

Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões do Estado de Minas Gerais

Alexandre Gedanken¹, Everardo Chartuni Mantovani^{2*}, Bárbara Heliodora Machado Mantovani³, Luiz Cláudio Costa², Luiz Marcelo Aguiar Sans³ e Paulo Sérgio Lourenço de Freitas⁴

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Embrapa-Cnpms, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. ⁴Autor para correspondência. e-mail: pslfreitas@uem.br

RESUMO. Com o objetivo de estabelecer e de avaliar a base de dados necessária para a utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação do consumo de água e a rentabilidade da cultura do milho, em três épocas de plantio, para duas regiões do estado de Minas Gerais, elaborou-se o presente trabalho. O modelo Ceres-Maize foi utilizado para avaliação de distintas estratégias de condução da cultura do milho cultivar BR 201 para as localidades de Sete Lagoas e Janaúba. Os tratamentos consistiam na condução da cultura irrigada e não-irrigada para três épocas de plantio (15/05, 15/10 e 15/12) e dois níveis de frequência de aplicação de água alta e média. Os resultados da simulação mostraram que apesar da irrigação permitir maiores produtividades, ela influencia consideravelmente os custos de produção, não tendo apresentado retorno econômico satisfatório para ambas as localidades estudadas. O sistema de irrigação por aspersão convencional, com irrigações de média frequência, apresentou maior relação custo/benefício quando comparada às irrigações frequentes, utilizando o pivô central. A produção de milho verde, apesar do maior custo de produção, apresentou maior rentabilidade quando comparado à produção para grãos.

Palavras-chave: Ceres-Maize, épocas de plantio, frequência de aplicação.

ABSTRACT. Use of Ceres-Maize simulation in irrigation strategies evaluation for maize growth in two regions of Minas Gerais state. The Ceres-Maize model was used with the objective of studying water consumption and profitability of maize crop at three growing seasons, for two regions of Minas Gerais state, establishing and evaluating the necessary database for the use of this model. Cultivar BR201 was used to evaluate conduction distinct strategies of the crop, at the location of Sete Lagoas and Janaúba. Treatments consisted of conduction of irrigated and non irrigated crops during the growing seasons (05/15/ 10/15 and 12/15) and of two frequency levels of water application: high (central pivot) and medium (conventional sprinkle irrigation). The simulation results have shown that the use of these models as complementary tools to conventional trials and the information presented helped on building the necessary files for simulations. It was observed that although irrigation allows higher yield, its influence on the costs of maize production resulted in a negative economic feedback for both location studied, except for the 10/15 and 12/15 negative season in Sete Lagoas under medium frequency irrigation conditions. Yields irrigated green maize despite the high production costs, showed more profitability when compared to grain production, being economically viable in the majority of treatments.

Key words: Ceres-Maize, growing seasons, frequency irrigation.

Introdução

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Dessa forma, é possível

avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição específica, podendo modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e de outras variáveis, como a evapotranspiração e as necessidades de água da cultura. Além disso, é possível combinar os

resultados do modelo com os fatores econômicos, para a análise de riscos.

A aplicabilidade desses modelos pode ser estendida para a escala espacial, visando ao planejamento e à análise de políticas pela combinação de suas habilidades com sistema de informação geográfica (Lal et al., 1993). Os usuários de modelos podem gerar cenários em computador para diversas combinações de fatores que influenciam os componentes de produção das culturas, permitindo, desse modo, avaliar quais estratégias seriam mais adequadas em cada condição específica. Além de poder modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e outras variáveis, como a evapotranspiração e as necessidades de água da cultura, é também possível combinar os resultados do modelo com fatores econômicos, para análise de riscos associados a cada estratégia (Jones e Ritchie, 1990).

Uma série de modelos de simulação dos processos fisiológicos de culturas chamada Ceres (*Crop Environment Resource Synthesis*) foi desenvolvida pelo Grassland Soil and Water Research Laboratory (Jones e Kiniry, 1986), sendo que, para a cultura do milho foi denominado Ceres-Maize. O modelo simula os principais processos fisiológicos do milho, incluindo fotossíntese, respiração, acumulação e partição de biomassa, fenologia, extensão do crescimento de folhas, caules e raízes, extração de água do solo e evapotranspiração. Os modelos da família Ceres estão agrupados em um sistema de suporte à decisão para transferência de agrotecnologia (DSSAT), coordenado pelo IBSNAT - *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer* (Ritchie, 1986).

Whisler et al. (1986) citam vários modelos para diversas culturas e os respectivos grupos de pesquisadores responsáveis pela elaboração. Dos vários modelos citados, têm-se destacado os da família Ceres, desenvolvidos para diversas culturas, como, por exemplo, milho (Ceres-Maize), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice) e cevada (Ceres-Barley).

Uma das características do Ceres é a ênfase na duração do ciclo de crescimento da cultura, que é influenciada pelas diferenças genéticas, pelo tipo de maturidade da cultura, pelo fotoperíodo e pela temperatura. Os modelos Ceres não dependem de informações de produtividades potenciais da região, pois simulam o crescimento da planta e seu desenvolvimento em função da disponibilidade de temperatura e de energia e seu grau de estresse, considerando a partição de assimilados dentro dos

diferentes órgãos das plantas, em seus distintos estádios de crescimento (Ritchie, 1986).

Vários autores (Duchon, 1986, Hoges et al., 1987, Jagtap et al., 1993, Plantureux et al., 1991, Vos e Mallet, 1987, Wu et al., 1989), citados por Lima (1995), exemplificaram a utilização do modelo Ceres-Maize em diferentes regiões, com distintos objetivos, como desenvolvimento de um esquema operacional de previsão de safra do milho e estimativas das flutuações anuais da produção de milho, nos estados que compõem o "cinturão de milho"- EUA; simulações do rendimento da cultura para várias localidades do Norte da China, após calibração do modelo durante o período de 5 anos, e ajuste de cinco conjuntos de parâmetros genéticos; teste, calibração e ajuste do modelo para a região Nordeste da França (Alsace) para dois cultivares de milho durante dois anos, seguido de uma análise de sensibilidade; estimativas realísticas de matéria seca total (parte aérea) da planta de milho em quatro localidades da África do Sul, em que o ciclo da cultura e a data do ponto de maturidade fisiológica foram obtidos de forma satisfatória; no sudoeste da Nigéria, o modelo foi utilizado sem nenhuma modificação durante dois anos, e apresentou erro menor que 10% na simulação do rendimento, peso de grãos, número de grãos por área, índice de área foliar e fitomassa acima do solo.

No Brasil, entre outros, o modelo foi utilizado por Costa (1992) com finalidade de obter produtividade do milho na região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Verificou-se que o modelo simulou bem a produtividade em anos normais, mas tendeu a superestimar a safra nos anos em que foram observados períodos persistentemente chuvosos.

Utilizando-se os dados de experimentos conduzidos na Embrapa-Cerrado, Bowen et al. (1993) testaram a versão que inclui o submodelo de nitrogênio para simular a disponibilidade desse elemento após a incorporação de adubos verdes. Os resultados foram adequados na simulação da liberação de N, porém ficou evidenciada a necessidade de realizar outros trabalhos visando determinar a importância da retenção de nitrato no subsolo e como a retenção pode ser descrita no modelo.

O modelo Ceres-Maize pode ser usado como instrumento para analisar a resposta das culturas às mudanças nos elementos climáticos, como a temperatura do ar, a precipitação e a radiação solar e poderá também incluir os efeitos das características do solo sobre a disponibilidade de água para o crescimento das culturas (Curry et al., 1990).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o consumo de água e a rentabilidade da cultura do milho, em três épocas de plantio, para duas regiões do estado de Minas Gerais utilizando o modelo Ceres-Maize.

Material e métodos

Neste trabalho utilizou-se o programa de simulação Ceres-Maize, que está inserido dentro do pacote DSSAT versão 3.0, de suporte à decisão para transferência agrotecnológica (Ibsnat, 1989).

Nas simulações utilizou-se a cultivar de milho BR-201, desenvolvida pelo Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo (CNPMS) da Embrapa, que ocupa entre 5% a 7% da área de plantio da cultura no Brasil.

As simulações abrangeram os municípios de Sete Lagoas (latitude de 19°7' S e longitude de 44°10'W, altitude de 719m) e Janaúba (latitude 15°03' S e longitude de 44°01'W, altitude de 452m), localizados em regiões edafoclimáticas diferentes. As regiões selecionadas apresentam potencialidades para a produção da cultura irrigada, com disponibilidade de dados necessários à utilização do modelo, que, uma vez avaliada poderá ser utilizada em outras regiões importantes de Minas Gerais ou de outros estados brasileiros.

As temperaturas médias anuais foram de 24,8°C e 22,0°C para as regiões de Janaúba e Sete Lagoas, respectivamente, tendo ambas uma pequena variabilidade média mensal e uma radiação solar média anual de 370 e 339 MJ m⁻² d⁻¹, demonstrando condições climáticas favoráveis às atividades agrícolas.

Quanto às características pluviométricas, a região de Janaúba apresenta precipitação média anual de 855mm, e a região de Sete Lagoas 1.369mm, ambas com maior concentração nos meses de outubro a março, e com forte período de estiagem nos meses subsequentes.

As simulações foram elaboradas de maneira a atender às necessidades de respostas para épocas de plantio, quantidade de água aplicada, quantidade de nitrogênio e condição de água inicial do solo, os mais próximos às realidades das regiões.

As simulações foram realizadas para três datas de plantio, para as duas localidades (15 de maio, 15 de outubro e 15 de dezembro), com um conjunto de dados climatológicos diários disponíveis em série de 30 (1965 a 1995) e 18 (1977 a 1995) anos, respectivamente para Sete Lagoas e Janaúba. Considerou-se, para simulação, a colheita de milho para comercialização em forma de grãos secos e verdes.

Simulou-se o crescimento e o desenvolvimento da cultura em condições de sequeiro e de irrigação. Considerou-se para a cultura irrigada duas lâminas de irrigação pré-fixadas de 8 e 20mm em cada aplicação, considerando sistemas de aplicação de alta frequência (pivô central) e média frequência (aspersão convencional), comumente utilizados para a cultura nas regiões de estudo. Tais lâminas foram definidas em simulações preliminares que consideram o manejo comum dos sistemas de irrigação.

As seguintes condições foram utilizadas nas simulações: incorporação de resíduo de culturas com taxa de 3.000kg ha⁻¹ de matéria seca, cinco dias antes do plantio. Utilizou-se adubação nitrogenada na forma de uréia, com incorporação no início do plantio e trinta dias após, com doses de 10 e 100kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

O modelo Ceres-Maize (Jones e Kiniry, 1986) simula o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho, assim como o balanço de água no solo e o balanço de nitrogênio associado ao longo do ciclo do milho. Os processos inseridos no Ceres-Maize são balanço de CO₂; desenvolvimento fenológico, especialmente aquele afetado por genótipo e clima; crescimento de folhas, caule e raízes; acumulação e partição de biomassa, especialmente à medida que o desenvolvimento fenológico afeta o desenvolvimento de órgãos vegetativos e reprodutivos; balanço de água no solo e água extraída pela cultura, e transformação e movimento do nitrogênio no solo, sua assimilação pela planta, e partição entre as partes da planta (Ibsnat, 1989).

O Ceres-Maize requer cinco parâmetros fisiológicos para a inicialização, sendo eles: graus-dia acumulado para o crescimento desde a emergência das plântulas até o final do estágio juvenil (P1), coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (P2), graus-dia acumulado para o crescimento desde o florescimento até o ponto de maturidade fisiológica (P5), número potencial de sementes por planta (G2) e taxa potencial de crescimento da semente (G3).

Os parâmetros fisiológicos são fundamentais porque têm forte influência na simulação do crescimento e do desenvolvimento da planta. Valores para tais parâmetros são obtidos em experimentos em nível de campo através da medição do número de folhas, data de emergência, florescimento e número de grãos e peso dos grãos.

O modelo Ceres-Maize utilizado foi calibrado para Sete Lagoas e Região do Norte do Estado de Minas Gerais pela Embrapa Milho e Sorgo, utilizando a cultivar BR 201 dentro do projeto "Uso

de Modelos de Simulação na Avaliação de Estratégias de Manejo para Produção do Milho em uma Região do Brasil Central” (Embrapa, 1994). Os coeficientes genéticos do cultivar foram $P_1=275,2$; $P_2=0,75$; $P_3=780$; $G_2=902$ e $G_3=5,00$.

As características físico-hídricas dos solos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-hídricas dos de Sete lagoas e Janaúba

Local	Solo de Janaúba			Solo de Sete Lagoas		
	Limite inferior (cm ³ cm ⁻³)	Limite Superior (cm ³ cm ⁻³)	Saturação (cm ³ cm ⁻³)	Limite inferior (cm ³ cm ⁻³)	Limite Superior (cm ³ cm ⁻³)	Saturação (cm ³ cm ⁻³)
0-30	0,114	0,253	0,416	0,23	0,40	0,563
30-60	0,124	0,261	0,408	0,22	0,36	0,587

Os parâmetros físico-hídricos dos solos avaliados, considerando a camada de 40cm, indicam uma capacidade de armazenamento de água no solo de 62,0 e 55,2mm, para Sete Lagoas e Janaúba, respectivamente.

Os custos bases de produção da cultura do milho foram levantados no 1998, e este foi de R\$181,25, para o milho em grão e R\$303,15, para milho verde.

O custo do fertilizante nitrogênio, por quilo, é de R\$0,745, tendo sido determinado considerando a proporção de 0,44kg de nitrogênio por kg de uréia; o custo do quilo de nitrogênio é da ordem de R\$0,328. O custo do quilo de semente foi de R\$1,40, considerando o custo de R\$28,00 por saco de 28 quilos da cultivar BR 201.

Para definição do custo de irrigação, considerou-se que o mesmo dividia-se em custos fixo e variável. Como custo fixo, considerou-se o preço do equipamento (aspersores, tubulações, acessórios, e conjunto motobomba) e das obras necessárias. Como custo variável, foram consideradas energia utilizada para o funcionamento do conjunto de irrigação, a mão-de-obra utilizada e a manutenção. Foram tomados como referência, para a composição de custos, os resultados apresentados por Mello (1993) para o Estado de Minas Gerais.

Os custos fixos dos sistemas de irrigação foram: aspersão convencional, com área média de 51,6ha, lâminas de 20mm por irrigação e custo por hectare de R\$1.400,00; e pivô-central, com área média de 88,10ha, lâminas de 8mm por aplicação e custo por hectare de R\$1.800,00. Esses valores médios foram obtidos com informação dos diversos fabricantes.

O custo variável da irrigação, para aspersão convencional, foi de R\$0,063 por milímetro de água aplicada, e os custos fixos atingiram valores da ordem de R\$69,00 por hectare irrigado. Para o sistema de irrigação do tipo pivô central, os custos variáveis foram superiores aos anteriores, atingindo

valores de R\$0,0735 por milímetro de água aplicada. O custo fixo do pivô central foi superior ao sistema de irrigação convencional, atingindo valores de R\$88,09 para o hectare irrigado (Mello, 1993).

Resultados e discussão

Para a cultura do milho, a produtividade está apresentada nas Tabelas 2 e 3. Levando em consideração que a umidade padrão de comercialização do milho em grãos é de 13%, foi realizada uma correção.

Tabela 2. Produtividade média, número de irrigações, lâmina de irrigação e evapotranspiração total da cultura de milho irrigado e não-irrigado para Sete Lagoas, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação

Data Plantio	Trat. 8mm	Produtividade (kg.ha-1)		Nº Irrigações	Lam mm	ET Total mm
		Grãos	Verde			
15/05	I	6828	10695	43,7	349,9	462,6
15/05	N	584	914	-	-	122,3
15/10	I	6989	10948	6,9	55,5	472,5
15/10	N	6329	9913	-	-	437,3
15/12	I	7739	12122	9,1	72,5	487,7
15/12	N	7002	10968	-	-	467,8

Data Plantio	Trat. 20mm	Produtividade (kg.ha-1)		Nº Irrigações	Lam mm	ET Total mm
		Grãos	Verde			
15/05	I	6890	10791	17,8	356,7	457,3
15/05	N	584	914	-	-	122,3
15/10	I	7010	10980	3,4	67,3	472,0
15/10	N	6328	9913	-	-	437,3
15/12	I	7751	12141	4,5	90,0	487,7
15/12	N	7002	10968	-	-	467,8

Tabela 3. Produtividade média, número de irrigações, lâmina de irrigação e evapotranspiração total da cultura de milho irrigado e não-irrigado para Janaúba, e respectivos desvios-padrão, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação

Data Plantio	Trat. 8mm	Produtividade (kg ha ⁻¹)		Nº Irrigações	Lam mm	ET Total mm
		Grãos	Verde			
15/05	I	6457	9938	46,9	375,1	414,9
15/05	N	3	4	-	-	68,9
15/10	I	5593	8761	16,9	135,1	408,3
15/10	N	3202	4929	-	-	306,2
15/12	I	5266	8104	27,4	219,6	452,0
15/12	N	820	1263	-	-	223,0

Data Plantio	Trat. 20mm	Produtividade (kg ha ⁻¹)		Nº Irrigações	Lam mm	ET Total mm
		Grãos	Verde			
15/05	I	6439	9980	19,0	380,0	411,2
15/05	N	3	4	-	-	68,9
15/10	I	5714	8795	7,2	144,4	405,6
15/10	N	3202	4928	-	-	306,2
15/12	I	5336	8212	11,3	225,6	449,6
15/12	N	820	1263	-	-	223,0

No caso do milho verde, como a colheita se processa de 30 a 45 dias antes, a matéria seca não foi totalmente translocada para os grãos, sendo considerado, para efeito de cálculo, que na época da colheita da espiga 80% da matéria seca já havia sido

translocada, estando os grãos com 40% de umidade para comercialização. Considerando ainda que na espiga 75% do peso são grãos e o restante é o sabugo e a palha, a saída de produtividade do modelo deve ser acrescida em 77%.

As correções realizadas ajustam a produtividade do milho para cada uma das situações, possibilitando análises diferenciadas para os casos de comercialização em forma de grãos ou de espiga.

Na Tabela 2 estão apresentadas a produtividade média, a irrigação (lâmina e número) e a evapotranspiração da cultura (ET) para os diversos tratamentos de época de plantio e lâmina obtidos nas simulações para as localidades de Sete Lagoas.

Comparando os tratamentos irrigados, observa-se diferença de 10% a 13% nos rendimentos para Sete Lagoas e 3% a 5% na ET da cultura em todas as épocas de plantio, independentemente do número de irrigações. Como citado anteriormente, o solo de Sete Lagoas apresenta capacidade de retenção da ordem de 62mm (profundidade de 40cm), indicando que irrigações com lâminas de 20mm ocorrem em uma faixa inferior à utilização de 50% da água disponível, que é o limite médio recomendado para a cultura do milho (Keller e Bliesner, 1990). Observa-se, na Tabela 2, que os tratamentos irrigados apresentam maiores rendimentos e ET que os não-irrigados, com grande discrepância para o plantio de 15 de maio, resultado este esperado, considerando as menores precipitações pluviárias observadas para esse período, indicando a inadequação da época para plantios de sequeiro.

Como já mencionado neste artigo, a frequência de irrigação não afeta significativamente o rendimento, a lâmina de irrigação e a ET da cultura. Pequenas diferenças na ET podem ser atribuídas a diferenças na evaporação direta do solo. O número de irrigações apresenta influência no custo do manejo, principalmente para as irrigações cuja movimentação é manual (por exemplo aspersão convencional). Assim, a pequena diferença de rendimento entre os tratamentos de 8 e 20mm permite recomendar irrigações menos frequentes, com economia na utilização de mão-de-obra.

Para Janaúba, os tratamentos irrigados apresentam diferenças superiores a observada para Sete Lagoas, com valores de rendimento variando de 13% a 22% e de ET da cultura da ordem de 8% a 10% em todas as épocas de plantio, independentemente do número de irrigações. Observa-se, na Tabela 3, que os tratamentos irrigados apresentam maiores rendimentos e ET que os não-irrigados, com grande discrepância para o plantio de 15 de maio, resultado este esperado,

considerando as menores precipitações pluviárias observadas para esse período, indicando a inadequação da época para plantios de sequeiro.

Uma observação importante relativa à comparação dos resultados para as duas localidades estudadas refere-se ao rendimento, à lâmina de irrigação e à ET. Comparando os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que, apesar da maior lâmina de irrigação ter sido aplicada na cultura instalada em Janaúba, os rendimentos da cultura foram maiores em Sete Lagoas. Uma possível explicação para tais ocorrências é que as temperaturas mínimas (noturnas) em Sete Lagoas são inferiores às de Janaúba. A média das temperaturas mínimas foi de 18,8°C para Janaúba e 15,7°C para Sete Lagoas indicando diferenças de respiração da cultura entre as duas localidades.

Os resultados mostram ainda que em Sete Lagoas todas as épocas de plantio apresentam maiores valores de ET do que em Janaúba, a despeito de que nesta localidade os valores de temperatura máxima e mínima ao longo do ano serem superiores aos de Sete Lagoas e que não existem diferenças significativas entre a disponibilidade de radiação solar na duas localidades. Pode-se inferir que a maior evapotranspiração de Sete lagoas deveu-se ao prolongamento do ciclo vegetativo e a maiores valores de área foliar.

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, observa-se que, enquanto em Sete Lagoas a produtividade dos tratamentos irrigados apresentam uma tendência de aumento para plantios tardios, Janaúba apresenta tendência inversa. Devido à complexidade dos fatores ambientais envolvidos no processo, é impossível se definir de maneira clara o motivo de tal ocorrência; no entanto, torna-se claro que estudos que analisem os efeitos da interação entre fatores como radiação, temperatura e precipitação são necessários.

Nas Tabelas 4 e 5, estão apresentados os resultados das simulações referentes aos retornos econômicos para a cultura do milho em grãos e verde para a cidade de Sete Lagoas.

Tabela 4. Retorno econômico médio (R\$ ha⁻¹) e respectivo desvios-padrão para cultura do milho em grãos, irrigado e não-irrigado, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação para Sete Lagoas

Lâminas d'água		8mm		20mm	
Data plantio	Trat	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
15/05	Irrigado	-3342,1	970,3	-709,5	364,3
15/05	N irrigado	-203,6	183,3	-203,6	183,3
15/10	Irrigado	-59,7	620,0	321,3	227,1
15/10	N irrigado	479,1	220,5	479,1	220,5
15/12	Irrigado	-159,0	620,8	330,2	233,2
15/12	N irrigado	559,0	148,9	559,0	148,9

Tabela 5. Retorno econômico médio (R\$ ha⁻¹) e respectivo desvio padrão para cultura do milho verde, irrigado e não-irrigado, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação para Sete Lagoas

Lâminas d'água		8mm		20mm	
Data plantio	Trat	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
15/05	Irrigado	-938,4	1941,9	1715,4	1590,4
15/05	N irrigado	-44,4	974,2	-44,4	974,2
15/10	Irrigado	2404,4	1524,0	2793,4	1484,0
15/10	N irrigado	2699,4	1535,7	2699,4	1535,7
15/12	Irrigado	2582,2	1714,4	3076,1	1564,1
15/12	Nirrigado	3005,5	1467,9	3005,5	1467,9

Observa-se, na Tabela 4, que a produção do milho em grãos na região de Sete Lagoas indica apenas que retornos econômicos por hectare positivo foram obtidos nos tratamentos para a data de plantio em 15 de outubro e 15 de dezembro, sem a utilização da irrigação. Os tratamentos irrigados apresentaram retornos econômicos negativos para as condições de simulação, e alterações na composição de custos podem implicar a inversão da situação observada.

Todos os tratamentos irrigados com lâmina de 8mm para o milho em grãos apresentaram valores negativos. O tratamento sem irrigação, com plantio em 15 de maio, também apresentou retorno negativo, possivelmente devido aos baixos rendimentos observados. Para os tratamentos irrigados com lâmina de 20mm, observa-se retorno econômico nos plantios em 15 de outubro e 15 de dezembro, continuando com retorno negativo para o plantio em 15 de maio, que é inviável com ou sem irrigação.

Na Tabela 5, para cultura do milho verde, o maior retorno econômico por hectare foi obtido no tratamento com data de plantio em 15 de dezembro, com a utilização de irrigação; é importante ressaltar que o plantio sem irrigação apresenta retorno econômico semelhante.

Para a cultura do milho verde, observa-se, na Tabela 5, que existe retorno econômico para os plantios em 15 de outubro e 15 de dezembro, para os tratamentos com lâminas de 8 e 20mm, com excelente desempenho. Para o plantio em 15 de maio, observa-se que o retorno econômico é negativo com lâmina de 8mm e positivo com lâmina de 20mm; esse desempenho foi inferior comparado com as outras datas de plantio.

A comparação entre as lâminas de 8 e 20mm indica que a maior lâmina apresenta maior retorno econômico em qualquer data de plantio. Esses resultados se devem aos maiores custos operacionais do sistema de alta frequência (pivô central).

Comparando as culturas (Tabela 4 e 5), observa-se que o milho verde apresentou maior retorno

econômico quando comparado à produção de grãos. Para a cultura irrigada, o maior retorno econômico foi observado para a cultura do milho verde, com plantio em 15 de dezembro e lâmina de 20mm por irrigação, com valores da ordem de R\$3.076 por hectare; este valor foi bem próximo ao da exploração sem irrigação na mesma data.

Considerando os valores econômicos adotados para todos os componentes do custo de produção, os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 indicam que a exploração da cultura do milho irrigado para a produção de grãos, utilizando o cultivar BR 201 nas condições edafoclimáticas de Sete Lagoas, apresenta um retorno econômico muito inferior quando comparado com do milho verde.

Os resultados referentes ao retorno econômico da cultura para a região de Janaúba são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Retorno econômico (R\$ ha⁻¹) e respectivo desvio padrão para cultura do milho em grãos, irrigado e não-irrigado, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação para Janaúba

Lâminas de água		8mm		20mm	
Data plantio	Trat	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
15/05	Irrigado	-3678,0	297,7	-851,8	108,8
15/05	N irrigado	-263,7	1,5	-263,7	1,5
15/10	Irrigado	-1106,3	523,8	-113,6	207,6
15/10	N irrigado	103,9	182,5	103,9	182,5
15/12	Irrigado	-2092,8	779,5	-442,4	245,7
15/12	Nirrigado	-169,8	135,4	-169,8	135,4

Tabela 7. Retorno econômico (R\$ ha⁻¹) e respectivo desvio padrão para cultura do milho verde, irrigado e não-irrigado, em três épocas de plantio e duas lâminas de irrigação para Janaúba

Lâminas d'água		8mm		20mm	
Data plantio	Trat	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
15/05	Irrigado	-1448,8	1303,2	1386,6	1280,9
15/05	N irrigado	-384,0	6,9	-384,0	6,9
15/10	Irrigado	869,4	1295,8	1871,1	1303,0
15/10	N irrigado	1175,2	1078,0	1175,2	1078,0
15/12	Irrigado	-300,1	1204,3	1389,4	1130,6
15/12	Nirrigado	46,1	663,7	46,1	663,7

Observa-se, na Tabela 6, que a produção de milho em grãos na região de Janaúba indica apenas retorno econômico para o plantio em 15 de outubro, sem a utilização de irrigação. Os demais tratamentos apresentam retorno econômico negativo para as condições de simulação.

Na Tabela 7, para a cultura do milho verde, observa-se que a data de 15 de maio não é adequada para o plantio da cultura sem irrigação e que apenas o plantio em 15 de dezembro apresenta retorno econômico satisfatório, em razão da distribuição média das chuvas na região. Para o plantio irrigado, observa-se que os custos das irrigações frequentes com pivô central implicam em uma rentabilidade

positiva apenas para plantio em 15 de outubro, embora inferior às irrigações com média freqüência da aspersão convencional, independente da época de plantio. O maior retorno econômico foi obtido no tratamento com data de plantio em 15 de outubro, utilizando irrigação com lâminas de 20mm.

Nas Tabelas 6 e 7, observa-se que o milho verde apresenta maior retorno econômico quando comparado à produção de grãos; plantio em 15 de outubro, com lâmina de 20mm, apresenta maior rentabilidade, com retorno positivo de R\$1.871 por hectare.

Para as condições de Janaúba, encontrou-se situação semelhante à de Sete Lagoas, com maiores benefícios da produção de milho verde quando comparada à produção de grãos.

Observa-se novamente que foram utilizados preços médios para análise econômica da produção de milho verde, não levando em conta a variabilidade anual do mercado, o que poderia resultar em valores de retorno econômico distintos dos apresentados, dependendo da época do ano.

Uma consideração importante é a de que os resultados apresentados podem variar com alterações nos custos de produção, dependendo da estratégia de manejo a ser adotada para a cultura. Também observa-se que o cultivar utilizado apresenta limites potenciais de rendimento inferiores a de outros cultivares mais compatíveis com a exploração irrigada. Mesmo assim, os resultados são importantes para verificação do grande potencial da utilização de modelos para definição de época e estratégias de manejo da cultura.

Para ampliar as condições de análise e entendimento dos resultados obtidos, são apresentadas as Figuras 1 a 8, com rendimento e retorno econômico para os respectivos níveis de probabilidade acumulada. Tais resultados são importantes, pois permitem analisar os resultados com melhor visualização da variabilidade interanual.

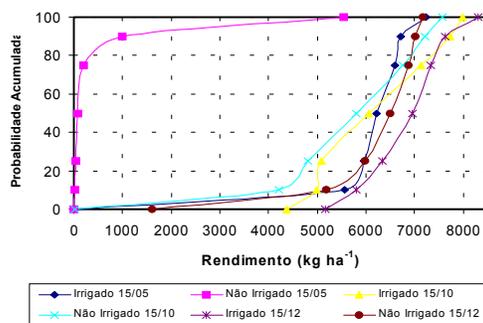


Figura 1. Rendimento da cultura do milho em grãos para Sete Lagoas, com tratamentos irrigados com pivô central

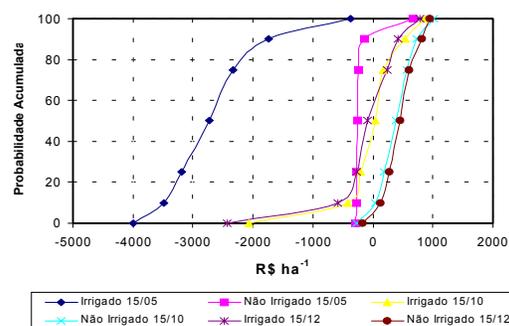


Figura 2. Retorno econômico da cultura do milho em grãos para Sete Lagoas, com tratamentos irrigados com pivô central

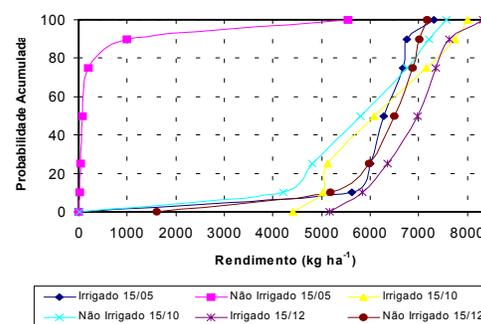


Figura 3. Rendimento da cultura do milho em grãos para Sete Lagoas, com tratamentos irrigados com aspersão convencional

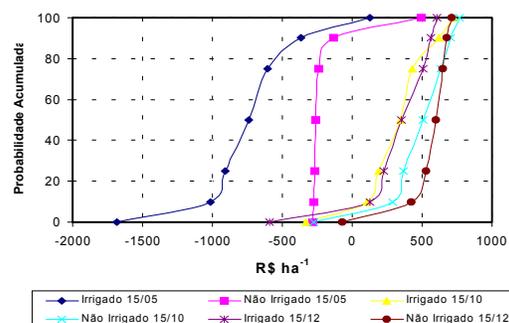


Figura 4. Retorno econômico da cultura do milho em grãos para Sete Lagoas, com tratamentos irrigados com aspersão convencional

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4, podem-se observar os resultados para alta (pivô central) e média (aspersão convencional) freqüências de irrigação para produção de grãos em Sete Lagoas. Observa-se maior retorno econômico para aspersão convencional (Figura 4), com a maioria dos valores positivos, à exceção dos plantios irrigados e não-irrigados no dia 15 de maio. Nos dois casos, a produtividade supera 5.000kg ha⁻¹, à exceção do tratamento não-irrigado em 15 de maio.

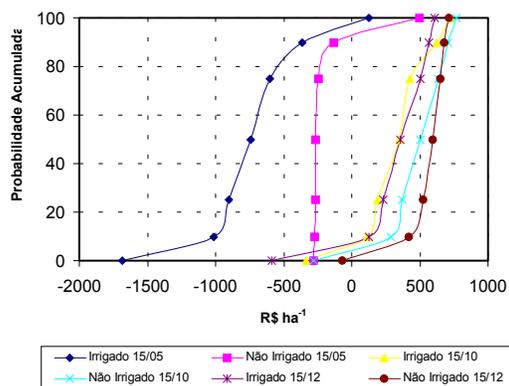


Figura 5. Rendimento da cultura do milho em grãos para Janaúba, com tratamentos irrigados com pivô central

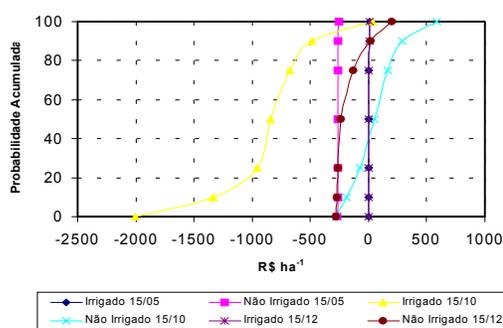


Figura 6. Retorno econômico da cultura do milho em grãos para Janaúba, com tratamentos irrigados com pivô central

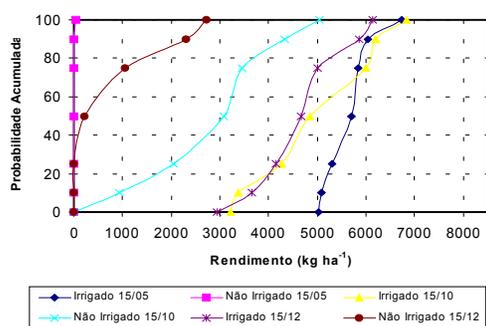


Figura 7. Rendimento da cultura do milho em grãos para Janaúba, com tratamentos irrigados com aspersão convencional

Adotando o nível de 25% de probabilidade acumulada (75% de probabilidade), comumente utilizado em análises para fins de irrigação, observa-se, na Figura 2, que apenas os tratamentos não-irrigados (15 de outubro e 15 de dezembro) apresentaram retorno econômico, ou seja, a utilização da irrigação por pivô central não apresentou viabilidade econômica nas condições

analisadas. Na Figura 4, observa-se, além dos tratamentos não-irrigados, que os plantios de 15 de outubro e 15 de dezembro irrigados por aspersão convencional apresentaram valores positivos de retorno econômico. Tais resultados podem ser explicados pelo menor custo da irrigação por esse método.

Os tratamentos irrigados, tanto por pivô central (Figura 1) quanto por aspersão convencional (Figura 3), cujo plantio ocorreu em 15 de maio (época de maior déficit hídrico), apresentaram produtividades elevadas, mas foram os tratamentos de menor retorno econômico, devido à alta influência da frequência de irrigação no custo total de produção. Tais resultados podem ser melhorados quando se considera uma possível elevação nos preços, devido ao período de entressafra que não foi considerado no trabalho.

Para Sete Lagoas, que apresenta distribuição adequada de chuva no período, observa-se que o tratamento com plantio em 15 de dezembro não-irrigado, mostrou-se melhor rendimento e o maior retorno econômico.

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 estão apresentados os resultados das simulações para produção de grãos na região de Janaúba. Observa-se, em nível de 25% de probabilidade acumulada (75% de probabilidade), que todos os tratamentos apresentaram retorno econômico negativo, o que, nas condições propostas de simulação, inviabiliza a exploração do milho irrigado e não-irrigado. Os rendimentos obtidos apresentaram maior dispersão devido a maiores níveis de déficit hídrico.

Deve-se ter cuidado na interpretação da saída da estratégia de análise, pois as suposições nem sempre são válidas. No entanto, tais ferramentas são extremamente úteis para auxiliar na análise preliminar, permitindo a análise do ponto de vista amplo e integrado, identificado opções ou tratamentos que merecem posteriores investigações.

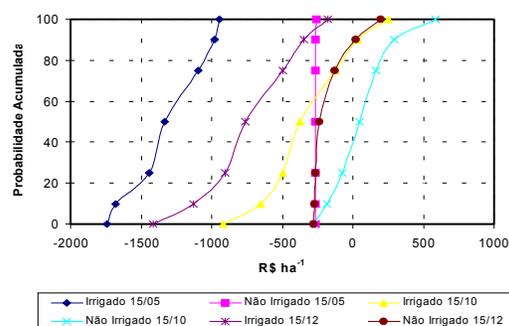


Figura 8. Retorno econômico da cultura do milho em grãos para Janaúba, com tratamentos irrigados com aspersão convencional

Conclusão

Com base nos dados obtidos, pode-se concluir que: a irrigação da cultura do milho para produção de grãos, nas condições estudadas, apesar de permitir maiores produtividades, não apresenta retorno econômico positivo para ambas as localidades estudadas, à exceção para o plantio de 15 de outubro e 15 de dezembro em Sete Lagoas em condições de média frequência de irrigação; o sistema de irrigação por aspersão convencional, com irrigações de média frequência, apresentou maior relação benefício/custo quando comparada às irrigações freqüentes utilizando o pivô central; a produção de milho verde, apesar do maior custo de produção, apresentou maior rentabilidade quando comparado à produção de grãos; os resultados de simulação do rendimento, lâmina e número de irrigações e evapotranspiração da cultura não apresentaram diferenças marcantes entre as cidades de Sete Lagoas e Janaúba.

Referência

- BOWEN, W. T. *et al.* Evaluation of the nitrogen submodel of Ceres-Maize following legume green manure incorporation. *Agron. J.*, Madison, v.85, n.1, p.153-159, 1993.
- COSTA, M.M.G. *Aplicação de dois modelos de previsão de safra agrícola para a cultura do milho na microrregião de Ribeirão Preto, SP.* 1992. Dissertação (Mestrado) - Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- CURRY, R.B. *et al.* Simulations as a tool for analyzing crop response to climate change. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.33, p. 981-990, 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Período 1992-1993.* Sete Lagoas, 1994.

IBSNAT. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer - Project. 1989a. Documentation for IBSNAT Crop Models Input & Output Files Version 1.1: for the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT V.2.1). IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 1989a. 61p.

JONES C.A.; KINIRY, J.R. *Ceres-Maize: A simulation model of maize growth and development.* College Station: Texas A & M University Press., 1986.

JONES, J.W.; RITCHIE, J.T. Crop growth models. In: HOFFMAN, G.L. *et al.* (Ed.). *Management of farm irrigation system.* S.L.: s.n., 1990. p. 63-89.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation.* New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

LAL, H. *et al.* Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.36, p.175-184, 1993.

LIMA, M.G. *Calibração e validação do modelo Ceres-Maize em condições tropicais do Brasil.* 1995. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MELO, J.F. de. *Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais.* 1993. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

RITCHIE, J.T. Using Computerized Crop Models for Management Decisions. In: INTERNATIONAL DLG - CONGRESS FOR COMPUTER TECHNOLOGY, 1986. Proceedings...Hannover: Fed. Rep. of Germany, 1986. p. 27-41.

WHISLER, F.D. *et al.* Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.*, San Diego, V.40, p. 141-208, 1986.

Received on November 25, 2002.

Accepted on September 18, 2003.