

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE VERANICOS E QUEDA DE RENDIMENTO¹

SÉRGIO ANTÔNIO VERONEZ DE SOUSA² e FERNANDO CURI PERES³

RESUMO - No trabalho desenvolveu-se um modelo computacional em linguagem "Turbo Pascal for Windows", usando o método Monte Carlo, com o objetivo de simular a ocorrência de veranicos e a queda de rendimento decorrente deles, em determinada cultura. A simulação foi baseada em uma série histórica de seqüência de dias secos (veranicos) e evapotranspiração diária. Na avaliação do modelo, foi estudada a probabilidade de ocorrência de veranicos e a queda de rendimento de milho em dois períodos de cultivo na região de Piracicaba, verão e período da safrinha. No período de verão, a probabilidade de ocorrência de grandes perdas foi pequena. No período da safrinha, são maiores as probabilidades de ocorrência de veranicos mais intensos, os quais causam maiores perdas. Nos dois períodos estudados, a queda de rendimento decorrida dos veranicos é mais acentuada quando estes ocorrem no período de floração, seguido do período de enchimento de grãos.

Termos para indexação: método Monte Carlo, planejamento da irrigação.

COMPUTER MODEL FOR SIMULATE THE OCCURRENCE OF SEQUENCE OF DRY SPELLS AND DECREASE OF CROP YIELD

ABSTRACT - A computational model was written in "Turbo Pascal for Windows", aiming to simulate, using Monte Carlo's method, the occurrence of sequences of dry spells during the cropping season and the consequent decrease in yield for a given crop. The simulation was based on series of frequency of sequence of dry-spell periods and evapotranspiration. Valuation of the model was accomplished for corn production in the region of Piracicaba, SP, Brazil, for two different crop periods: normal cropping season and cropping during the fall season ("safrinha"). Results show that in the normal cropping season the probability of substantial amount of lost is small. When cropping corn in Piracicaba is done during the fall season, probabilities of occurring substantial losses are higher. For both cropping periods, decreasing in yield is higher when dry spells happen during flowering stage, followed by the grain filling period.

Index terms: Monte Carlo method, planning of irrigation.

INTRODUÇÃO

Na maior parte do território brasileiro, a agricultura praticada é de sequeiro, ou seja, as culturas são desenvolvidas dependendo exclusivamente da pre-

cipitação natural. No nosso clima, o período chuvoso é o verão, época em que são realizados os cultivos.

Em algumas regiões, principalmente nos cerrados, a precipitação total do período chuvoso é suficiente para o desenvolvimento da agricultura, porém é comum a ocorrência de seqüência de dias secos durante a estação chuvosa; trata-se de breves períodos conhecidos como veranicos, que, dependendo da duração e da época, podem afetar de forma acentuada o desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, a produtividade final.

¹ Aceito para publicação em 22 de maio de 1998.

² Eng. Agr., M.Sc., Aluno do curso de pós-graduação, Dep. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista da FAPESP. E-mail: savsousa@carpa.ciagri.usp.br

³ Eng. Agr., Ph.D., Dep. de Economia e Sociologia Rural, ESALQ/USP.

A ocorrência de veranicos prolongados é comum, principalmente no Brasil central e Centro-Oeste. As perdas em produção variam com a intensidade e duração do estresse hídrico, e dependem do estágio de desenvolvimento da planta (Couto et al., 1986).

Segundo Barbosa (1986), a ocorrência irregular do veranico, de ano para ano, torna a cultura do milho vulnerável ao déficit hídrico, em qualquer estágio de desenvolvimento, com prejuízos visíveis a sua produção.

Segundo Espinoza et al. (1980), no caso do milho têm-se verificado reduções de até 60% no rendimento da cultura quando o déficit hídrico ocorreu desde o estágio de floração até o enchimento dos grãos, e de 40% quando ocorreu durante a iniciação floral.

Os mesmos autores concluíram que num experimento conduzido quando os períodos de seca ocorreram durante todo ou durante parte do processo reprodutivo da planta, a irrigação suplementar permite praticamente duplicar os rendimentos das variedades de milho testadas.

A previsão da ocorrência dos veranicos em determinada região é fundamental, e torna-se um importante instrumento para o desenvolvimento da agricultura, principalmente na implementação de projetos de irrigação, minimizando os riscos para o produtor.

Entre as técnicas para fazer a previsão de fenômenos meteorológicos, o processo de simulação pode ser adotado, visto que permite, a partir de dados históricos, simular valores de ocorrência futura. É uma técnica matemática, baseada no método de Monte Carlo, destinada a resolver problemas cuja solução analítica é difícil ou mesmo impossível (Hillier & Lieberman, 1988; Peres & Mattos, 1990).

O presente trabalho teve como objetivo simular a ocorrência de veranicos e as quedas de rendimento que provocam nas culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do programa

O programa foi desenvolvido utilizando-se a linguagem "Turbo Pascal for Windows".

O modelo de simulação permite a escolha de três opções. A primeira, calcula apenas a frequência relativa da

ocorrência de veranicos de diferentes durações, em dada região. Nesta opção, são necessários apenas os dados relativos à frequência observada de dias consecutivos sem chuva, em determinado mês, obtidos de uma série histórica; recomenda-se uma série de, no mínimo, 20 anos, para um bom ajuste do modelo. A segunda opção permite, além da simulação dos veranicos, a simulação da evapotranspiração de referência diária durante o período de duração do veranico, e calcula o valor diário da evapotranspiração máxima e da evapotranspiração real para uma cultura. Calcula, também, o déficit de evapotranspiração e a respectiva queda de rendimento na referida cultura, em cada um dos estágios de desenvolvimento. Nesta opção, são necessários, além dos dados de frequência de dias sem chuva, os dados de evapotranspiração diária, os valores dos coeficientes de cultura, os da resposta à água em cada estágio, e os dados de solo. A terceira opção calcula a queda de rendimento num veranico de duração conhecida, ocorrido em cada estágio de desenvolvimento de determinada cultura. A simulação é feita de forma semelhante à segunda opção, exceto a duração do veranico, que deve ser pré-fixada.

Método de simulação e determinação dos resultados

O método de simulação utilizado foi o Monte Carlo (Hillier & Lieberman, 1988).

Na simulação do veranico, o método baseia-se na distribuição de probabilidades empíricas, ou seja, são gerados números aleatórios, que são comparados com a frequência acumulada, e, a partir desta, são determinadas as diferentes probabilidades de durações dos veranicos.

O modelo calcula a frequência relativa, ou seja, a probabilidade de ocorrência de cada veranico, dentre os diferentes veranicos que podem ocorrer no mês considerado.

Na simulação da evapotranspiração de referência (ET_o), o modelo permite duas opções de ajuste dos dados. A primeira, permite ajustar os dados pela função normal. Nesta opção, os dados de ET_o, obtidos de uma série histórica, são divididos em classes de intervalo de 1,0 mm, e o modelo faz o ajuste da função normal para descrever o comportamento dos dados. Após o ajuste da função, o modelo gera números aleatórios, e a utilização destes com a função normal ajustada permite a obtenção dos valores da ET_o. Na outra opção, os valores de ET_o podem ser simulados mediante a função triangular. Esta função é utilizada quando existem poucos dados disponíveis. Para sua utilização são necessários os valores da ET_o mínima e máxima e o valor esperado mais freqüente (moda). São gerados números aleatórios, que são ajustados à função triangular, e, a partir desta, simulados os valores diários da ET_o.

Os demais cálculos do modelo são feitos de forma determinística.

Para cada dia dentro do intervalo de duração do veranico, são determinados os valores da evapotranspiração máxima (ETm) da cultura escolhida, nos diferentes estádios de desenvolvimento. A ETm é obtida multiplicando-se cada valor de ETo simulado pelo respectivo coeficiente de cultura. O modelo determina também a evapotranspiração real da cultura (ETr), em cada dia, nos diferentes estádios. Na determinação da ETr, considerou-se, no modelo, o método proposto por Bernardo (1989). No modelo considera-se que em cada intervalo de duração do veranico e estádio de desenvolvimento o solo encontra-se inicialmente com o teor de umidade na capacidade de campo, e este é decrescido da ETr diária até o final da duração do veranico.

Em cada intervalo consecutivo de dias sem chuva é determinado o somatório da evapotranspiração máxima e da evapotranspiração real, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura considerada. O modelo determina também o déficit de evapotranspiração e o respectivo rendimento relativo, dado pela relação entre o rendimento obtido decorrente do veranico, e o rendimento máximo referente à cultura escolhida. Estas determinações são feitas pelo método proposto por Doorenbos & Kassam (1979).

Avaliação do modelo

Na avaliação do modelo foi estudada a probabilidade de ocorrência de veranicos em dois períodos de cultivo, na região de Piracicaba: verão (correspondente aos meses de janeiro, fevereiro e março) e o período da safrinha (compreendendo os meses de maio, junho e julho). Simulou-se a queda de produção na cultura do milho, decorrente dos veranicos ocorridos em cada período.

Na simulação, utilizaram-se os dados de uma série histórica de 20 anos (1976-1995), obtida no Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP, determinando-se, nesta série, em relação a cada mês considerado, a frequência observada de dias consecutivos sem chuva, desde 1 até 31 dias, caso ocorressem. Foram considerados dias secos aqueles em que a precipitação foi inferior a 3,0 mm. Na mesma série foram obtidos os valores diários da ETo referentes aos respectivos meses, e estes foram agrupados em classes de intervalo de 1,0 mm para ajuste da função normal. Os valores de ETo utilizados no ajuste foram determinados pela equação de Thornthwaite, citada por Jensen (1968).

Considerou-se a cultura de milho nos quatro estádios de desenvolvimento, ou seja, vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação; os respectivos coeficientes de cultura foram determinados pelo método proposto por Doorenbos & Pruitt (1977), com relação à região de Piracicaba, SP.

No cálculo do rendimento relativo tendo em vista o rendimento máximo, foram utilizados os fatores de resposta da cultura do milho à água (Ky), nos mesmos está-

dios de desenvolvimento citados anteriormente. Estes valores foram obtidos em uma tabela apresentada em Doorenbos & Kassam (1979).

Foram utilizados os dados relativos ao solo obtidos por Duarte (1989), em experimento conduzido na área experimental do departamento de Engenharia Rural da ESALQ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figs. 1 e 2 são mostrados os valores do rendimento relativo simulados com a utilização do programa, relativos à cultura de milho, em função de cada veranico, em cada estádio de desenvolvimento.

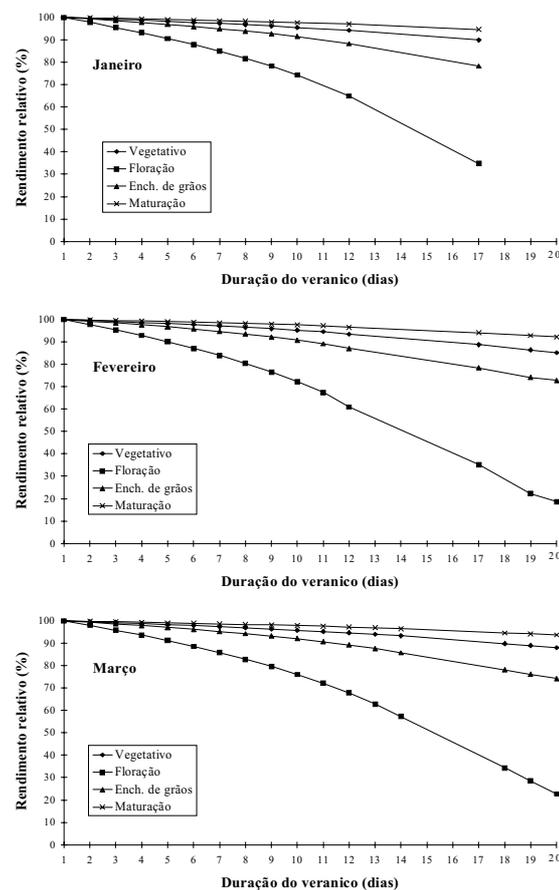


FIG. 1. Rendimento relativo da cultura de milho, em cada veranico simulado, nos diferentes estádios, nos meses de janeiro, fevereiro e março.

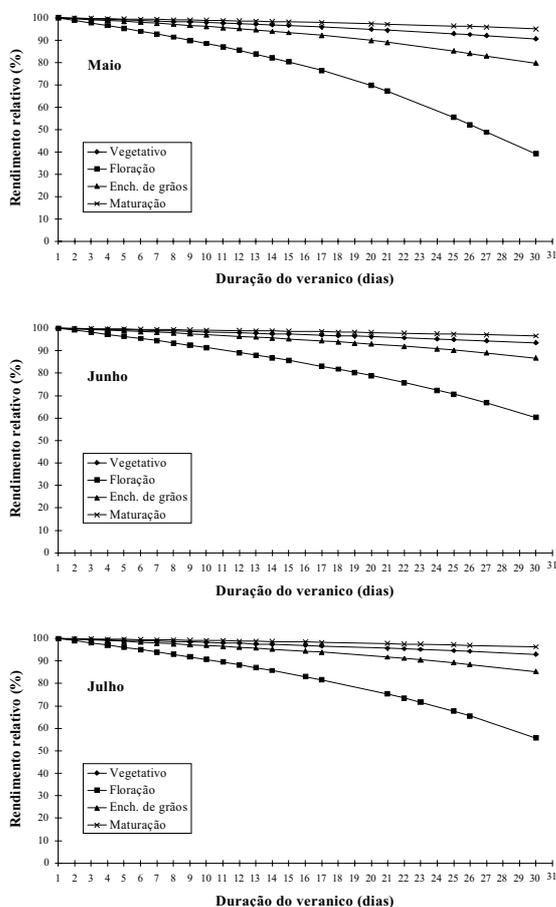


FIG. 2. Rendimento relativo da cultura de milho, em cada veranico simulado, nos diferentes estádios, nos meses de maio, junho e julho.

to, nos dois períodos estudados: verão e safrinha, respectivamente.

Observando-se as Fig. 1 e 2, verifica-se que em todos os meses estudados a queda de rendimento causada pelos veranicos é mais acentuada quando estes ocorrem no período de floração, e, em segundo lugar, quando ocorrem no período de enchimento de grãos. Quando ocorrem nos estádios vegetativo e maturação, as quedas de rendimento são pequenas, mesmo com veranicos mais intensos. Isto era esperado, pois os valores de K_y (fatores de resposta da cultura à água) utilizados mostram que as fases mais

sensíveis da cultura de milho são a floração e o enchimento de grãos, o que é observado também por Barbosa (1986) e Couto et al. (1986).

Dos três meses estudados no verão, as maiores quedas no rendimento, em cada estádio, foram decorrentes de veranicos com duração correspondente a 20 dias, ocorridos no mês de fevereiro.

No período da safrinha, as maiores quedas de rendimento ocorreram num veranico de 30 dias em maio, embora sua probabilidade de ocorrência fosse pequena (0,36%).

Comparando-se os veranicos de duração correspondente, pode-se observar que num mesmo estádio de desenvolvimento os veranicos ocorridos no mês de fevereiro, no período de verão, e, em maio, na safrinha, foram os que acarretaram as maiores quedas no rendimento. Isto pode ser melhor observado na Fig. 3, que apresenta os rendimentos relativos obtidos nos veranicos ocorridos no estádio de floração, em cada mês, nos períodos de verão e safrinha.

Na Fig. 3 observa-se que, em uma mesma duração, os rendimentos relativos obtidos no verão fo-

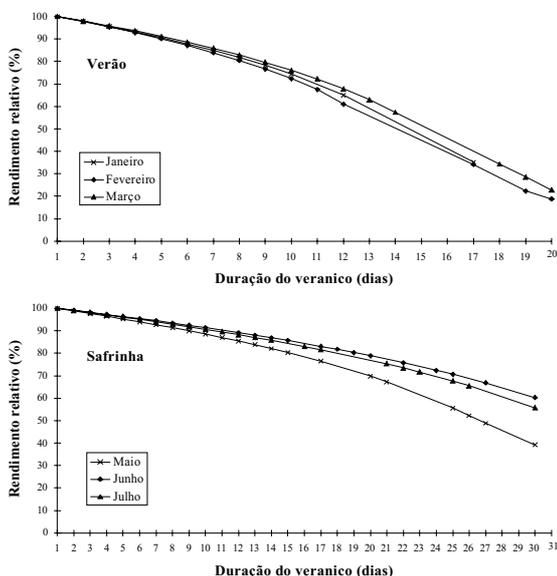


FIG. 3. Rendimento relativo da cultura de milho, em cada veranico simulado, no estádio de floração, nos diferentes meses, no período de verão e safrinha.

ram menores nos veranicos ocorridos em fevereiro, seguidos dos ocorridos nos meses de janeiro e março, embora as diferenças entre as quedas nos rendimentos correspondentes a uma mesma duração sejam pequenas. Na safrinha, a seqüência dos meses cujos veranicos proporcionaram menores rendimentos relativos foram maio, julho e junho. Nesse período, os veranicos ocorridos em maio, principalmente os de maior duração, causaram quedas bem mais acentuadas no rendimento, em comparação com os ocorridos nos outros dois meses.

Optou-se por apresentar o estágio de floração, por este ser o mais sensível aos veranicos; nos de-

mais estádios, as seqüências dos meses foi a mesma em ambos os períodos de cultivo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores simulados da freqüência relativa dos veranicos de diferentes durações, ocorridos na região de Piracicaba, SP, em cada mês, nos dois períodos estudados. Verifica-se que a probabilidade de ocorrência de veranicos de grande duração é pequena no verão, pois as maiores freqüências simuladas foram obtidas com relação a veranicos de duração de até quatro dias.

No período da safrinha, são maiores as probabilidades de ocorrência de veranicos mais intensos. Neste período, o mês de junho é o que apresenta

TABELA 1. Freqüência relativa (%) dos veranicos simulados na região de Piracicaba, SP.

Duração do veranico (dias)	Meses					
	Janeiro	Fevereiro	Março	Maio	Junho	Julho
1	35,68	26,84	19,20	26,78	12,58	9,66
2	17,00	24,90	28,94	11,04	19,20	5,52
3	14,32	12,93	10,52	15,98	2,24	3,78
4	10,96	13,98	14,46	11,88	6,66	8,58
5	4,72	5,75	4,10	1,26	7,14	5,26
6	3,72	3,97	0,58	1,88	5,94	2,10
7	5,52	1,31	7,95	6,02	3,26	1,02
8	3,74	5,71	3,87	2,30	2,70	2,54
9	1,66	0,27	2,03	2,30	2,14	18,56
10	1,64	2,11	1,60	2,66	4,68	1,98
11	0,00	1,32	0,47	4,40	0,00	1,98
12	0,44	0,01	4,36	0,88	4,04	0,48
13	0,00	0,00	1,96	1,76	4,54	7,36
14	0,00	0,00	0,22	2,18	2,50	0,50
15	0,00	0,00	0,00	0,84	2,50	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36
17	0,60	0,01	0,00	1,26	0,48	2,36
18	0,00	0,00	1,20	0,00	1,92	0,00
19	0,00	1,00	0,02	0,00	1,40	0,00
20	0,00	1,16	0,02	1,98	1,42	0,00
21	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	8,18
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	2,68
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,96
24	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	0,00
25	0,00	0,00	0,00	1,14	1,36	2,20
26	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00	1,80
27	0,00	0,00	0,00	0,38	1,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,36	8,20	7,14

maior probabilidade de ocorrência de veranicos de maior duração.

Comparando-se os valores do Tabela 1 e Figs. 1 e 2, pode-se determinar qual a probabilidade de ocorrência de veranicos de diferentes durações e os respectivos rendimentos relativos da cultura do milho em cada um dos meses estudados na região de Piracicaba. Assim, por exemplo, espera-se que a probabilidade de ocorrência de um veranico com duração de sete dias no mês de janeiro seja de 5,52%. Espera-se para este período, um rendimento relativo de 97,0; 85,0; 95,0 e 99,0% do rendimento máximo, caso o veranico acima referido ocorra nos estádios vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação, respectivamente.

Nos demais meses e durações de veranicos, a análise pode ser feita de forma semelhante. Procedendo desta maneira, pode-se determinar qual a probabilidade de ocorrência dos veranicos e quais as quedas de rendimentos decorrentes deles; este é um importante método, tanto no planejamento da agricultura, nas escolhas das épocas de semeadura que proporcionarão menores riscos de quedas de rendimento, quanto no estudo da viabilidade de instalação de projetos de irrigação e seu manejo.

CONCLUSÕES

1. O modelo desenvolvido permite simular a ocorrência de veranicos de diferentes intensidades de duração, bem como o respectivo rendimento relativo, considerando-se a região e o mês de desenvolvimento da cultura.

2. Na região de Piracicaba, a probabilidade de ocorrência de veranicos de grande duração no verão é pequena; na safrinha, são maiores as probabilidades de ocorrência de veranicos mais intensos.

3. Nos dois períodos de cultivo, os estádios de floração e enchimento de grãos são os mais sensíveis à ocorrência de veranicos.

4. As maiores quedas de rendimento simuladas no verão decorrem de veranicos com duração de 20 dias em fevereiro. Na safrinha, são decorrentes de veranicos de 30 dias ocorridos em maio.

5. Considerando-se uma mesma duração e estágio de ocorrência, no verão, veranicos em fevereiro

são os que proporcionam as maiores quedas no rendimento. Na safrinha, as maiores quedas decorrem de veranicos em maio.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J.V.A. Efeito do veranico sobre a produção de cultivares de milho. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo: 1980-1984**. Sete Lagoas, Embrapa-CNPMS, 1986. p.80-82.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5.ed. Viçosa, MG: UFV, 1989. 596p.
- COUTO, L.; COSTA, E.F.; VIANA, R.T. Avaliação e comportamento de cultivares de milho em diferentes condições de disponibilidade de água no solo. **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo: 1980-1984**. Sete Lagoas, Embrapa-CNPMS, 1986. p.77-78.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DUARTE, S.N. **Efeitos do horário e da lâmina de irrigação na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1989. 148p. Tese de Mestrado.
- ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J.; ROCHA, L.A. Densidade de plantio e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p.85-95, Jan. 1980.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: EDUSP, 1988. 805p.
- JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1968. 215p.
- PERES, F.C.; MATTOS, Z.P.B. Simulação como auxílio à decisão de confinar bovinos de corte. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ-USP, 1990. p.97-108.