

# SIMULAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DECENAL PARA A CULTURA DO CAFEIEIRO, NA REGIÃO DE ARAGUARI, MINAS GERAIS<sup>1</sup>

J. L. M. de SOUZA<sup>2</sup>, J. A. FRIZZONE<sup>3</sup>

Escrito para apresentação no XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001  
Mabu Hotel & Resort, Foz do Iguaçu – Paraná, 31 de julho a 03 de agosto de 2001

**RESUMO:** O presente trabalho consistiu na realização de uma análise de simulação do balanço hídrico climatológico para cultura do cafeeiro, irrigado sob diferentes condições de manejo, na região de Araguari-MG. As análises foram realizadas com um modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro, denominado *MORETTI*, e os objetivos consistiram em avaliar as melhores opções do modelo para simular a evapotranspiração, e estimar o armazenamento de água no solo. Os resultados obtidos permitiram verificar, que a *ET<sub>c</sub>* foi melhor simulada com a distribuição normal, e o armazenamento de água no solo foi melhor estimado com a função linear-exponencial.

**PALAVRAS-CHAVE:** simulação, balanço hídrico, café do cerrado

## SIMULATING CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE FOR COFFEE AREAS IN ARAGUARI

**SUMMARY:** This work presents a climatological water balance simulation for irrigated coffee areas in Araguari, Minas Gerais, Brazil. The simulation analyses were accomplished by an economic model called *MORETTI*, using regional climatological data. The best results were obtained with a normal distribution and a linear-exponential function for crop evapotranspiration (*ET<sub>c</sub>*) and soil water storage, respectively.

**KEYWORDS:** simulation, water balance, coffee

**INTRODUÇÃO:** Estudos envolvendo o balanço hídrico, irrigação e custo de produção do cafeeiro são poucos e ainda deixam muito a desejar quanto ao que pode ser feito. A maioria dos poucos trabalhos desenvolvidos até o momento, avaliam as necessidades de irrigação do cafeeiro por intermédio do balanço hídrico climatológico para um período mensal, baseando-se na metodologia tradicional desenvolvida por THORTHWAITE e MATHER (1955). Nesse sentido foi desenvolvido o “Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro”, denominado *MORETTI*, e o objetivo do presente trabalho consistiu em analisar e avaliar as melhores opções existentes no referido modelo para simular a evapotranspiração e estimar o armazenamento de água no solo para cultura do cafeeiro, na região de Araguari-MG. A importância dos modelos de balanço hídrico voltados à otimização e auxílio no planejamento dos projetos de irrigação está na aplicabilidade. A técnica permite representar alternativas propostas para solucionar um dado problema e, ou, simular condições reais com a vantagem de apresentar baixo custo, rapidez e necessitar de uma série menor de dados climáticos.

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

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando em Irrigação e Drenagem/ESALQ/USP – Bolsista da CAPES; Prof. Assistente/DS/SCA/UFPR – Curitiba-PR  
Cx. P. 2959 – CEP. 80035-050 – e-mail: moretti@agrarias.ufpr.br

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

**MATERIAL E MÉTODOS:** No presente trabalho, as análises de simulação foram realizadas com o módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do modelo *MORETTI*. Os dados meteorológicos necessários são de uma série coletada na estação meteorológica do Parque do Sabiá, situada em Uberlândia. Os valores decendiais da evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*) foram estimados pelo método de Thornthwaite. Para utilização do método seguiu-se as recomendações de PEREIRA et al. (1997). As simulações da *ET<sub>o</sub>* foram realizadas com as distribuições de probabilidade normal e triangular. Os valores decendiais de precipitação considerados nas análises são prováveis a 75% de probabilidade, e foram estimados baseando-se na função de distribuição de probabilidade gama. Para a estimativa da precipitação provável, seguiu-se os procedimentos recomendados por ASSIS et al. (1996). Na determinação da evapotranspiração da cultura (*ET<sub>c</sub>*), os valores decendiais da *ET<sub>o</sub>* simulados, foram multiplicados pelos coeficiente de cultivo (*K<sub>c</sub>*) da fase adulta da cultura. Os valores utilizados foram os recomendados por CAMARGO e PEREIRA (1990), conforme pode ser visto na TABELA 1. Os valores de *K<sub>c</sub>* para os anos de implantação, 1-2 e 2-3 da cultura, foram determinados baseando-se nos valores de *K<sub>c</sub>* da cultura adulta, seguindo a proporção observada nos dados apresentados por SANTINATO et al. (1996). As proporções adotadas em relação aos valores da cultura adulta foram de 65% para o ano de implantação, 80% para o ano 1-2, e 90% para o ano 2-3. No cálculo da capacidade de água disponível no solo (*CAD*), as propriedades físico-hídricas utilizadas são de um latossolo vermelho-amarelo, conforme apresentado por MACHADO (1994). A profundidade efetiva do sistema radicular do cafeeiro foram iguais a 20cm para a cultura no ano de implantação, 30cm no ano 1-2, 40cm no ano 2-3 e 50cm no ano *X<sub>n</sub>* (cultura adulta, anos 3-4 a  $X_{i-1} - X_i$ ). O modelo *MORETTI*, também possibilita a utilização de duas equações que estimam o armazenamento de água no solo: função exponencial de THORNTHWAITE e MATHER (1955); e função linear-exponencial, originada de uma adaptação da função exponencial à fração da capacidade de água disponível no solo (fração *p*). A TABELA 3 apresenta os valores da fração *p*, conforme algumas recomendações de FARIA e RESENDE (1997), que foram adotadas nas análises para determinar a água disponível no solo em cada decêndio. Na TABELA 4, estão apresentados seis manejos anuais de irrigação que foram considerados nas análises de simulação. As irrigações, nos respectivos manejos, são suplementares e somente foram realizadas quando o armazenamento, combinado com a fração *p*, acusou a necessidade. Todas as análises de simulação do balanço hídrico climatológico decendial foram processadas com 10.000 simulações.

TABELA 1. Valor mensal do coeficiente de cultivo na fase adulta.

Mês	Valor <i>K<sub>c</sub></i>	Mês	Valor <i>K<sub>c</sub></i>	Mês	Valor <i>K<sub>c</sub></i>	Mês	Valor <i>K<sub>c</sub></i>
Jan.	0,89	Abr.	0,79	Jul.	0,73	Out.	0,89
Fev.	0,87	Mai	0,73	Ago.	0,73	Nov.	0,90
Mar.	0,91	Jun.	0,73	Set.	0,74	Dez.	0,95

TABELA 2. Propriedade físico-hídrica do solo.

Propriedade físico-hídricas	Profundidade efetiva do sistema radicular	
	< 25 cm	25cm  – 50 cm
Capacidade de campo (%) *	34,76	33,33
Ponto de murcha (%) *	17,86	17,98
Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	1,18	1,10

\* A umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha são com base em peso

TABELA 3. Fração da capacidade total de água disponível do solo.

Mês	Fração <i>p</i>	Mês	Fração <i>p</i>	Mês	Fração <i>p</i>
Jan.	0,6	Mai	0,5	Set.	0,4
Fev.	0,6	Jun.	0,5	Out.	0,4
Mar.	0,6	Jul.	0,9	Nov.	0,5
Abr.	0,6	Ago.	0,6	Dez.	0,6

TABELA 4. Manejos de irrigação suplementar utilizado nas análises de simulação.

Manejo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Manejo 1												
Manejo 2												
Manejo 3												
Manejo 4												
Manejo 5												
Manejo 6												

Irriga    
 Não irriga

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As TABELAS 5 e 6 apresentam, respectivamente, os valores de  $ET_c$  observados e obtidos nas simulações. Os melhores resultados foram para a média da  $ET_c$ , onde a distribuição triangular e normal subestimaram, em média, 0,5% e 1,8%, respectivamente, os valores de  $ET_c$  observados. O valor modal da  $ET_c$  foi subestimado em 4,2% pela distribuição triangular e 4,8% pela distribuição normal. Os parâmetros estatísticos que se mostraram mais discrepantes foram o menor e o maior valor da  $ET_c$ . O menor valor da  $ET_c$  foi superestimado em 12,7% pela distribuição triangular e 7,0% pela distribuição normal. O maior valor da  $ET_c$  foi subestimado em 10,4% pela distribuição triangular, e 8,8% pela distribuição normal. Tanto a distribuição normal com triangular, mostram-se adequadas para realizar a simulação da  $ET_c$ , no entanto, devido aos resultados obtidos para o menor e maior valor, verifica-se que a distribuição normal mostra-se mais adequada. A TABELA 7 apresenta os valores médios de irrigação, evapotranspiração real ( $ER$ ) e deficiência ( $DEF$ ), nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, calculados a partir das funções exponencial e linear-exponencial, e manejos de irrigação 1 a 6. As diferenças encontradas nos resultados de irrigação quando se usa as duas função de armazenamento da água no solo eram esperadas, visto que pela estrutura das equações, a função exponencial considera que a cultura não consegue manter a  $ET_c$  a partir do momento em que ocorre alguma saída de água do solo, e a função linear-exponencial, considera que a cultura consegue manter a  $ET_c$  até se atingir o valor de água disponível no solo ( $CAD \cdot p$ ). Assim, baseando-se nas considerações e conceituações feitas por DOORENBOS e KASSAM (1979) é possível afirmar que a equação linear-exponencial estima e representa melhor as condições de armazenamento de água no solo que a equação exponencial. A avaliação da melhor função que estima o armazenamento da água no solo, com as diferentes formas de manejo da irrigação, é importante para a aplicação da função de produção no modelo MORETTI. A equação que estima a produção do cafeeiro no modelo leva em consideração a evapotranspiração relativa ( $ER/ET_c$ ), e os resultados alcançados serão mais precisos quanto melhores forem as estimativas da  $ER$  e  $ET_c$ .

**CONCLUSÃO:** De acordo com as análises de avaliação e aplicação no modelo MORETTI, verificou-se que as distribuições de probabilidade triangular e normal podem ser utilizadas nas simulações da  $ET_o$  na região de Araguari. No entanto, a distribuição normal mostrou-se mais adequada que a triangular na estimativa dos menores e maiores valores da  $ET_o$ , em relação aos valores observados. A função linear-exponencial, é mais indicada que a função exponencial para estimar o armazenamento de água no solo, e conseqüente simulação dos déficits e irrigações que ocorrem a partir de um determinado manejo de irrigação.

TABELA 5. Parâmetros estatísticos da  $ET_c$ , observada nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, na região Araguari.

Desenvol- vimento	Parâmetros estatísticos da evapotranspiração da cultura observada (mm/ano)				
	Menor	Maior	Modal	Média	$\sigma^*$
Implantação	523,0	718,6	644,9	620,5	31,1
Ano 1-2	643,7	884,4	793,7	763,7	38,2
Ano 2-3	724,2	995,0	892,9	859,2	43,0
Ano $X_n$	804,7	1.105,5	992,1	954,6	47,8

\* Desvio padrão da média da  $ET_c$  (mm/ano) observada

TABELA 6. Parâmetros estatísticos da *ETc*, simulada a partir da distribuição de probabilidade triangular e normal, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, na região Araguari.

Desenvolvimento	Parâmetros estatístico da <i>ETc</i> (mm/ano)									
	Distribuição de probabilidade triangular					Distribuição de probabilidade normal				
	Menor	Maior	Modal	Média	$\sigma$ *	Menor	Maior	Modal	Média	$\sigma$ *
Implantação	589,7	644,4	618,1	617,6	7,7	560,4	655,6	613,1	609,5	17,2
Ano 1-2	725,7	792,7	759,8	760,1	9,5	689,4	805,7	757,8	750,2	21,4
Ano 2-3	816,0	891,9	855,9	855,2	10,7	774,3	907,2	847,8	844,1	23,5
Ano <i>Xn</i>	907,3	990,4	951,8	950,2	11,9	859,5	1008,0	945,6	937,7	26,2

\* Desvio padrão da média da *ETc* em 10.000 simulações realizadas

Tabela 7. Valores médios de irrigação, evapotranspiração real e deficiência, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp).

Manejo da irrigação	Anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro							
	Implantação		Ano 1-2		Ano 2-3		Ano <i>Xn</i> (cultura adulta)	
	exp	lin-exp	exp.	lin-exp	exp	lin-exp	exp	lin-exp
Valores médios de irrigação (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	134,0	172,8	187,5	258,0	216,1	305,1	246,8	328,0
Manejo 2	118,8	137,1	172,0	218,1	208,5	269,7	245,3	295,2
Manejo 3	117,0	147,0	161,1	201,6	191,5	242,6	221,3	284,6
Manejo 4	117,0	147,3	161,1	201,7	191,6	242,6	221,2	284,7
Manejo 5	101,5	120,5	139,0	166,0	165,6	199,2	190,3	229,8
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valores médios de <i>ER</i> e <i>ETc</i> (mm/ano) para o cafeeiro								
Valor <i>ETc</i>	609,5	609,5	750,2	750,2	844,1	844,1	937,7	937,7
Manejo 1	529,4	585,9	652,1	731,4	731,4	833,5	808,2	930,3
Manejo 2	514,3	550,6	638,2	693,4	725,1	796,6	806,6	893,3
Manejo 3	514,2	551,9	635,0	689,6	718,2	786,6	796,7	877,0
Manejo 4	514,4	552,2	634,8	689,4	718,4	786,4	796,7	877,2
Manejo 5	499,0	525,4	612,9	654,1	692,2	745,0	765,6	826,1
Manejo 6	425,3	427,2	502,0	505,2	555,1	560,6	606,2	611,6
Valores médios de <i>DEF</i> (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	80,3	24,1	97,7	19,0	112,5	11,1	129,6	7,8
Manejo 2	95,2	58,6	112,2	56,8	119,1	47,4	131,3	44,3
Manejo 3	94,9	57,6	115,1	60,7	125,5	57,7	141,2	60,7
Manejo 4	94,8	57,8	115,4	60,7	125,7	57,4	140,9	60,8
Manejo 5	110,8	83,7	137,4	96,3	151,8	99,9	172,3	111,7
Manejo 6	183,9	182,5	247,4	244,5	287,9	284,1	331,6	326,1

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Universitária/UFPeL, 1996. 161p.
- CAMARGO, A.P. de.; PEREIRA, A.R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas: Função Cargil, 1990. 27p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- FARIA, M.A.; REZENDE, F.C. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade – irrigação na cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 110p. – (Curso de Especialização “Lato Sensu” por Tutoria à Distância)
- MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrosequência de solos bem a muito mal drenados. Lavras, 1994. 88p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: The Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).