

SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE, EM UM MODELO APLICADO AO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DO CAFEIEIRO¹

Jorge Luiz Moretti de Souza², José Antônio Frizzone³

RESUMO: As funções de produção água-cultura são particularmente importantes às análises de produção agrícola, planejamento, operações de projetos de irrigação, nas decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo simular e analisar a tendência das estimativas de produtividade realizadas com uma função de produção denominada “Stewart et al.(1976) modificado”, para a cultura do cafeeiro irrigado. Um modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro, denominado *MORETTI*, foi utilizado para processar as análises. Os resultados obtidos permitiram concluir que a função de produção adaptada mostrou-se adequada as operações de ajuste dos coeficientes K_y e K_{y0} , e as imposições de eventualidades com a cultura foram considerados facilmente.

PALAVRAS CHAVES: Modelo de simulação, produtividade, café irrigado

INTRODUÇÃO

As culturas perenes são afetadas nos seus diversos estádios fenológicos pelas condições meteorológicas, em especial pela precipitação e temperatura, que limitam a disponibilidade hídrica do solo e constituem-se no principal condicionante da produtividade. Para o cafeeiro, além desse condicionamento, as condições climáticas interferem acentuadamente no ciclo produtivo e na qualidade do produto. A literatura apresenta um grande número de funções de produção destinadas à quantificação do efeito do estresse hídrico na planta sobre a queda de rendimento. PICINI (1998) e MATIOLI (1998) fazem referência a uma série delas: CAMARGO et al. (1984), DOORENBOS & KASSAM (1979), STEWART et al. (1976), JENSEN (1968) STEWART et al. (1976) modificado, RAO et al. (1988) modificado, JENSEN (1968) modificado, BLANCK (1975). No entanto, apesar da sua importância, o ciclo de produção do cafeeiro em função das variáveis climáticas tem sido pouco estudado. O número de trabalhos tratando do assunto é reduzido e os resultados alcançados são pouco satisfatórios quanto à definição da função mais adequada, e a eficiência de suas estimativas (SOUZA, 2001). As funções de produção água-cultura são particularmente importantes às análises de produção agrícola quando a água é escassa. No planejamento, essas funções são básicas na decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível.

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à USP/ESALQ/DER – Piracicaba, SP.

² Professor Adjunto, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Rua dos Funcionários, 1540 – CEP 80035.050. Curitiba - PR. Fone: (41) 350-5765. E-mail: moretti@agrarias.ufpr.br

³ Professor Associado DER/ESALQ/USP – Bolsista do CNPq – E-mail: frizzone@carpa.ciagri.usp.br

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando-se do módulo “Custo de produção com análise de risco”, do modelo *MORETTI*. As análises de simulação foram feitas para duas propriedades agrícolas, Faria e Macaubas, situadas nas cidades de Lavras-MG (Sul de Minas) e Araguari-MG (Triângulo Mineiro), respectivamente. A Fazenda Faria possui um sistema de irrigação por gotejamento e a Fazenda Macaubas um sistema pivô central. No modelo, a função que estima a produtividade do cafeeiro ao longo de sua vida útil (Equação 1), considera que a produtividade do cafeeiro depende principalmente da produtividade do ano anterior, da produtividade máxima estimada para a cultura irrigada, e da evapotranspiração relativa (ER/ET_c). A produtividade máxima esperada para a cultura é uma informação de entrada no modelo, de acordo com a experimentação e o pacote tecnológico que está sendo utilizado para os materiais e serviços. Os valores da produtividade do ano anterior e a evapotranspiração relativa vão sendo determinados continuamente, ao longo das simulações do balanço hídrico. A equação utilizada para estimar a produtividade do cafeeiro foi uma adaptação da função de “STEWART et al.(1976) modificado”, baseando-se nos parâmetros (K_y) e nas sugestões feitas por PICINI (1998). O parâmetro K_{y_0} foi ajustado conforme informações colhidas junto aos produtores rurais. A equação ficou da seguinte forma:

$$Y_{r_i} = \left[Y_m \cdot \left(K_{y_0} \cdot \frac{Y_{aa}}{Y_m} + K_y \cdot \frac{ER_i}{ET_{c_i}} \right) \right] \cdot Fpa_i \cdot Fev_i \quad (1)$$

onde, Y_{r_i} é o rendimento real obtido no i -ésimo ano (sc de 60kg beneficiada . ha⁻¹); Y_m o rendimento máximo obtido com a utilização da irrigação (sc de 60kg beneficiada . ha⁻¹); K_{y_0} o coeficiente de penalização relativo à produtividade do ano anterior (adimensional); Y_{aa} a produtividade do ano anterior (sc 60 kg beneficiada . ha⁻¹); K_y o coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água para os sucessivos estádios fenológicos da cultura (adimensional); ER_i a evapotranspiração real ocorrida no i -ésimo ano, obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm); ET_{c_i} a evapotranspiração da cultura ocorrida no i -ésimo ano, obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm); Fpa_i a fração de redução da produtividade no primeiro ano de produção (adimensional); Fev_i a fração de redução da produtividade no i -ésimo ano, devido à ocorrência de eventualidades (adimensional). As seguintes simplificações têm de ser consideradas para aplicação da Equação 1: o coeficiente K_y é relativo ao ciclo anual total do cafeeiro e não aos estádios I, II, III e IV de desenvolvimento; o ciclo bienal do cafeeiro deve-se ao déficit hídrico e nutricional da planta e da produtividade do ano anterior; a ocorrência do ciclo bienal é seqüencial; a irrigação sempre proporciona benefícios à cultura do cafeeiro incrementando a sua produtividade. Para realização das análises considerou-se 1.500 simulações, 18 anos de vida útil da cultura, produtividade máxima da cultura irrigada de 84sc/ha, coeficiente K_y igual a 1,27, coeficiente K_{y_0} igual a - 0,95, primeira produção no ano 2-3, produtividade inicial de 25%, e cultura sem eventualidades. Para realização do balanço hídrico, os dados meteorológicos necessários foram coletados em estações climatológicas situadas próximas as duas propriedades. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi simulada considerando a distribuição normal, e o armazenamento de água no solo foi estimado pela equação linear-exponencial. Por serem extremos, o manejo que não considera a realização das irrigações suplementares, denominado manejo 6, e o manejo de irrigação suplementar durante todo o ano, denominado manejo 1, foram os manejos escolhidos para processar as análises. Maiores

informações sobre o modelo, as propriedades, dados climáticos, sistema de irrigação e as opções utilizadas nas análises poderão ser melhor verificadas em SOUZA (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 e as Figuras 1 e 2 apresentam alguns parâmetros estatísticos que foram obtidos após uma análise com a função de produção adotada. Baseando-se na média da produção alcançada ao longo da vida útil da cultura para as duas propriedades, onde foi adotando o manejo 6 de irrigação, os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 1, permitem verificar que:

- a diminuição média da produtividade devido ao ciclo bienal do cafeeiro nas propriedades Faria e Macaubas foi 38,2% e 44,2%, respectivamente;
- a produtividade nos biênios menos produtivos foi menor, em média, 70,5% para a propriedade Faria e 69,4% para a propriedade Macaubas;
- em relação à produtividade máxima de 84sc/ha, a redução média de produtividade nos biênios mais produtivos foi de 52,6% para a propriedade Faria e 45,5% para a propriedade Macaubas.

As produtividades alcançadas na propriedade Macaubas sem a adoção da irrigação foram em média 10,3% maiores que as verificadas na propriedade Faria. Tais resultados eram esperados visto que a deficiência hídrica anual média ocorrida na Fazenda Faria é maior que a verificada na Fazenda Macaubas, e a função de produção leva em consideração a evapotranspiração relativa (ER/ET_c) nas simulações. Os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 2, onde foi adotado o manejo 1 de irrigação, permitem verificar que se encontram adequados os ajustes realizados para os coeficientes K_y e K_{y_0} da função de produção do cafeeiro irrigado (Equação 1). Neste ajuste foram adotados valores de $K_y = 1,27$ referentes ao ciclo total do cafeeiro, baseando-se nas informações de PICINI (1998) e nos incrementos de produtividade encontrados por ALVES (1999). O valor de $K_y = -0,95$ foi ajustado baseando-se nas informações práticas levantadas de cafeicultores que irrigam os seus cafezais por vários anos. De acordo com a média da produção alcançada ao longo da vida útil da cultura para as duas propriedades, verificou-se que:

- os resultados das propriedades Faria e Macaubas são muito parecidos. A proximidade dos valores deve-se ao manejo que realiza irrigações suplementares durante todo o ano (manejo 1);
- nas duas propriedades a diminuição média da produtividade devido ao ciclo bienal do cafeeiro foi de 58,7% nos biênios menos produtivos;
- para as propriedades Faria e Macaubas, em relação à produtividade máxima de 84sc/ha, a produtividade média nos biênios menos produtivos foram menores 62,2%. Considerando a mesma relação para os biênios mais produtivos, a produtividade média nos biênios mais produtivos foi 8,7% menor. A única exceção foi para o biênio 3-4, em que a produtividade foi maior 2,1% que a produtividade máxima de 84sc/ha;
- as produtividades médias alcançadas nas propriedades Faria e Macaubas com a utilização da irrigação suplementar durante todo o ano (manejo 1), foram maiores 66,9% e 51,5%, respectivamente, que as produtividades médias obtidas com o manejo que desconsidera a utilização da irrigação (manejo 6).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos da produtividade do cafeeiro, em 18 anos, obtidos com a função de produção (Equação 1) e manejos 1 e 6 de irrigação, para as propriedades Faria (F) e Macaubas (M), situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente.

Vida útil da cultura (anos)	Produtividade do cafeeiro no manejo 6 (sc/ha)								Produtividade do cafeeiro no manejo 1 (sc/ha)							
	Menor valor		Maior valor		Média*		Desvio padrão		Menor valor		Maior valor		Média*		Desvio padrão	
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
Implant	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-3	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	0,0	0,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	0,0	0,0
3-4	36,0	45,5	50,6	54,2	43,0	49,6	2,6	1,3	80,6	78,5	86,6	86,6	85,7	85,9	0,5	0,5
4-5	9,3	16,6	35,9	29,6	22,1	22,5	3,6	1,8	20,6	20,6	29,2	31,4	24,3	24,3	0,7	0,7
5-6	30,0	39,8	58,4	56,8	41,9	48,3	4,2	2,2	77,9	76,0	86,7	86,7	82,6	82,8	0,8	0,9
6-7	4,4	15,1	38,9	32,0	23,1	23,7	4,6	2,5	20,8	22,8	31,9	33,8	27,2	27,2	1,0	1,0
7-8	25,0	38,8	57,3	56,2	41,0	47,2	5,0	2,7	74,7	73,3	86,3	84,6	79,9	80,0	1,0	1,0
8-9	6,7	15,0	42,7	34,1	24,0	24,6	5,3	2,8	23,5	23,7	34,7	36,7	29,8	29,8	1,1	1,1
9-10	19,9	35,5	57,3	55,8	40,2	46,2	5,5	3,1	71,9	71,2	83,6	83,6	77,4	77,5	1,2	1,1
10-11	6,4	14,4	46,6	37,7	24,9	25,8	5,6	3,4	25,1	25,5	37,5	38,0	32,2	32,2	1,3	1,2
11-12	20,8	34,3	60,0	56,6	39,2	45,0	5,9	3,5	69,2	69,9	82,2	81,4	75,1	75,3	1,3	1,2
12-13	6,0	14,4	43,5	37,7	25,8	26,8	6,0	3,6	27,9	28,8	38,9	39,6	34,4	34,4	1,3	1,2
13-14	18,8	33,5	57,2	56,8	38,6	44,2	6,2	3,6	68,2	65,7	80,0	78,7	73,1	73,2	1,4	1,3
14-15	4,7	16,0	46,2	39,0	26,5	27,7	6,4	3,7	30,2	30,6	41,1	43,5	36,3	36,3	1,4	1,3
15-16	17,8	32,4	60,0	54,7	38,0	43,3	6,5	3,8	63,3	64,5	77,0	77,1	71,2	71,4	1,4	1,3
16-17	4,5	16,3	46,9	38,9	27,0	28,5	6,7	3,9	32,0	33,0	45,2	45,0	38,0	38,0	1,4	1,3
17-18	17,3	31,4	58,7	55,7	37,5	42,5	6,8	4,0	63,6	63,2	74,9	74,6	69,6	69,7	1,4	1,4
Total	248,5	420,0	781,4	716,7	513,9	567,0	—	—	770,4	768,2	936,9	942,5	857,7	858,9	—	—

* Valor médio obtido a partir de 1.500 simulações, para cada ano de vida da cultura.

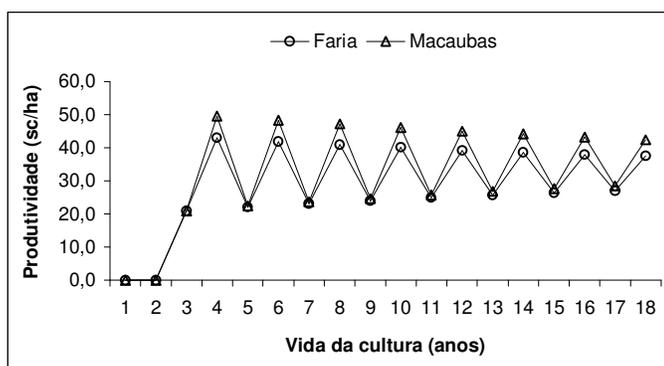


Figura 1 – Produtividades médias do cafeeiro, em 18 anos, obtidas com a função de produção (Equação 1) no manejo 6 de irrigação, para as propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente.

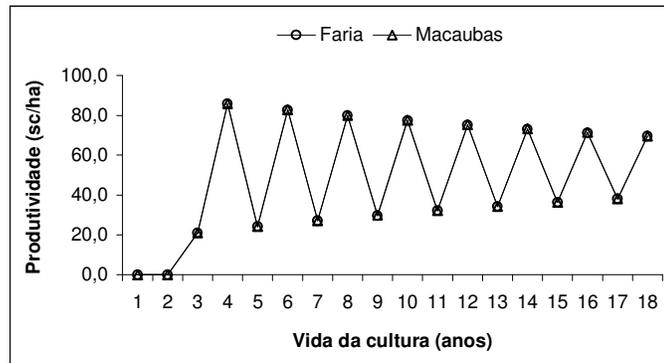


Figura 2 – Produtividades médias do cafeeiro, em 18 anos, obtidas com a função de produção (Equação 1) no manejo 1 de irrigação, para as propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente.

CONCLUSÕES

A função de produção adaptada mostrou-se adequada as operações de ajuste dos coeficientes K_y e K_{y_0} , e as imposições de eventualidades com a cultura foram considerados facilmente. A utilização de um valor de K_y relativo ao ciclo anual total do cafeeiro, e não aos estádios fenológicos de seu desenvolvimento, impediram a obtenção de resultados mais consistentes e que estimassem melhor a produtividade do cafeeiro em conformidade com o manejo de irrigação decendial, que o balanço hídrico do modelo *MORETTI* permite realizar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.E.B. Resposta do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. Lavras, 1999. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.

MATIOLI, C.S. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. Piracicaba, 1998. 122p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PICINI, A.G. Desenvolvimento e testes de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo. Piracicaba, 1998. 132p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SOUZA, J.L.M. de Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. Piracicaba, 2001. 253p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

STEWART, J.I.; HAGAN, R.M.; PRUITT, W.O. **Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency: final report.** Washington: U.S. Department of Interior, 1976. 80p.