

NOTAS CIENTÍFICAS

NECESSIDADES DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR EM SOJA NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO PLANALTO MÉDIO E MISSÕES, RS¹

ALBERTO ELVINO FRANKE² e RAUL DORFMAN³

RESUMO - Este trabalho foi conduzido com a finalidade de estimar as necessidades estocásticas de irrigação suplementar por aspersão na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), nas regiões agroecológicas do Estado do Rio Grande do Sul, denominadas de Planalto Médio e Missões. As necessidades foram simuladas em relação à combinação entre locais, épocas de semeadura, níveis de manejo da irrigação e entre níveis de ocorrência. As necessidades de irrigação suplementar foram máximas na semeadura de 15 de outubro, e os menores valores foram encontrados na semeadura de 15 de dezembro; as necessidades de irrigação suplementar foram maiores nas condições agroecológicas das Missões quando comparadas com as do Planalto Médio; as lâminas de irrigação suplementar estimadas aumentaram à medida que o nível de risco diminuiu.

NEEDS OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION IN SOYBEANS, UNDER THE EDAFOCLIMATIC CONDITIONS OF THE "PLANALTO MÉDIO" AND "MISSÕES" REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

ABSTRACT - This research was conducted with the objective of estimating supplementary irrigation need when sprinkler irrigation is used on soybeans (*Glycine max* L. Merrill) crops, in the agroecological regions of Rio Grande do Sul, Brazil, called "Planalto Médio" and "Missões". The water deficit simulated combining different sites, sowing seasons, irrigation management levels and risk levels. Results indicated that the needs for supplementary irrigation were higher when sowing was performed on October 15. The lower values were observed when sowing was performed on December 15. Supplementary irrigation requirements were greater under the agroecological conditions of the "Missões" as compared to the "Planalto Médio". The supplementary amounts of irrigation estimated increase as the level of risk diminishes.

¹ Aceito para publicação em 25 de agosto de 1999.

Extraído da tese de doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

² Eng. Agrôn., Dr., Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rod. BR 280, km 27, CEP 89245-000 Araquari, SC. E-mail: franke@netvision.com.br

³ Eng. Agrôn., Dr., UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, CEP 91301-970 Porto Alegre, RS.

A variabilidade temporal e espacial no rendimento de grãos das principais culturas agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul está associada, entre outros fatores, à ocorrência de déficits hídricos pronunciados, no solo. Os déficits hídricos ocorrem, normalmente, durante os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, como conseqüência da aleatoriedade temporal e espacial da precipitação pluvial. Apesar de a precipitação, no Estado, ser bem distribuída nas quatro estações do ano, os valores normais no verão, em geral, são insuficientes para atender às demandas hídricas das culturas, principalmente no sul do Estado, determinando rendimentos inferiores aos que se conseguiriam com suprimento adequado de água. Quanto ao solo da Unidade de Mapeamento Passo Fundo, na região do Planalto Médio, Beltrame et al. (1979) concluíram que há apenas 12% de probabilidade de ocorrerem déficits hídricos nos meses de janeiro e fevereiro, e 5% no mês de dezembro.

Mota & Agendes (1989) encontraram a necessidade de irrigação variando entre 142,2 a 300,2 mm, em 80% do tempo, em razão dos limites inferiores de disponibilidade hídrica adotados na irrigação, por aspersão, em solo Passo Fundo. Quanto à região das Missões, solo da Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, Beltrame et al. (1979) afirmaram que no período de novembro a março ocorrem as maiores probabilidades de déficits hídricos. No mês de dezembro esta probabilidade é de 30%, e nos meses de janeiro e fevereiro, está na ordem de 40% e 33%, respectivamente. Assim, recomenda-se a adoção da irrigação suplementar nesta condição edafoclimática. Neste solo, Mota & Agendes (1989) encontraram necessidades anuais de irrigação variando entre 224,2 e 396,8 mm, em 80% do tempo, na irrigação por aspersão. Caso fosse adotada a irrigação por sulcos, a necessidade anual seria entre 285,3 e 505,0 mm.

A necessidade hídrica da soja, para obter uma produtividade alta, é de 450 a 850 mm por ciclo, dependendo do clima e da duração do período de crescimento (Doorenbos & Kassan, 1979; Reichardt, 1987) nessa cultura. Segundo Cardoso (1995), foi observado um consumo hídrico de 731,6 mm e 689,5 mm no ciclo, para épocas de semeadura em outubro e novembro, respectivamente. Constatou-se, portanto, que a época de semeadura em outubro acarreta a maior necessidade hídrica. Num estudo conduzido por Collares (1994), a evapotranspiração real na cultura da soja foi de 744,11, 684,37, 735,65, 558,10 e 494,62 mm para o nível de manejo da umidade na tensão de 10, 30, 50, 150, 300 kPa, respectivamente.

Constata-se, pelos trabalhos de pesquisa consultados, que a irrigação na cultura da soja, nas condições agroecológicas do Rio Grande do Sul e, em especial, do Planalto Médio e das Missões, justifica-se tecnicamente. Porém, a pesquisa não é enfática na recomendação da irrigação nesta cultura, e admite outras medidas para minimizar os riscos e aumentar a produtividade.

Verifica-se, também, entre as fontes consultadas, que há discordância em relação à magnitude e probabilidade de ocorrência dos déficits hídricos. Tais diferenças podem ser atribuídas às diferentes metodologias de balanço hídrico adotadas, à base de dados que for usada, e, principalmente, à profundidade da camada de solo explorada pelas raízes. Isto ocasiona diferentes capacidades de água disponível às plantas; conseqüentemente, maiores déficits hídricos podem ser suportados pelas plantas e, assim, os modelos simulam menores lâminas ou menor freqüência de déficits.

Este estudo teve como objetivo estimar, por meio de balanços hídricos diários, o risco envolvido no manejo da irrigação na soja, nas condições agroecológicas do Planalto Médio e das Missões, no Estado do Rio Grande do Sul, onde o clima predominante, segundo a classificação climática de Köeppen, é Cfa. A classe de solo predominante na região agroecológica das Missões é o Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa (Unidade de Mapeamento Santo Ângelo). Na região agroecológica do Planalto Médio, predomina o Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e textura argilosa (Unidade de Mapeamento Passo Fundo), conforme Brasil (1973).

Os dados meteorológicos básicos utilizados consistiram de registros diários de uma série histórica de 10 anos consecutivos, correspondentes ao período de 1981 a 1990, inclusive. Foram utilizadas séries de dados disponíveis, no posto meteorológico de Cruz Alta como representativo da região das Missões, e no de Passo Fundo como representativo do Planalto Médio.

Através do cálculo do balanço hídrico diário realizado de acordo com o método proposto por Doorenbos & Kassan (1979), determinou-se a evapotranspiração potencial e a necessidade de irrigação para a cultura da soja. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada diariamente, utilizando-se o método de Penman (1948), com a simplificação do termo aerodinâmico (função do déficit de saturação do ar e velocidade do vento) proposta por Stanhill (1963), o qual foi substituído pela evaporação do evaporímetro de Piche, com os dados do posto agrometeorológico de Passo Fundo, conforme:

$$ET_o = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \times \frac{Q}{59}\right) + (a + b \times E_{pi})}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}, \quad (1)$$

onde: ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ/γ = tangente à curva de tensão de saturação de vapor da água à temperatura do ar (mm Hg °C⁻¹); γ = constante psicrométrica (mm Hg °C⁻¹); Q/59 = saldo de radiação líquida (mm de evaporação equivalente); a = 0,23; b = 0,45; E_{pi} = evaporação de Piche (mm dia⁻¹).

Nos dados meteorológicos de Cruz Alta, o termo aerodinâmico (a + bxE_{pi}) da equação 1 foi substituído pela velocidade do vento, calculada pela expressão:

$$E_a = 0,35 \left(0,5 + \frac{W_2}{160}\right) (e_s - e_a), \quad (2)$$

onde: W₂ = velocidade do vento tomado a 2 m acima do solo (km dia⁻¹); e_a = tensão parcial de vapor (mm Hg); e_s = tensão saturante do vapor (mm Hg).

Os valores de precipitação pluvial diária (P_i) foram alterados para considerar a lâmina efetiva de infiltração. Usou-se o método de repartição proposto por Estados Unidos (1975), o qual supõe que a precipitação reparte-se em perdas iniciais, em virtude da interceptação e enchimento das rugosidades superficiais, no escoamento superficial e na infiltração

Os valores do conteúdo de água no solo quando em capacidade de campo (CC) e em ponto de murcha permanente (PMP) foram obtidos das curvas características de retenção da água no solo, nos locais de interesse, nos trabalhos de Beltrame et al. (1979). A capacidade de água disponível no solo, que representa a lâmina de água armazenada na camada radicular explorada

pelas raízes, foi determinada através da relação:

$$CAD = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) \times h, \quad (3)$$

onde: CAD = capacidade de água disponível no solo (mm); CC = capacidade de campo (%); PMP = ponto de murcha permanente (%); h = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Assumiu-se que há variação da profundidade de exploração das raízes e, conseqüentemente, da CAD, desde um valor mínimo, na emergência, até um valor máximo na fase de florescimento das culturas. As informações de profundidade do sistema radicular foram obtidas dos trabalhos de Doorenbos & Kassan (1979) e de Petter & Righes (1992), sendo adotada a profundidade de 50 cm.

Foi considerada como água disponível (AD), para ser usada na evapotranspiração, a fração p da CAD que pode ser utilizada pelas culturas antes de se configurar um déficit hídrico maior que o estabelecido para o nível de manejo, pela equação:

$$AD = p_i \times CAD, \quad (4)$$

$$ARMCRI = (1 - p_i) \times CAD, \quad (5)$$

onde: p_i = fração de esgotamento admissível da água no solo, no nível de manejo i ; ARMCRI = armazenamento crítico. A fração p_i da CAD foi usada para simular níveis de manejo da irrigação, representando um valor de tensão da água no solo, que possibilita uma porcentagem do rendimento potencial da cultura em questão. Os níveis de manejo simulados através da fração p_i podem ser visualizados na Tabela 3, em cada ambiente. Cada fração de esgotamento p_i representa um limite inferior de disponibilidade hídrica no solo que garanta uma proporção da produtividade potencial da cultura, adaptado de Hagan (1973) e Millar (1984), qual seja: $p_1 = 100\%$ do rendimento potencial; $p_2 = 90\%$ do rendimento potencial; $p_3 = 80\%$ do rendimento potencial; $p_4 = 70\%$ do rendimento potencial; $p_5 = 60\%$ do rendimento potencial.

Em Reunião... (1995), encontrou-se que as regiões do Planalto Médio e das Missões são preferenciais para o cultivo da soja, em razão do zoneamento climático, e que a época recomendada para a semeadura situa-se entre 15 de outubro e 10 de dezembro. Neste estudo, foram fixadas as épocas de semeaduras quinzenais, entre 15 de outubro e 15 de dezembro, visando submeter a cultura aos períodos mais prováveis de déficit hídrico, fazendo coincidir déficits com subperíodos críticos das culturas. A duração do ciclo da cultura foi considerada, para fins de irrigação, de 118 dias. Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados foram os recomendados por Doorenbos & Kassan (1979). O armazenamento da água no solo (ARM) foi a lâmina definida entre a capacidade de água disponível (CAD), e pelo limite inferior de disponibilidade (ARMCRI). Assim, quando o armazenamento de água no solo atingia o limite inferior de disponibilidade, simulava-se a irrigação de uma lâmina (H) suficiente para tornar o armazenamento igual à CAD. Desta forma, foram quantificadas as lâminas de irrigação necessárias para cada local, época de semeadura e nível de manejo do limite inferior de disponibilidade hídrica.

Os valores de lâmina de irrigação suplementar (H) estimados em cada limite inferior de disponibilidade (p_i), época de semeadura e região testados, foram ajustados a uma distribuição de probabilidade teórica. No caso, foi testado o ajuste à distribuição normal, cuja função de densidade de probabilidade é:

$$F_{(H)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(H-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

onde: $F_{(H)}$ = função densidade de probabilidade da normal; H = lâmina de irrigação suplementar; μ = média de H ; σ^2 = variância de H ; σ = desvio-padrão de H .

A verificação do ajustamento à distribuição normal foi realizada via plotagem Q-Q, comparando-se os valores do coeficiente de correlação da normalidade de Filliben calculado com o coeficiente de correlação de Filliben tabelado, para 1% de probabilidade.

Após o ajustamento à distribuição normal, da série dados (1981-1990) de lâmina de irrigação suplementar, obteve-se a lâmina de irrigação suplementar, com probabilidades de 98, 95, 90, 85, 80, 75, 70, 65 e 60% de ocorrência, em cada local, época de semeadura, cultura e nível de manejo da irrigação. A estimativa do nível de risco (de a lâmina de irrigação suplementar ser superada) obteve-se pela subtração da probabilidade de ocorrência de 100.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores estimados da lâmina de irrigação suplementar (H , mm) requerida, correspondente aos níveis de 60, 65,

TABELA 1. Estimativa da lâmina de irrigação suplementar necessária (H , mm) com a probabilidade de não ser excedida, na cultura da soja, na região agroecológica do Planalto Médio, em função da época de semeadura, e do nível de manejo da irrigação.

| Época da semeadura | Nível de manejo ¹ | Probabilidade de ocorrência (%) | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 98 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 |
| 15 de out. | p ₁ | 523,2 | 503,7 | 486,5 | 474,8 | 465,6 | 457,6 | 450,5 | 443,9 | 437,6 |
| | p ₂ | 503,7 | 481,4 | 461,6 | 448,2 | 437,5 | 428,4 | 420,2 | 412,6 | 405,4 |
| | p ₃ | 456,8 | 433,2 | 412,2 | 398,0 | 386,7 | 377,1 | 368,4 | 360,4 | 352,7 |
| | p ₄ | 495,0 | 454,5 | 418,5 | 394,2 | 374,9 | 358,3 | 343,5 | 329,7 | 316,6 |
| | p ₅ | 458,4 | 420,3 | 386,5 | 363,7 | 345,5 | 330,0 | 316,0 | 303,1 | 290,8 |
| 1 ^o de nov. | p ₁ | 493,3 | 476,7 | 461,9 | 452,0 | 444,1 | 437,3 | 431,2 | 425,5 | 420,2 |
| | p ₂ | 487,9 | 465,8 | 446,1 | 432,9 | 422,3 | 413,3 | 405,2 | 397,7 | 390,5 |
| | p ₃ | 456,6 | 429,1 | 404,7 | 388,2 | 375,0 | 363,8 | 353,7 | 344,3 | 335,4 |
| | p ₄ | 422,0 | 389,7 | 361,0 | 341,6 | 326,2 | 312,9 | 301,1 | 290,1 | 279,6 |
| | p ₅ | 428,6 | 396,5 | 367,9 | 348,6 | 333,2 | 320,1 | 308,3 | 297,3 | 286,9 |
| 15 de nov. | p ₁ | 487,3 | 469,9 | 454,5 | 444,1 | 435,9 | 428,8 | 422,4 | 416,5 | 410,9 |
| | p ₂ | 473,4 | 451,6 | 432,3 | 419,2 | 408,9 | 400,0 | 392,0 | 384,6 | 377,6 |
| | p ₃ | 421,0 | 396,1 | 374,1 | 359,2 | 347,4 | 337,2 | 328,1 | 319,7 | 311,7 |
| | p ₄ | 407,9 | 379,2 | 353,8 | 336,7 | 323,0 | 311,3 | 300,8 | 291,1 | 281,8 |
| | p ₅ | 405,8 | 375,3 | 348,3 | 330,0 | 315,5 | 303,0 | 291,9 | 281,5 | 271,7 |
| 1 ^o de dez. | p ₁ | 465,9 | 447,4 | 430,9 | 419,8 | 410,9 | 403,3 | 396,5 | 390,2 | 384,2 |
| | p ₂ | 433,2 | 414,1 | 397,1 | 385,6 | 376,5 | 368,7 | 361,6 | 355,1 | 349,0 |
| | p ₃ | 401,1 | 375,4 | 352,6 | 337,2 | 324,9 | 314,5 | 305,0 | 296,3 | 288,0 |
| | p ₄ | 410,4 | 376,7 | 346,8 | 326,6 | 310,5 | 296,8 | 284,4 | 273,0 | 262,1 |
| | p ₅ | 398,3 | 363,3 | 332,3 | 311,3 | 294,6 | 280,4 | 267,5 | 255,7 | 244,4 |
| 15 de dez. | p ₁ | 436,1 | 414,7 | 395,7 | 382,9 | 372,7 | 364,0 | 356,1 | 348,9 | 341,9 |
| | p ₂ | 391,9 | 372,2 | 354,7 | 343,0 | 333,6 | 325,5 | 318,3 | 311,6 | 305,3 |
| | p ₃ | 358,2 | 333,3 | 311,2 | 296,3 | 284,5 | 274,3 | 265,2 | 256,7 | 248,7 |
| | p ₄ | 365,8 | 334,1 | 306,0 | 287,0 | 271,9 | 259,0 | 247,4 | 236,6 | 226,4 |
| | p ₅ | 356,9 | 324,9 | 296,4 | 277,3 | 262,0 | 248,9 | 237,2 | 226,3 | 215,9 |

¹ p₁: nível de manejo da irrigação para 100% do potencial produtivo da cultura; p₂: nível de manejo da irrigação para 90% do potencial produtivo da cultura; p₃: nível de manejo da irrigação para 80% do potencial produtivo da cultura; p₄: nível de manejo da irrigação para 70% do potencial produtivo da cultura; p₅: nível de manejo da irrigação para 60% do potencial produtivo da cultura.

TABELA 2. Estimativa da lâmina de irrigação suplementar necessária (H, mm) com a probabilidade de não ser excedida, na cultura da soja, na região agroecológica das Missões, em função da época de semeadura, e do nível de manejo da irrigação.

| Época da semeadura | Nível de manejo | Probabilidade de ocorrência (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 98 | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 |
| 15 de out. | p ₁ | 654,7 | 626,8 | 602,1 | 585,4 | 572,1 | 560,7 | 550,5 | 541,0 | 532,0 |
| | p ₂ | 640,4 | 610,1 | 583,2 | 565,1 | 550,7 | 538,3 | 527,2 | 516,9 | 507,1 |
| | p ₃ | 627,3 | 592,4 | 561,3 | 540,4 | 523,8 | 509,5 | 496,7 | 484,8 | 473,5 |
| | p ₄ | 589,6 | 557,2 | 528,4 | 509,0 | 493,5 | 480,3 | 468,4 | 457,4 | 447,0 |
| | p ₅ | 574,8 | 540,0 | 509,1 | 488,3 | 471,7 | 457,5 | 444,8 | 433,0 | 421,7 |
| 1 ^o de nov | p ₁ | 614,3 | 590,9 | 570,1 | 556,1 | 544,9 | 535,4 | 526,8 | 518,8 | 511,3 |
| | p ₂ | 609,0 | 581,7 | 557,4 | 541,0 | 528,0 | 516,8 | 506,8 | 497,5 | 488,7 |
| | p ₃ | 587,8 | 554,5 | 524,9 | 505,0 | 489,1 | 475,5 | 463,3 | 452,0 | 441,2 |
| | p ₄ | 558,7 | 530,6 | 505,7 | 488,9 | 475,5 | 464,1 | 453,8 | 444,2 | 435,2 |
| | p ₅ | 533,8 | 504,6 | 478,6 | 461,1 | 447,2 | 435,2 | 424,5 | 414,6 | 405,1 |
| 15 de nov. | p ₁ | 590,4 | 566,8 | 545,8 | 531,7 | 520,5 | 510,8 | 502,2 | 494,1 | 486,5 |
| | p ₂ | 576,5 | 551,2 | 528,7 | 513,5 | 501,4 | 491,0 | 481,7 | 473,1 | 464,9 |
| | p ₃ | 534,3 | 507,6 | 483,8 | 467,8 | 455,0 | 444,1 | 434,3 | 425,2 | 416,6 |
| | p ₄ | 487,2 | 464,2 | 443,8 | 430,1 | 419,1 | 409,7 | 401,3 | 393,5 | 386,0 |
| | p ₅ | 474,1 | 451,9 | 432,2 | 418,9 | 408,3 | 399,2 | 391,1 | 383,5 | 376,4 |
| 1 ^o de dez. | p ₁ | 535,1 | 515,2 | 497,5 | 485,6 | 476,1 | 467,9 | 460,6 | 453,9 | 447,4 |
| | p ₂ | 527,8 | 505,0 | 484,7 | 471,0 | 460,2 | 450,8 | 442,5 | 434,7 | 427,3 |
| | p ₃ | 474,6 | 452,7 | 433,3 | 420,2 | 409,7 | 400,8 | 392,8 | 385,3 | 378,3 |
| | p ₄ | 438,4 | 416,6 | 397,3 | 384,2 | 373,9 | 365,0 | 357,0 | 349,6 | 342,6 |
| | p ₅ | 422,4 | 403,5 | 386,7 | 375,4 | 366,4 | 358,7 | 351,7 | 345,3 | 339,2 |
| 15 de dez. | p ₁ | 480,0 | 460,1 | 442,5 | 430,6 | 421,1 | 413,0 | 405,7 | 398,9 | 392,5 |
| | p ₂ | 457,3 | 437,2 | 419,3 | 407,2 | 397,6 | 389,3 | 382,0 | 375,1 | 368,6 |
| | p ₃ | 414,5 | 392,9 | 373,6 | 360,6 | 350,3 | 341,4 | 333,5 | 326,1 | 319,1 |
| | p ₄ | 381,4 | 360,0 | 341,0 | 328,1 | 317,9 | 309,1 | 301,3 | 294,0 | 287,1 |
| | p ₅ | 397,9 | 372,5 | 349,8 | 334,6 | 322,4 | 312,0 | 302,7 | 294,0 | 285,8 |

¹ p₁: nível de manejo da irrigação para 100% do potencial produtivo da cultura; p₂: nível de manejo da irrigação para 90% do potencial produtivo da cultura; p₃: nível de manejo da irrigação para 80% do potencial produtivo da cultura; p₄: nível de manejo da irrigação para 70% do potencial produtivo da cultura; p₅: nível de manejo da irrigação para 60% do potencial produtivo da cultura.

TABELA 3. Fração de extração admissível da capacidade de água disponível em solo das Unidades de Mapeamento Passo Fundo e Santo Ângelo, em função dos níveis de manejo da irrigação.

| Solo | Fração de esgotamento admissível da capacidade de água disponível | | | | |
|--------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ |
| Passo Fundo | 0,1136 | 0,2500 | 0,5681 | 0,8409 | 0,8983 |
| Santo Ângelo | 0,1235 | 0,2345 | 0,5012 | 0,6321 | 0,7827 |

70, 75, 80, 85, 90, 95 e 98% de probabilidades de ocorrência, nas combinações de local-época de semeadura-nível de manejo da irrigação. Numa análise das referidas tabelas, constata-se que, para maiores níveis de probabilidade ou menores riscos, maiores são os valores das lâminas de irrigação suplementar. Isto pode ser explicado pelo método de cálculo das probabilidades, adotado

neste estudo. Os valores da lâmina de irrigação suplementar não devem ser excedidos, conforme utilizado nos trabalhos de Mota & Agendes (1989), Mota (1989), Oliveira (1990) e Cardoso (1995). Essa forma de apresentação dos resultados é condizente com os projetos de irrigação, que são sempre dimensionados para valores máximos. Assim sendo, por exemplo, se for dimensionado um projeto de irrigação para 90% de probabilidade, significa que o risco de falha é de 10%.

A lâmina de irrigação suplementar requerida foi de 486,5 mm na cultura da soja semeada em 15 de outubro com nível de manejo p_1 , ou seja, rendimento esperado da cultura igual a 100% do seu potencial produtivo, a 90% de probabilidade (Tabela 1). Nas referidas tabelas, pode-se verificar que os valores da lâmina de irrigação suplementar determinados, na cultura da soja, como exemplo, a 80% de probabilidade, estiveram entre 317,9 e 572,1 mm (Tabela 1) e 262,0 e 465,6 mm (Tabela 2) nas Missões e Planalto Médio, respectivamente. Essa ampla variação é dependente da época de semeadura e do nível de manejo da irrigação, pois quanto maior a coincidência entre o período de máxima exigência hídrica da cultura e o período de máxima demanda evaporativa do ambiente, maiores são as necessidades de irrigação suplementar, e vice-versa. O nível de manejo da irrigação também influi decisivamente na lâmina requerida, visto que, quanto menor o nível de extração da CAD do solo, maiores são as necessidades de suplementação.

Os resultados encontrados neste estudo concordam com os de Beltrame et al. (1979), que relataram a existência de deficiências hídricas nos meses outubro-março. Quando se comparam os resultados do presente trabalho com os encontrados por Mota & Agendes (1989), num estudo das necessidades de irrigação por aspersão relativas ao Planalto Médio e as Missões, a 80% de probabilidade, verifica-se uma grande concordância. Porém, em razão da magnitude das lâminas de irrigação encontradas neste estudo, pode-se dizer que o estudo de Beltrame et al. (1979) não reproduz a realidade físico-hídrica do solo, ao afirmar ser dispensável a irrigação suplementar nas condições agroecológicas do Planalto Médio.

Mesmo não atendendo completamente à demanda, nos anos em que os valores de lâmina de irrigação estimados forem excedidos, o sistema manterá um nível de produtividade que é dependente da magnitude do risco, mas garantirá um retorno econômico compatível com o nível de manejo da irrigação adotado. Porém, as necessidades de suplementação da irrigação variam de um valor mínimo do risco de 40% até um valor máximo do risco de falha de 2%, conforme Tabelas 1 e 2. Então, quando houver uma falha, a máxima lâmina de irrigação suplementar requerida será aquela referente ao risco de 2%, para um dado nível de manejo da irrigação. Se o sistema de irrigação suportar um aumento da demanda da lâmina de irrigação, pode-se evitar a redução da produtividade, e ocorrerá apenas redução nos resultados econômicos esperados.

A análise probabilística das variações entre épocas, verificada nas lâminas de irrigação, permite a escolha de épocas com menores necessidades de água, o que pode ser interessante para situações em que houver escassez de água, porém, prescinde de um estudo de otimização econômica para escolher o adequado nível de manejo da água visando à maximização dos retornos.

Apesar das necessidades de irrigação detectadas neste estudo, é importante ter presente que a recomendação da irrigação e do nível de manejo somente deverá ser feita após estudos da viabilidade econômica e financeira das diversas combinações de manejo-local-época de semeadura-probabilidade das necessidades de irrigação suplementar, como também sugere Oliveira (1990).

Os resultados permitem concluir que: 1) as necessidades de irrigação suplementar são máximas na semeadura de 15 de outubro, e os menores valores estatisticamente significativos, na semeadura de 15 de dezembro; 2) as necessidades de irrigação suplementar são maiores nas condições agroecológicas das Missões, em comparação com as do Planalto Médio, em razão das características físico-hídricas do solo e das condições ecológicas predominantes em cada região; 3) as lâminas de irrigação suplementar estimadas aumentam à medida que o nível de risco diminui.

REFERÊNCIAS

- 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 : UFRGS-Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1979. 79p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (DNPEA. Boletim Técnico, 30).
- CARDOSO, C.O. **Avaliação da demanda hídrica de algumas culturas sujeitas à alteração climática na bacia do Rio Uruguai**. Porto Alegre : UFRGS-Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1995. 174p. Dissertação de Mestrado.
- COLLARES, G.L. **Resposta da soja a diferentes níveis de manejo da irrigação**. Santa Maria : UFSM, 1994. 65p. Dissertação de Mestrado.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome : FAO, 1979. 235p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Hydrology guide for use in watershed planning**. Washington, 1975. 325p.
- HAGAN, R.M. Water plant growth and crop irrigation requirements. In: IRRIGATION, drainage and salinity. London : Hutchinson, 1973. p.206-253.
- MILLAR, A.A. **Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas**. Brasília : IICA, 1984. 75p.
- MOTA, F.S. da. Informação agroclimática para planejamento da irrigação das pastagens na fronteira sul e litoral do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., 1989, Maceió. **Anais**. Maceió : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.89-95.
- MOTA, F.S. da; AGENDES, M.O. de O. Informação climática para planejamento da irrigação da soja no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

AGROMETEOROLOGIA, 6., 1989, Maceió. **Anais**. Maceió : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.348-354.

OLIVEIRA, D. **Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) determinado por balanço hídrico para seis locais do Paraná**. Piracicaba : Universidade de São Paulo, 1990. 155p. Dissertação de Mestrado.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Royal Society of London Proceedings**, Series A, n.3, p.120-145, 1948.

PETTER, R.L.; RIGUES, A.A. Resposta da soja a diferentes potenciais de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21.; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria : DER/UFMS, 1992. v.1, p.983-991.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo : Manole, 1987. 178p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 23., 1995, Porto Alegre. **Recomendações técnicas para o cultivo da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina: 1995/1996**. Porto Alegre : UFRGS-Faculdade de Agronomia, 1995. 80p

STANHILL, G. The use of piche evaporimeter in the calculation of evaporation. **Royal Meteorological Society Quarterly Journal**, Reading, n.28, p.80-82, 1963.