheitas realizadas na safra e na safrinha, a cultura apresentou rendimentos variando entre 3.745 e 4.035 kg ha⁻¹. Conforme os resultados, os valores obtidos para safrinha são menores que os da safra, provavelmente, devido às menores intensidades de radiação solar que ocorrem nos meses de safrinha (fevereiro-março-abril) em comparação com as ocorridas nos da safra (outubro-novembro-dezembro). Da mesma forma, as temperaturas máximas menores e as temperaturas mínimas maiores durante o período da safrinha podem estar determinando, junto com os níveis de radiação, um menor potencial climático de produtividade da cultura.

Tabela 5. Rendimento máximo (Y_m), em kg ha⁻¹, corrigido para condições reais de lavoura, da safra e safrinha, do período 1985-2004, Passo Fundo, RS.

Ano	Y_m		
	safra	safrinha	acumulado
1985	2477	1524	4001
1986	2401	1501	3902
1987	2397	1493	3891
1988	2471	1543	4014
1989	2460	1480	3940
1990	2387	1455	3842
1991	2400	1569	3969
1992	2442	1461	3903
1993	2430	1479	3909
1994	2346	1506	3852
1995	2531	1504	4035
1996	2386	1533	3919
1997	2305	1583	3888
1998	2333	1443	3776
1999	2378	1518	3896
2000	2401	1527	3929
2001	2414	1447	3861
2002	2216	1529	3745
2003	2400	1481	3880
2004	2346	1555	3900

O rendimento simulado para condições reais de disponibilidade hídrica (Y_a) e rendimento adicional atribuído à irrigação ($Y_{irrigação}$) em kg ha⁻¹, estimados para cada conjunto de safra e safrinha, bem como o valor acumulado do ano, estão apresentados na Tabela 6. De acordo com os valores estimados, os rendimentos atribuídos à irrigação, considerando as duas colheitas anuais, variaram entre 69 e 870 kg ha⁻¹, com média de 537 kg ha⁻¹. Os maiores efeitos da irrigação sobre as estimativas de rendimento encontrados no ciclo da safra, em comparação com aqueles da safrinha, podem ser explicados, em parte, pela precipitação, historicamente, em volume médio menor no período de desenvolvimento da cultura da safra (07/09 a 16/12), em comparação ao da safrinha (25/01 a 05/05).

Tabela 6. Rendimento estimado para condições reais de disponibilidade hídrica (Y_a) e rendimento atribuído à irrigação ($Y_{irrigação}$), em kg ha⁻¹, da safra, safrinha e acumulado anual, do período 1985-2004, Passo Fundo, RS.

Ano	safra		safrinha		acumulado anual	
	Y_a	$Y_{irrigação}$	Y_a	$Y_{irrigação}$	Y_a	$Y_{irrigação}$
1985	1774	704	1358	166	3132	870
1986	1981	420	1312	189	3293	609
1987	1777	621	1317	176	3094	797
1988	1987	484	1461	82	3448	566
1989	1845	615	1367	112	3212	728
1990	2019	368	1401	54	3420	421
1991	2143	257	1486	83	3629	340
1992	2059	383	1395	66	3454	449
1993	2272	158	1340	139	3612	297
1994	1841	504	1386	121	3227	625
1995	1855	676	1336	169	3191	844
1996	1882	503	1303	230	3185	733
1997	1706	599	1499	84	3205	683
1998	1764	569	1441	1	3205	571
1999	2074	304	1401	117	3475	421
2000	1871	531	1440	87	3311	618
2001	2267	147	1366	81	3633	228
2002	2172	44	1505	24	3676	69
2003	2145	254	1385	96	3530	351
2004	1886	460	1500	54	3386	514

Conclusões

Considerando as condições em que este estudo foi executado e com base nos parâmetros utilizados e nos resultados das análises realizadas, conclui-se que ocorrem deficiências hídricas no período da safra e safrinha da lavoura de feijão do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Os déficits hídricos observados provocam perdas no rendimento que podem variar de 4 a 39% da produção anual de grãos de feijão. As deficiências podem ser mitigadas com irrigação suplementar. A irrigação suplementar da lavoura do feijão mostrou-se necessária em todos os anos do período avaliado. Os volumes de irrigação estimados para suprir as deficiências variaram de 140 a 300 mm ano⁻¹, na safra, de 130 a 270 mm ano⁻¹, na safrinha, e 300 a 500 mm ano⁻¹ considerando as duas safras.

Referências Bibliográficas

- ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; SHIBATA, J. K. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 20, p. 81-93, 1989.
- ALBA, I.; RODRIGUES, P. N.; PEREIRA, L. S. Irrigation scheduling simulation for citrus in Sicily to cope with water scarcity. In: ROSSI, G.; CANCELLIERE, A.; PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; SHATANAWI, M.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for drought mitigation in Mediterranean regions**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. Cap. 3, p. 223-242. (Water Science and Technology Library, 44).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO.Irrigation and drainage, 56).
- ANDRADE, R. da S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. de A. . Relative water consumption of common bean under no-tillage in relation to percentage of soil cover by mulch, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 35-38, 2002.
- BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 11-24.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K. Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso do nitrogênio da cultura do feijão cv. Imbabello. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 2-3, p.343-353, 1996.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 485-497, 1998.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 232-240, 1997.
- CÂMARA, R. K. **Influência da escarificação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades do solo e na cultura da soja**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- CUNHA, G. R. **Curva característica do solo da Unidade Embrapa Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 22 maio 2003. [Comunicação pessoal]. Mensagem recebida por <cjobim@terra.com.br> em 10 fev. 2006.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1980. 212 p. (FAO.Riego y drenage, 33)
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, 1980. 194 p. (FAO.Riego y drenage, 24).
- FORTES, P. S.; PLATONOV, A. E.; PEREIRA, L. S. GISAREG - A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 7, n. 1-3, p. 159-179, 2005.
- HEINEMANN, A. B. **Otimização do manejo da irrigação do feijoeiro comum utilizando o modelo CROPGRO**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003. 29 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 6).
- JOBIM, C. I. P.; MATZENAUER, R. **Relação entre o coeficiente de cultura do feijoeiro estimado pela equação de Penman e pela equação de Penman-Monteith**. Porto Alegre, Fepagro, 2004. Não publicado
- JOBIM, C. I. P. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos: aplicação ao feijão irrigado no RS**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre.
- LIU, Y.; TEIXEIRA, J. L.; ZHANG, H. J.; PEREIRA, L. S. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 36, n. 3, p. 233-246, 1998.

- MAGALHÃES, A. A.; MILLAR, A. A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 2, p. 55-60, 1978.
- MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Regiões Ecoclimáticas do Estado do Rio Grande Do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIAO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Água e agrometeorologia no novo milênio: anais...**Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: FUNCEME, 2001. v.1, p.151-152.
- MATZENAUER, R.; MALUF, J. R.; SAMPAIO, M. dos R.; ANJOS, C. S. dos. Análise climática da disponibilidade hídrica para a cultura do feijoeiro na região do planalto médio do rio grande do sul, **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 8, n. 1-2, p. 39-51, 2002.
- OWEIS, T.; RODRIGUES, P. N.; PEREIRA, L. S. Simulation of supplemental irrigation strategies for wheat in Near East to cope with water scarcity. In: ROSSI, G.; CANCELLIERE, A.; PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; SHATANAWI, M.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for drought mitigation in Mediterranean regions**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. Cap. 3, p. 259-272. (Water Science and Technology Library, 44).
- PAZ, A.; NEIRA, A.; CASTELAO, A. Soil water regime under pasture in the humid zone of Spain: validation of an empirical model and of irrigation prediction requirements, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 147-161, 1996.
- PERES, A.A. de C.; SOUZA, P.M.; MALDONADO, H. SILVA, J.F.C da; SOARES, C da s.; BARROS, S.C.W.; HADDADÉ, I.R. Análise econômica de sistemas de produção a pasto para bovinos no município de Campos dos Goytacazes-RJ, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4. 2004.
- PIRES, R. C. de M.; ARUDA, F. B.; FUGIWARA, N.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central, **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.
- RODRIGUES, P. N.; MACHADO, T.; PEREIRA, L. S.; TEIXEIRA, J. L. Feasibility of deficit irrigation with center-pivot to cope with limited water supplies in Alentejo, Portugal. In: ROSSI, G.; CANCELLIERE, A.; PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; SHATANAWI, M.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for drought mitigation in Mediterranean regions**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. Cap. 3, p. 203-222. (Water Science and Technology Library, 44).
- SANTOS, R. Z. dos; ANDRÉ, R. G. B. Consumo da água nos diferentes estádios de crescimento da cultura do feijoeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 4, p. 543-548, 1992.
- SHATANAWI, M.; AL-ZU'BI, Y.; AL-JAYOUSSI, O. Irrigation management dynamics in the Jordan Valley under drought conditions. In: ROSSI, G.; CANCELLIERE, A.; PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; SHATANAWI, M.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for drought mitigation in Mediterranean regions**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. Cap. 3, p. 243-258. (Water Science and Technology Library, 44).
- SILVEIRA, P. M. da; STEINMETZ, S.; GUIMARÃES, C. M.; AIDAR, H.; CARVALHO, J. R. P. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 2, p. 219-223, 1984.
- STEWART, J. L.; HAGEN, R. M.; PRUIT, W. O. **Water production functions and predicted irrigation programs for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency**. Davis: University of California / Dep. Land, Air and Water Resources, 1976. 80p.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, S. C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I. Produtividade, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, p. 161-167, 1988.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N. ; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS: UFRGS, 2002. 126 p.

- TEIXEIRA, J. L.; PEREIRA, L. S. ISAREG— An irrigation scheduling model. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 29-48, 1992.
- TEIXEIRA, J. L.; PAULO, A. M.; PEREIRA, L. S. Simulation of irrigation demand hydrographs at sector level. **Irrigation and Drainage Systems**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 159-178, 1996.
- THEODORO, G. de F. Reação de cultivares locais de feijão a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, em condições de campo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 373-375, 2004. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/>> Acesso em: 03 out 2007.
- TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. **DSSAT version 3**. Honolulu: University of Hawaii, 1994. 3 v.
- VICTORIA, F. B.; VIEGAS FILHO, J. S.; PEREIRA, L. S.; TEIXEIRA, J. L.; LANNA, A. E. Multi-scale modeling for water resources planning and management in rural basins. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 7, n. 1-3, p. 4-20, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03783774>>. Acesso em: 05 fev. 2006.
- ZAIRI, A.; AMAMI, H. et; SLATNI, A.; PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, P. N. Coping with drought: déficit irrigatio strategies for cereal and field horticultural crops in Central Tunisia. In: ROSSI, G.; CANCELLIERE, A.; PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; SHATANAWI, M.; ZAIRI, A. (Ed.). **Tools for drought mitigation in Mediterranean Regions**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. Cap. 3, p. 181-201. (Water Science and Technology Library, 44).
- ZOCOLER, J. R.; FRIZZONE, J. A.; VANZELA, L. S. Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **A Engenharia Agrícola frente ao desenvolvimento agroindustrial e o mercado globalizado** - [Anais...] [S.L.]:SBEA/UNIOESTE, 2001] . CD ROM. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br>> Acesso em: 05 fev 2005.